

ПЕРМСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

Е. А. Кузнецова

# БАССЕЙНОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Часть II



Пермь 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

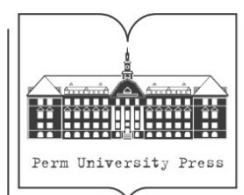
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Е. А. Кузнецова

# БАССЕЙНОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

## Часть II

*Допущено методическим советом  
Пермского государственного национального  
исследовательского университета в качестве  
практикума для студентов, обучающихся  
по направлению подготовки бакалавров  
«Геология»*



Пермь 2023

УДК 553.98(075.8)

ББК 325.4я73

К89

**Кузнецова Е. А.**

К89 Бассейновое моделирование [Электронный ресурс] : практикум / Е. А. Кузнецова ; Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Электронные данные. – Пермь, 2023. – Часть II. – 4,3 Мб ; 89 с. – Режим доступа: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnie-posobiya/Kuznesova-Bassejnovoe-modelirovanie-Praktikum-SHast-2.pdf>. – Заглавие с экрана.

ISBN 978-5-7944-4013-3

ISBN 978-5-7944-4016-4 (Ч. II)

Практикум содержит методические рекомендации для выполнения лабораторных работ с помощью специального программного обеспечения бассейнового моделирования. Дается подробная инструкция по вводу данных, расчету и работе с результатами моделирования, а также по калибровке полученных моделей. Рассматривается создание диаграммы нефтяных событий.

Издание предназначено для студентов геологического факультета, обучающихся по направлению подготовки бакалавров «Геология», а также для тех, кто интересуется анализом осадочных бассейнов в связи с нефтегазоносностью.

**УДК 553.98(075.8)**

**ББК 325.4я73**

*Печатается по решению ученого совета геологического факультета  
Пермского государственного национального исследовательского университета*

*Рецензенты:* кафедра «Геология нефти и газа» Пермского национального исследовательского политехнического университета (зав. кафедрой – профессор, д-р геол.-минерал. наук **В. И. Галкин**); директор ООО «ГеоКонсалтинг+», канд. геол.-минерал. наук **А. Н. Башков**

ISBN 978-5-7944-4013-3

ISBN 978-5-7944-4016-4 (Ч. II)

© ПГНИУ, 2023

© Кузнецова Е. А., 2023

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
НАЧАЛО РАБОТЫ .....	13
Создание и выбор проекта .....	13
Открытие модуля PetroMod 1D. Знакомство с интерфейсом.....	16
Создание новой модели. Открытие модели .....	18
ВВОД ДАННЫХ .....	23
Ввод основных данных.....	23
Ввод граничных условий.....	29
Проверка истории погружения.....	33
Знакомство с диаграммой событий.....	34
РАСЧЕТ МОДЕЛИ.....	37
РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	39
Открытие и просмотр графиков .....	40
Редактирование графиков .....	40
Создание и сохранение новых графиков.....	60
ВВОД КАЛИБРОВОЧНЫХ ДАННЫХ И КАЛИБРОВКА МОДЕЛИ .....	67
СОСТАВЛЕНИЕ ДИАГРАММЫ СОБЫТИЙ НЕФТЯНОЙ СИСТЕМЫ .....	73
ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА.....	77
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	78
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	79
ПРИЛОЖЕНИЯ	
Приложение 1 .....	83
Приложение 2 .....	85
Приложение 3 .....	86
Приложение 4 .....	88

## ВВЕДЕНИЕ

Практически все современное программное обеспечение (ПО) тем или иным способом используется для решения геологических задач. В целом, ПО можно разделить на три большие группы:

- 1) ПО общего назначения, используемое для геологии;
- 2) ПО специального назначения, адаптированное для геологии;
- 3) специальное геологическое ПО.

Программные комплексы, предназначенные для моделирования осадочных бассейнов, можно отнести к группе специального геологического ПО.

Осадочный бассейн – это область консолидированной земной коры, перекрытая мощной толщей недеформированных осадков. Для его образования необходимы два главных условия: пространство для осаждения осадков и источник осадочного вещества. По мнению Ю.И. Галушкина (2007) осадочный нефтегазоносный бассейн подобен химическому реактору, который генерирует углеводороды, и возможно лишь с какой-то долей вероятности реконструировать условия генерации и формирования залежей нефти и газа. Нефтегазообразование и нефтегазонакопление представляют собой единый, многоступенчатый естественноисторический процесс, генетически связанный с общим направленным развитием литогенеза и тектогенеза в земной коре. Лучшим средством для изучения процессов формирования нефтегазоносности служат компьютерные системы моделирования бассейнов.

Бассейновое моделирование – метод, позволяющий решать задачи прогноза нефтегазоносности на качественном и количественном уровне, снижать геологические риски, связанные с заполнением ловушки, качеством коллектора и покрышки, соотношением между временем формирования коллектора, покрышки, ловушки и её заполнением.

## *История бассейнового моделирования*

Метод бассейнового моделирования появился в 80-х гг. прошлого века. Все расчеты в тот период времени выполнялись в формате 1D, т.е. по отдельным скважинам. Расчет миграции и аккумуляции не осуществлялся. На этом этапе строились профили термической зрелости по нескольким скважинам для того, чтобы впоследствии построить карты зрелости, генерации углеводородов и определить пик генерации углеводородов во времени. Такой подход до сих пор используется при построении экспресс-моделей или при ограниченных данных, для получения первого представления об очагах генерации. Именно одномерному моделированию посвящены лабораторные работы по дисциплине «Бассейновое моделирование».

В 1990–1998 гг. в нефтяной отрасли получили распространение программные продукты нового поколения, позволяющие осуществлять расчеты флюидных потоков для трех фаз: воды, нефти и газа. В коммерческих программных пакетах была реализована 2D модель флюидного потока, которая дала возможность анализа потоков миграции углеводородов по разрезам и картам. Большинство моделей в это время строилось в формате 2D на основе сейсмогеологических профилей. Другие важные инновации этого этапа позволили моделировать специфические геологические явления: соляную тектонику, магматические тела, образование трещин и разломов и др.

В 1998 г. появилось очередное поколение ПО, которое изменило стандартные подходы бассейнового моделирования. Многие новшества были связаны со свойствами резервуаров и миграцией углеводородов. Разработчики ПО сфокусировались на разработке 3D симуляторов и улучшении возможностей калькуляторов. С этого времени расчеты тепловой истории и порового давления осуществлялись в полноценном 3D формате. Наряду с этим, расчеты моделей для многокомпонентных углеводородных фаз и реализация быстрого анализа флюидных фаз выполнялись на основе давлений, объемов и температур.

Классические инструменты бассейнового моделирования применялись для работы с бассейнами относительно простой геометрии и не были предназначены для регионов сложного геологического строения, таких как краевые прогибы, складчатые системы, деформированные области глубокого шельфа и континентального склона. А в современных программах появилась возможность моделирования осадочных бассейнов со сложной тектоникой.

В 2013 г. появился инструмент, позволяющий моделировать формирование нетрадиционных скоплений углеводородов. До этого расчеты объемов сланцевой нефти и сланцевого газа в материнских толщах выполнялись отдельно от общего процесса бассейнового моделирования.

Таким образом, бассейновое моделирование прочно вошло в мировую практику как часть геологоразведочного процесса и стало стандартом в нефтегазовой отрасли.

На сегодняшний день существует большое количество ПО, разработанного в передовых зарубежных научных коллективах, среди которого наибольшее распространение получили следующие: PetroMod (Schlumberger), Genex и Temis (Beicip Franlab, IFP Group) и Trinity (Zetaware), Basin2 (Rockware Inc.). Это направление постоянно развивается, и многие из существовавших ранее разновидностей ПО видоизменяются, преобразуются, становятся частью более крупных программных комплексов, как например, 1D симуляторы Genex и Matoil, функции которых были реализованы в последствии в Temis Suite, а потом в Temis Flow.

Промышленные программные продукты российских разработчиков пока неизвестны, однако среди коллективов научных институтов и университетов этот вопрос изучается и развивается более 10 лет, среди отечественных программных комплексов можно назвать: ГАЛО (ВНИИгеосистем) и Sedim1-3D (МГУ).

## *Основные компоненты систем моделирования бассейнов*

Каждая система математического моделирования бассейнов представляет собой пакет программ для персональных компьютеров, позволяющий численно реконструировать историю погружения и эволюцию температурных условий пород осадочного чехла и фундамента и на основе этого восстанавливать историю реализации нефтегазогенерационного потенциала материнских толщ осадочного бассейна.

Первым шагом моделирования (рис. 1) является построение модели современного строения и геолого-геофизических характеристик бассейна на основании возможно более полной базы данных по геологическому, геофизическому и геохимическому изучению района. Полный учет процессов, определяющих термический режим осадочной толщи бассейна, термической и тектонической истории литосферы, а также анализ относительных вариаций амплитуд тектонического погружения фундамента являются необходимым элементом систем моделирования осадочных нефтегазоносных бассейнов.

Модель современного строения используется для выяснения условий развития бассейна в прошлом на основе интеграции имеющихся данных, их геологической интерпретации и интерполяции.

Контроль справедливости рассчитанной модели эволюции бассейна включает в себя сравнение вычисленных и измеренных значений пористости и температуры пород, теплового потока или градиента температуры, степени зрелости органического вещества осадочных пород, а также вариаций амплитуд тектонического погружения фундамента.

Моделирование, проводимое с использованием имеющейся геолого-геофизической базы данных о строении и развитии осадочного бассейна, позволяет численно восстанавливать изменение температуры, степени катагенеза органического вещества и реализации потенциала генерации углеводородов материнскими толщами в процессе их погружения и на этой основе численно оценивать перспективы его нефтегазоносности.





Рис. 1. Рабочий процесс бассейнового моделирования  
(Peters et al., 2009; Малышева, 2015)

Анализ истории формирования и развития осадочного нефтегазового бассейна требует понимания большого числа процессов, действовавших в пределах этого геологического объекта за всё время его существования.

Заметное влияние на генерацию углеводородов в бассейне и формирование в нём месторождений оказывают:

- скорости погружения, поднятия и деформации бассейна;
- палеогеография, палеоклимат, палеоглубины моря;
- условия осадконакопления и тип отложений (скорости отложения осадков, обстановка, фации, накопление органического вещества);
- гидродинамические условия в бассейне (распределение давления пластовых вод и картина течения);
- свойства пород (пористость, проницаемость, плотность, теплопроводность, теплоемкость, сжимаемость и температурное расширение пород);
- свойства пластовых вод, нефтяной и газовой фаз (состав, плотность, вязкость, термические характеристики);
- теплоперенос (кондуктивный и конвективный), включая термическую историю бассейна;
- преобразование органического вещества (генерация углеводородов), кинетические реакции созревания керогена;
- перераспределение жидкости, с особой ролью первичной и вторичной миграции нефти и газа;
- формирование ловушек и их надежность (стратиграфические, структурные), наличие покрышек;
- аккумуляция, преобразование и потери углеводородов.

Разумеется, рассмотрение всех указанных процессов в рамках одной интегрированной модели крайне сложно. Поэтому системы моделирования бассейнов обычно ограничиваются численным воспроизведением термической эволюции, объемов генерации углеводородов, а также грубой оценкой путей и объемов их миграции и аккумуляции.

Наряду с геолого-геофизической информацией о развитии бассейна в моделировании широко используются данные, полученные из непосредственных скважинных измерений:

- толщины различных слоев осадков;
- распределение пористости в уплотненных породах;
- давление в породах;
- температуры пород;
- данные определения зрелости органического вещества отложений, полученные различными методами, включая измерения отражательной способности витринита и др.
- оценки палеотемператур, полученные различными методами;
- геохимические характеристики, отражающие генерацию углеводородов.

Моделирование позволяет углубиться в историю формирования и развития бассейна, включая эволюцию осадочного покрова и изменения геотермических условий, в которых находились горные породы. Сложность численного анализа термической эволюции бассейнов связана со своеобразием процессов формирования осадочной толщи, спецификой теплообмена в пористых деформируемых осадках в условиях меняющихся по глубине и во времени петрофизических характеристик пород.

Процедура моделирования включает в себя численный анализ теплового режима бассейна во время погружения, учёт эрозии отложений в период воздымания, уплотнение и изменение термофизических характеристик осадков (плотности, теплопроводности, теплоемкости) по мере их погружения, термическую активизацию и другие процессы.

## *Основные этапы бассейнового моделирования*

Независимо от типа бассейна, применяемого программного обеспечения и формата исследования (1, 2 или 3D) выделяют несколько этапов бассейнового моделирования (рис. 1):

- 1) постановка задач и определение уровня детальности работы;
- 2) отбор и подготовка входных данных;
- 3) наполнение модели информацией – загрузка данных;
- 4) восстановление истории погружения бассейна;
- 5) расчеты тепловой модели и определение зрелости материнских отложений;
- 6) калибровка тепловой модели;
- 7) расчеты объемов генерации и эмиграции углеводородов;
- 8) оценка путей миграции, объемов скоплений нефти и газа и их фазового состава;
- 9) оценка достоверности результатов моделирования миграции углеводородов по отношению к существующим скоплениям;
- 10) калибровка свойств литологических типов модели, свойств разломов;
- 11) качественная и количественная оценки скоплений нефти и газа.

Лабораторные работы по дисциплине «Бассейновое моделирование» посвящены одномерному моделированию с помощью модуля PetroMod 1D, который может быть использован как отдельный инструмент или как интегрированный компонент пакетов PetroMod 2D и 3D.

Рабочий процесс 1D моделирования в программном комплексе PetroMod 1D показан на рис. 2.

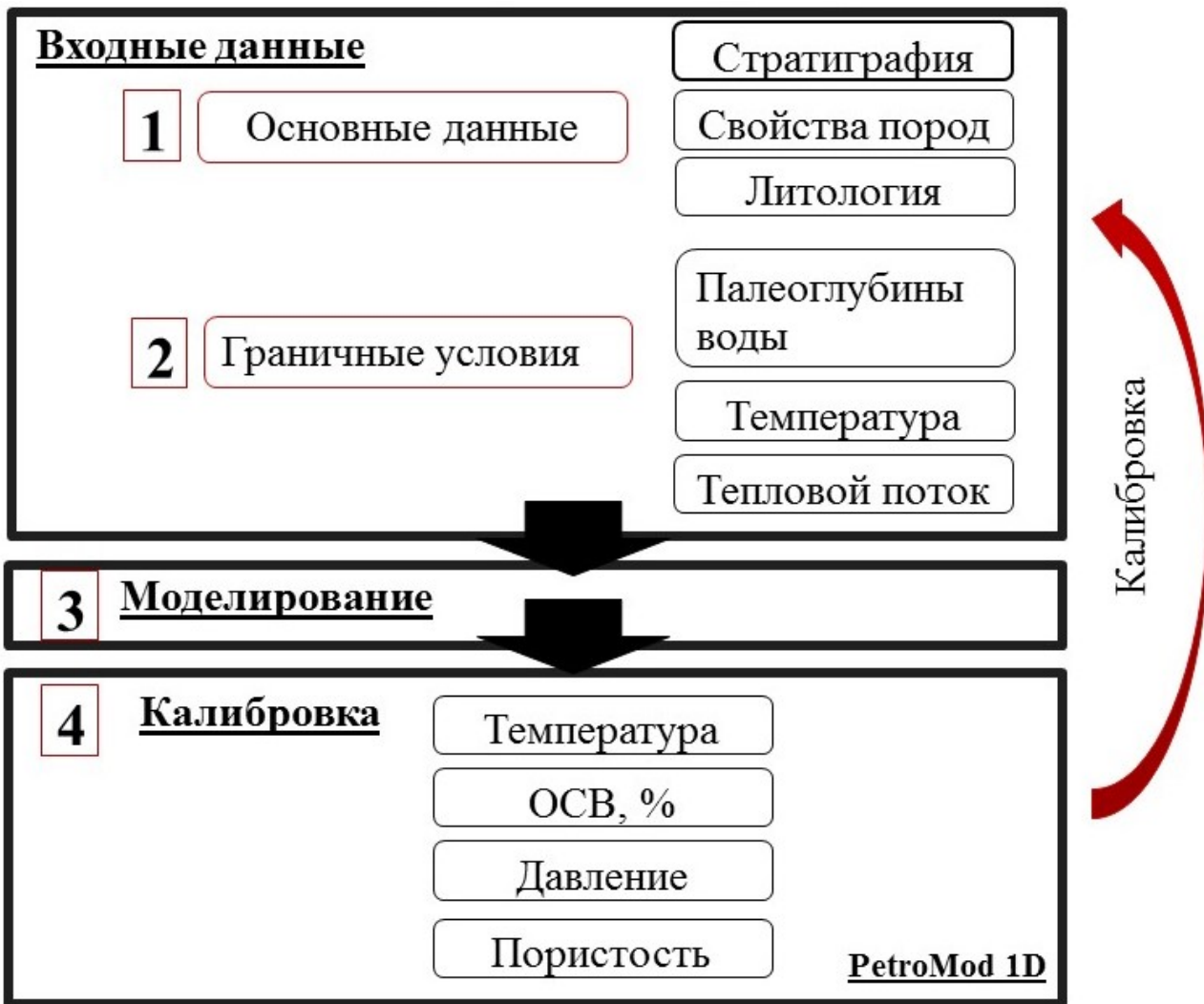


Рис. 2. Рабочий процесс 1D бассейнового моделирования

# НАЧАЛО РАБОТЫ

## Создание и выбор проекта

Перед началом работы в PetroMod 1D необходимо создать новый каталог проекта, а для продолжения работы – указать путь к существующему проекту PetroMod.

Для создания проекта:

- 1) нажмите кнопку **Project** в командном меню PetroMod (рис. 3);
- 2) в диалоговом окне **Project** нажмите кнопку **Select**;
- 3) откроется диалоговое окно выбора проекта *Select project* (рис. 4).

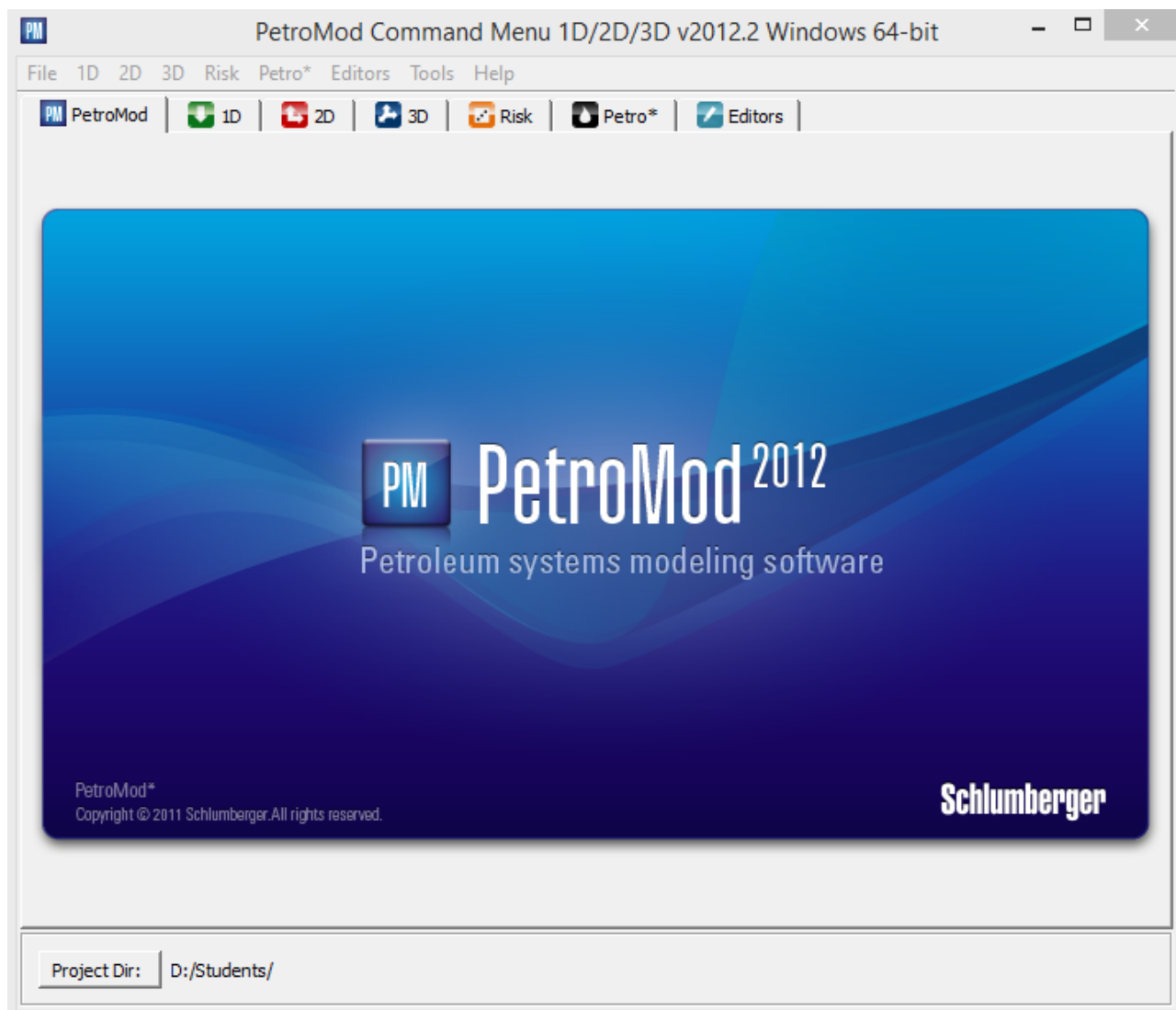


Рис. 3. Командное меню PetroMod

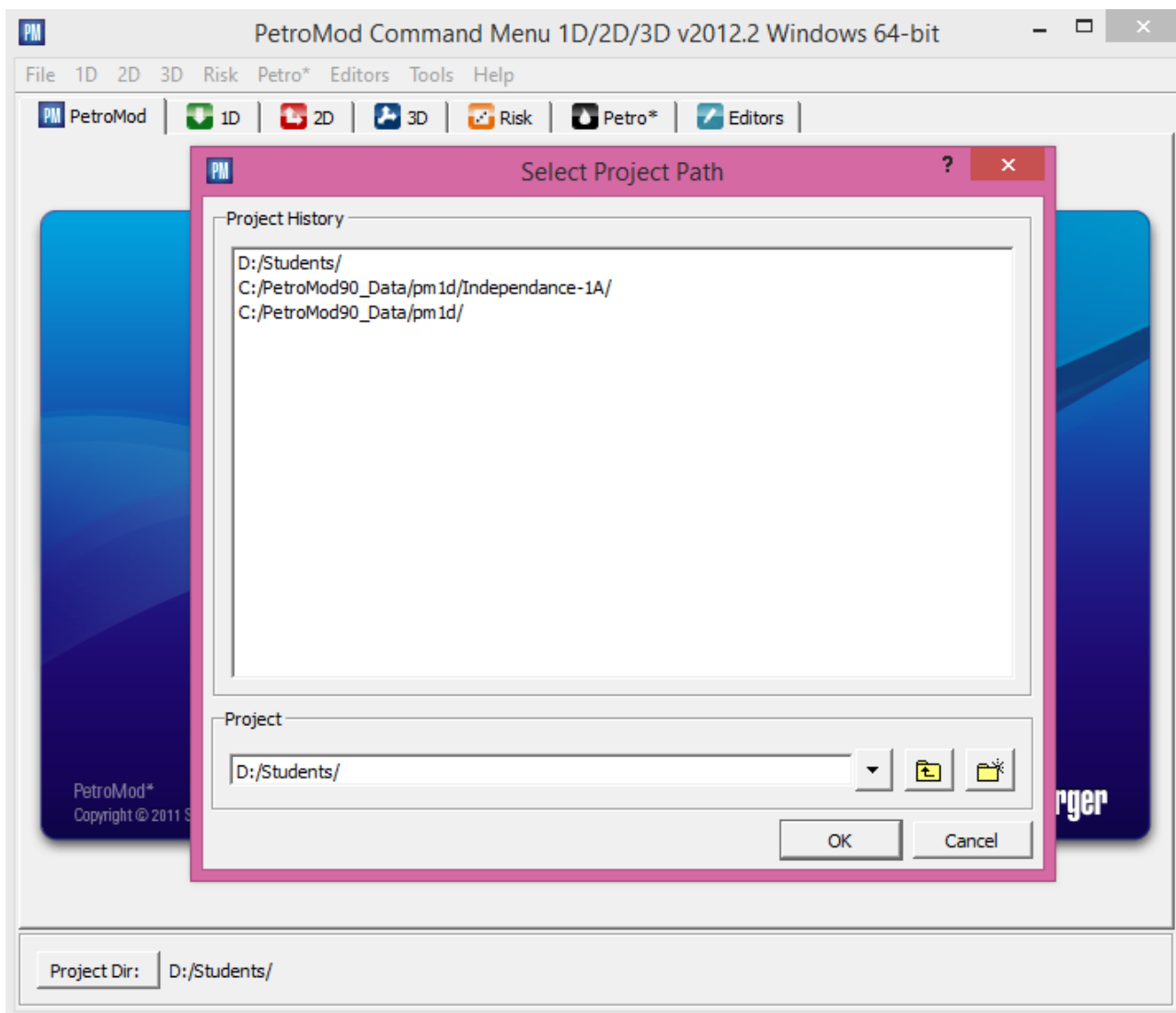


Рис. 4. Диалоговое окно выбора проекта *Select project*

4) выберите место для проекта (не сохраняйте никаких проектов в папке установки PetroMod, т.к. программа перестанет работать);

5) введите название нового проекта в поле *New project* (рис. 5). Названия проектов и моделей PetroMod могут содержать цифры, буквы английского алфавита, подчеркивание и дефис;

6) нажмите кнопку **Create**. Новый каталог проекта теперь будет отображаться в командном меню PetroMod.

Последний открытый проект всегда расположен рядом с кнопкой **Project** в левом нижнем углу диалогового окна командного меню *PetroMod* (рис. 6).

Чтобы выбрать существующий проект, необходимо выполнить следующие действия:

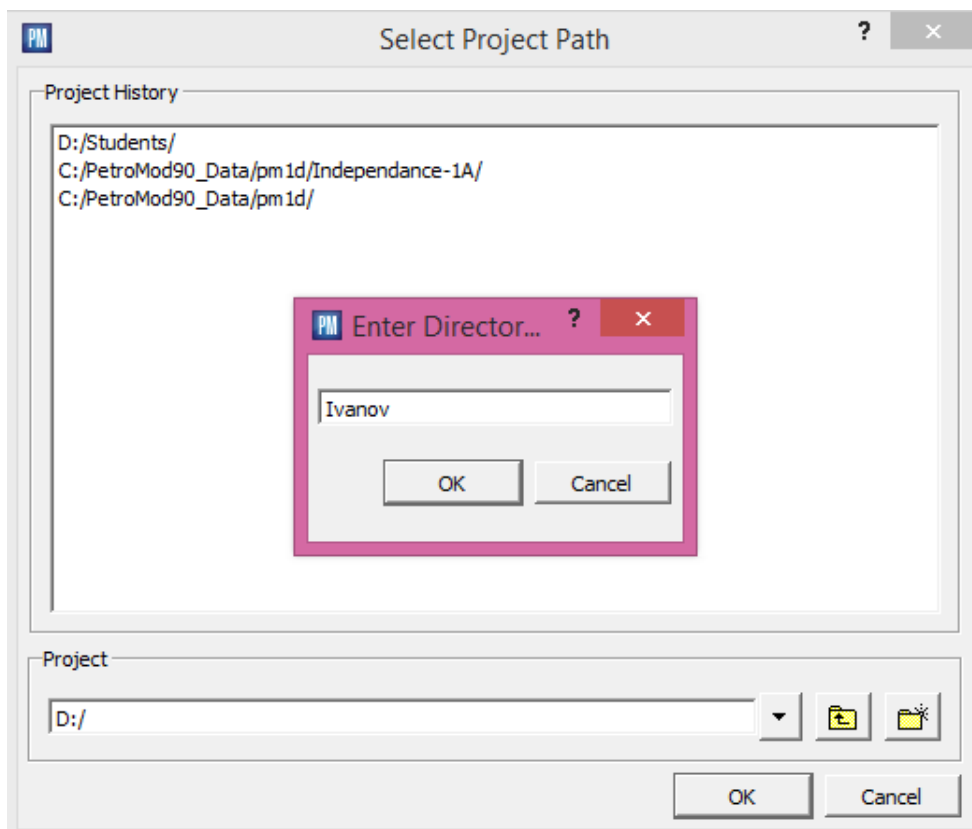


Рис. 5. Ввод названия проекта

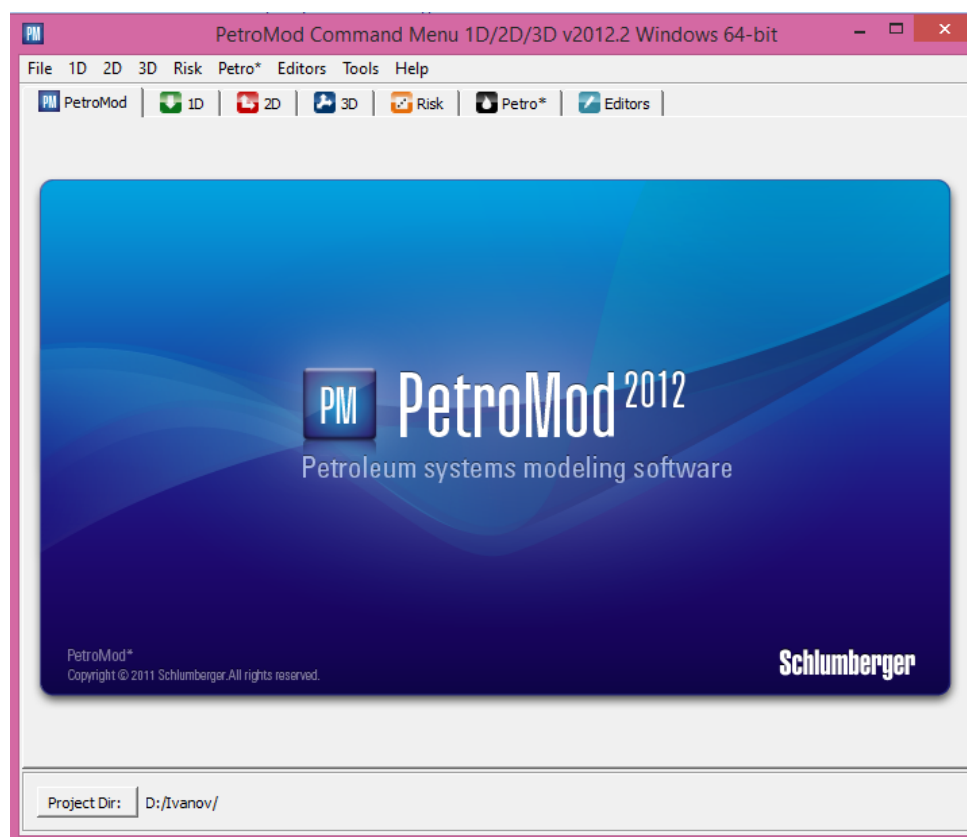


Рис. 6. Название текущего проекта



- 1) нажать кнопку **Project** в командном меню PetroMod;
- 2) откроется диалоговое окно проекта (рис. 2). В истории отображаются ранее открытые каталоги проектов. Текущий проект отображается в поле в нижней части диалогового окна. Чтобы выбрать другой проект, либо дважды щелкните по проекту на панели *History*, либо нажмите **Select**, чтобы просмотреть проект;
- 3) нажмите кнопку **OK**.

### **ЗАДАНИЕ:**

- 1) создайте новый проект в указанной преподавателем папке, название проекта должно совпадать с фамилией студента;
- 2) запомните путь к своему проекту, не забудьте в дальнейшем перед работой выбрать и открыть свой проект.

### **Открытие модуля PetroMod 1D. Знакомство с интерфейсом**

1. Перейдите на вкладку *1D* (рис. 7) в командном меню PetroMod и щелкните один раз на значке **PetroMod 1D**. В качестве альтернативы можно выбрать **1D** в строке меню, а затем – **PetroMod 1D**.

2. PetroMod 1D открыт.

3. Ознакомьтесь с его интерфейсом (рис. 8).

Графический интерфейс пользователя разделен на три области:

1. *Строка меню и панель инструментов*. Щелкните по пунктам меню, чтобы открыть списки с дополнительными опциями. *Панель инструментов* предлагает ярлыки для наиболее важных функций.

2. *Панель данных* состоит из четырех областей, которые помогут в процессе построения модели:

– *Model* (модель): содержит список всех моделей, которые были загружены в проект.

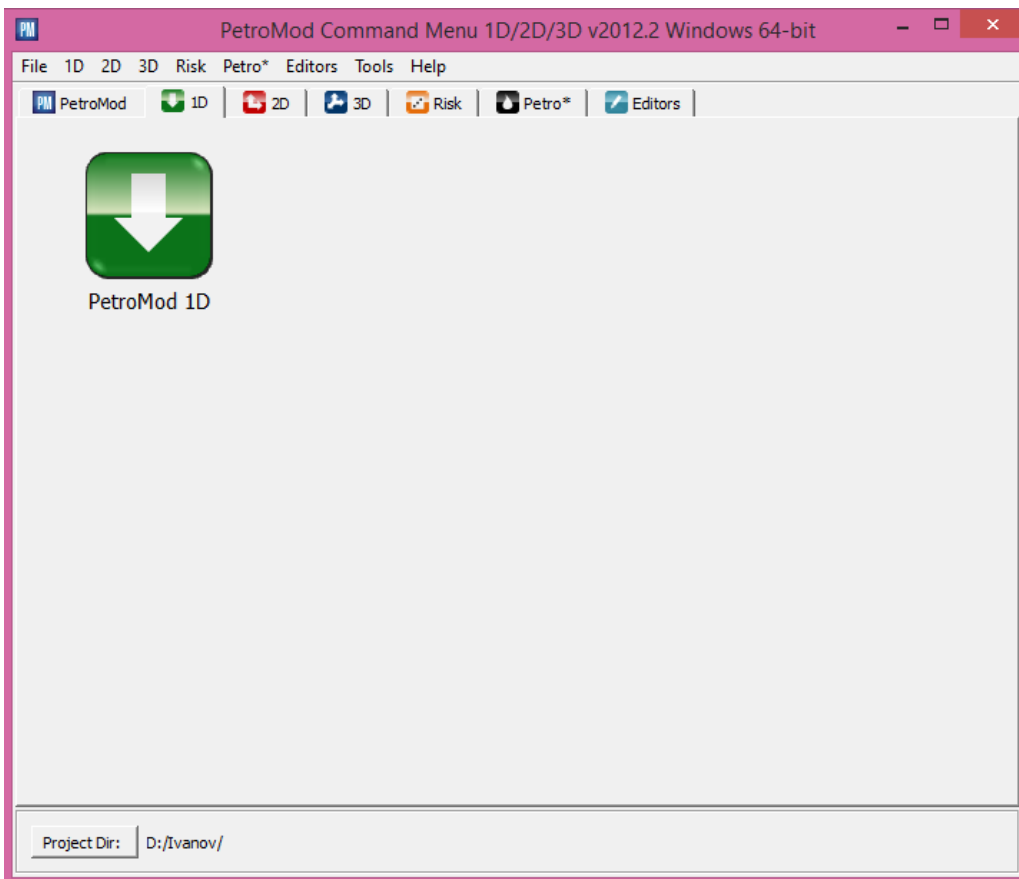


Рис. 7. Вкладка **1D** в командном меню PetroMod

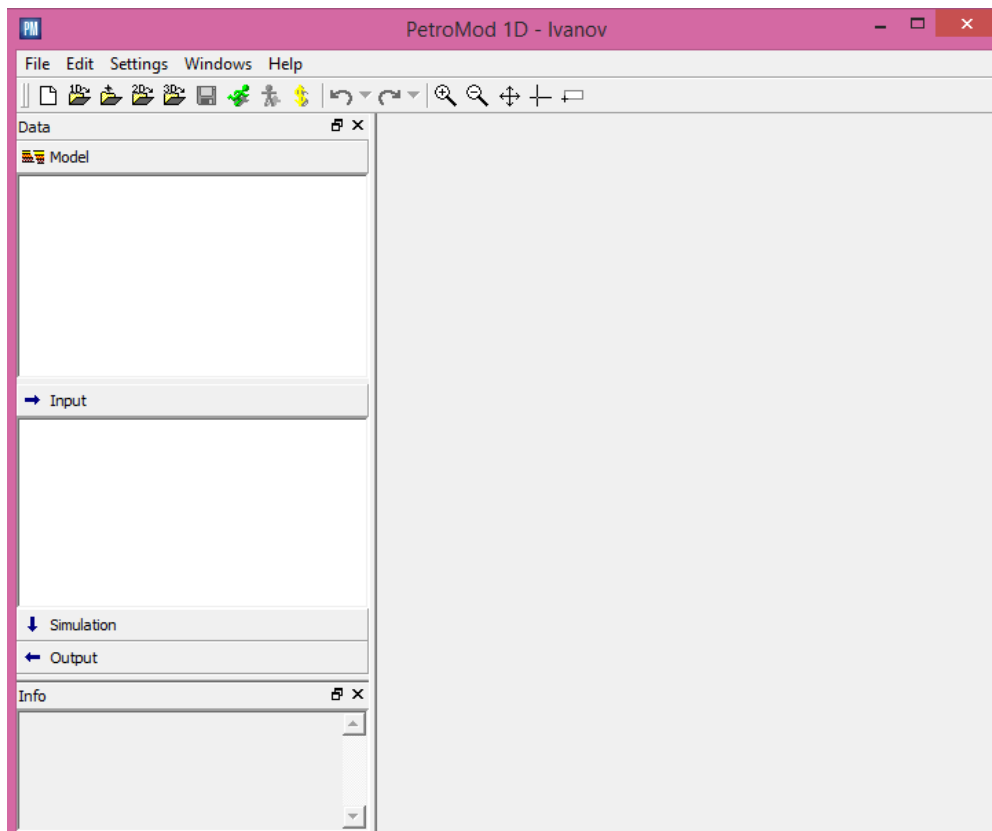


Рис. 8. Интерфейс PetroMod 1D

– *Input* (входные данные): представлена вкладками для входных данных (основная таблица входных данных, привязка скважины, граничные условия, история захоронения и определение элементов нефтяной системы).

– *Simulation* (расчет, моделирование): предназначена для настройки параметров моделирования.

– *Output* (результаты, выходные данные): содержит и упорядочивает все выходные графики для анализа результатов моделирования

3. *Рабочее пространство* используется для ввода данных и анализа результатов моделирования.

## **ЗАДАНИЕ:**

- 1) откройте модуль **PetroMod 1D**;
- 2) ознакомьтесь с интерфейсом.

### **Создание новой модели. Открытие модели**

Для создания новой модели выполните следующие действия:

- 1) нажмите кнопку **New model** на панели инструментов;
- 2) откроется диалоговое окно *New Model* (рис. 9);
- 3) введите название новой модели;
- 4) нажмите кнопку **ОК**.

Модель появится на панели *Model* (рис. 10). На панели ввода будут отображаться различные типы входных данных:

- *Main input* – основные входные данные;
- *Well assignment* – привязка скважины;
- *Boundary conditions* – граничные условия;
- *Tools* – инструменты;
- *Burial History Preview* – предварительный просмотр истории погружения и
- *PSE Settings* – настройки элементов и процессов нефтяной системы.

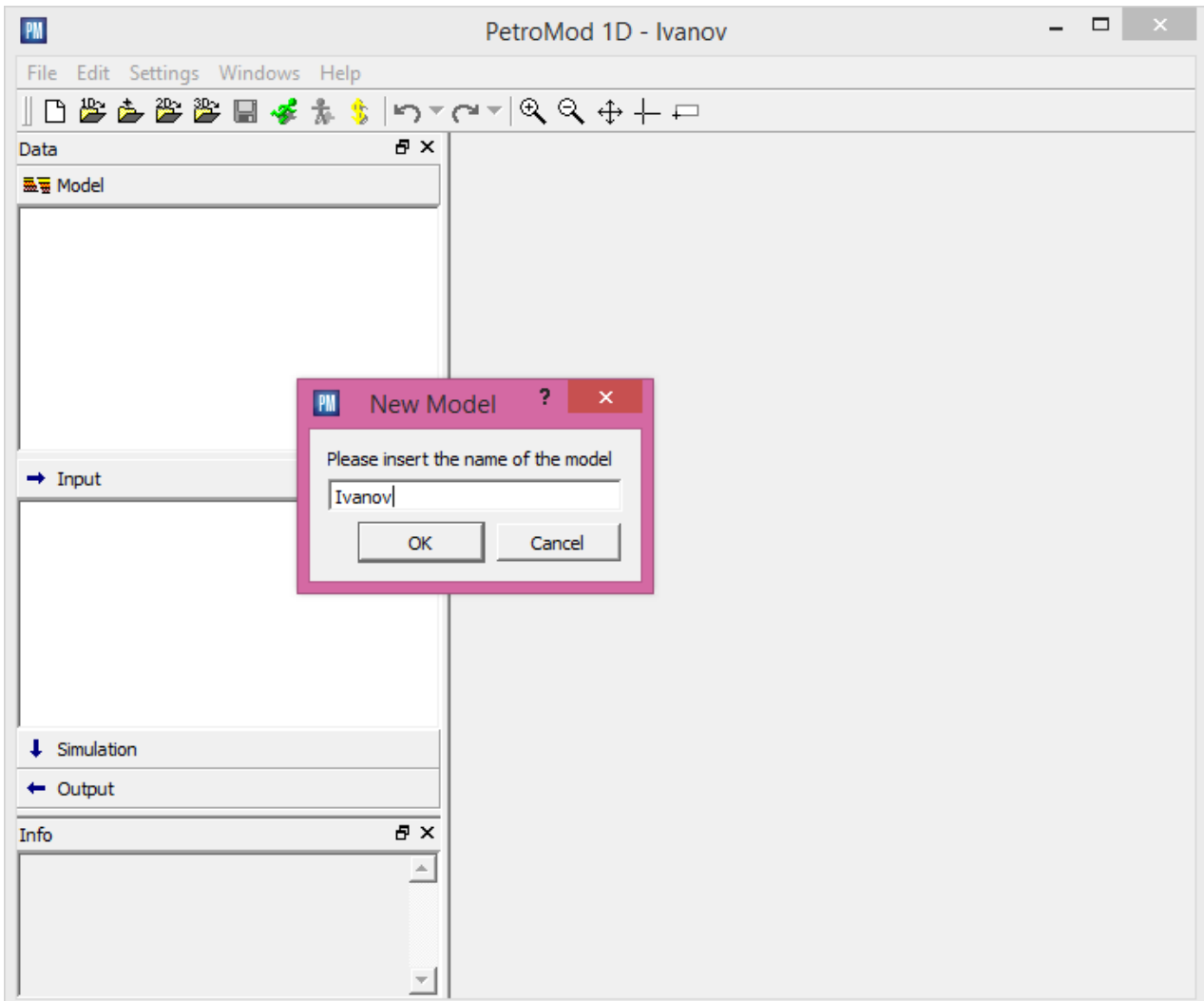


Рис. 9. Создание новой модели

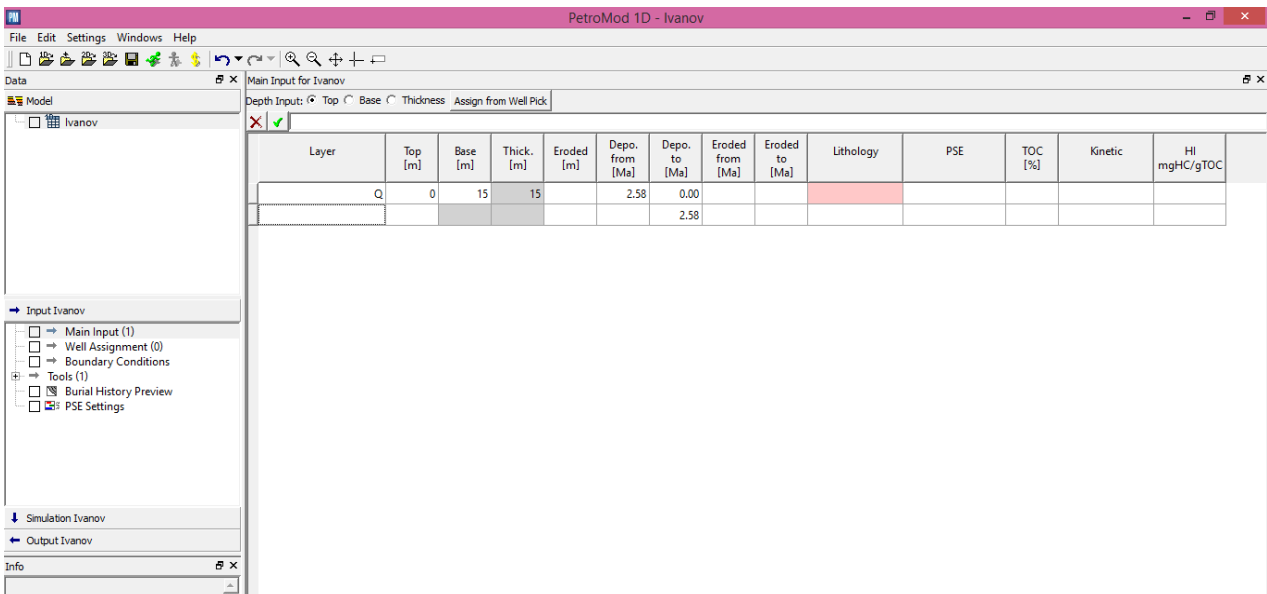


Рис. 10. Основная таблица ввода данных *Main input*

По умолчанию в рабочем пространстве отображается основная таблица ввода данных *Main input* (рис. 10).

В работе можно использовать контекстное меню (рис. 11). Доступ к нему осуществляется стандартно – щелчком правой кнопки мыши. Такие меню зависят от контекста, т.е. параметры зависят от того, где и когда было вызвано меню.

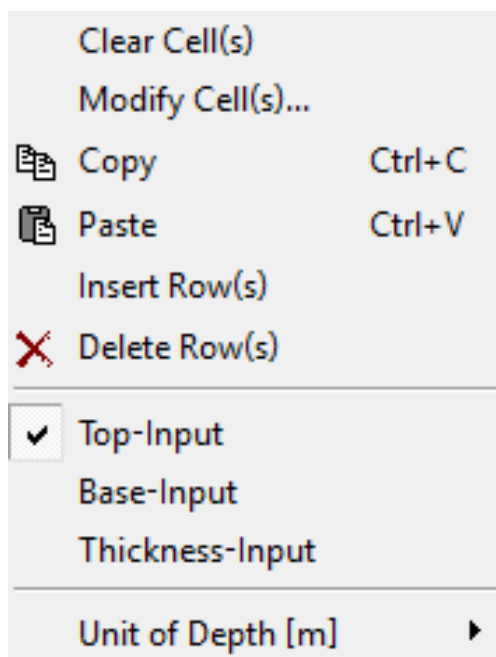


Рис. 11. Пример контекстного меню

Щелкните правой кнопкой мыши в открытой таблице, чтобы открыть контекстное меню для ячеек таблицы. Ниже приведено описание параметров для основной таблицы ввода:

– *Clear Cell(s)* очищает ячейки, т.е. удаляет содержимое выделенных ячеек без удаления их самих;

– *Modify Cell(s)...* открывает диалоговое окно, в котором предлагается выбрать один из следующих вариантов модификации: *Replace with* – выбранные ячейки будут заменены определенным значением; *Shift by* – выбранные ячейки будут сдвинуты на указанный коэффициент; *Scale by* – выбранные ячейки будут масштабированы с указанным коэффициентом;

- *Copy* и *Paste* копирует и вставляет содержимое выделенных ячеек;
- *Insert row(s)* вставляет пустые строки над выбранной строкой;
- *Delete row(s)* удаляет выбранные строки;
- *Top-Input*, *Base-Input*, *Thikness-Input* – выбор вводимого параметра: отметки кровли, подошвы или мощности;
- *Unit of [parameter]* позволяет изменить единицу измерения параметра, например, изменить единицу измерения глубины с метров на километры.

При работе в таблице входных данных используются следующие цветовые коды:

- серый: значения рассчитываются на основе других записей;
- розовый: отсутствующие, недопустимые или неожиданные значения;
- желтый: значения в этих ячейках действительны, но рекомендуется проверить их перед расчетом модели.

При появлении в таблице красных или желтых ячеек наведите курсор на них, чтобы открыть всплывающую подсказку, объясняющую, почему содержимое ячейки недопустимо или почему следует проверить ее содержимое.

В PetroMod 1D можно открыть как одну, так и несколько моделей одновременно (рис. 12). Для открытия одной модели:

- 1) нажмите кнопку **Open 1D-model** на панели инструментов;
- 2) выберите модель из списка;
- 3) нажмите кнопку **Open**. Модель будет добавлена на панель *Model*.

Подобным образом можно открыть (добавить на панель *Model*) несколько моделей по очереди или одновременно при использовании клавиш **Ctrl** или **Shift** и левой кнопки.

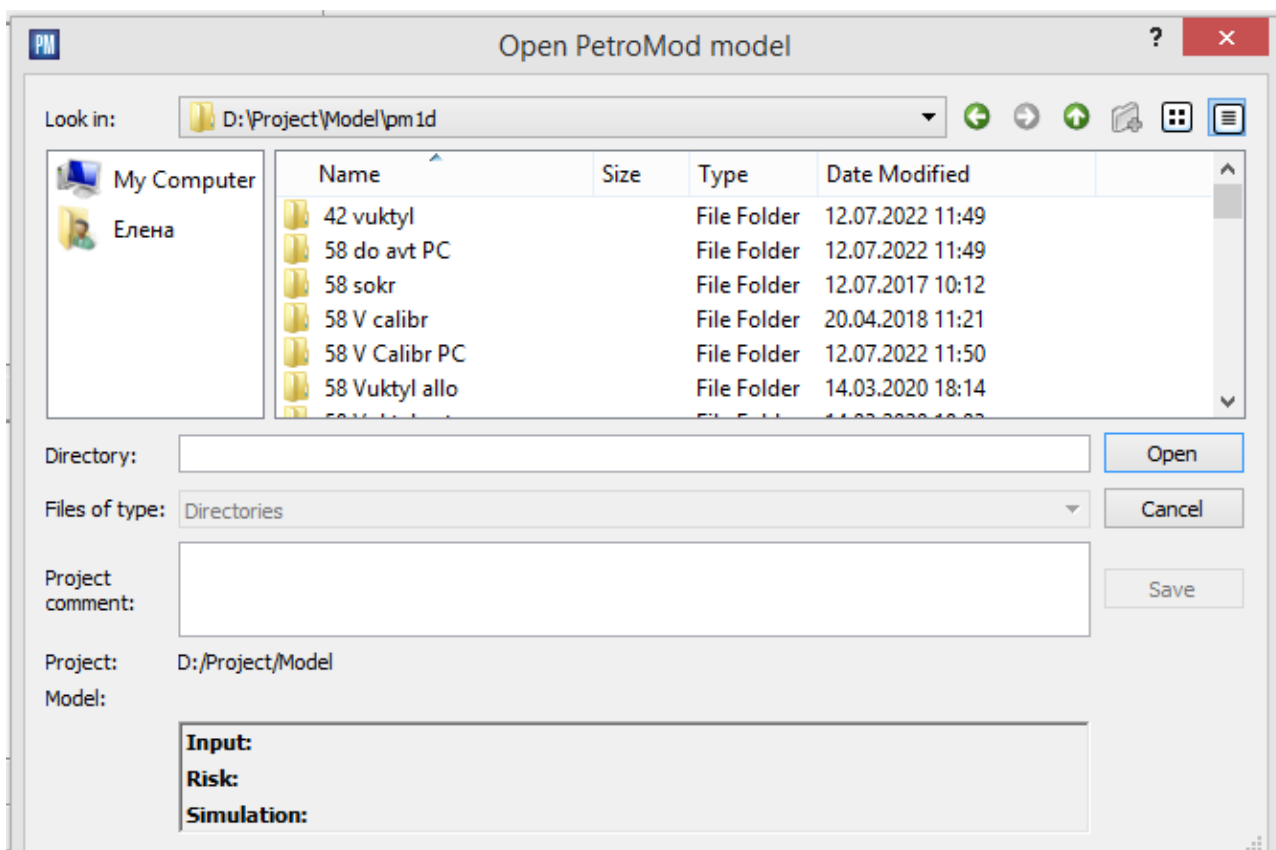


Рис. 12. Открытие модели

### **ЗАДАНИЕ:**

- 1) создайте новую модель, название должно совпадать с фамилией студента;**
- 2) ознакомьтесь с интерфейсом, контекстным меню;**
- 3) выйдите из программы;**
- 4) снова загрузите программу, найдите и откройте свой проект и модель.**

# ВВОД ДАННЫХ

## Ввод основных данных

Наполнение модели информацией, как правило, является одним из самых трудоемких этапов работы.

Чтобы открыть основную таблицу ввода, нажмите кнопку *Main input* на панели ввода.

Основная таблица *Main input* работает аналогично распространенным электронным таблицам. Дважды щелкните ячейку, чтобы отредактировать содержимое ячейки, используйте функцию перетаскивания для копирования данных. Можно копировать и вставлять данные в таблицу из других приложений, при этом необходимо убедиться, что десятичные значения отделены точкой, а не запятой.

Таблица *Main input* основана на событиях, т.е. каждая строка содержит геологическое событие в течение заданного времени. События должны вводиться в хронологическом порядке, при этом текущее событие должно располагаться вверху таблицы, а самое древнее – внизу.

Layer	Top [m]	Base [m]	Thick. [m]	Eroded [m]	Depo. from [Ma]	Depo. to [Ma]	Eroded from [Ma]	Eroded to [Ma]	Lithology	PSE	TOC [%]	Kinetic	HI mgHC/gTOC
Q	0	15	15		2.58	0.00	2.58						

Рис. 13. Ввод данных в столбцы



Основная таблица входных данных состоит из следующих столбцов: 1) название слоя (*Layer*); 2) ввод глубины кровли, подошвы и мощности слоя (*Top, Base and Thickness*), 3) ввод характеристик эрозии – эродированной мощности, времени начала и конца эрозии (*Eroded [m]*, *Eroded from [Ma]* и *Eroded to [Ma]*), 4) ввод характеристики осадконакопления – начала и окончания процессов седиментации (*Depo. from [Ma]* и *Depo. to [Ma]*); 5) выбор литологического состава *Lithologies* и 6) элементы нефтяной системы *Petroleum System Elements (PSE)*; а также 7) характеристики материнских пород – общего содержания органического углерода (*TOC*), водородного индекса (*HI*) и уравнений кинетических реакций (*kinetics*).

В столбец *Layer* вносится название геологического события, слоя. Чтобы его ввести, щелкните в ячейке и обозначьте время, когда произошло событие, с помощью индекса Общей стратиграфической шкалы (прил. 1). Названия слоев вводятся в порядке убывания глубины в столбец *Layer*. Можно скопировать и вставить названия из другого приложения, например, из электронной таблицы.

Столбцы *Top, Base* и *Thickness* тесно связаны. В столбцах необходимо ввести текущую глубину кровли или подошвы слоя, а также несогласий. Для этого щелкните в ячейке и введите значение.

*Thickness* – это мощность слоя, в случае эрозии и перерыва в осадконакоплении мощность равна 0. При заполнении глубины PetroMod автоматически вычисляет мощность.

По умолчанию столбец *Depth* активен, а столбцы *Base* и *Thickness* неактивны. Чтобы переключить активные столбцы, используйте кнопки **Top**, **Base** и **Thickness** в верхней части основной таблицы ввода.

В зависимости от входных данных ячейка, содержащая современную глубину залегания кровли самого верхнего слоя, может быть красной до тех пор, пока не будут введены соответствующие данные во вкладке *Boundary Conditions*.

Основная таблица входных данных содержит три столбца, относящиеся к эрозии:

– *Eroded [m]* – щелкните в ячейке и введите значение толщины размываемого слоя;

– *Eroded from [Ma]* – щелкните в ячейке и введите значение времени начала процесса эрозии (см. прил. 1);

– *Eroded to [Ma]* – щелкните в ячейке и введите значение времени окончания процесса эрозии.

В используемой версии PetroMod эрозия слоя может начаться только после завершения его накопления. Мощность слоя в таблице – это его текущая мощность плюс толщина эродированных отложений.

Следующий блок рассматривает осадконакопление. Щелкните в ячейке и введите начало накопления каждого слоя (прил. 1) в столбец *Depo. from [Ma]*, PetroMod при этом автоматически рассчитает окончание осаждения в столбце *Depo. to [Ma]*.

PetroMod требует информации о литологии соответствующих слоев. Когда литология задана для определенного слоя, его свойства и поведение при уплотнении, например пористость, плотность и проницаемость, рассчитываются автоматически.

PetroMod предлагает широкий спектр стандартных литологий (рис. 14) с соответствующими свойствами. Дополнительные литологии можно создавать, настраивать и редактировать с помощью редактора литологии PetroMod.

В столбце *Lithologies* вводится состав слоя, который можно выбрать вручную из списка литологий в базе данных PetroMod или скопировать и вставить из других приложений (например, электронных таблиц). При этом можно скопировать только литологии, которые имеют точно такое же название, как и в базе данных PetroMod lithology, в противном случае ячейки останутся пустыми, т.е. придется вручную указать литологию.

Чтобы ввести литологию из базы данных *PetroMod lithology*:

1) дважды щелкните ячейку в столбце *Lithologies*;

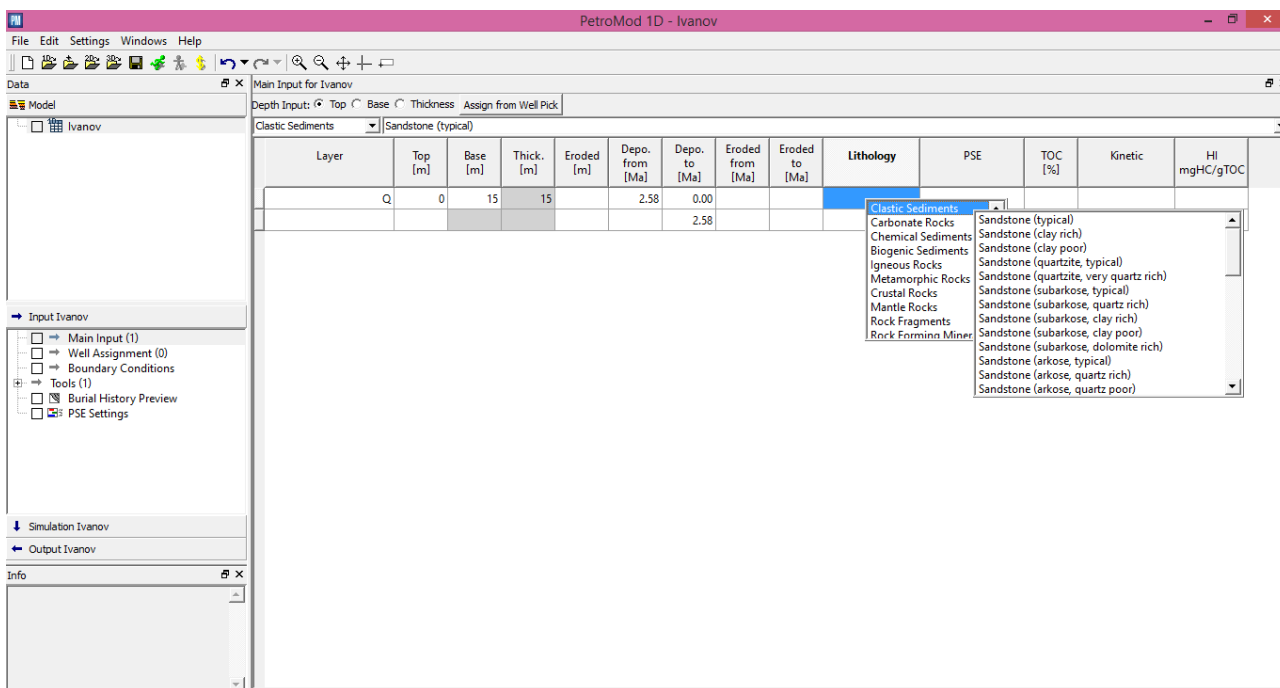


Рис. 14. Выбор литологии

- 2) откроется окно выбора литологического состава со списком горных пород;
- 3) щелкните группу литологии, а затем выберите нужный состав слоя;
- 4) при необходимости обновите литологии с помощью *Lithology Editor*;
- 5) после редактирования литологических данных в **PetroMod Lithology Editor** необходимо обновить модель в **PetroMod 1D** новой информацией о литологии;
- 6) нажмите кнопку **Reread Project Data** на панели инструментов. В основной таблице *Main input* необходимо также обозначить элементы нефтяной системы.

Нефтяные (углеводородные или генерационно-аккумуляционные углеводородные) системы представляют собой совокупность активных нефтегазоматеринских пород, связанных с ними углеводородов, а также все элементы и процессы, необходимые для формирования скоплений нефти и газа.

Необходимые элементы нефтяных систем включают в себя материнские породы, породы-коллекторы, покрышки, перекрывающие

толщи. Процессы нефтяных систем – это формирование ловушки, генерация, миграция и аккумуляция углеводородов. Все необходимые элементы должны таким образом располагаться в геологическом времени и пространстве, чтобы необходимые для формирования скопленных нефти и газа процессы могли иметь место.

Элементы нефтяной системы можно выбрать из раскрывающегося списка в базе данных PetroMod или скопировать и вставить из других приложений. При копировании данных из другого приложения у элементов нефтяной системы должны быть те же названия, что и в базе данных *PetroMod PSE*.

Чтобы назначить элементы нефтяной системы из базы данных *PetroMod PSE*:

- 1) дважды щелкните ячейку в столбце *PSE*;
- 2) выберите элемент в поле выбора (рис. 15).

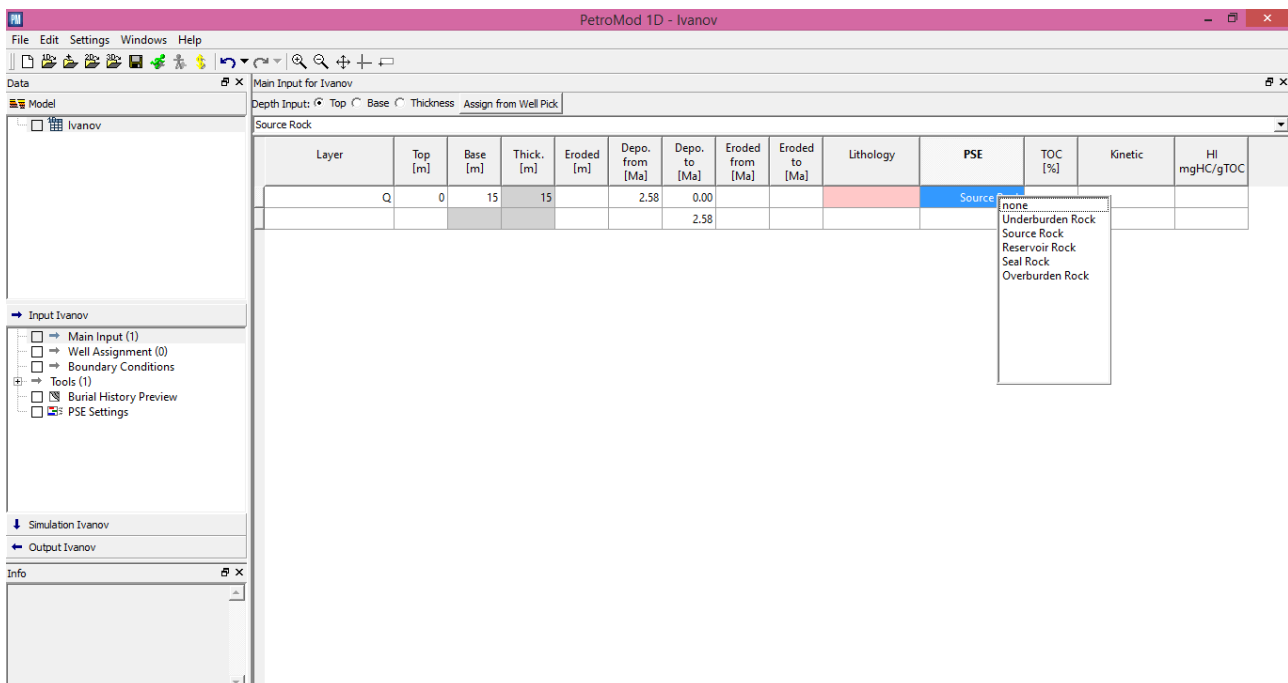


Рис. 15. Выбор элемента нефтяной системы

В следующем столбце необходимо ввести тип кинетической реакции созревания керогена из списка *Kinetics* в базе данных *PetroMod kinetic* или скопировать и вставить данные из других приложений.

Для копирования у кинетических реакций должны быть те же имена, что и в базе данных.

Чтобы выбрать кинетическую реакцию созревания керогена из базы данных *PetroMod kinetics*:

- 1) дважды щелкните ячейку в столбце *Kinetics* (рис. 16);
- 2) в поле выбора выберите группу, чтобы открыть список кинетических реакций, принадлежащих к этой группе, а затем выберите подходящий вариант.

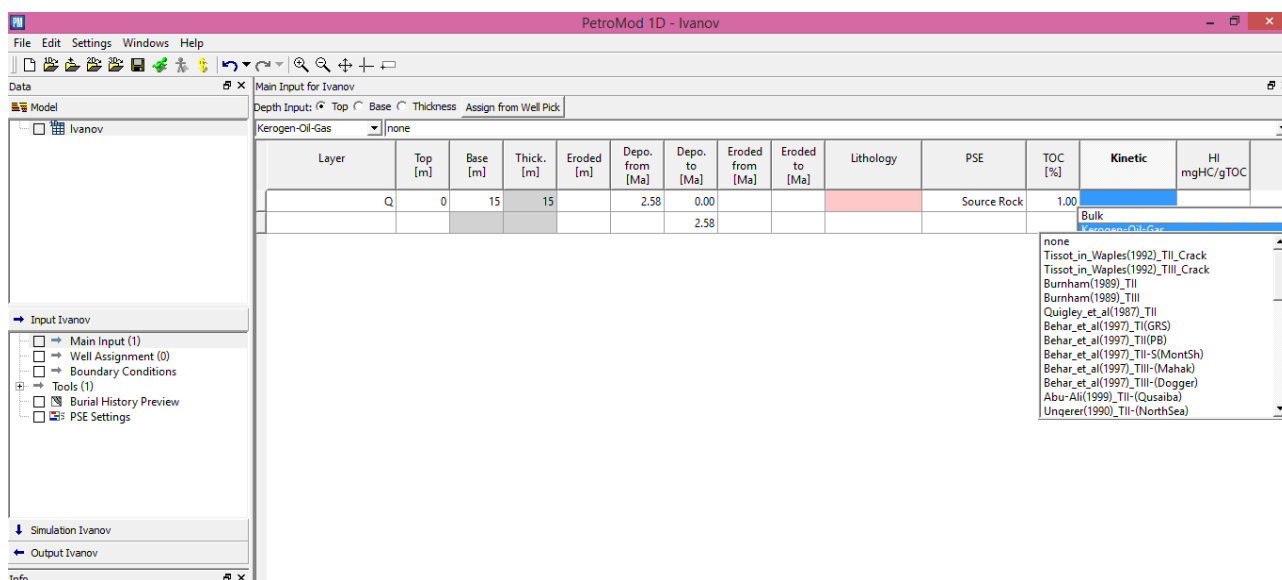


Рис. 16. Выбор кинетической реакции созревания керогена

В последние столбцы вносятся данные по результатам пиролитических исследований – концентрация общего органического углерода *ТОС* и водородный индекс *НІ*. Делается это следующим образом:

- 1) щелкните ячейку в столбце *ТОС* или *НІ*;
- 2) введите значение параметра.

### **ЗАДАНИЕ:**

- 1) заполните таблицу *Main input* – обозначьте геологические события и время их проявления (прил. 1), состав и мощность накопившихся отложений, определите элементы нефтяной системы и кинетические реакции созревания керогена (прил. 2);
- 2) введите значения *ТОС* и *НІ*.

## Ввод граничных условий

Граничные условия контролируют температуру и перенос тепла в пределах осадочного бассейна и необходимы для задания модели. Для каждой модели может быть определен только один набор граничных условий.

В PetroMod 1D используются три граничных условия: 1) палеоглубина воды (*PWD*), 2) температура на границе раздела между осадком и водой (*SWIT*) и 3) тепловой поток (*HF*).

Панель ввода *Input* содержит два элемента для граничных условий (рис. 17): таблицы *Boundary condition tables* и графики *Boundary condition plots*, которые связаны между собой. Когда редактируются значения в таблицах, графики обновляются автоматически и наоборот.

Чтобы открыть таблицы или графики, выберите соответствующий элемент на панели ввода. Нажмите соответствующие кнопки на панели в верхней части окна, чтобы открывать элементы, и оставляйте их открытыми.

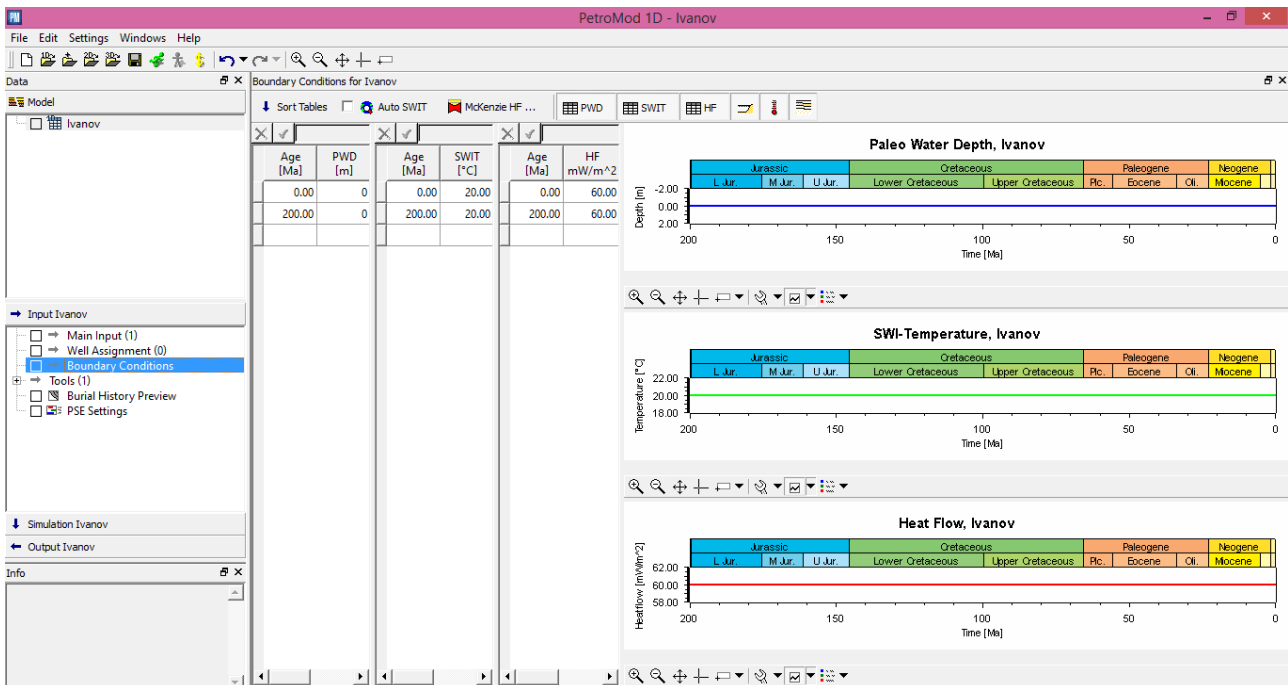


Рис. 17. Ввод граничных условий

В PetroMod 1D возможно одновременное открытие нескольких моделей. Это позволяет запускать различные сценарии путем репликации модели и моделирования в различных условиях, что упрощает калибровку. Чтобы опробовать различные граничные условия на модели, сначала сделайте копию модели, а затем измените значения. Вы также можете скопировать и вставить граничные условия из других моделей.

Нажмите кнопки таблиц **Boundary condition**, чтобы открыть таблицы.

Введите и измените значения палеоглубины воды (*PWD*) и теплового потока (*HF*), введя их непосредственно в таблицу. Как только вы введете значение, PetroMod автоматически расширит таблицу на одну дополнительную строку. Если вы введете значение в одном столбце (например, *Age*), а не в другом столбце (например, *PWD*), второй столбец станет красным, указывая на то, что значения отсутствуют, и их следует ввести.

*PWD* на сегодняшний день должен совпадать с максимальной глубиной самого верхнего слоя в основной таблице ввода.

Используйте кнопку **Sort Tables**, чтобы отсортировать таблицу по возрасту и удалить повторяющиеся возрастные категории. Если таблица содержит повторяющиеся датировки, первое значение сохраняется, а другие экземпляры удаляются.

Используйте функцию *Import PWD (SWIT, HF)*, чтобы импортировать тренды из любой модели, открытой на панели *Model*. Эту функцию можно применять для назначения трендов по умолчанию. Доступ к этой функции возможен только из таблицы *Boundary condition*:

- 1) щелкните правой кнопкой мыши в любом из столбцов и выберите *Import PWD (SWIT, HF)* в контекстном меню;

- 2) откроется диалоговое окно *Import PWD (SWIT, HF)*. Диалоговое окно содержит две панели. На панели слева показаны тренды в исходной модели. На панели справа показаны тренды в целевой модели;

3) выберите исходную модель из раскрывающегося списка *Source*. Выберите значение по умолчанию, чтобы загрузить тренды по умолчанию – *default trends*;

4) тренды из исходной модели загружаются в левую панель диалогового окна;

5) щелкните по стрелкам, чтобы переместить тренды к целевой модели;

6) нажмите кнопку **ОК**, чтобы импортировать тренды.

Сравните текущую глубину воды с абсолютной отметкой верхней части модели. Если текущая глубина воды не совпадает с глубиной верхней части модели в таблице *Main input*, соответствующая ячейка в основной входной таблице выделена красным цветом, что указывает на несоответствие данных.

Выберите графики граничных условий *Boundary condition plots*.

На график можно добавить новую точку:

1) наведите курсор на тренд. Курсор изменится со стрелки на перекрестие;

2) щелкните левой кнопкой мыши, чтобы добавить точку.

Чтобы переместить точку:

1) выберите точку для перемещения левой кнопкой мыши и перетащите ее в новое положение;

2) отпустите кнопку мыши.

Чтобы удалить точку:

1) щелкните левой кнопкой мыши на точке;

2) щелкните средней кнопкой мыши, чтобы удалить её.

Данные о вариациях температуры на разделе сред (*SWIT*) за геологическое прошлое часто отсутствуют. Поэтому ввести их можно не только вручную или с помощью графика, но и с помощью встроенного калькулятора *SWIT*.



Встроенный специальный инструмент для упрощения настройки температуры на границе раздела осадок–вода (*SWIT*) автоматически вычисляет и устанавливает тренд *SWIT*. Для этого:

1) нажмите кнопку автоматического переключения над таблицей *SWIT*. В качестве альтернативы щелкните правой кнопкой мыши в любом месте столбца *SWIT* и выберите пункт *Auto SWIT* в контекстном меню. Откроется диалоговое окно автоматического переключения;

2) установите местоположение полушария и континента в полях прокрутки в левом нижнем углу диалогового *Auto SWIT*. Установите широту либо с помощью ползунка, либо с помощью поля прокрутки справа (рис. 18);

3) после установки значений вам необходимо активировать их. Нажмите на поле автоматического переключения внизу слева, чтобы использовать настройки. После этого можно закрыть диалоговое окно *Auto SWIT*;

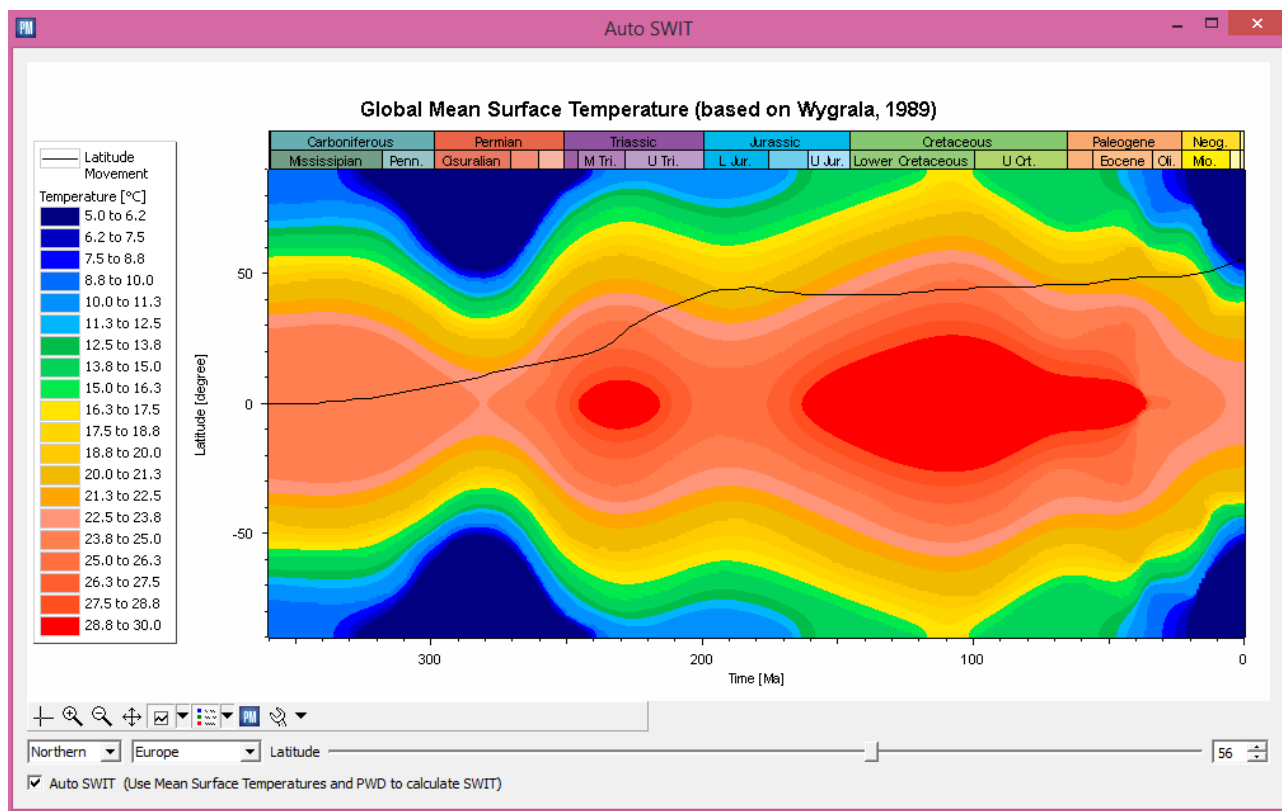


Рис. 18. Встроенный калькулятор Auto SWIT

4) когда активен *Auto SWIT*, таблица переходов становится серой, указывая на то, что значения вычисляются автоматически и не доступны для редактирования. Вы также можете активировать и деактивировать функцию **Auto SWIT** с помощью кнопки автоматического переключения, расположенной непосредственно над таблицей.

*Auto SWIT* обеспечивает лишь приблизительное представление о фактических температурах на границе раздела осадок–вода. При расчете температуры учитывается палеоглубина. Автоматический переключатель автоматически обновляет значения переключателя при изменении палеоглубины бассейна.

Чтобы назначить *PetroMod SWIT* по умолчанию, щелкните правой кнопкой мыши в любом месте таблицы *SWIT* и выберите тренд по умолчанию в контекстном меню.

#### **ЗАДАНИЕ:**

- 1) определите палеоглубины с помощью «Атласа литолого-палеогеографических карт СССР»;**
- 2) определите значения теплового потока. Для характеристики теплового потока опирайтесь на тектоническое районирование России и значения данного параметра для различных тектонических обстановок, приведенные в приложении 3;**
- 3) заполните таблицу SWIT с помощью встроенного калькулятора.**

### **Проверка истории погружения**

На основе введенных основных входных данных 1D-модели перед запуском моделирования можно визуальнo проверить геометрическую эволюцию модели, щелкнув *Burial History Preview* истории захоронений на панели ввода *Input*.

График, который отображается в соответствующем окне (рис. 19), не является результатом моделирования. Это входная история захоронения является всего лишь графическим представлением построенной геометрии и не учитывает уплотнение.

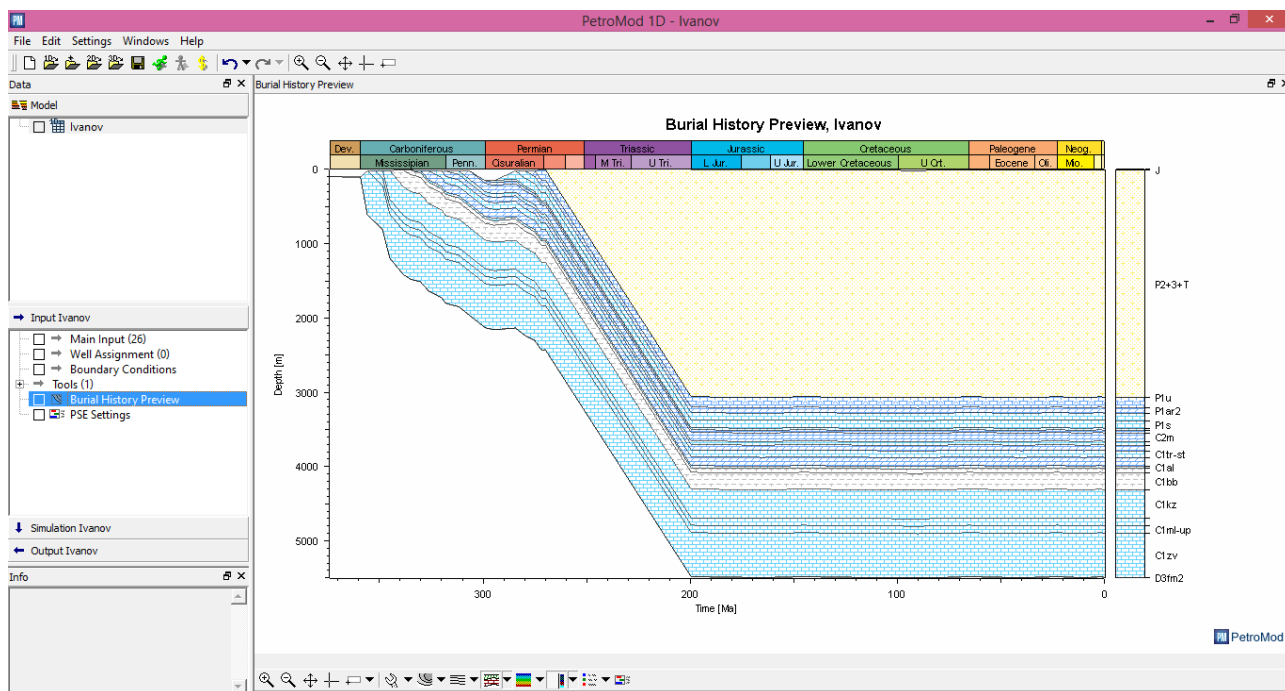


Рис. 19. Предварительный просмотр кривых погружения

**ЗАДАНИЕ:** проверьте полученные графики кривых погружения.

### Знакомство с диаграммой событий

Элементы нефтяной системы, введенные в основную таблицу ввода, отображаются в виде диаграммы или графика, который графически представляет историю их формирования. Настройте график по мере необходимости, чтобы получить графический обзор временных взаимосвязей между элементами нефтяной системы *PSE* в модели.

Нажмите на *PSE Settings* на панели ввода, чтобы открыть диалоговое окно настроек *PSE* (рис. 20).

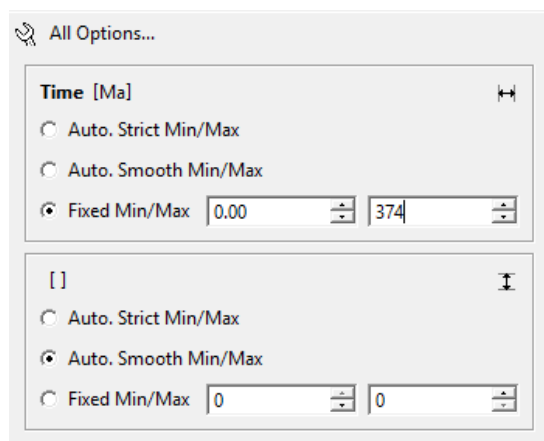


Рис. 20. Настройки диаграммы событий

Диалоговое окно *PSE Settings* состоит из двух основных областей: 1) область редактирования *Editing Area* и 2) график *Plot* (рис. 21).

В области редактирования в верхней части диалогового окна перечислены элементы нефтяной системы (горные породы) и процессы (образование ловушек, генерация/миграция/накопление и т.д.).

Когда элемент нефтяной системы был введен в столбец *PSE* основной входной таблицы *Main input*, соответствующие периоды осадконакопления отображаются в полях *From [Ma]* («от» – время начала осадконакопления, млн. лет) и *To [Ma]* («до» – время завершения осадконакопления, млн лет). Когда в системе нет соответствующей записи в основной таблице ввода поля *From [Ma]* и *To [Ma]* содержат “0”.

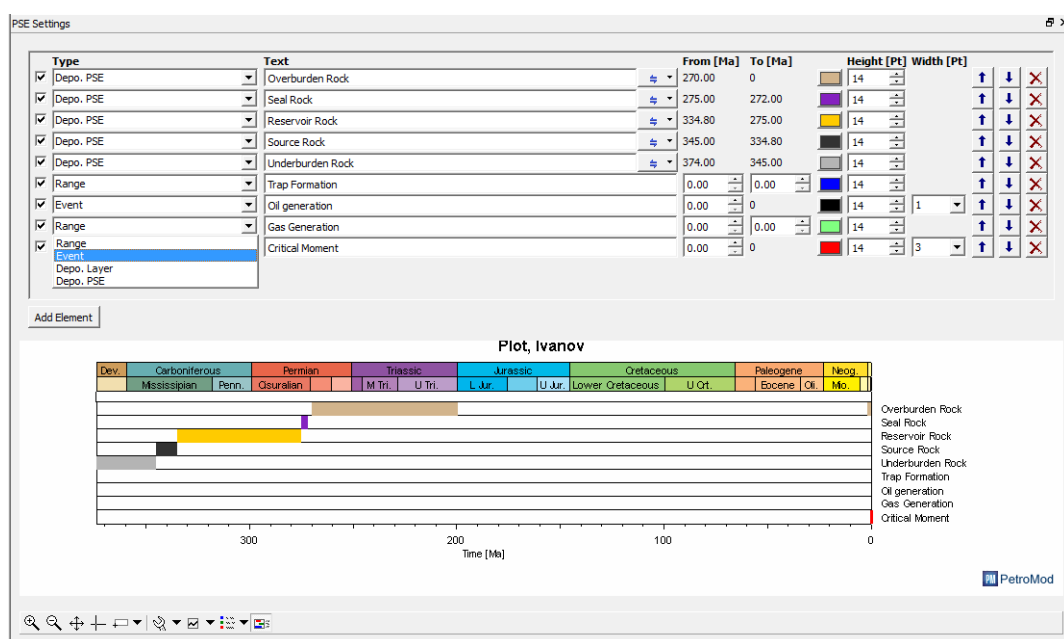


Рис. 21. Диалоговое окно *PSE Settings*

График, так называемая диаграмма событий, дает обзор временных взаимосвязей между элементами и процессами нефтяной системы и позволяет сразу увидеть, позволяет ли эволюция бассейна сформировать нефтяную систему. Он представляет собой графическое представление информации в области редактирования и автоматически обновляется всякий раз, когда вы меняете информацию в области редактирования.

Элементы и процессы можно переместить, удалить или добавить с помощью кнопок в области редактирования.

Возраст отложений для горных пород автоматически загружается из основной таблицы *Main input*.

Время и продолжительность формирования ловушки, а также генерации, миграции, аккумуляции и консервации углеводородов вводятся вручную в режиме редактирования, как и критический момент. Поэтому к редактированию диаграммы событий нефтяной системы необходимо вернуться после моделирования и калибровки.

**ЗАДАНИЕ: проверьте элементы нефтяной системы.**

## РАСЧЕТ МОДЕЛИ

Используйте параметры симулятора, чтобы проверить и настроить настройки перед созданием расчетом моделей:

- 1) выберите модели на панели *Model*;
- 2) откройте панель *Simulation* и нажмите *Simulator Options*. В главной области откроется диалоговое окно параметров симулятора;
- 3) в диалоговом окне *Simulator Options* (рис. 22) отображаются настройки по умолчанию.

Опции симулятора считаются частью модели. После внесения изменений в настройки, не забудьте сохранить модель. В противном случае изменения будут потеряны при следующем закрытии PetroMod 1D.

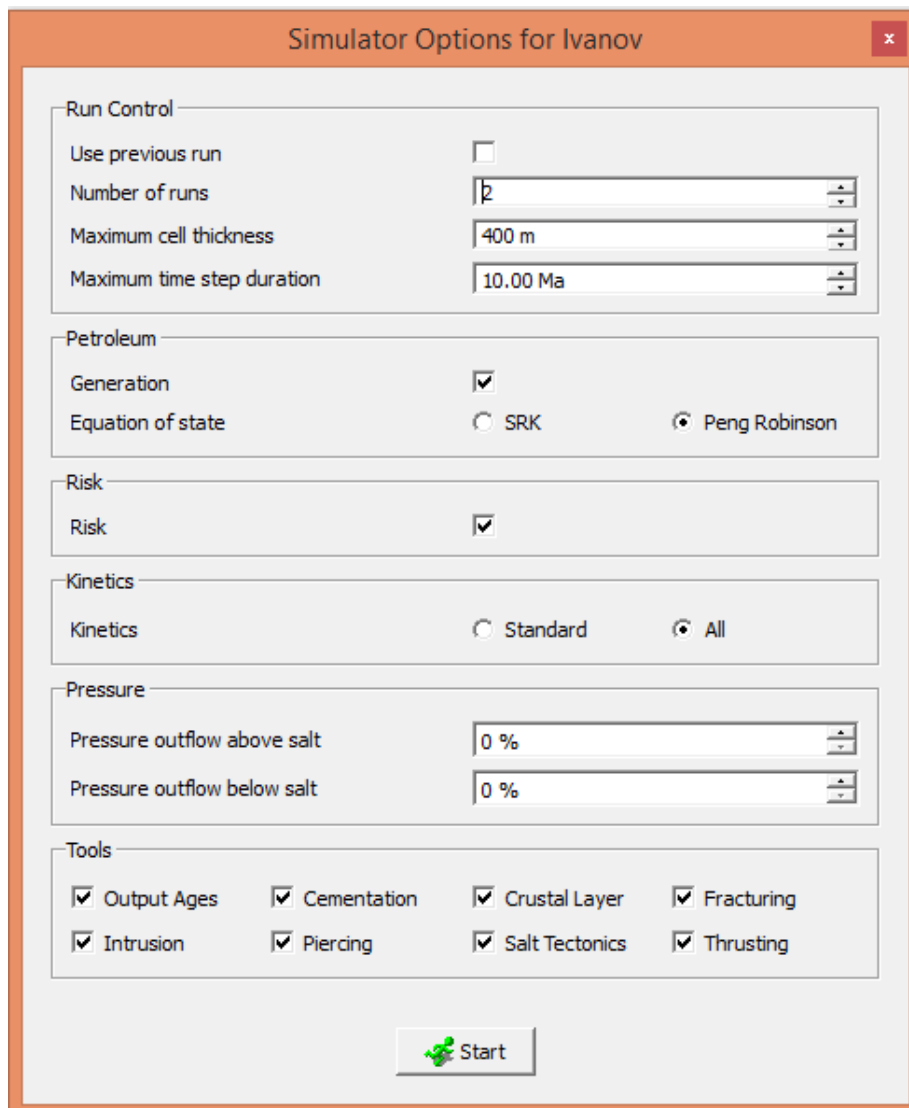


Рис. 22. Диалоговое окно *Simulator Options*

Настройки симулятора включают в себя управление запуском *Run Control*:

– *Use previous run*: установите этот флажок, чтобы использовать геометрии из предыдущих запусков для следующего моделирования.

– *Number of runs*: после запуска симуляции журнал симулятора содержит значение под названием “*Optimization*”. Это значение представляет собой относительную разницу между толщиной входного слоя и расчетными значениями после прямого моделирования. *Optimization* < 0,1 % является оптимальной. Если значение > 0,1 % можно улучшить результат, установив большее количество запусков моделирования.

– *Maximum cell thickness*: слои делятся на ячейки. Если модель состоит из слоев очень большой толщины, которые не нужно моделировать в мельчайших деталях, вы можете увеличить максимальную толщину ячейки, чтобы минимизировать время расчета и количество элементов.

– *Maximum time step duration*: события подразделяются на временные шаги. Каждый временной шаг представляет собой геологический промежуток времени для одного расчета температуры или давления, а также других расчетов. Уменьшение длительности временного шага повышает детализацию результатов, но увеличивает время моделирования.

После проверки и изменения параметров расчета в *Simulator Options* модели нажмите кнопку **Start Run simulation**. Эту же кнопку можно найти в меню.

### **Задание:**

- 1) откройте настройки симулятора;**
- 2) по заданию преподавателя измените необходимые настройки или оставьте все установки по умолчанию;**
- 3) нажмите кнопку Start.**

## РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Как только начинается симуляция, основная область переходит в *Simulator Log*, который показывает ход моделирования. Весь журнал сохраняется и может быть извлечен в любое время, пока он не будет заменен журналом другого моделирования, выполненного для этой же модели. Используйте *Simulator Log*, чтобы проверить значение оптимизации, которое должно быть меньше 0,1 %. Если он превышает 0,1 %, проверьте параметры модели и запустите еще один расчет.

PetroMod 1D позволяет сравнивать модели и данные, готовить графики для презентаций, отмечать данные на графиках, упорядочивать графики и т.д. Вы можете использовать контекстные меню и панели инструментов для организации и настройки отображения.

На панели вывода *Output* перечислены все доступные графики в виде древовидной структуры.

Графики сортируются на:

- 1) графики по умолчанию;
- 2) графики, прикрепленные к области визуализации, которые уменьшаются, чтобы уместиться в рабочем окне при открытии новых графиков,
- 3) миниатюры.

Все результаты моделирования делятся на три группы:

- 1) графики изменения параметров с глубиной,
- 2) графики изменения параметров в течение геологического времени,
- 3) графики погружения.

Пользователи могут добавлять новые папки, удалять папки и изменять порядок отображения папок в списке.

При каждом моделировании папки и графики на панели вывода перезаписываются. Необходимо сохранение графиков для получения информации о сохранении графиков перед запуском нового моделирования.



## Открытие и просмотр графиков

Открыть графики можно таким же образом, как и другие элементы на панели, – необходимо выбрать график или установить напротив него флажок на панели *Output* (рис. 23).

Закрывать график можно, щелкнув крестик в правом верхнем углу окна или сняв соответствующий флажок на панели вывода.

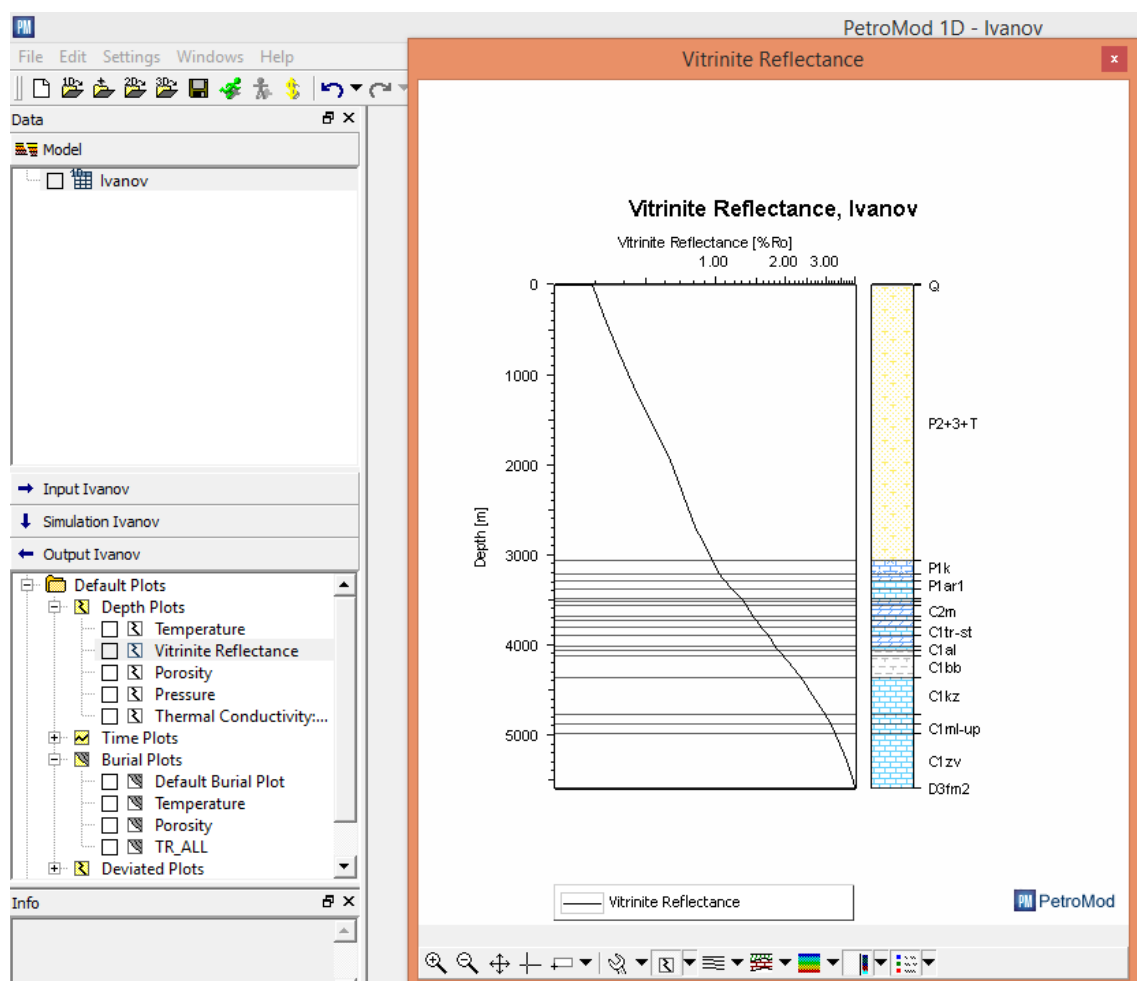


Рис. 23. Вывод результатов моделирования

## Редактирование графиков

В нижней части каждого открытого графика размещена локальная панель инструментов, которая используется для настройки внешнего вида графиков, а также для добавления и изменения информации на графике, например, кривых, заливок, фонового слоя и т.д.

На панели инструментов размещены следующие инструменты (рис. 24):



Рис. 24. Панель инструментов

– *Zoom in*: при увеличении масштаба курсор превратится в перекрестие. Чтобы увеличить прямоугольную область, щелкните на графике, удерживайте кнопку и переместите курсор, чтобы нарисовать прямоугольник в нужном месте;

– *Zoom out*: уменьшение масштаба возвращает к исходному размеру;

– *Panning*: инструмент панорамирования полезен после увеличения масштаба. Курсор в виде руки перемещает график. Перетащите график с помощью мыши в рамку аннотации. Чтобы вернуться к исходному виду, нажмите кнопку уменьшения масштаба;

– *Locator*: нажмите эту кнопку и переместите курсор по графику, чтобы определить точное положение значения;

– *Label*: нажмите эту кнопку, затем щелкните в любом месте графика, чтобы разместить метку с соответствующими значениями параметров. После изменения настроек метки автоматически обновятся. Инструмент позволяет также скрывать или удалять метки;

– *Options*: настройка параметров осей. Чтобы открыть диалоговое окно *Options* нужно щелкнуть по кнопке в виде ключа. Для настройки диапазонов осей графиков кликните кнопку в виде стрелки вниз;

– *Curve*: измените цвет и стиль кривых и добавьте кривые на график. Вы можете отображать столько кривых, сколько необходимо;

– *Horizons*: скрывает/показывает горизонты и подгоризонты, а также изменяет цвет и стиль;

– *Show/Hide Lithology Pattern*: скрывает или показывает литологию, изменяет цвет и непрозрачность;

– *Overlay*: скрывает или показывает заливку и изменяет её;

- *Show/Hide Strat. Column*: скрывает или показывает стратиграфическую колонку, изменяет рисунок и заливку;
- *Legend*: скрывает или показывает и редактирует отображение легенды;
- *Show/Hide PSE*: скрывает или показывает элементы и процессы нефтяной системы в виде диаграммы событий, которая появляется под графиком.

При щелчке правой кнопкой мыши на графике открывается контекстное меню графика – ещё один способ доступа к функциям на панели инструментов. А контекстное меню панели вывода доступно при щелчке правой кнопкой мыши на панели *Output*.

Альтернативный способ доступа к функциям, расположенным на панели инструментов, – окно параметров для настройки параметров графиков (рис. 25) – изменения аннотаций осей, настройки слоев и т.д.

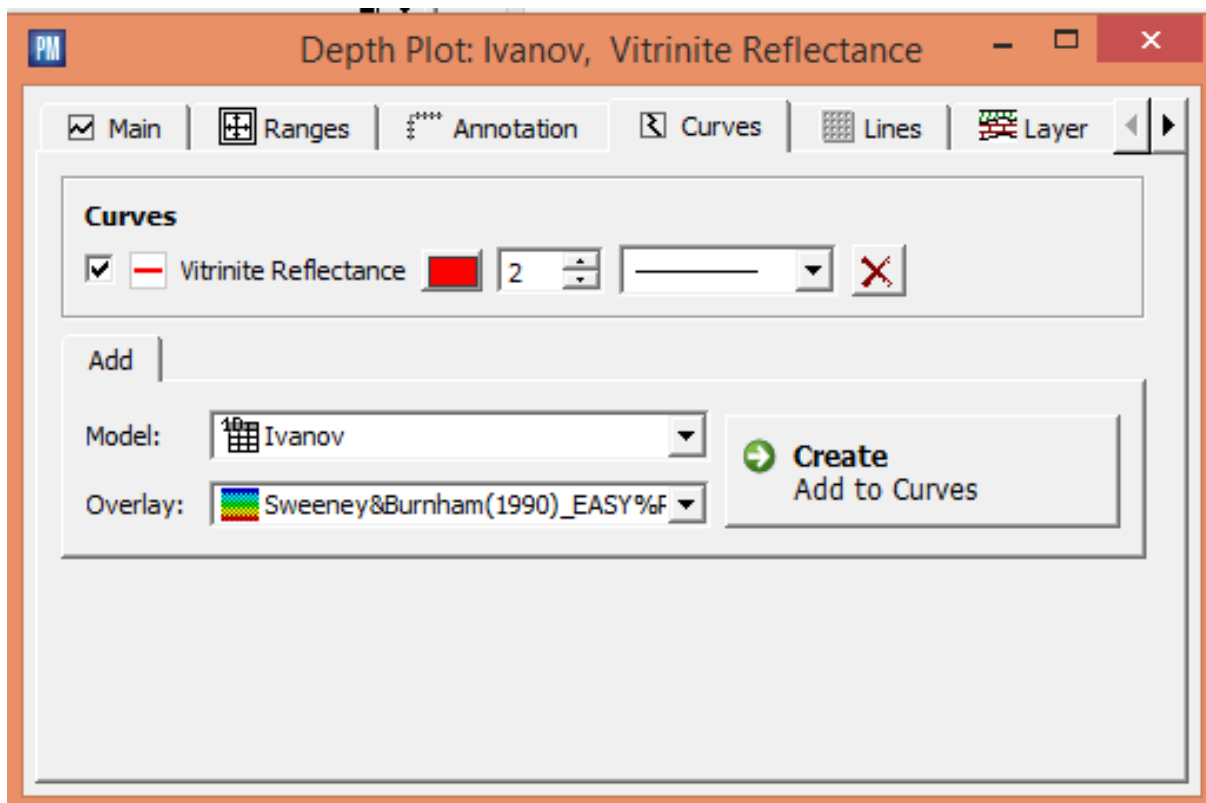


Рис. 25. Диалоговое окно настройки графиков

Его можно открыть четырьмя различными способами: 1) выберите *Options...* в контекстном меню панели вывода; 2) дважды щелкните в области оси графика; 3) щелкните правой кнопкой мыши на графике и выберите пункт *Options...* в контекстном меню; 4) нажмите кнопку *Options* на панели инструментов *Plot Toolbar*.

Диалоговое окно состоит из 9 вкладок, которые используются для изменения соответствующих параметров построения:

- *Main* – основная настройка названия и т.д.;
- *Ranges* – диапазоны, настройка осей;
- *Annotation* – аннотации;
- *Curves* – кривые, их создание и настройка;
- *Lines* – изолинии, их создание и настройка;
- *Layer* – слой, настройка отображения горизонтов и подгоризонтов;
- *Overlay* – наложение, создание и настройка заливок;
- *Legend* – легенда, её настройка;
- *Labels* – метки (ярлыки), их создание и настройка.

По умолчанию заголовок графика состоит из названия графика и названия модели. Для его изменения:

1) дважды щелкните на графике, чтобы открыть диалоговое окно *Plot Options*. Выберите главную вкладку *Main*;

2) PetroMod предоставляет ряд ключевых слов или переменных, которые можно использовать для настройки названий графиков. Вы можете ввести свой собственный текст или комбинировать его с ключевыми словами, чтобы создавать свои собственные заголовки;

3) добавьте текст, введя его непосредственно в поле заголовка;

4) закройте окно.

Логотип *PetroMod* автоматически появляется на всех графиках. Вы можете удалить его в этой же вкладке *Main*, сняв флажок.

Вы можете настроить диапазон осей для каждого графика (рис. 26):

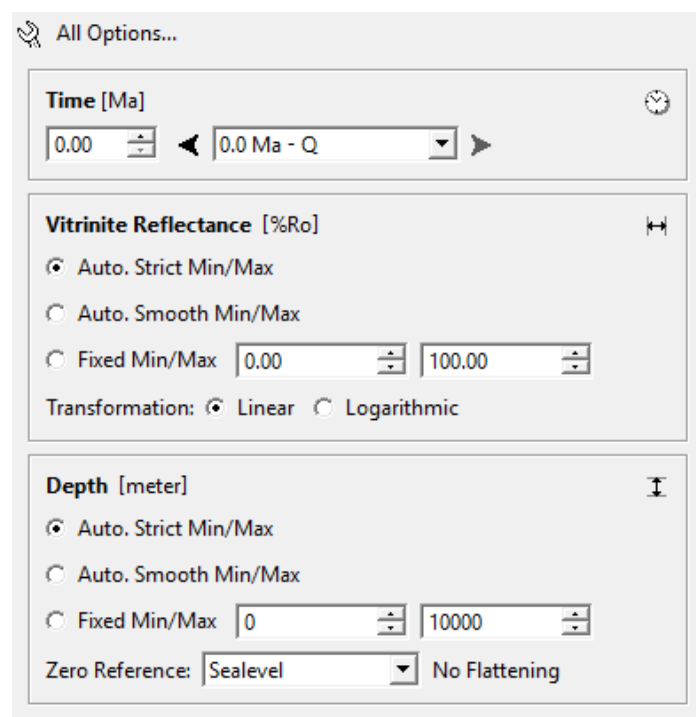


Рис. 26. Диалоговое окно *All Options*

1) дважды щелкните по графику, чтобы открыть диалоговое окно *Plot Options*;

2) выберите вкладку *Ranges*;

– *Auto. Strict Min/Max* настраивает оси в соответствии с диапазоном графика;

– *Auto. Smooth Min/Max* позволяет изменять диапазон осей в соответствии с округленными числами;

– *Fixed Min/Max* позволяют пользователям определять диапазон осей;

– *Linear / Logarithmic* переключает отображение между линейными и логарифмическими значениями. Определенные параметры, например коэффициент отражения витринита, часто представляются в виде логарифмических значений;

*Zero Reference* позволяет установить нулевую глубину либо на уровне моря, либо на поверхности отложений, либо в верхней части слоя. Для “верхнего слоя” нужно либо ввести соответствующий слой или выбрать его из выпадающего списка:

Для каждого графика можно выбрать отображение/скрытие названия каждой оси, а также настроить толщину и цвета осевых линий и т.д.:

1) дважды щелкните по графику, чтобы открыть диалоговое окно *Plot Options*;

2) выберите вкладку *Annotation*.

Вложенная вкладка *Layer* предназначена для включения/выключения названий слоев и для изменения шрифта названий слоев на графике.

Отрегулируйте отображение кривых, добавляйте и удаляйте кривые с помощью инструмента *Curves* (рис. 27) и диалогового окна (рис. 28):

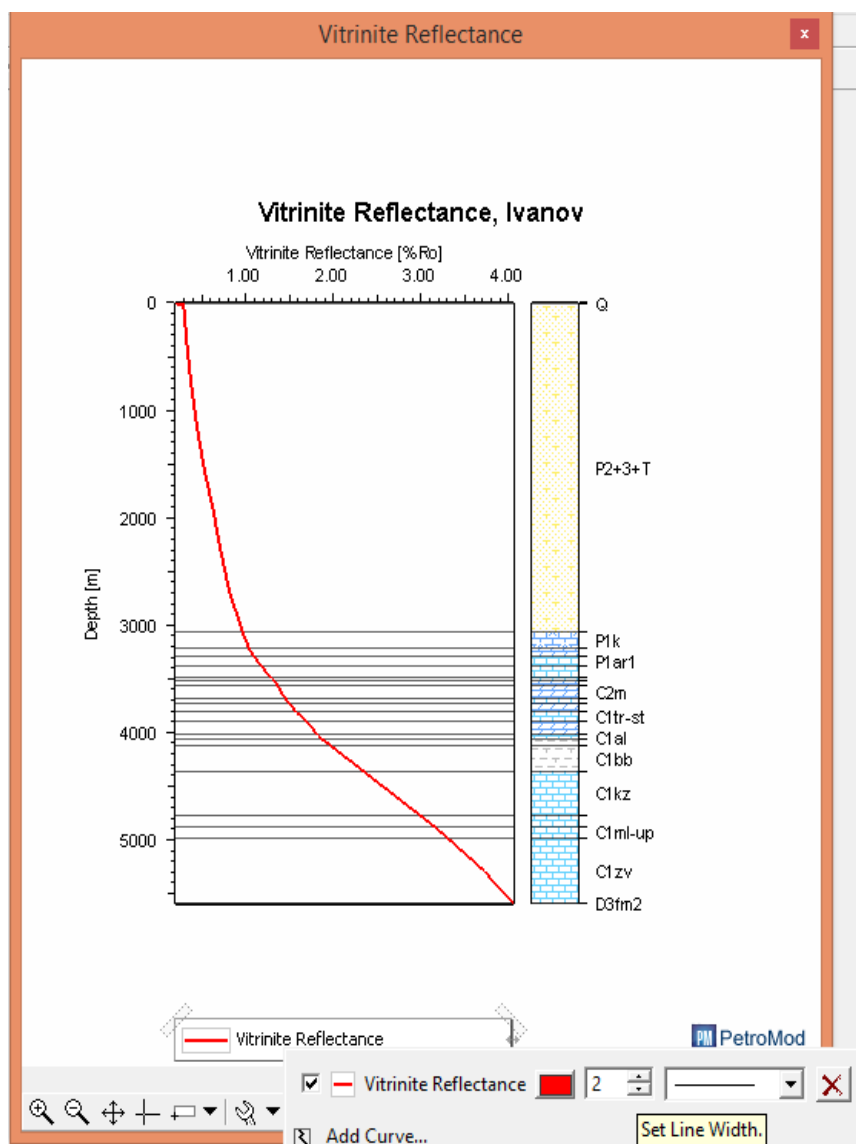


Рис. 27. Инструмент *Curves*

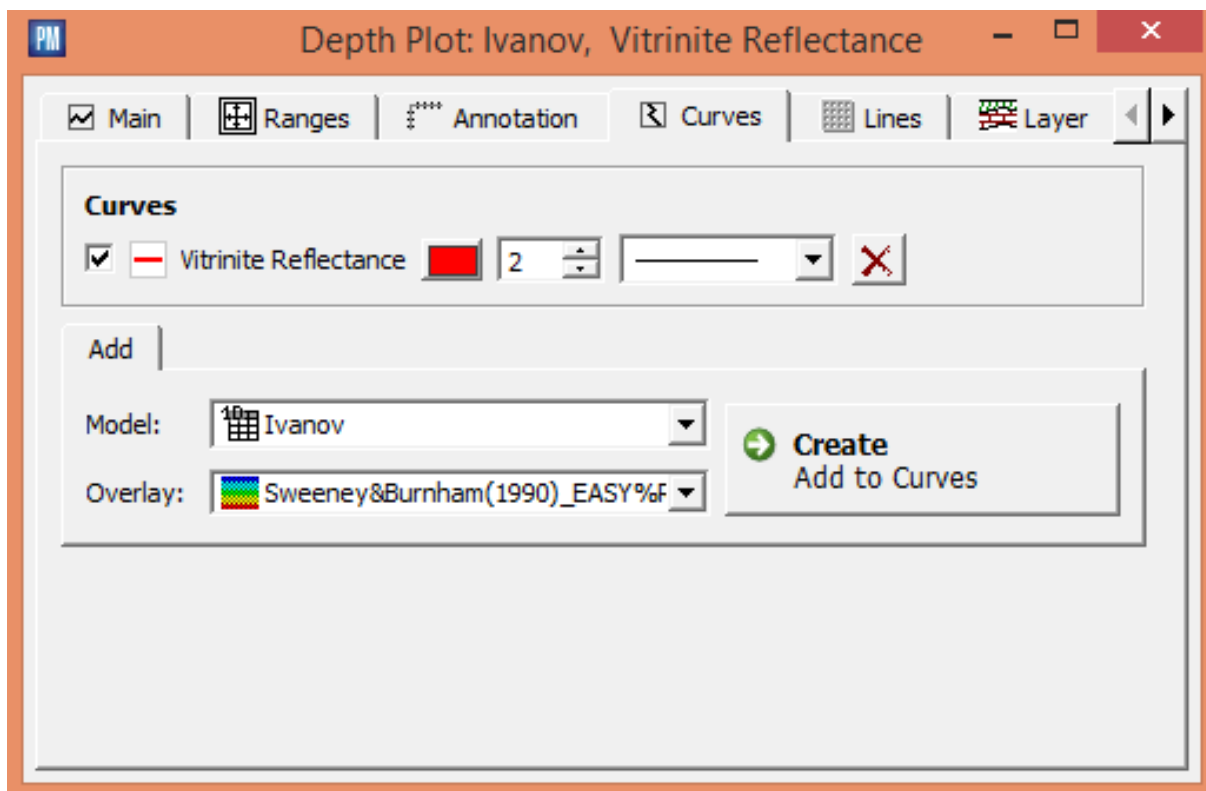


Рис. 28. Вкладка *Curves*

1) дважды щелкните по графику, чтобы открыть диалоговое окно *Plot Options*. Выберите вкладку *Curves*;

2) используйте вкладку *Curves*, чтобы настроить графический вид кривых и добавить новые кривые на модель.

Вы можете применить изменения либо ко всем кривым на графике, либо к отдельным кривым: включить или выключить кривую, изменить название, цвет, толщину линии, выбрать стиль или удалить кривую с графика.

Для добавления кривых используйте вкладку *Add* (рис. 29) в нижней части диалогового окна. Чтобы добавить кривые на график:

1) выберите модель;

2) выберите параметр, который должен быть изображен на графике, из выпадающего списка;

3) нажмите кнопку **Create**, чтобы добавить кривую (рис. 30).

Для добавления изолиний к графикам дважды щелкните по графику, чтобы открыть диалоговое окно *Plot Options*, и выберите вкладку *Lines*.

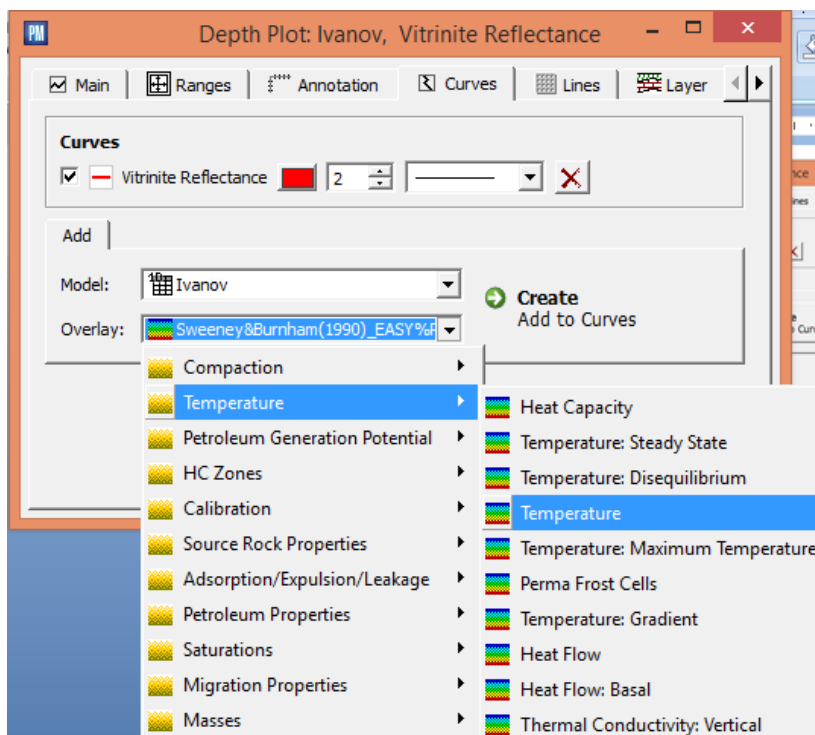


Рис. 29. Выбор параметра для вывод на график

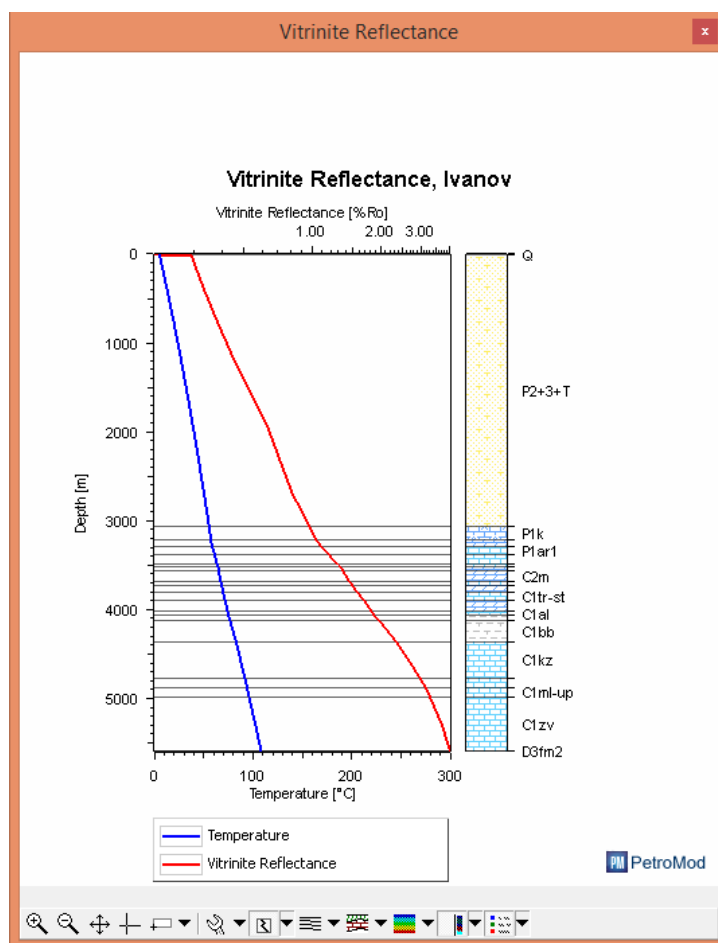


Рис. 30. Добавленная кривая на графике



Вкладка *Lines* предназначена для добавления изолиний к графику. Они отображаются в верхней части вкладки. Нижняя часть вкладки содержит две вложенные вкладки для добавления изолиний – *Add* и *Expert Add*.

Первая (рис. 31) используется для быстрого добавления изолиний на график:

- 1) выберите координату из выпадающего списка. Это определяет ось, на которой будут нарисованы линии;
- 2) нажмите кнопку **Create**, чтобы добавить линии к графику.

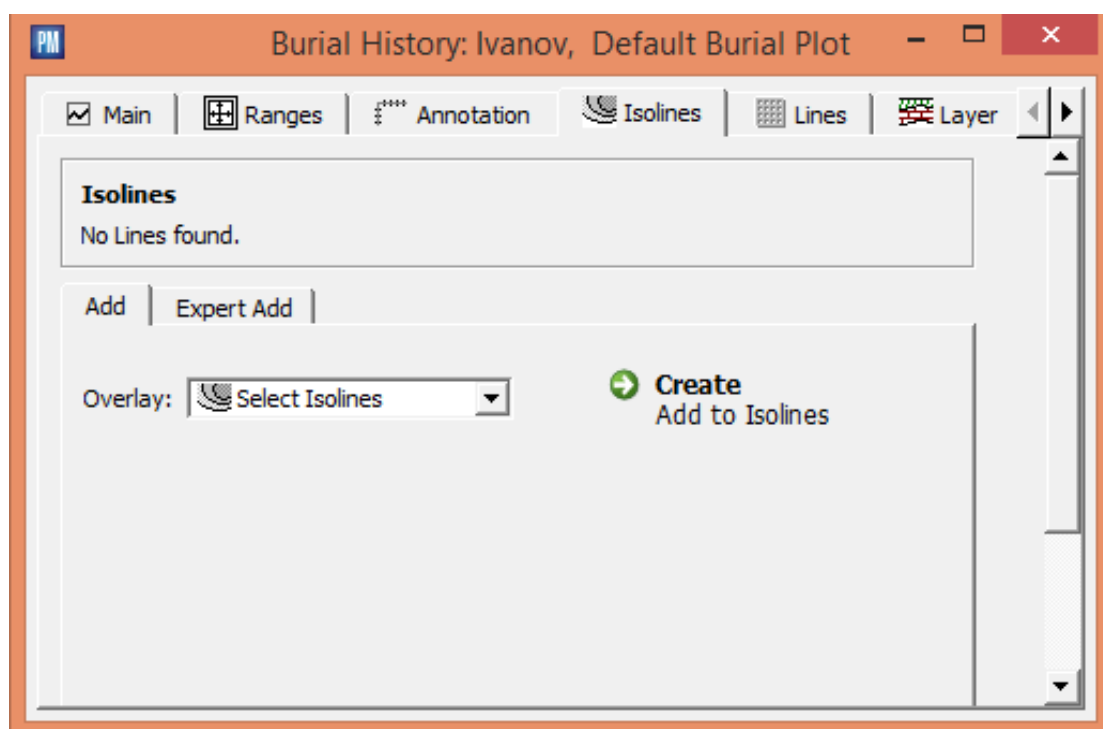


Рис. 31. Простое добавление изолинии

Вкладка *Expert Add* (рис. 32) позволяет определить опции для настройки отображения изолиний на график:

- 1) выберите параметр из выпадающего списка *Overlay*;
- 2) выберите либо автоматические значения (*Automatic Values*), значения через сечение (*Values by Delta*), либо значения вручную (*Manual values*);
- 3) нажмите на кнопку **Create**, чтобы добавить линии к графику (рис. 33).

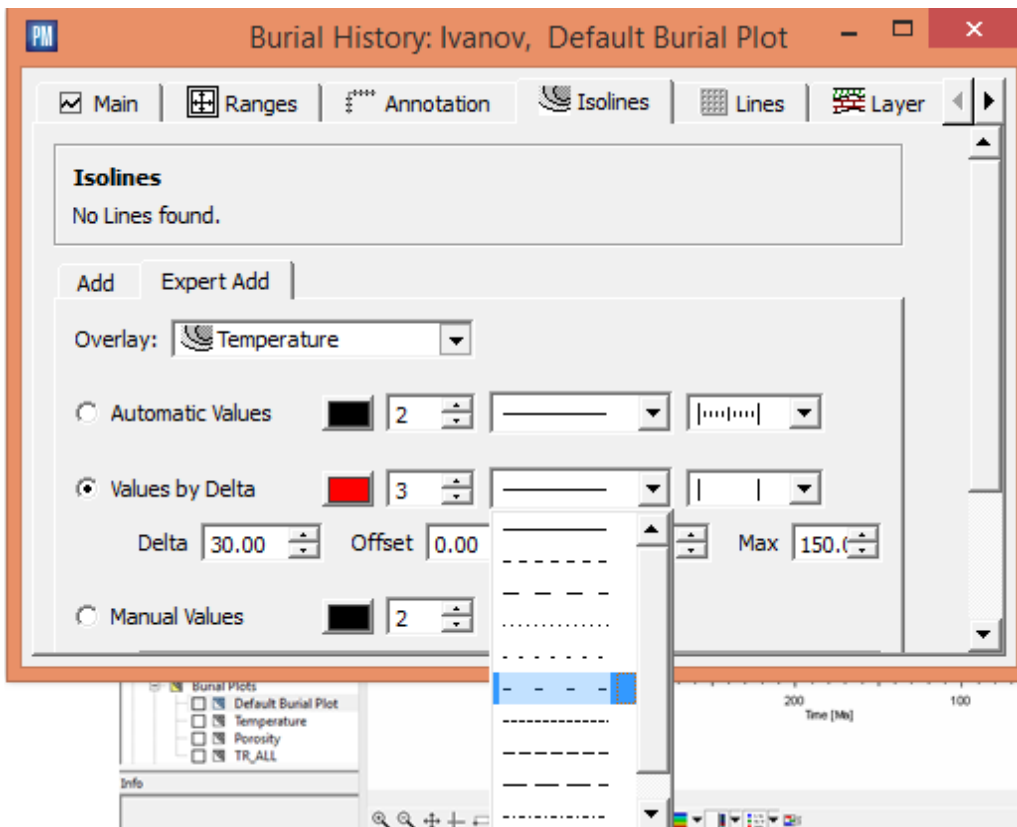


Рис. 32. «Экспертное» добавление изолиний

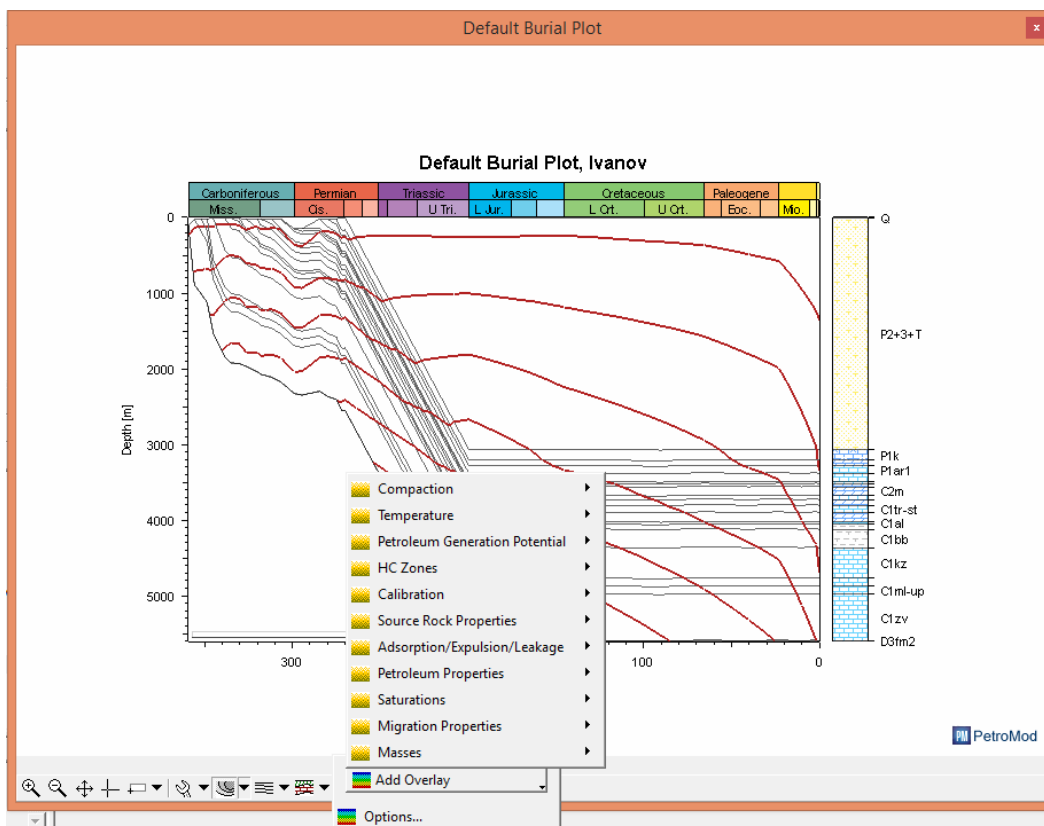


Рис. 33. Палеоизотермы через каждые 30 °С, построенные с помощью *Expert Add*

Для редактирования информации о слое:

1) дважды щелкните на графике, чтобы открыть диалоговое окно *Plot Options*. Выберите вкладку *Layer*;

2) используйте вкладку *Layer*, чтобы изменить способ отображения слоев на графике:

– *Horizons* и *Subhorizons* – включение или выключение горизонтов и субгоризонтов, изменение цвета, толщины линий и стиля;

– *Pattern* – включение или выключение литологического шаблона.

Есть два варианта настройки цветов:

1) нажмите левый переключатель, чтобы использовать однородный цвет, определите цвет, щелкнув значок цвета, или

2) нажмите правый переключатель, чтобы использовать цвета, определенные в редакторе литологии. С помощью второго параметра также можно настроить непрозрачность узора.

Для добавления цветной заливки:

1) дважды щелкните на графике, чтобы открыть диалоговое окно *Plot Options*;

2) выберите вкладку *Overlay* или нажмите на одноименную кнопку на панели инструментов;

3) используйте вкладку *Overlay*, чтобы добавить заливку на график и настроить цветовую схему, диапазон и видимые значения отображаемых в данный момент заливок.

При первом открытии вкладки никакие заливки отображаться не будут. Для создания заливки (рис. 34–36):

1) нажмите кнопку **Add Overlay**;

2) выберите заливку из выпадающего списка;

3) заливка появится на графике. Название заливки будет указано в верхней части вкладки *Overlay*, и появятся параметры цветовой схемы.

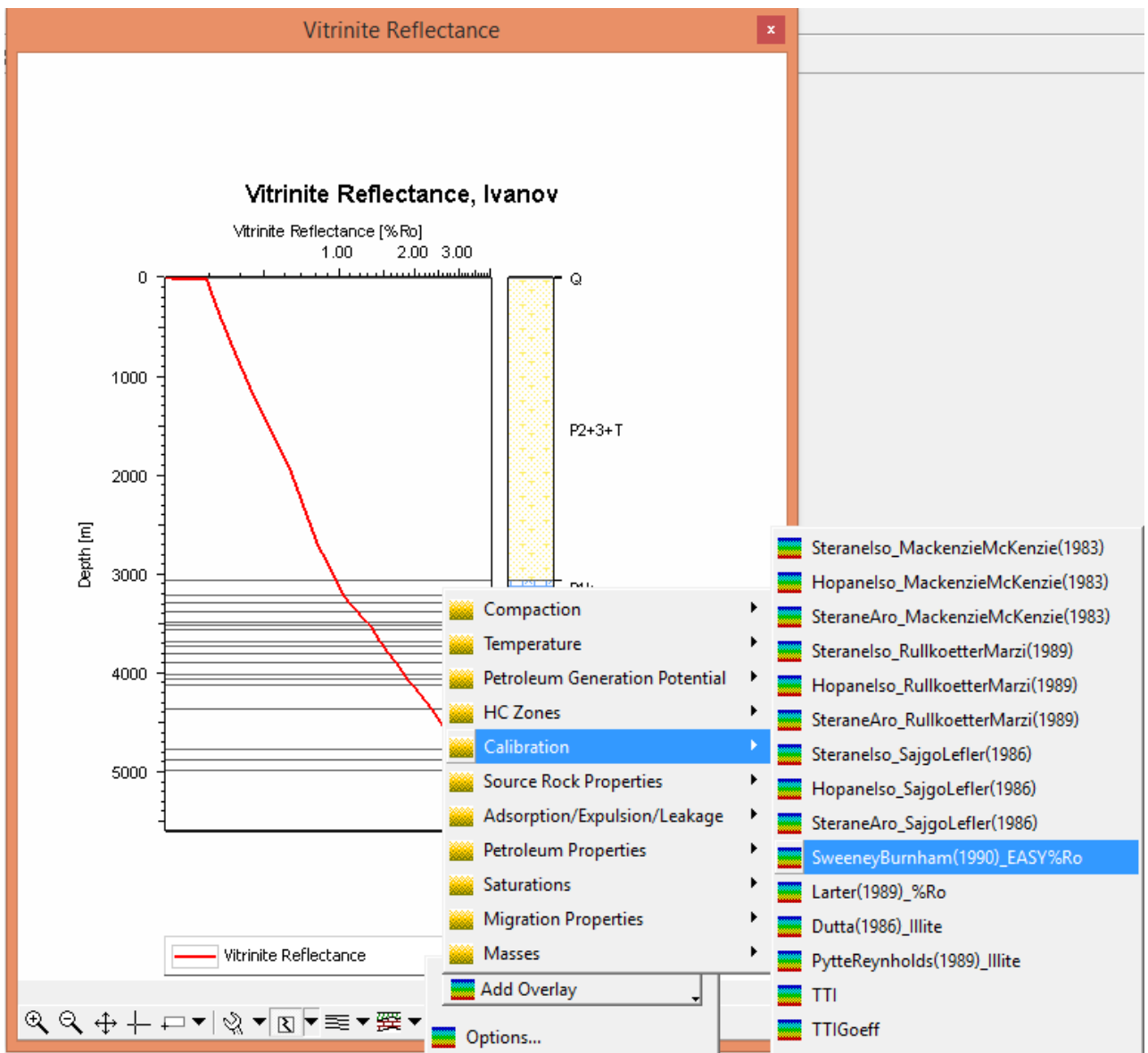


Рис. 34. Наложение заливки на график с помощью инструмента

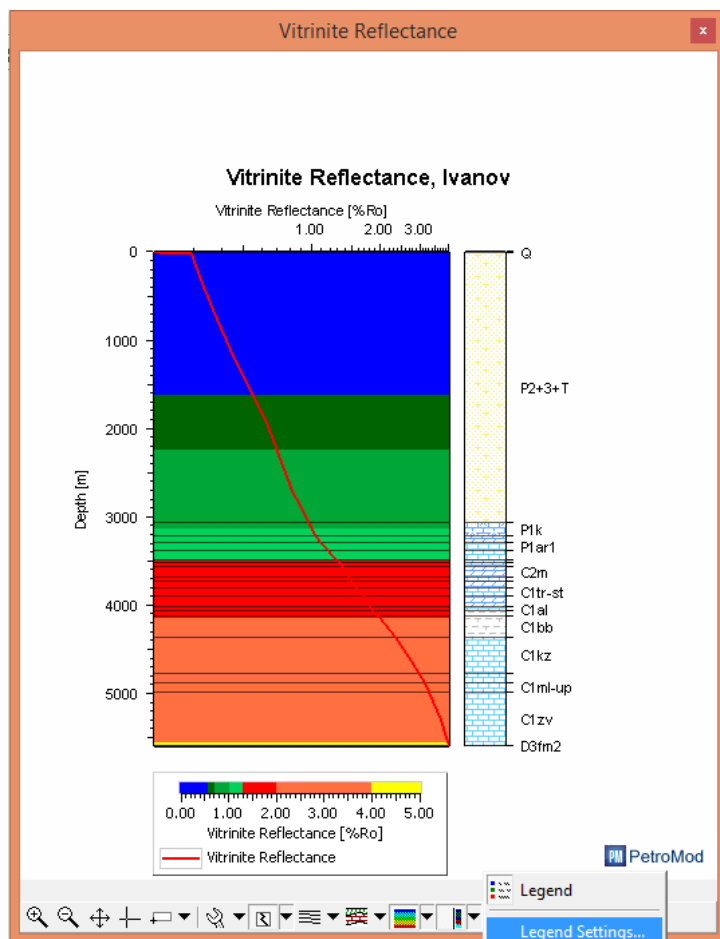


Рис. 35. Наложенная на график заливка

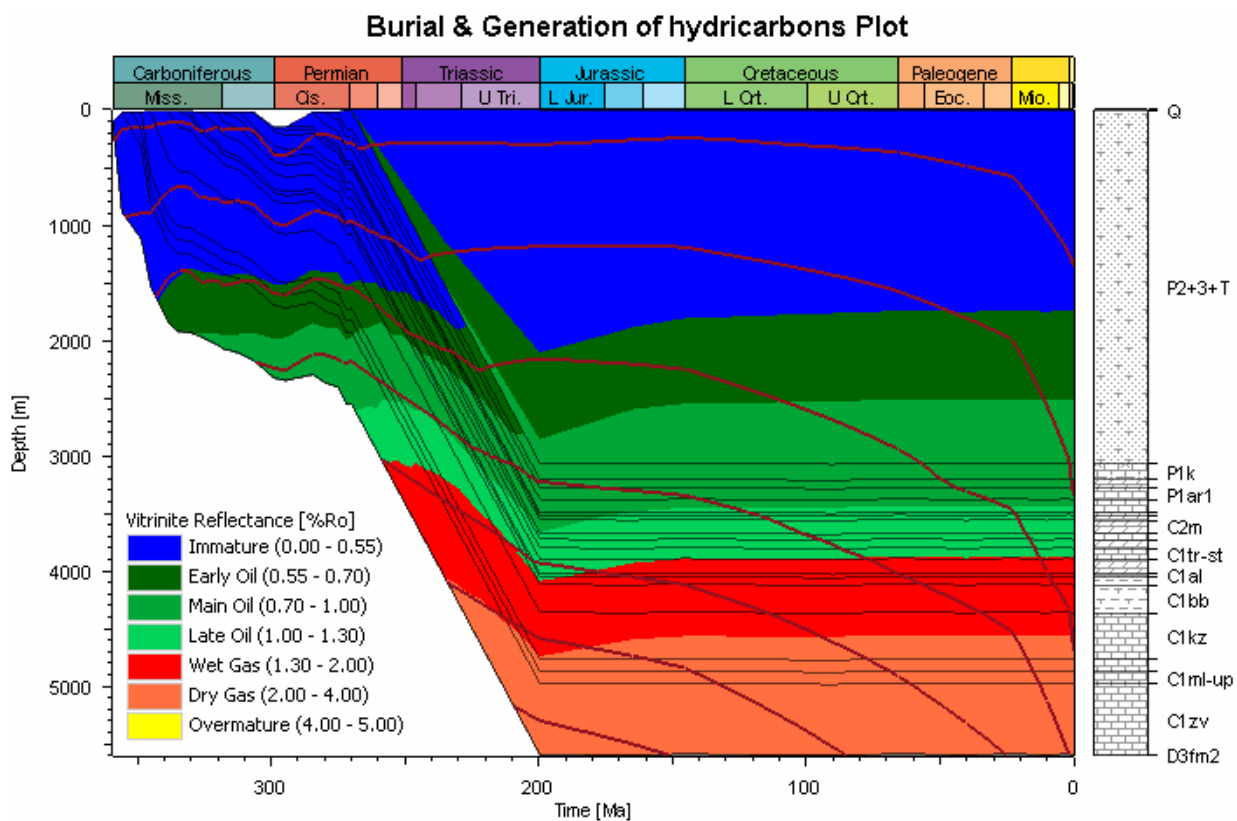


Рис. 36. Наложенная на график заливка

Заливку можно также добавить с помощью диалогового окна и одноименной вкладки (рис. 37).

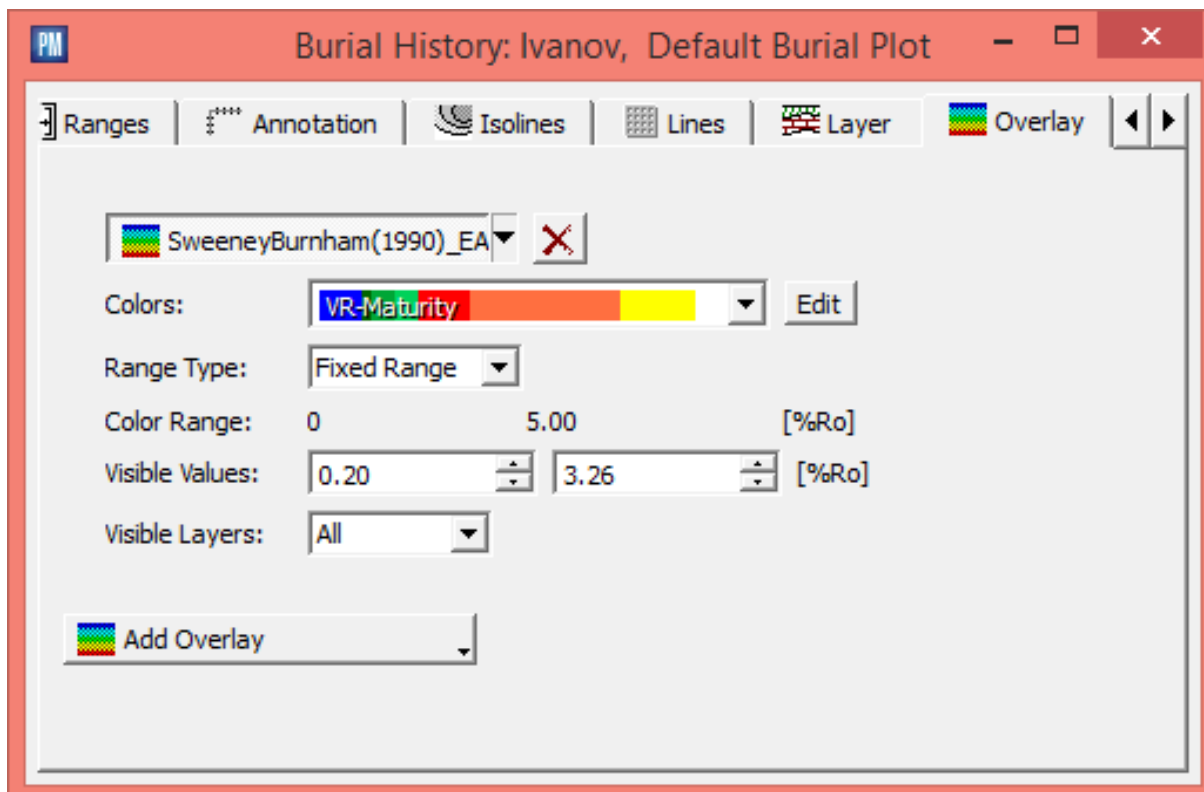


Рис. 37. Диалоговое окно настройки заливок

Заливке будет присвоена цветовая схема по умолчанию. При этом цветовую схему можно отредактировать или создать новую.

Для создания комбинированных заливок:

- 1) на вкладке *Overlay* щелкните стрелку вниз рядом с текущим наложением и нажмите *Create combined overlays*;
- 2) откроется диалоговое окно *Overlay*;
- 3) выберите элемент в каждом столбце;
- 4) нажмите кнопку **Create**;
- 5) наложение будет применено и добавлено в список заливок в выпадающем списке *Overlay*.

Также можно редактировать цветовые схемы заливок – цветовой градиент *RGB* (красный, зеленый, синий) или *HSV* (оттенок, насыщенность, значение). Они состоят из ячеек, построенных вокруг ряда

“опорных точек”. Задавая цвета слева и справа от каждой опорной точки, можно создавать и редактировать цветовые схемы (рис. 38):

1) выберите цветовую схему из дерева цветовых схем. Она станет активной цветовой схемой и будет загружена в область редактирования, которая содержит две вкладки редактирования: вкладку *Colors* и вкладку *Interval Names*;

2) вкладка *Colors* позволяет редактировать активную цветовую схему;

3) необходимо выбрать тип значений, цветовую модель и режим ввода.

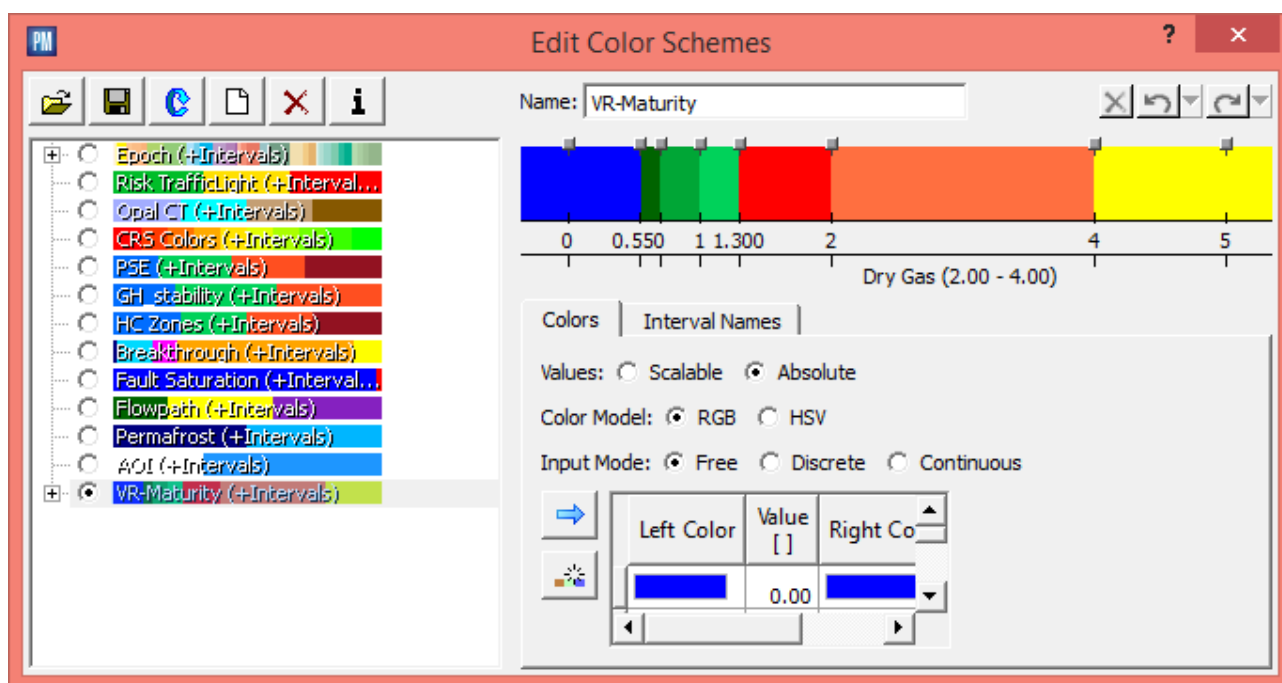


Рис. 38. Настройка цветовой схемы

Значения необходимо выбрать из двух вариантов:

– *scalable*: цвета масштабируются до минимального и максимального значений диапазона.

– *absolute*: цвета не масштабируются между значениями.

Затем выберите соответствующий переключатель, чтобы выбрать либо *RGB*, либо цветовую модель *HSV*. Цветовая модель влияет только на непрерывные цветовые схемы, поскольку она определяет, как цвета интерполируются между соседними опорными точками (в дискретных

цветовых схемах между любыми двумя соседними опорными точками находится только один цвет).

Режим ввода бывает двух типов:

*Discrete*: дискретная цветовая схема имеет один цвет в ячейке между двумя соседними опорными точками. Переход от одного цвета к другому достигается за счет установки разных цветов слева и справа от опорной точки. Таким образом, опорная точка отмечает границу между двумя разными цветами.

*Continuous*: при использовании непрерывных цветовых схем происходит постепенное изменение цвета по всему цветовому градиенту. Изменение цвета происходит в ячейке между двумя соседними опорными точками.

*Free*: используйте эту опцию для объединения дискретных и непрерывных элементов в единой цветовой гамме. Это важно, например, когда вам нужна более подробная информация для определенного диапазона значений, чем для остальной части карты.

Для изменения цвета дважды щелкните по правому или левому цвету в таблице и выберите новый цвет из палитры. Для дискретных и непрерывных цветовых схем вам нужно только изменить левый цвет. RetroMod автоматически обновляет нужный цвет.

Для изменения значений щелкните ячейку в столбце *Value* в таблице и введите новое значение или щелкните и перетащите опорную точку на цветовом градиенте.

Для добавления опорных точек: 1) щелкните правой кнопкой мыши ячейку в таблице и нажмите *Insert Row(s)* или 2) дважды щелкните по цветовому градиенту, чтобы добавить опорную точку.

Для удаления опорных точек: 1) выделите всю строку в таблице, а затем щелкните правой кнопкой мыши *Delete Row(s)* или 2) щелкните опорную точку на цветовом градиенте, а затем нажмите кнопку *Delete Point*, чтобы удалить её.



При создании или редактировании цветовой схемы изменения применяются только к текущему сеансу, если они не сохранены. Сохраненные цветовые схемы можно загрузить снова.

При сохранении цветовой схемы сохраняется все дерево цветowych схем. Сохраните цветовую схему либо в виде xml-файла, либо в качестве цветовой схемы по умолчанию для проекта:

1) нажмите кнопку **Save** в диалоговом окне *Edit Color Schemes*;

2) откроется диалоговое окно *Save color schemes to file*. Сохранение цветовой схемы в виде xml-файла позволяет вам повторно загрузить ее позже либо в тот же проект, либо в другой. Выберите путь и имя файла в диалоговом окне *Save color schemes to file* и нажмите **Save**;

*Select Project Default* запишет ваши изменения в colorschemes.xml файл. Этот файл используется PetroMod для сохранения и применения цветowych схем по умолчанию в рамках всего проекта. Новые цветовые схемы станут цветовыми схемами по умолчанию для проекта. Нажмите кнопку **Select Project Default**. Файл с именем color-scheme.xml появится в поле *File Name*.

3) нажмите кнопку **Save**, чтобы сохранить дерево цветовой схемы для всего проекта.

Для загрузки цветовой схемы:

1) нажмите на кнопку **Load** в диалоговом окне *Edit Color Schemes*;

2) откроется диалоговое окно *Open file with color schemes dialog*. По умолчанию PetroMod просматривает папку colors текущего проекта. При необходимости выберите другую папку;

3) затем выберите файл и нажмите кнопку **Open**, чтобы загрузить цветовые схемы.

Инструменты PetroMod позволяют также редактировать условные обозначения модели.

Условные обозначения можно переместить, перетаскив их курсором.

Также можно изменить настройки по умолчанию:

1) дважды щелкните по условному обозначению или нажмите на одноименный инструмент (рис. 39). Откроется диалоговое окно *Plot Options* на вкладке *Legend*;

2) используйте диалоговое окно (рис. 40), чтобы настроить способ отображения условных обозначений на графике. Можно настроить вид (рис. 41) и ширину, выравнивание, размер полей, цвет фона и эффект, а также цвет и шрифт текста. Также имеется флажок для включения/выключения отображения условных обозначений.

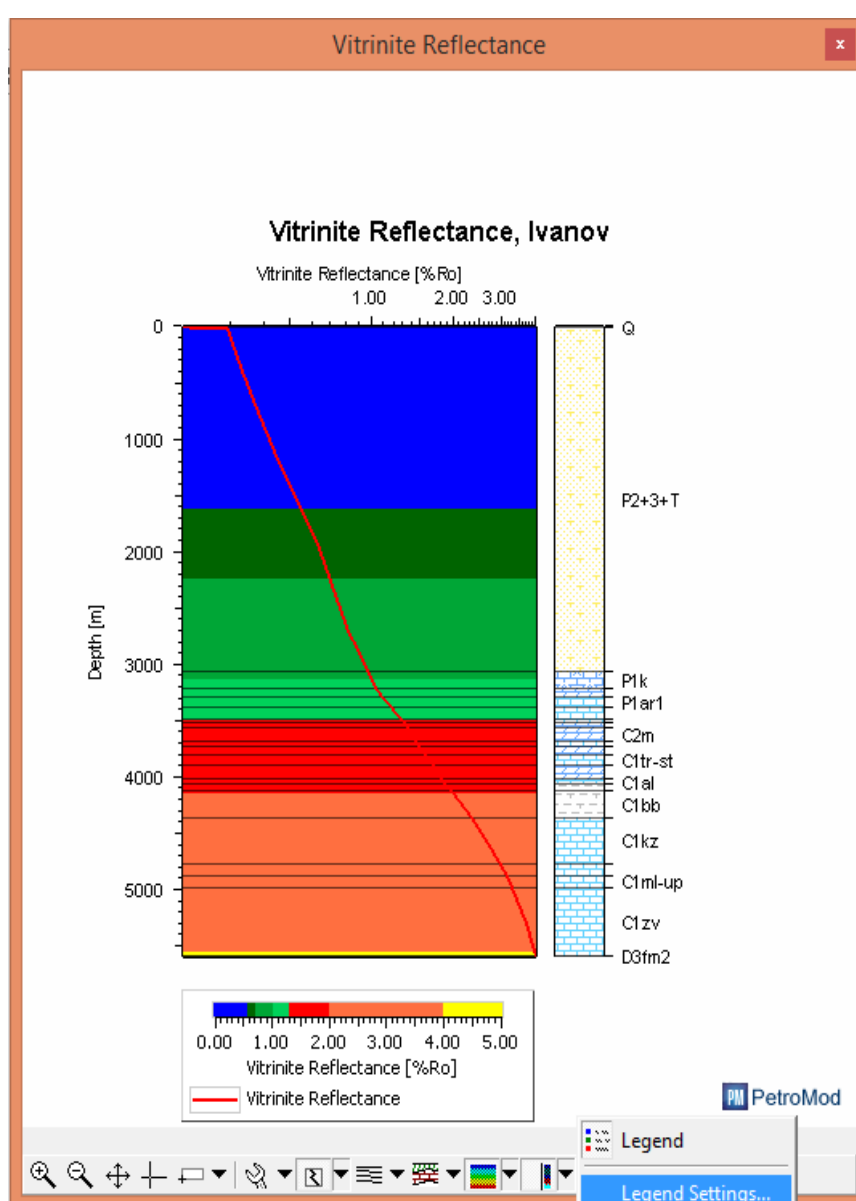


Рис. 39. Инструмент Legend

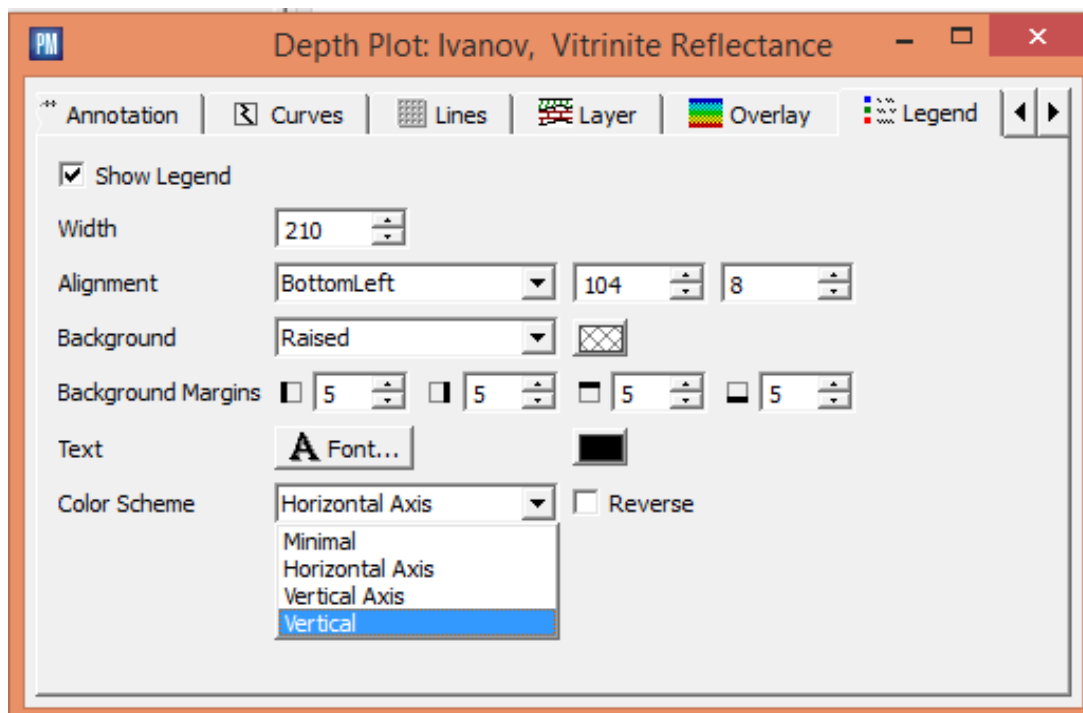


Рис. 40. Диалоговое окно

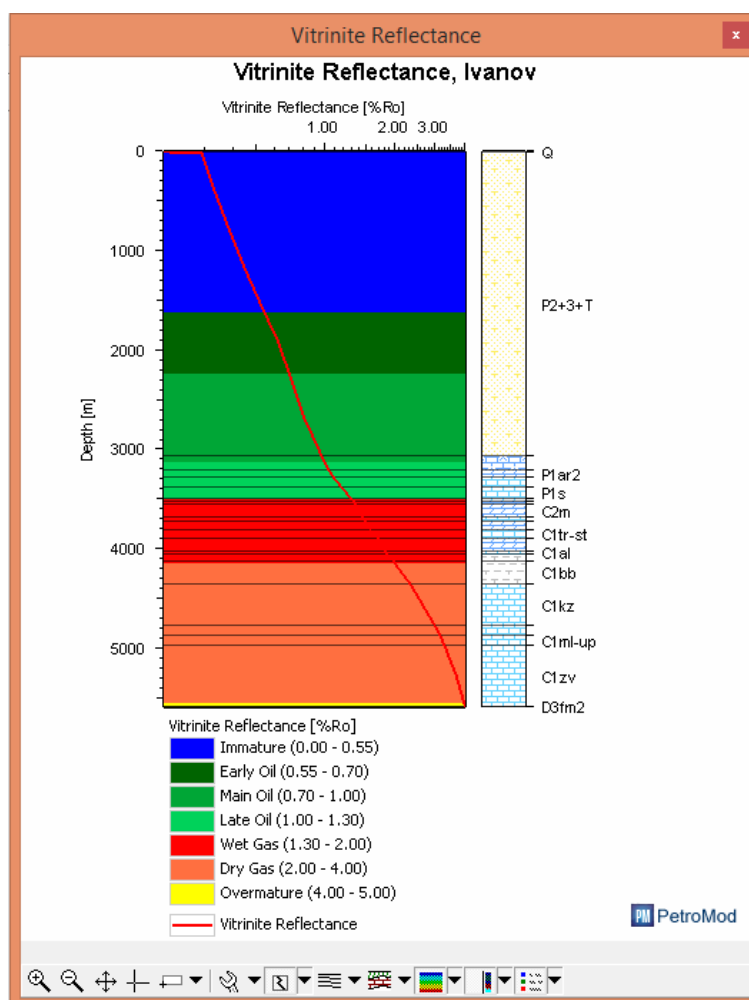


Рис. 41. Измененный с помощью настроек вид легенды

Как упоминалось ранее, к графику можно добавить метки. По умолчанию метки показывают значения X и Y в том месте, где они размещены, название слоя и значение параметра, изображенного с помощью заливки и/или изолиний. Когда вы меняете наложение, метки автоматически обновляются, чтобы отразить новые значения наложения.

Для добавления меток на график:

1) нажмите кнопку *Labels* на локальной панели инструментов графика (рис. 42);

2) курсор превратится в перекрестие, указывая на то, что включен режим метки. Щелкните в любом месте графика, чтобы поместить метку с соответствующими значениями отображенных на графиках параметров.

Режим обозначения меток остается активным до тех пор, пока вы снова не нажмете кнопку *Labels*.

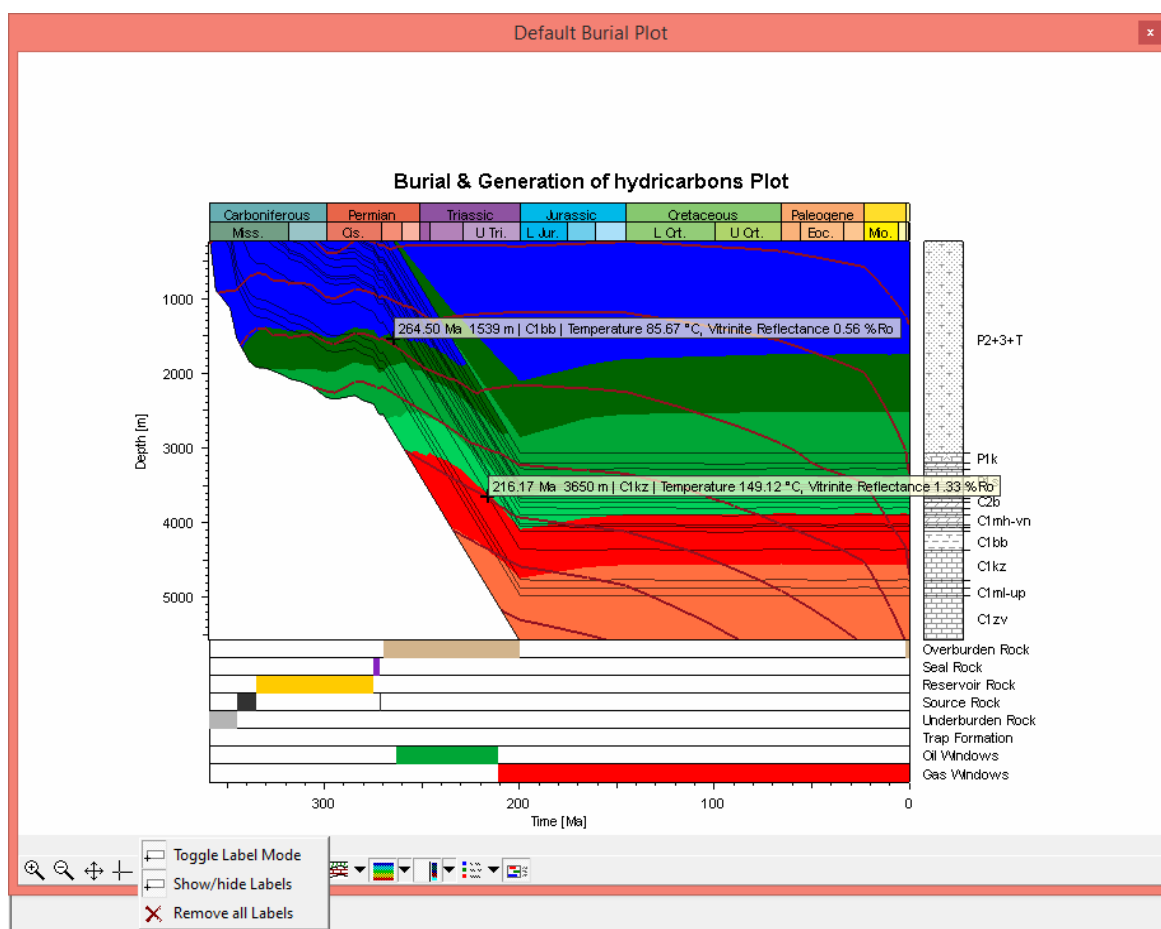


Рис. 42. Редактирование меток

Для редактирования меток:

1) дважды щелкните в любом месте графика, чтобы открыть диалоговое окно *Plot Options*;

2) перейдите на вкладку *Labels*, которая предлагает варианты изменения текста, шрифта, цвета фона и рамки для надписей. Щелкните по значкам, чтобы изменить соответствующие атрибуты (шрифт и цвета). Используйте кнопку **info**, чтобы выбрать новое ключевое слово для текста надписи. Вы также можете ввести в это поле свой собственный текст.

Для удаления отдельных меток:

1) включите кнопку **Labels** на локальной панели инструментов графика;

2) наведите курсор на крестик надписи (не на текст надписи). Когда крестик станет красным, нажмите среднюю кнопку мыши, чтобы удалить метку.

Для удаления всех меток щелкните стрелку вниз рядом со значком **Labels** на локальной панели инструментов графика и выберите *Remove all Labels*.

PetroMod 1D позволяет редактировать стратиграфическую колонку, для этого можно использовать как одноименный инструмент, так и диалоговое окно настроек:

1) откройте контекстное меню (рис. 43);

2) выберите *Strat. Column.*;

3) в диалоговом окне определите цвет крапа и заливки (рис. 44).

## Создание и сохранение новых графиков

Программа позволяет не только редактировать графики, но и создавать новые графики:

1) щелкните правой кнопкой мыши на папке графика и выберите *New [Folder Name] Plot*, затем укажите тип графика;

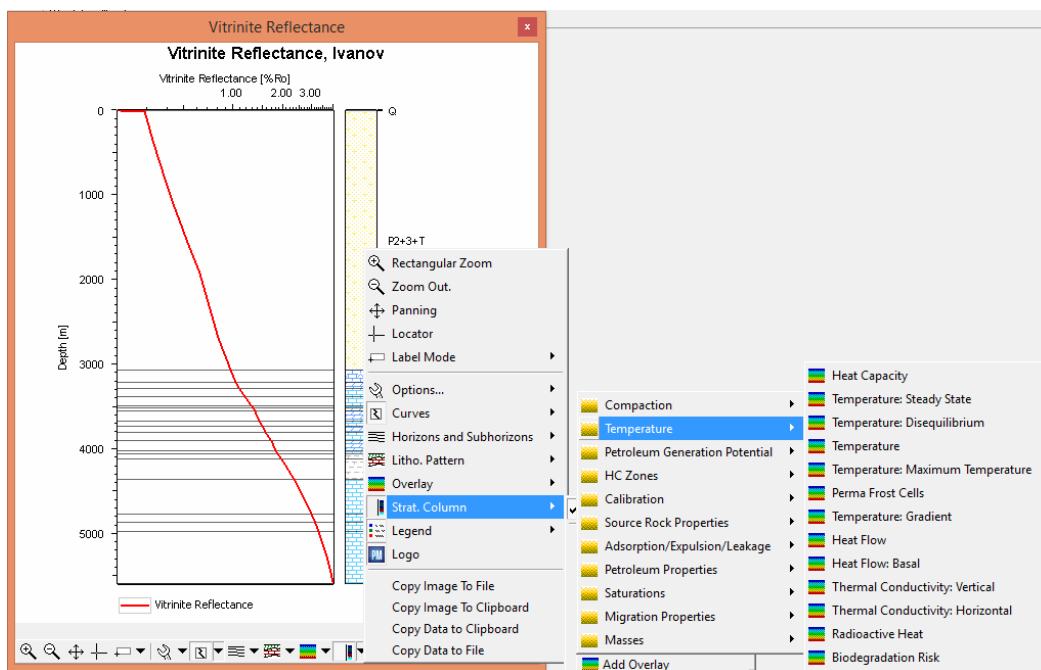


Рис. 43. Добавление заливки на стратиграфическую колонку

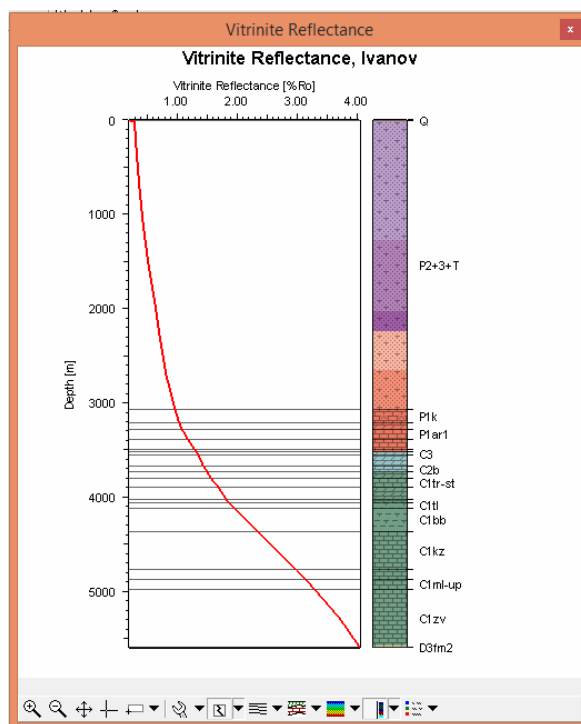


Рис. 44. Модель с заливкой «Возраст» на стратиграфической колонке

2) новый участок появится в основной области. Теперь можно настроить график по мере необходимости, например, выбрать заливку, добавить кривые, изменить размер и т.д.

Для создания нового графика погружения (рис. 45):

1) щелкните правой кнопкой мыши на папке графика и выберите *New Depth Plot*;

2) будет создан новый график глубины. Он будет указан в панели вывода и отображен в главной области. Переименуйте новый график;

3) чтобы добавить кривые, щелкните правой кнопкой мыши на графике и выберите *Curves*, а затем *Add Curve...*, чтобы открыть диалоговое окно добавления кривой;

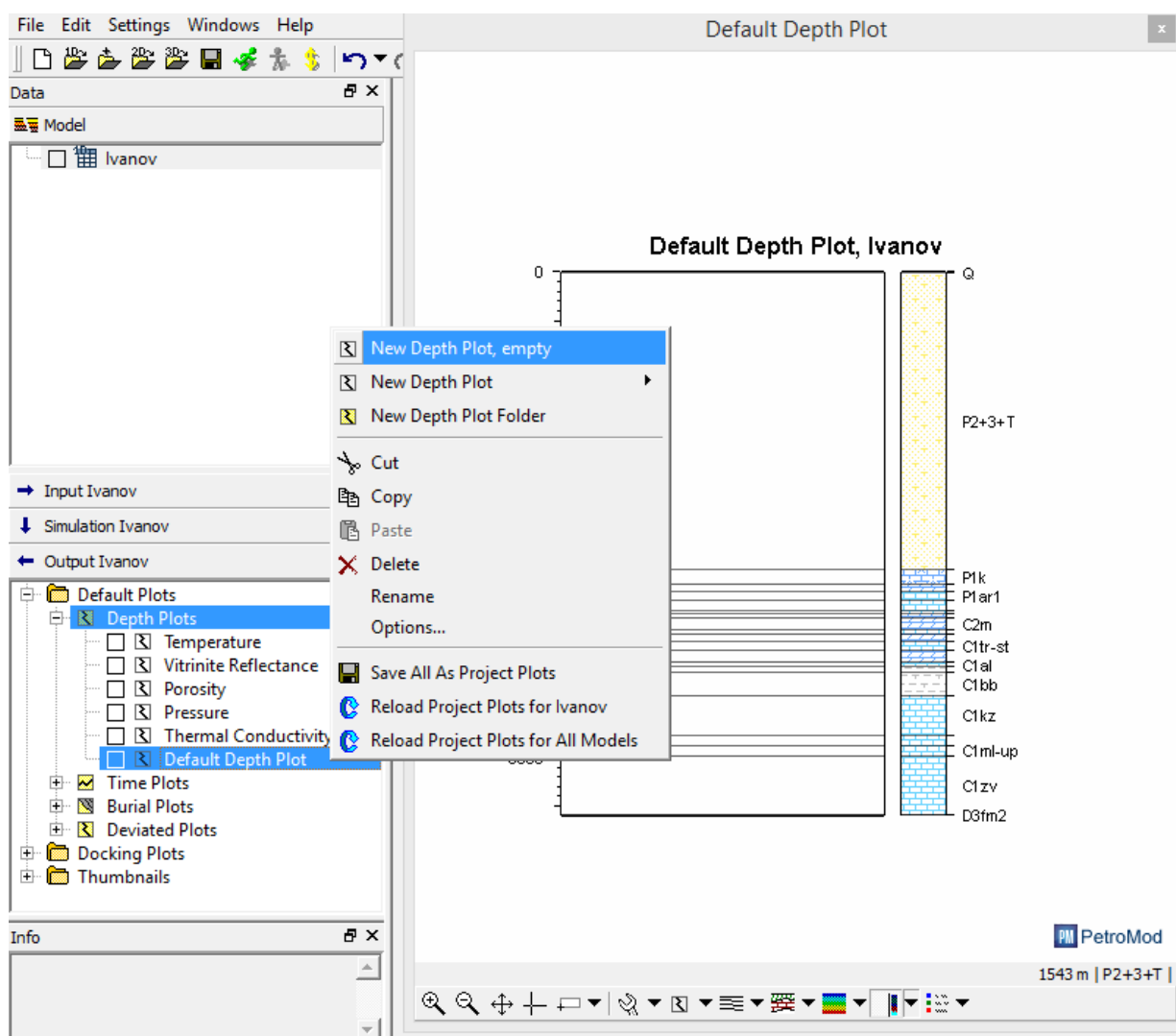


Рис. 45. Создание нового графика

4) в диалоговом окне *Add Curve* выберите модель и заливку, а затем нажмите **Create**;

5) появится новая кривая изменения выбранного параметра (рис. 46);

б) график можно отредактировать через диалоговое окно настроек (рис. 47–48).

Любые изменения, которые вы вносите в древовидную структуру и дизайн графиков, сохраняются только во внутренней памяти. При следующем открытии PetroMod 1D они будут потеряны. Чтобы сохранить изменения, вы должны сохранить их.

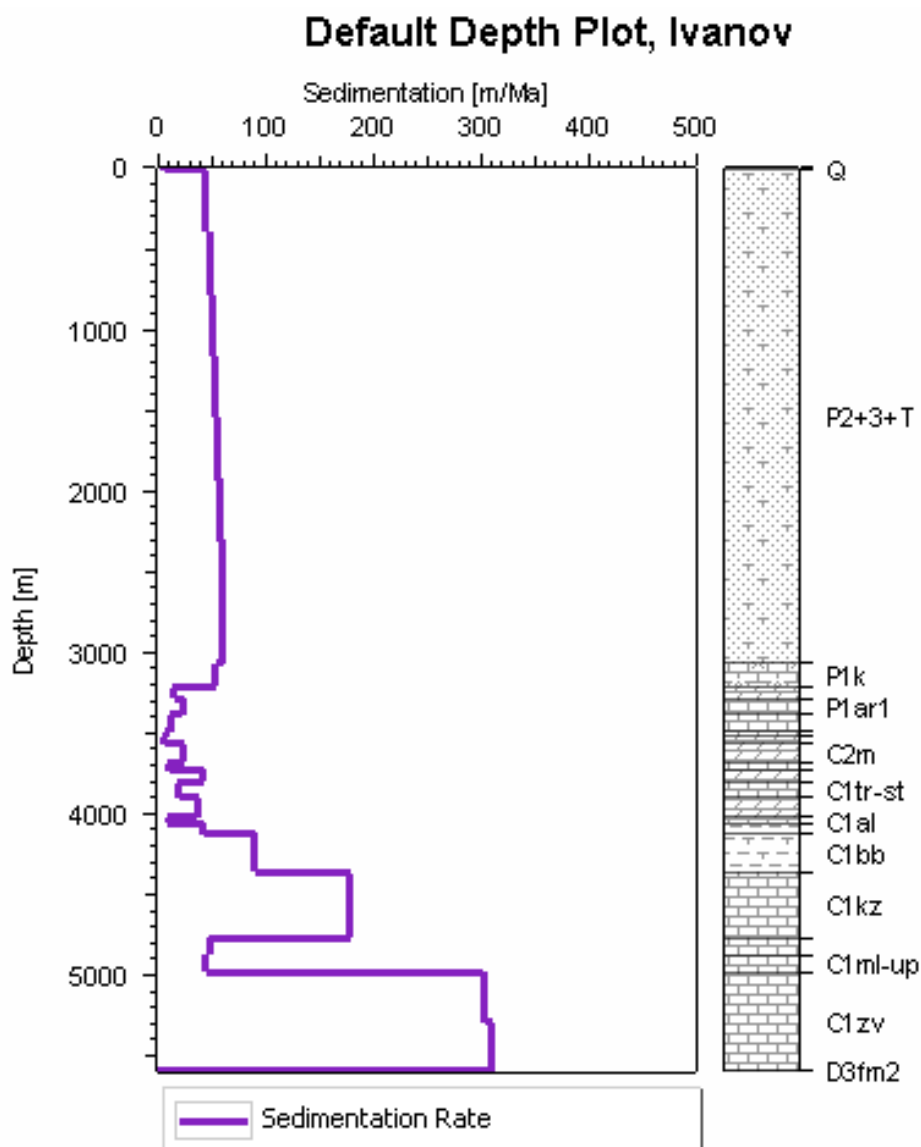


Рис. 46. Новый график скоростей осадконакопления



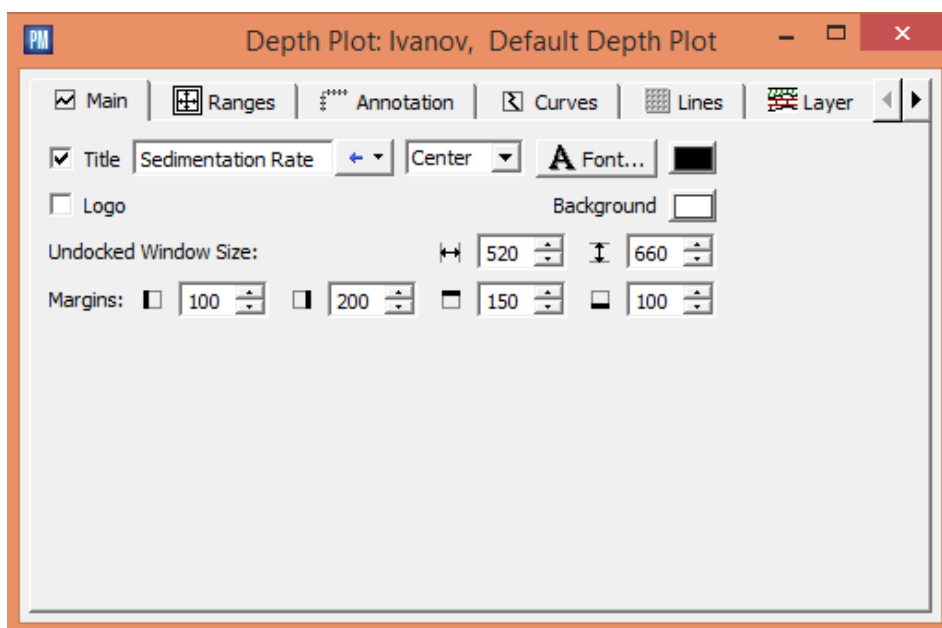


Рис. 47. Окно настройки нового графика

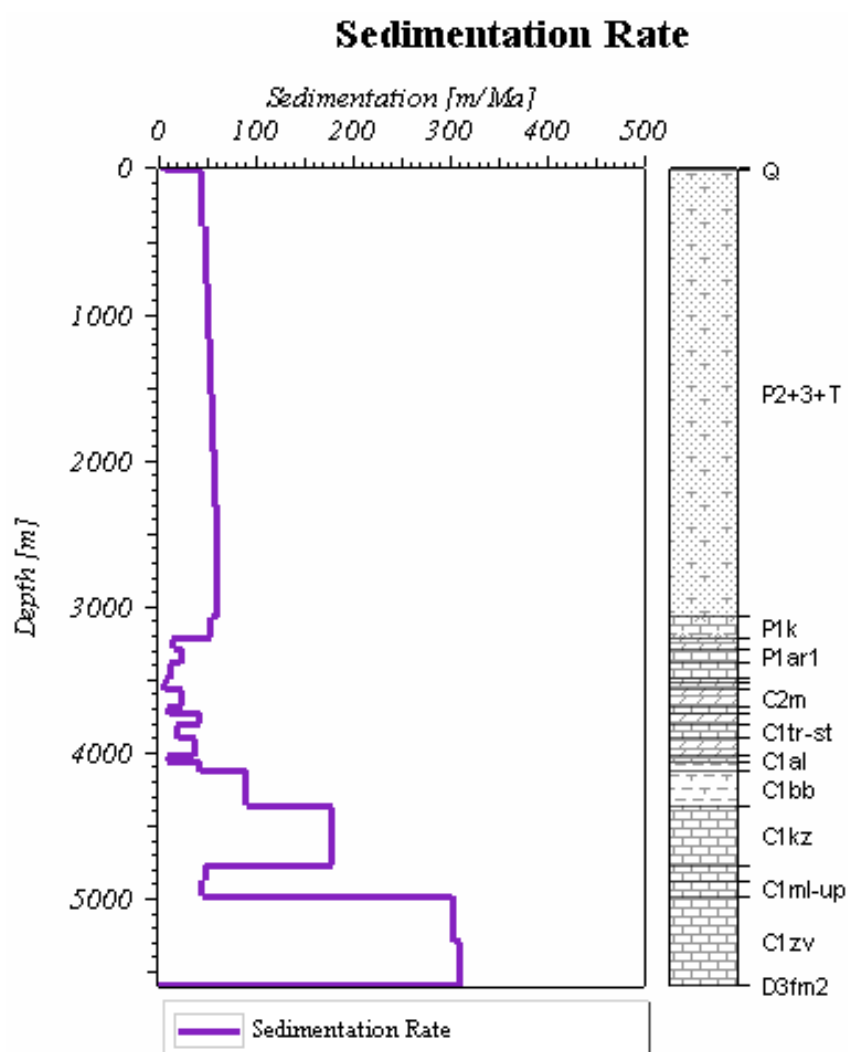


Рис. 48. Отредактированный с помощью диалогового окна график скоростей осадконакопления

Есть три варианта сохранения графиков:

- сохраните определенную папку графика в виде xml-файла, который можно при необходимости загрузить;
- сохраните все папки в виде xml-файла, который также можно повторно загрузить;
- сохраните все папки в качестве графиков проекта. Все изменения в дизайне участков и в выходных данных древовидной структуры будут загружены при следующем открытии PetroMod 1D.

Для сохранения графиков:

- 1) щелкните правой кнопкой мыши на папке с графиком и выберите *Save [Folder Name] As...* или в пустой части панели вывода (т.е. не в папке) и выберите *Save Plots As...*;
- 2) откроется диалоговое окно. Выберите целевой каталог, введите имя папки;
- 3) нажмите **Save**.

Если вы сохраните все графики как графики проекта, ваша настроенная древовидная структура и график конструкции станут структурой и оформлением по умолчанию для всего проекта. При следующем открытии имитационной модели в PetroMod 1D изменения будут загружены автоматически. Для этого щелкните правой кнопкой мыши на панели *Output* и выберите *Save All as Project Plots*.

Графики проекта можно перезагрузить:

- 1) щелкните правой кнопкой мыши в любом месте панели *Output*. Откроется контекстное меню с вариантами перезагрузки;
- 2) выберите любой из них:
  - *Reload Project Plots for [model name]*: сохраненные графики будут перезагружены для текущей активной модели – все несохраненные изменения, которые вы применили к графику, будут потеряны, а графики, перечисленные на панели вывода, вернуться к последнему сохраненному состоянию.

– *Reload Project Plots for All Models*: сохраненные графики будут перезагружены для всех открытых моделей. Все несохраненные изменения, которые вы применили к графику, будут потеряны и графики на панели вывода вернутся к последнему сохраненному состоянию.

Добавьте ранее сохраненные папки с графиками на панель вывода и разместите их в любом месте древовидной иерархии:

1) щелкните правой кнопкой мыши на целевой папке и выберите *Add Plots* в контекстном меню. В этом примере папка *plot* будет добавлена в качестве папки графиков по умолчанию;

2) откроется диалоговое окно. Выберите файл графика и нажмите кнопку **Open**. Папка с графиком будет добавлена на панель вывода.

Для копирования графиков в другие приложения:

1) щелкните правой кнопкой мыши на графике и выберите *Copy Image to Clipboard*;

2) откройте целевое приложение;

3) вставьте содержимое буфера обмена в приложение.

#### **ЗАДАНИЕ:**

- 1) измените настройки кривых, заливок, условных обозначений;**
- 2) совместите на одном графике несколько кривых, кривые и заливку, кривые с заливкой и изолиниями;**
- 3) создайте новый график скоростей погружения;**
- 4) создайте свою цветовую схему;**
- 5) поставьте метки;**
- 6) сохраните полученные графики в отдельный файл и вставьте в другое приложение.**

## ВВОД КАЛИБРОВОЧНЫХ ДАННЫХ И КАЛИБРОВКА МОДЕЛИ

Калибровка, прежде всего, тепловой модели, необходима с целью увеличения степени достоверности последующих расчетов генерации углеводородов. В итоге калибровки определяются наиболее вероятные сценарии граничных условий и теплопроводных свойств пород.

Для калибровки палеотемпературных условий в большинстве случаев используются данные по отражательной способности витринита (отношение интенсивности отраженного и падающего пучка света на плоской поверхности частицы витринита в масле или в воздухе), которые фиксируют максимальную степень прогрева осадочной породы в ее истории.

Кроме этого, контроль температурных условий модели осуществляется с помощью данных о пластовых температурах в скважинах, температурных градиентах, современном тепловом потоке в осадочном чехле.

Калибровочные данные для уточнения модели вводятся при помощи модуля **Well Editor**, потому что они представляют собой скважинные данные.

Для начала работы откройте модуль **Well Editor** на закладке **Editors** главного меню PetroMod (рис. 49).

Рекомендуется устанавливать единицы отображения данных в соответствии исходными единицами измерения данных. Для настройки единиц измерения:

- 1) откройте *Unit Settings* в меню *File*;
- 2) установите единицы отображения;
- 3) нажмите *Apply to Project* для применения данных установок ко всему проекту.

Затем в модуле **Well Editor**:

- 1) выберите список скважин *ALL* в окне *Well Browser*;
- 2) нажмите кнопку **New** (рис. 50);

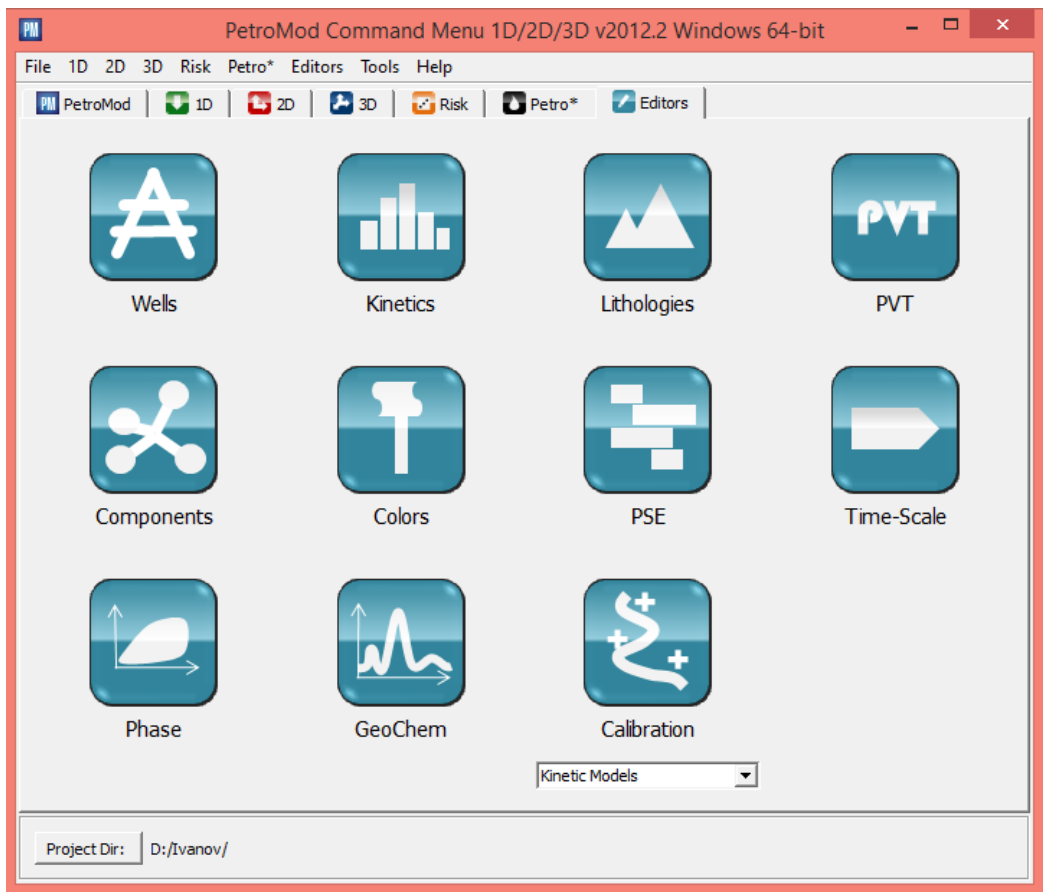


Рис. 49. Модуль Well Editor на закладке Editors

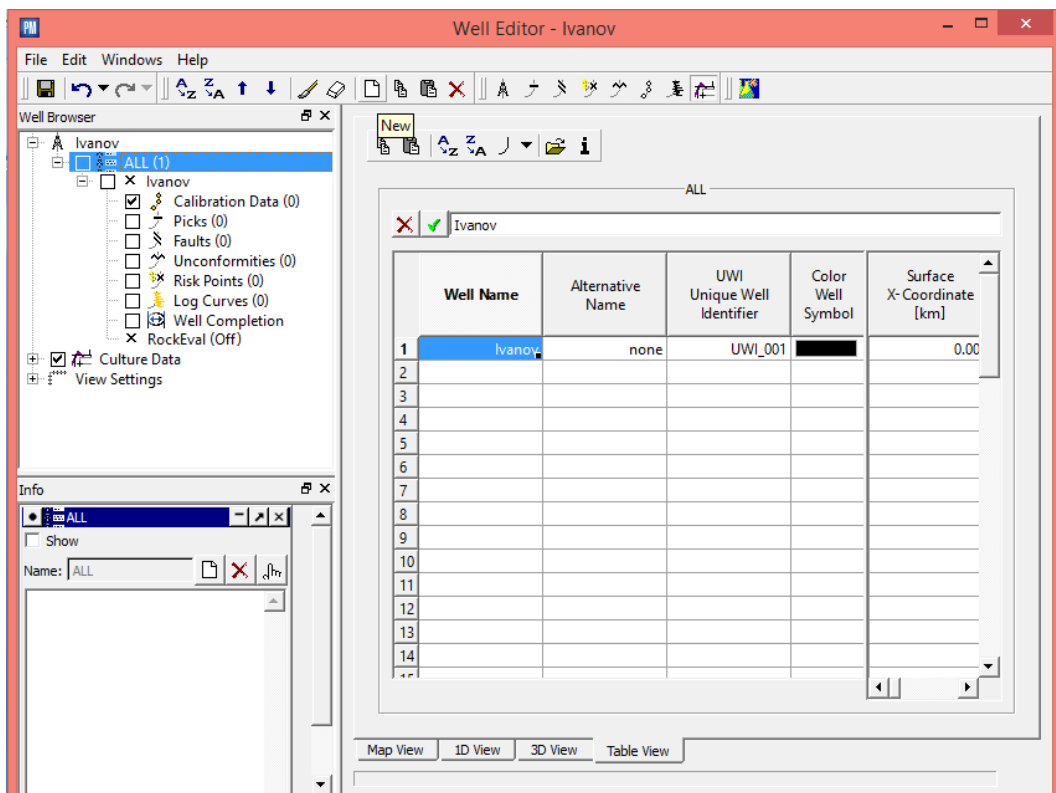


Рис. 50. Создание новой скважины

- 3) перейдите на закладку *Table View*. Таблица содержит новую скважину со значениями по умолчанию;
- 4) отредактируйте таблицу на основе имеющихся данных;
- 5) разверните папке скважины в окне *Well Browser*, дважды щелкнув по *Calibration Data* (рис. 51);
- 6) на закладке *Table View* выберите используемые для калибровки параметры, перенесите их с помощью стрелочки в окно справа. Введите данные в таблице в нижней части окна (рис. 51). Измените символ и размер точки;
- 7) сохраните изменения в *Well Editor*.

Для того чтобы данные для калибровки стали доступны в Retro-Mod 1D:

- 1) откройте меню *File*;
- 2) выберите *Reread Project data* (рис. 52).

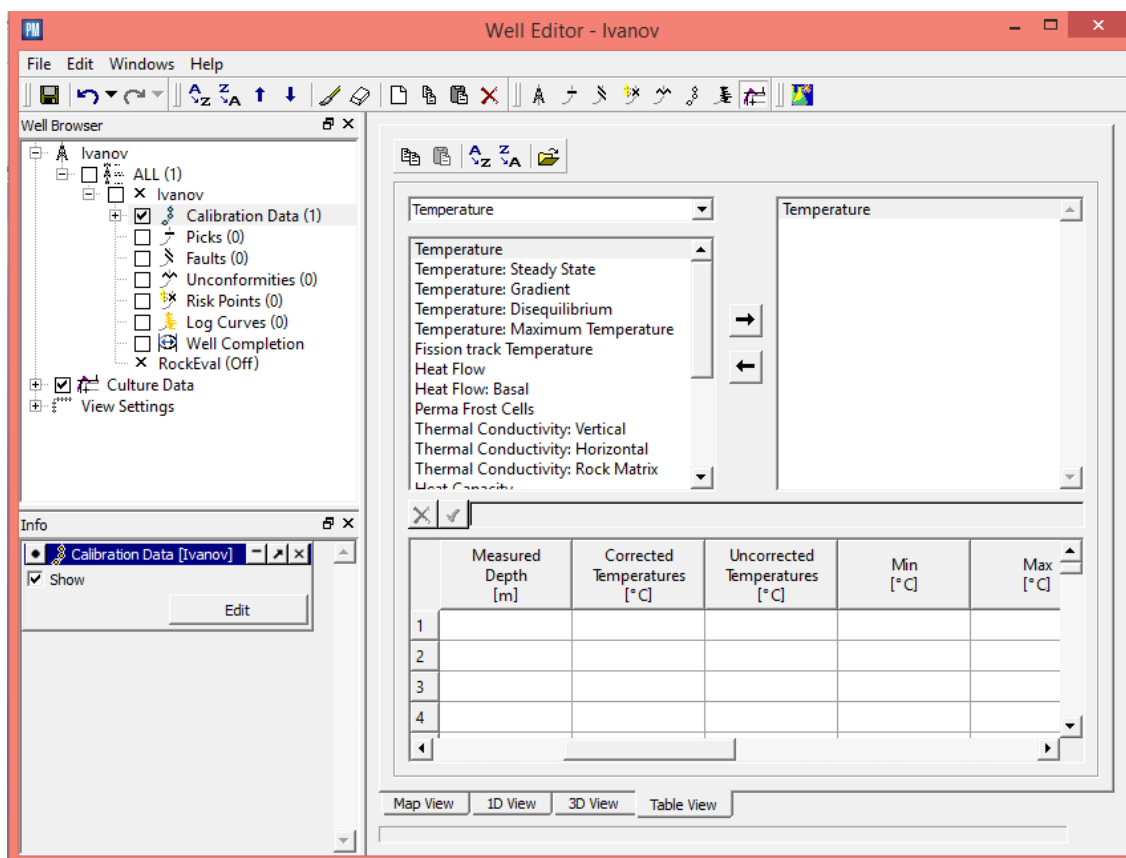


Рис. 51. Выбор калибровочных данных

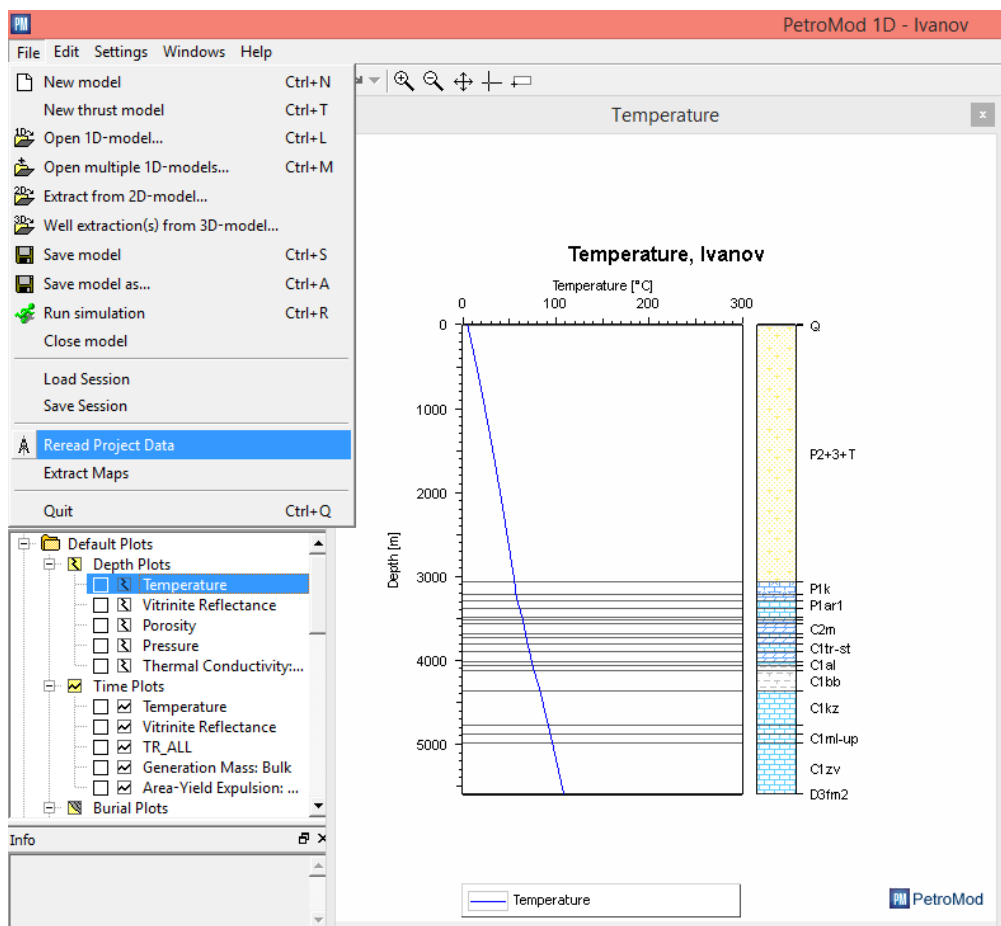


Рис. 52. Обновление данных редакторов

Привяжите скважину в PetroMod 1D:

- 1) нажмите Well Assignment (рис. 53) на панели Input;
- 2) нажмите кнопку **Add**;
- 3) в появившемся окне выберите скважину и нажмите **ОК** для привязки модели к скважине (рис. 54).

Откройте графики изменения с глубиной свойств, используемых для калибровки. На графике должны появиться точки калибровочных данных (рис. 55). Разница между рассчитанными кривыми и замеренными значениями в скважине указывает на то, что модели требуется калибровка.

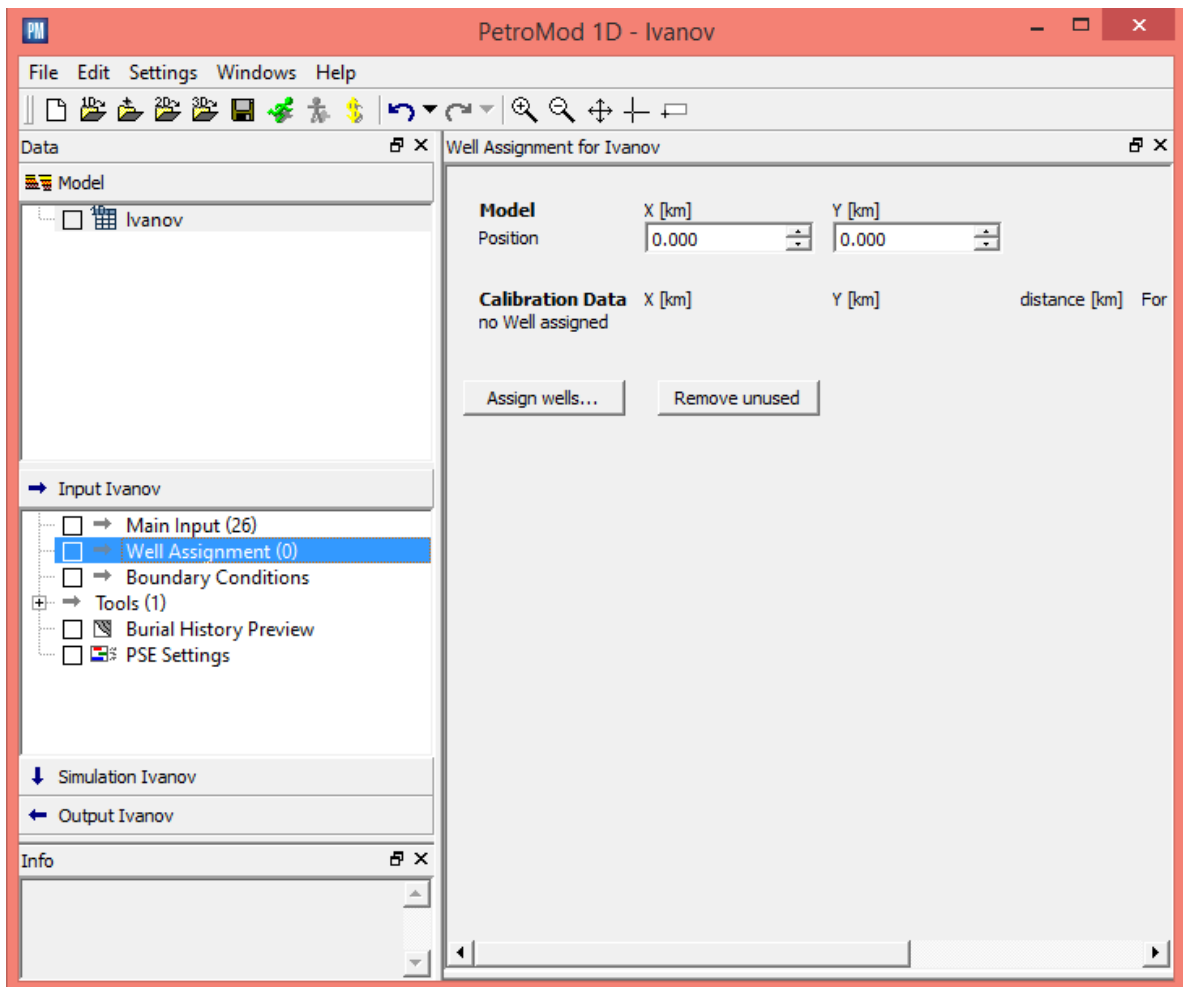


Рис. 53. Поле *Well Assignment*

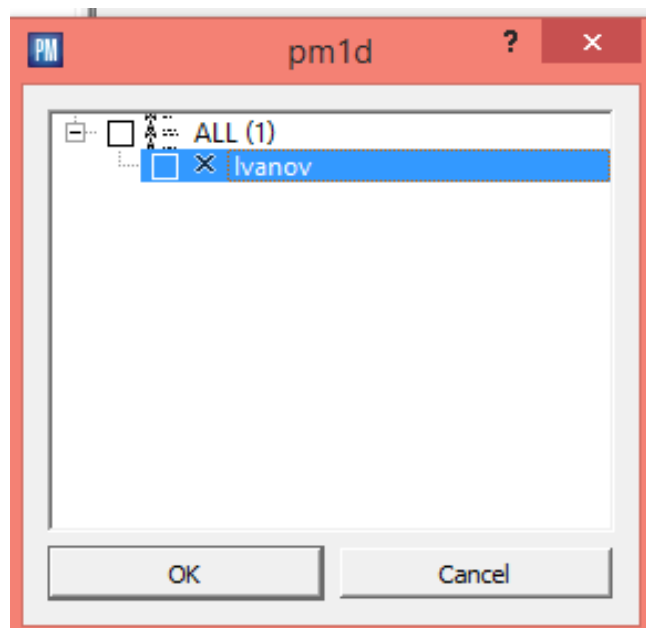


Рис. 54. Выбор скважины



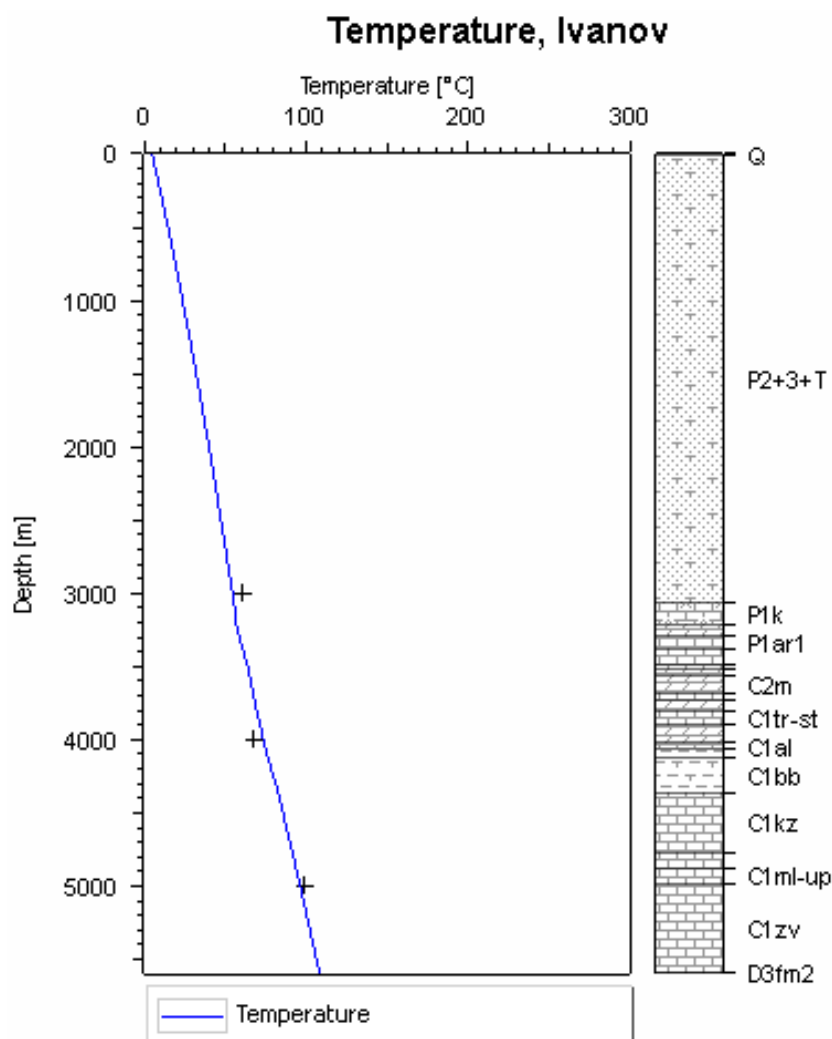


Рис. 55. Расчетное изменение температуры с глубиной (результаты моделирования) и точки замеров (калибровочные данные)

Для калибровки модели:

- 1) необходимо вернуться к панели *Input* и внести изменения в таблицы *Main Input* и *Boundary Conditions*;
- 2) затем снова запустить расчет;
- 3) проверить изменения на графиках.

Рассчитанные кривые должны максимально приблизиться к калибровочным данным.

**ЗАДАНИЕ: откалибруйте полученные модели. Постарайтесь максимально приблизить рассчитанные кривые к калибровочным данным.**

## СОСТАВЛЕНИЕ ДИАГРАММЫ СОБЫТИЙ НЕФТЯНОЙ СИСТЕМЫ

Ранее при изучении панели *Input* было показано, что элементы нефтяной системы, введенные в основную таблицу ввода, отображаются в виде диаграммы или графика, который графически представляет собой историю их формирования. После расчета и калибровки модели можно настроить график, который позволит получить графический обзор временных взаимосвязей не только между элементами нефтяной системы, но и процессами.

Нажмите на *PSE Settings* на панели ввода, чтобы открыть диалоговое окно настроек PSE (рис. 56).

Диалоговое *PSE Settings* состоит из двух основных областей: 1) область редактирования *Editing Area* и 2) график *Plot*.

Возраст отложений для элементов нефтяной системы автоматически загружен из основной таблицы *Main input*.

После расчета модели можно заполнить данные о продолжительности генерации углеводородов. Так как они вводятся вручную в режиме редактирования, необходимо снять значения с соответствующих графиков изменения в течение геологического времени ОСВ. Критический момент также вводится вручную.

График дает обзор временных взаимосвязей между элементами нефтяной системы и геологическими процессами и позволяет увидеть позволяет ли временная история бассейна сформировать нефтяную систему.

Настроить диаграмму событий можно следующим образом:

- 1) установите /снимите флажок рядом с *PSE*, чтобы отобразить/скрыть его на графике;
- 2) элементы и процессы могут быть удалены с помощью кнопки *Remove Element* в области редактирования;
- 3) выберите тип элемента нефтяной системы, щелкнув поле *Type* и выбрав тип из выпадающего списка. Существует четыре типа элементов нефтяной системы:

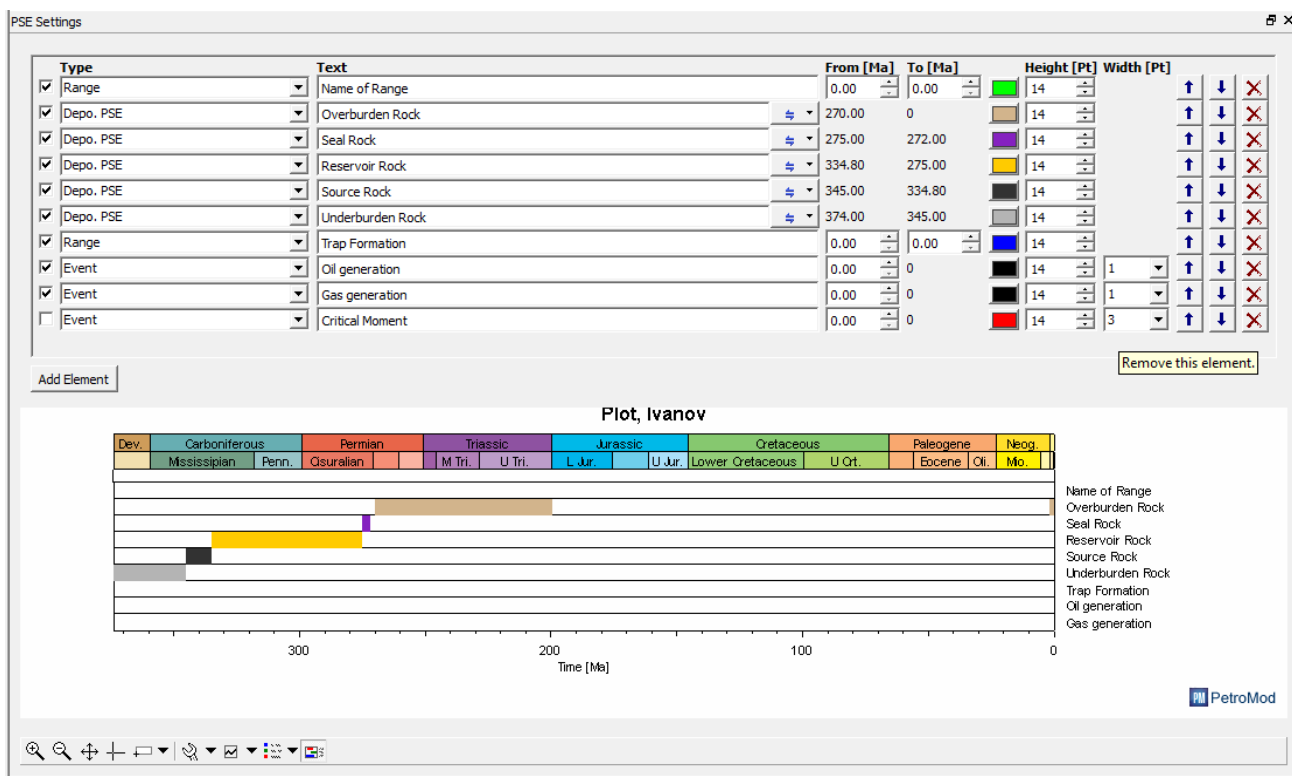


Рис. 56. Диалоговое окно настройки диаграммы событий

– **Range** – эти элементы возникали или формировались в течение определенного промежутка времени. Например, формирование ловушки. Когда вы выбираете этот параметр, поля From [Ma] и To [Ma] становятся активными. Введите промежуток времени в эти поля. В текстовом поле введите название элемента нефтяной системы;

– **Event** – эти элементы нефтяной системы возникли в определенный момент времени. Например, критический момент. Когда вы выбираете эту опцию, поле From [Ma] становится активным, и вам нужно ввести возраст, в котором произошло событие. В текстовом поле введите название;

– **Depo. Layer** – этот параметр предназначен для слоев, которые были нанесены в течение определенного промежутка времени. В текстовом поле вам нужно ввести слой. Нажмите на синие стрелки прокрутки и выберите слой из списка. Значения From [Ma] и To [Ma] для слоя автоматически берутся из основной таблицы ввода;

– **Depo. PSE** – этот параметр предназначен для элементов нефтяной системы, которые были отложены в течение определенного периода времени. При выборе этого параметра нужно ввести *PSE* в текстовое поле. Щелкните по синим стрелкам прокрутки, чтобы открыть выпадающий список. Выберите *PSE* из списка. Значения *From [Ma]* и *To [Ma]* для слоя будут автоматически взяты из основной таблицы ввода;

4) чтобы изменить цвет, щелкните значок цвета и выберите цвет из палитры;

5) чтобы изменить высоту и ширину, щелкните по полям и введите значение или используйте кнопки прокрутки для увеличения и уменьшения значения;

6) измените положение нефтяной системы;

7) элементы нефтяной системы отображаются на графике в том порядке, в котором они расположены в области редактирования. Используйте стрелки вверх и вниз, чтобы изменить положение *PSE*;

8) чтобы удалить *PSE*, нажмите соответствующую кнопку **Remove Element**;

9) Добавьте элемент нефтяной системы **Add Element**. В верхней части области редактирования появится новая строка.

После внесения изменений в область редактирования меняется и диаграмма событий нефтяной системы. Полученный график (рис. 57) можно также сохранить в виде отдельного файла и вставить в стороннее приложение.

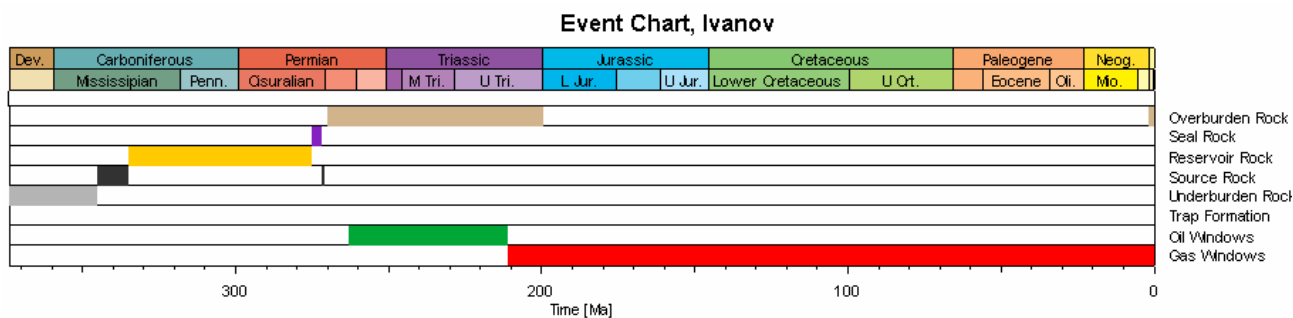


Рис. 57. Диаграмма событий нефтяной системы

Кроме того, с помощью одноименного инструмента можно дополнить диаграммой событий прочие результаты 1D бассейнового моделирования (рис. 58).

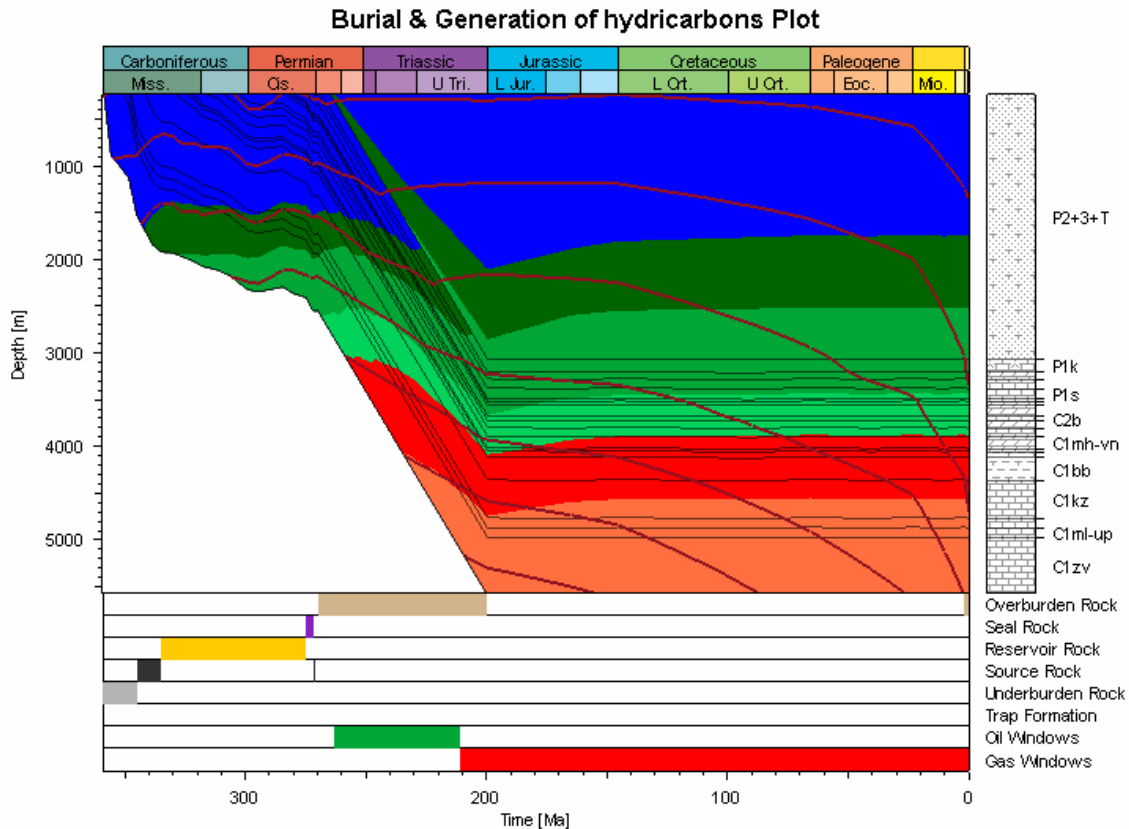


Рис. 58. Комплексная модель погружения, прогрева и зональности катагенеза, совмещенная с диаграммой событий

### ЗАДАНИЕ:

- 1) удалите строку «генерация/миграция/аккумуляция»;
- 2) добавьте строки «Начало главной фазы нефтеобразования» и «Начало главной фазы газообразования»;
- 3) внесите время начала указанных фаз, полученное в результате моделирования (прил. 4);
- 4) укажите время достижения критического момента;
- 5) сохраните диаграмму событий отдельным файлом или вставьте в стороннее приложение.

## ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отредактируйте откалиброванные 1D модели. Измените оформление, шрифты, цветовые схемы.

Совместите несколько кривых на одном графике изменения свойств с глубиной: обязательно постройте график термобарических условий (кривые температуры и давления), термических условий и зональности катагенеза (кривые температуры и отражательной способности витринита) и др. Постройте новый график изменения скоростей осадконакопления.

Для выявленных нефтегазоматеринских пород составьте графики изменения свойств в течение геологического времени.

Составьте комплексную модель погружения, прогрева и зональности катагенеза.

На всех графиках важнейшие для генерации углеводородов этапы отметьте метками.

Составьте диаграмму событий нефтяной системы, обязательно отобразите все её элементы, процессы генерации нефти и газа, а также критический момент.

Сохраните составленные модели отдельным файлом или вставьте в стороннее приложение.

Составьте отчет, опишите предложенный разрез скважины, укажите положение нефтегазоматеринских пород, коллекторов и покрышек. Опишите составленные модели: современные термобарические условия и зональность катагенеза. Проследите эволюцию нефтегазоматеринских пород. Выделите основные этапы погружения. Определите время, глубину и термобарические условия вступления нефтегазоматеринских пород в главную зону нефтеобразования и газообразования.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данный практикум основан на материалах лекций, читаемых на кафедре региональной и нефтегазовой геологии Пермского государственного национального исследовательского университета. Он содержит методические пояснения и задания ко второй части лабораторных занятий по дисциплине «Бассейновое моделирование», выполняемых с использованием специального программного комплекса бассейнового моделирования.

Последовательность изложения материала соответствует учебному плану и утвержденному учебно-методическому комплексу. При необходимости студент может самостоятельно освоить ту или иную тему, выполнить лабораторную работу, опираясь на пояснения к ней. Лабораторные занятия являются обязательным условием успешного освоения дисциплины «Бассейновое моделирование». Для прохождения итогового контроля по данной дисциплине каждая лабораторная работа должна быть сдана преподавателю.

Особое внимание уделяется возможности практического освоения студентами главных положений дисциплины «Бассейновое моделирование», пониманию влияния истории геологического развития осадочного бассейна на процессы генерации углеводородов, что позволит им в дальнейшем вести научно-исследовательскую деятельность и осуществлять работу на производстве на современном научном уровне.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астахов С.М. Геореактор. Алгоритмы нефтегазообразования. Ростов н/Д: Контики, 2015. 256 с.
2. Атлас литолого-палеогеографических карт СССР. Т. I. Докембрий, кембрийский, ордовикский и силурийский периоды / под ред. В.А. Виноградова. М-б 1 : 7 500 000 и 1 : 15 000 000. М.: Всесоюзный аэрогеологический трест Министерства геологии СССР, 1968.
3. Атлас литолого-палеогеографических карт СССР. Т. II. Девонский, каменноугольный и пермский периоды / под ред. В.А. Виноградова. М-б 1 : 7 500 000 и 1 : 15 000 000. М.: Всесоюзный аэрогеологический трест Министерства геологии СССР, 1969.
4. Атлас литолого-палеогеографических карт СССР. Т. III. Триасовый, юрский и меловой периоды / под ред. В.А. Виноградова. М-б 1 : 7 500 000 и 1 : 15 000 000. М.: Всесоюзный аэрогеологический трест Министерства геологии СССР, 1966.
5. Баженова О.К., Бурлин Ю.К., Соколов Б.А., Хаин В.Е. Геология и геохимия нефти и газа. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2012. 432 с.
6. Бочкарёв В. А. Моделирование нефтегазоносных объектов. М.: ОАО "ВНИИОЭНГ", 2010. 268 с.
7. Вассоевич Н.Б., Корчагина Ю.И., Лопатин Н.В. и др. Главная фаза нефтеобразования // Вестник Моск. ун-та. Сер. Геология. 1969. № 6. С. 3–27.
8. Гаврилов В.П., Галушкин Ю.И. Геодинамический анализ нефтегазоносных бассейнов (бассейновое моделирование). М.: Недра, 2010. 227 с.
9. Галушкин Ю.И. Моделирование осадочных бассейнов и оценка их нефтегазоносности. М.: Научный мир, 2007. 456 с.
10. Геологическая карта России и прилегающих акваторий. М-б 1 : 2 500 000 / под ред. О.В. Петрова. М.: ФГБУ «ВСЕГЕИ», «ВНИИО-КЕАНГЕОЛОГИЯ», 2012.



11. Геологическая карта СССР. М-б 1 : 10 000 000 / под ред. С.А. Музылева. М.: Изд-во ВНПО «Аэрогеология», 1975.
12. Дьяконов А. И., Пармузина Л. В., Смирнов А. Н. Практикум по теоретическим основам и методам поисков и разведки нефтяных и газовых месторождений. Ухта: УГТУ, 2009. С. 8–47.
13. Историко-генетический метод оценки перспектив нефтегазоносности / Л.А. Польштер, Ю.А. Висковский, В.А. Николенко и др. М.: Недра, 1984.
14. Карта гидрогеотермической структуры СССР. М-б 1 : 7 500 000 / под ред. Б.Ф. Маврицкого. М.: ГУГК, 1982.
15. Короновский Н.В. Геология России и сопредельных территорий. М.: ИНФРА-М, 2017. 230 с.
16. Коротаев М.В., Правикова Н.В., Аплеталин А.В. Информационные технологии в геологии. М.: КДУ, 2012. 298 с.
17. Лебедев Б.А. Геохимия эпигенетических процессов в осадочных бассейнах. Л.: Недра, 1992. 239 с.
18. Максимов С.П., Дикенштейн Г.Х., Золотов А.Н. Геология нефти и газа Восточно-Европейской платформы. М.: Недра, 1990.
19. Малышева С.В. Региональное моделирование бассейнов различных геодинамических типов в связи с прогнозом их нефтегазоносности: дис. ... канд. геол.-мин. наук: 25.00.12. – ФГУП «ВНИГНИ», Спб, 2015. – 138 с.
20. Микунов М.Ф., Портная В.Л., Соколов Д.С. и др. Практикум по геологии СССР (Русская платформа). М.: Высшая школа, 1966.
21. Милановский Е.Е. Геология России и ближнего зарубежья. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995.
22. Неручев С.Г., Баженова Т.К., Смирнов С.В., Андреева О.А., Климова Л.И. Оценка потенциальных ресурсов углеводородов на основе моделирования процессов их генерации, миграции и аккумуляции. СПб.: Недра, 2006. 364 с.

23. Никишин А.М., Ершов А.В. и др. Геоисторический и геодинамический анализ осадочных бассейнов. М.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1999. 524 с.
24. Общая стратиграфическая шкала России. М.: ГИН РАН, 2013.
25. Осадочные бассейны: методика изучения, строение и эволюция / под ред. Леонова Ю.Г., Воложа Ю.А. М.: Научный мир, 2004. 526 с.
26. Осипов А.В., Нефедова А.С., Серикова У.С. Геология и геохимия нефти и газа: учеб.-метод. пособие / под ред. В. И. Ермолкина. М.: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, 2017. 67 с.
27. Пахомов В.И. Региональная геология России (краткий курс). Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2007. 237 с.
28. Стратиграфический кодекс России. 3-е изд. СПб.: ВСЕГЕИ, 2006. 96 с.
29. Тиссо Б., Вельте Д. Образование и распространение нефти. М.: Мир, 1981.
30. Физическая карта мира. Масштаб 1: 20 000 000. М.: ГУГК, 1989.
31. Цейслер В.М., Туров А.В. Тектонические структуры на геологической карте России ближнего зарубежья (Северной Евразии). М.: КДУ, 2008. 190 с.
32. Шеин В.С. Геология и нефтегазоносность России: 2-е изд. Перераб. и доп. – М.: Изд-во ВНИГНИ, 2012.
33. Allen P.A., Allen J.R. Basin Analysis: Principles and application. London, Blackwell Sciences, 2005. 562 p.
34. Hantschel T., Kauerauf A.I. Fundamentals of Basin and Petroleum Systems Modeling. Berlin, Springer, 2009. 476 p.
35. International Chronostratigraphic Chart – 2018: International Commission on Stratigraphy.

36. Pepper, A.S. and Corvi, P.J. Simple Kinetic Models of Petroleum Formation. Part I, Oil and Gas Generation from Kerogen // *Marine and Petroleum Geology*. Vol. 12, № 3, 1995. Pp. 291–319.

37. Peters K.E et al. A four-dimensional petroleum systems model for the San Joaquin Basin Province // *Petroleum systems and geological assessment of oil and gas in the San Joaquin Basin Province*. California: U.S. Geological Survey Professional Paper 1713. Ch. 12, 2008. Pp. 1–35.

38. Schmoker J.W. Volumetric Calculation of Hydrocarbons Generated // *The petroleum system – from source to trap (AAPG Memoir 60)*, 1994. Pp. 323–326.

39. Waples D.W. Maturity Modeling: Thermal Indicators, Hydrocarbon Generation and Oil Cracking // *The petroleum system – from source to trap (AAPG Memoir 60)*, 1994. Pp. 285–306.

40. Waples D.W. Modeling of Sedimentary Basins and Petroleum Systems // *The petroleum system – from source to trap (AAPG Memoir 60)*, 1994. Pp. 307–322.

41. Welte D.H., Horsfield B., Baker D.R. *Petroleum and Basin Evolution: Insights from Petroleum Geochemistry, Geology and Basin Modeling*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1997. 530 p.

42. Welte D.H., M.M. Yalcin. Basin modeling – a new comprehensive method in petroleum geology // *Advances in Organic Geochemistry*, Vol. 13, 1988. Pp. 141–151.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

## Приложение 1

**Общая стратиграфическая (геохронологическая) шкала фанерозоя и докембрия, актуализированная на 02.2022 г.**  
(Приложение 1 к Стратиграфическому кодексу России, 2019 г.).

Общая стратиграфическая (геохронологическая) шкала (Стр. кодекс, 2019; Постановления МСК... 2012, 2013, 2016)						Геохронологич. шкала (млн. лет)	Геохронологич. шкала (млн. лет) (Стратиграф. кодекс., 2019)	
Акротема (Акрон)	Эонотема (зон)	Эратема (эра)	Система (период), подсистема	Отдел (эпоха), подотдел	Ярус (век), раздел			
Фанерозойская (фанерозойский)	Кайнозойская (кайнозойская) KZ	Четвертичная (четвертичный) Q	Голоцен (голоценовая) H			Неоплейстоцен	0.0117	
			Плейстоцен (плейстоценовая) P			Эоплейстоцен	0.774	
						Гелазский	1.80	
						Пьяченцкий	2.58	
			Неогеновая (неогеновый) N	Плиоцен (плиоценовая) N <sub>2</sub>	Верхний N <sub>2</sub> <sup>2</sup>		Занкский	3.600
					Нижний N <sub>2</sub> <sup>1</sup>		Мессинский	5.333
				Миоцен (миоценовая) N <sub>1</sub>	Верхний N <sub>1</sub> <sup>3</sup>		Тортонский	7.246
					Средний N <sub>1</sub> <sup>2</sup>		Серравальский	11.63
							Лангийский	13.82
		Нижний N <sub>1</sub> <sup>1</sup>				Бурдигальский	15.97	
						Аквитанский	20.44	
		Палеогеновая (палеогеновый) P		Олигоцен (олигоценная) P <sub>3</sub>	Верхний P <sub>3</sub> <sup>2</sup>		Хаттский	23.03
					Нижний P <sub>3</sub> <sup>1</sup>		Рюпельский	27.82
			Эоцен (эоценовая) P <sub>2</sub>	Верхний P <sub>2</sub> <sup>2</sup>		Приабонский	33.9	
				Средний P <sub>2</sub> <sup>2</sup>		Бартонский	37.71	
						Лютетский	41.2	
			Палеоцен (палеоценовая) P <sub>1</sub>	Верхний P <sub>1</sub> <sup>2</sup>		Ипрский	47.8	
						Ипрский	56.0	
				Средний P <sub>1</sub> <sup>2</sup>		Танетский	59.2	
					Нижний P <sub>1</sub> <sup>1</sup>		Зеландский	61.6
				Датский	66.0			
		Мезозойская (мезозойская) MZ	Меловая (меловой) K	Верхний (поздняя) K <sub>2</sub>		Маастрихтский	72.1±0.2	
						Кампанский	83.6±0.2	
						Сантонский	86.3±0.5	
						Коньякский	89.8±0.3	
						Туронский	93.9	
						Сеноманский	100.5	
	Нижний (ранняя) K <sub>1</sub>			Альбский	~ 113.0			
				Аптский	~ 121.4			
				Барремский	~ 129.4			
				Готеривский	~ 132.6			
				Валанжинский	~ 139.8			
				Берриасский	~ 145.0			
	Юрская (юрский) J		Верхний (поздняя) J <sub>3</sub>		Титонский	152.1±0.9		
					Кимериджский	157.3±1.0		
					Оксфордский	163.5±1.0		
			Средний (средняя) J <sub>2</sub>		Келловейский	166.1±1.2		
					Батский	168.3±1.3		
					Байосский	170.3±1.4		
		Нижний (ранняя) J <sub>1</sub>		Ааленский	174.1±1.0			
				Тоарский	182.7±0.7			
				Плинсбахский	190.8±1.0			
Триасовая (триасовый) T	Верхний (поздняя) T <sub>3</sub>		Синемюрский	199.3±0.3				
			Геттангский	201.3±0.2				
			Рэтский	~ 208.5				
	Средний (средняя) T <sub>2</sub>		Норийский	~ 227				
			Карнийский	~ 237				
			Ладинский	~ 242				
Нижний (ранняя) T <sub>1</sub>		Анизийский	247.2					
		Опенекский	251.2					
		Индский	251.902±0.024					

Фанерозойская (фанерозойский)		Палеозойская (палеозойская) PZ		Протерозойская (протерозойский) PR		Архейская (архейский) AR	
Пермская (пермский) P	Татарский (татарская) P <sub>3</sub>	Вятский	251.902±0.024	Вендская (вендский) V	Верхняя (поздняя) V <sub>2</sub>		
	Биармийский (биармийская) P <sub>2</sub>	Северодвинский	259.51±0.2		Нижняя (ранняя) V <sub>1</sub>		
Приуральский (приуральская) P <sub>1</sub>		Уржумский	264.28±0.16				
		Казанский	266.9±0.4				
		Уфимский	273.01±0.14				
		Кунгурский	283.5±0.6				
		Артинский	290.1±0.26				
		Сакмарский	293.52±0.17				
Каменноугольная (каменноугольный) C	Верхний (поздняя) C <sub>3</sub>	Ассельский	298.9±0.15				
	Средний (средняя) C <sub>2</sub>	Гжельский	303.7±0.1				
		Касимовский	307.0±0.1				
Нижний (ранняя) C <sub>1</sub>		Московский	315.2±0.2				
		Башкирский	323.2±0.4				
		Серпуховский	330.9±0.2				
Девонская (девонский) D	Верхний (поздняя) D <sub>3</sub>	Визейский	346.7±0.4				
	Средний (средняя) D <sub>2</sub>	Турнейский	358.9±0.4				
		Фаменский	372.2±1.6				
Нижний (ранняя) D <sub>1</sub>		Франский	382.7±1.6				
		Живетский	387.7±0.8				
		Эйфельский	393.3±1.2				
Силурийская (силурийский) S	Верхняя S <sub>2</sub>	Эмский	407.6±2.6				
		Пражский	410.8±2.8				
	Нижняя S <sub>1</sub>	Лохковский	419.2±3.2				
		Пржидольский (пржидольская) S <sub>2</sub> <sup>2</sup>	423.0±2.3				
		Лудловский (лудловская) S <sub>2</sub> <sup>1</sup>	425.6±0.9				
		Венлокский (венлокская) S <sub>1</sub> <sup>2</sup>	427.4±0.5				
Лландоверийский (лландоверийская) S <sub>1</sub> <sup>1</sup>	Шейнвудский	430.5±0.7					
	Теличский	433.4±0.8					
Ордовикская (ордовикский) O	Верхний (поздняя) O <sub>3</sub>	Аэронский	438.5±1.1				
	Средний (средняя) O <sub>2</sub>	Рудданский	440.8±1.2				
		Хирнантский	443.8±1.5				
Нижний (ранняя) O <sub>1</sub>		Катийский	445.2±1.4				
		Сандбийский	453.0±0.7				
		Дарривильский	458.4±0.9				
Кембрийская (кембрийский) C	Верхний (поздняя) C <sub>3</sub>	Далинский	467.3±1.1				
	Средний (средняя) C <sub>2</sub>	Флоский	470.0±1.4				
		Тремадокский	477.7±1.4				
Нижний (ранняя) C <sub>1</sub>		Батырбайский	485.4±1.9				
		Аксайский					
		Сакский					
Верхняя (поздняя) V <sub>2</sub>		Аюсокканский	497				
		Майский	504,5				
		Амгинский					
Средняя (средняя) V <sub>1</sub>		Тойонский					
		Ботомский					
		Атдабанский					
Нижняя (ранняя) V <sub>1</sub>		Томмотский	535±1				
			555-570				
			600				
Верхнерифейская RF <sub>3</sub>			1030				
	Среднерифейская RF <sub>2</sub>		1350				
		Нижнерифейская RF <sub>1</sub>		1650			
Верхнекарельская KR <sub>2</sub>			2100				
	Нижнекарельская KR <sub>1</sub>		2500				
				2500			
Верхнеархейская (позднеархейский) AR <sub>3</sub>	Верхнеархейская (позднеархейский) AR <sub>3</sub>	Верхнеархейская (позднеархейский) AR <sub>3</sub>	2800				
	Среднеархейская (раннеархейский) AR <sub>2</sub>	Среднеархейская (раннеархейский) AR <sub>2</sub>	3000				
		Нижнеархейская (раннеархейский) AR <sub>1</sub>	Нижнеархейская (раннеархейский) AR <sub>1</sub>	3200			

**Классификация органофаций и соответствующих кинетических спектров преобразования керогена  
(Pepper, Corvi, 1995; Астахов, 2015)**

<i>Органо-фация</i>	<i>Описание</i>	<i>Основная масса</i>	<i>Включения S</i>	<i>Возраст и обстановки осадконакопления</i>	<i>Классификация IFP</i>
A	Аквагенные, морские, кремнистые или карбонатные / эвапориты	Морские водоросли, бактерии	Много	Возраст любой. Морские, зоны апвеллинга, бассейны с небольшим привносом осадочного материала.	Тип IIS
B	Аквагенные, морские, кремнисто-обломочные	Морские водоросли, бактерии	Средне	Возраст любой. Морские бассейны с терригенным осадконакоплением	Тип II
C	Аквагенные, неморские, озерные	Водоросли пресных вод, бактерии	Мало	Фанерозой. Континентальное осадконакопление, в меньшей степени прибрежные равнины	Тип I
D/E	Терригенные, неморские, битуминозные	Кутикулы высших растений, смолы, лигнин, бактерии	Мало	С мезозоя. Некоторые затопляемые прибрежные равнины	Тип III "H"
F	Терригенные, неморские, слабобитуминозные	Лигнин	Мало	С позднего палеозоя. Прибрежные равнины.	Тип III/IV

## Приложение 3

### Типичные значения теплового потока для осадочных бассейнов (по Allen, Allen, 2005)

Тип бассейнов	Значение теплового потока, мВт/м <sup>2</sup>	
	Среднее	Диапазон
<b>Бассейны растяжения</b>		
Активные океанические хребты и вулканы	120	120–205
Активные (син-рифт) задуговые бассейны	85	67–120
Активные рифты (син-рифт) или пассивные окраины	80	65–110
Термически прогибающийся рифт (пострифт) или пассивная окраина	50	40–65
<b>Бассейны сжатия</b>		
Коллизионный складчатый пояс	70	40–97
Океанский форландовый бассейн (предгорный прогиб)	40	40–80
Преддуговой бассейн, не связанный с дуговым магматизмом	35	20–45
<b>Сдвиговые бассейны</b>		
Активный сдвиговый бассейн с глубоким вовлечением в литосферу	100	80–120
Активный сдвиговый бассейн с поверхностным растяжением	60	50–69
<b>Внутриплитные бассейны</b>		
Кратонные бассейны (континентальная кора)	40	30–55
Океанические острова, подводные горы, плато (океаническая кора)	35	30–40
<b>В среднем</b>		
<b>Приблизительный глобальный тепловой поток</b>	<b>65</b>	<b>60–70</b>

**Региональные вариации поверхностного теплового потока  
(по Allen, Allen, 2005)**

<i>Регион</i>	<i>Тепловой поток, мВт/м<sup>2</sup></i>
<b><i>Континенты</i></b>	<b>56,6</b>
Африка	49,8
Северная Америка	54,4
Австралия	63,6
<b><i>Океаны</i></b>	<b>78,2</b>
Северная часть Тихого океана	95,4
Индийский океан	83,3
Южная часть Атлантического океана	59,0
<b><i>Мир</i></b>	<b>69,6</b>



## Приложение 4

### Принятая размерность катагенетической шкалы (по Вассоевичу Н.Б., 1967) и сопоставление её с оптическими показателями витринита

<i>Подстадия катагенеза</i>	<i>Градация катагенеза</i>	<i>ОСВ, %</i>	<i>Степень зрелости органического вещества пород</i>	
Протокатагенез	ПК <sub>1</sub> –ПК <sub>3</sub>	0,00–0,55	Стадия незрелого органического вещества пород	
Мезокатагенез	МК <sub>1</sub>	0,55–0,70	Главная зона нефтеобразования	Начальная стадия «нефтяного окна»
	МК <sub>2</sub>	0,70–1,00		Пик генерации нефти
	МК <sub>3</sub>	1,00–1,30		Заключительная стадия «нефтяного окна»
	МК <sub>4</sub> – МК <sub>5</sub>	1,30–2,00	Главная зона газобразования	Зона жирного газа
Апокатагенез	АК <sub>1</sub> –АК <sub>3</sub>	2,00–4,00		Зона сухого газа

*Учебное издание*

**Кузнецова Елена Александровна**

## **Бассейновое моделирование**

### **Часть II**

**Практикум**

*Редактор Л. Л. Савенкова*

*Корректор Л. Л. Соболева*

*Компьютерная верстка: Е. А. Кузнецова*

---

Объем данных 4,3 Мб

Подписано к использованию 24.08.2023

---

Размещено в открытом доступе

на сайте [www.psu.ru](http://www.psu.ru)

в разделе НАУКА / Электронные публикации  
и в электронной мультимедийной библиотеке ELiS

Управление издательской деятельности  
Пермского государственного  
национального исследовательского университета  
614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15