

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
НЕФТИ И ГАЗА имени И. М. ГУБКИНА

А. В. ЛОБУСЕВ
Н. Р. ИСЯНГУЛОВА
Г. Н. ПОТЕМКИН
С. А. РУДНЕВ

**ОСНОВЫ ТРЕХМЕРНОГО
ГЕОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ЗАЛЕЖЕЙ НЕФТИ И ГАЗА**

Москва 2015

Министерство образования и науки Российской Федерации
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
НЕФТИ И ГАЗА имени И. М. ГУБКИНА

Кафедра промышленной геологии нефти и газа

А. В. ЛОБУСЕВ
Н. Р. ИСЯНГУЛОВА
Г. Н. ПОТЕМКИН
С. А. РУДНЕВ

ОСНОВЫ ТРЕХМЕРНОГО
ГЕОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ЗАЛЕЖЕЙ НЕФТИ И ГАЗА

Москва 2015

Рецензенты:

д.г.-м.н., профессор *В. П. Филиппов*

(ОАО «Институт геологии и разработки горючих ископаемых»)

д.г.-м.н., профессор *О. В. Постникова*

(кафедра литологии РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина).

Лобусев А. В., Исянгулова Н. Р., Потемкин Г. Н., Руднев С. А.

Основы трехмерного геологического моделирования залежей нефти и газа: Учебное пособие. – М.: Издательский центр РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина, 2015. – 146 с.

Рассматриваются методические основы трехмерного геологического моделирования залежей углеводородов (детерминистский вариант) в программном пакете **Roxar RMS 2012**. Пособие рассчитано на студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 130101 «Прикладная геология».

© Лобусев А. В., Исянгулова Н. Р.,
Потемкин Г. Н., Руднев С. А., 2015

© РГУ нефти и газа имени
И. М. Губкина, 2015

Содержание

Введение	5
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТРЕХМЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ЗАЛЕЖЕЙ УВ	6
1.1. Назначение и основные положения трехмерного геолого-технологического моделирования	6
1.2. Этапы 3D моделирования	8
1.3. Возможности программного пакета RMS	10
1.4. Интерфейс программы RMS	11
1.4.1. <i>Панель управления проектом (Project)</i>	12
1.4.2. <i>Менеджер задач (Workflow)</i>	15
1.4.3. <i>Панель визуализации (Viewer)</i>	17
2. ПОДГОТОВКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ	20
2.1. Экспорт исходных данных из программы Autocorr	20
2.2. Импорт скважинных данных и сохранение проекта	24
2.3. Визуализация введенных данных	27
3. СТРУКТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАЛЕЖИ УГЛЕВОДОРОДОВ	32
3.1. Создание структуры объекта моделирования	32
3.2. Создание отбивок горизонтов	34
3.3. Создание отбивок изохор	35
3.4. Атрибуты пласта	38
3.4.1. <i>Расчет общих толщин</i>	38
3.4.2. <i>Расчет эффективных толщин</i>	42
3.4.3. <i>Расчет коэффициента пористости</i>	43
3.4.4. <i>Расчет коэффициента нефтенасыщенности</i>	44
3.4.5. <i>Панель информации по отбивкам (Well picks table)</i>	47
3.5. Редактирование типов данных в контейнере Horizons	48
3.6. Загрузка исходных сейсмических данных	49
3.7. Построение границы области моделирования проекта	51
3.8. Построение стратиграфических поверхностей и изохор (Mapping)	52
3.8.1. <i>Построение карты по опорному отражающему горизонту</i>	52
3.8.2. <i>Настройка визуализации поверхности</i>	56
3.8.3. <i>Статистические характеристики поверхности и оценка невязки</i>	59
3.8.4. <i>Корректировка структурной поверхности</i>	62
3.9. Построение изохоры	64

3.10. Метод схождения	67
3.11. Интегрированное структурное моделирование	69
3.11.1. Границы построения интегрированной модели	71
3.11.2. Построение опорной модели горизонтов	72
3.11.3. Построение модели изохор	75
3.11.4. Построение детальной модели горизонтов	78
4. ПОСТРОЕНИЕ ТРЕХМЕРНОЙ ДЕТЕРМИНИРОВАННОЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ	82
4.1. Создание трехмерной геологической сетки	82
4.2. Конвертирование кривой литологии	93
4.3. Перенос скважинных данных на ячейки сетки (Block Wells)	95
4.4. Создание параметра литологии	100
4.5. Создание параметра геометрического объема	105
4.6. Создание параметра пористости	107
4.7. Создание параметра нефтенасыщенности	108
4.7.1. Получение параметра высоты над ВНК	109
4.7.2. Получение кривой высоты над ВНК из соответствующего параметра	110
4.7.3. Нахождение зависимости между K_n и высотой над ВНК	112
4.7.4. Расчет трехмерного параметра нефтенасыщенности по полученной зависимости	117
4.8. Создание карт на основе трехмерной модели	118
4.8.1. Построение карт поверхности кровли и подошвы коллектора	119
4.8.2. Построение карт пористости и нефтенасыщенности	122
4.8.3. Построение карты эффективных толщин	125
4.8.4. Построение карты эффективных нефтенасыщенных толщин	127
4.9. Создание геологических разрезов и сечений	128
4.9.1. Разрезы <i>Cross Planes</i> – плоскость в заданном направлении	128
4.9.2. Разрезы по произвольным точкам (<i>Fences</i>)	131
4.9.3. Создание разреза по скважинам (<i>Multi well fences</i>)	132
4.10. Подсчет запасов по трехмерной модели	134
4.11. Контроль качества 3D модели	139
4.12. Подготовка и вывод данных на печать	143
Литература	146

Введение

Моделирование залежей углеводородов УВ является основой их комплексного геолого-промыслового изучения и, в конечном счете, направлено на обоснование рациональной системы разработки месторождений нефти и газа. Исходя из этого, геологическая модель залежи должна отражать все природные факторы, оказывающие влияние на разработку: условия залегания пород-коллекторов и насыщающих их флюидов, геометрию границ залежи, геологическую неоднородность и др. При решении этих задач на современном этапе трудно обойтись без построения трехмерных геологических моделей в специализированных программных комплексах.

В учебном пособии определена типовая последовательность и методические приемы построения трехмерной детерминированной модели залежи УВ в программном пакете **Roxar RMS 2012**. Следует отметить, что представленные алгоритмы не являются универсальными, они предназначены для ознакомления с *базовыми* приемами работы в программе. Для каждого конкретного геологического объекта, в зависимости от его особенностей, процедуры моделирования могут существенно различаться.

Пособие является продолжением работ по моделированию залежей углеводородов, подсчету их запасов, изложенных в учебных пособиях «Детальная корреляция геологических разрезов скважин и подготовка геологической основы для моделирования залежей УВ с помощью программы **Autocorr**» и «Геометризация залежей УВ, геологическое моделирование и подсчет запасов УВ с помощью программы **Autocorr**».

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТРЕХМЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ЗАЛЕЖЕЙ УВ

1.1. Назначение и основные положения трехмерного геолого-технологического моделирования

В настоящее время одним из главных направлений повышения качества проектирования, управления и контроля над разработкой месторождений нефти и газа является использование цифровых геолого-технологических моделей. Современные программные пакеты позволяют оперировать геологической и технологической информацией в трехмерном объеме (3D).

Геологическое моделирование позволяет осуществлять подсчет запасов УВ и проектирование новых скважин, а также создает основу для гидродинамического моделирования.

Построение геолого-технологических моделей может происходить как на поисково-разведочном, так и на эксплуатационном этапах жизненного цикла месторождения, что позволяет:

- создавать объемную модель залежи или месторождения УВ как имитацию реального геологического объекта, позволяющую детально изучать этот объект и прогнозировать процессы, протекающие при разработке;
- непрерывно уточнять модель и тем самым повышать эффективность геологоразведочного процесса;
- регулировать принятую систему разработки с целью улучшения показателей разработки и повышения КИН;
- выявлять слабо дренируемые и застойные зоны залежи и обосновывать мероприятия для их вовлечения в активную разработку;
- уточнять и пересчитывать извлекаемые запасы залежей

УВ в зависимости от применения наиболее эффективных технологий;

- обосновывать оптимальную стратегию доразведки и доразработки месторождения.

Трехмерная цифровая геологическая модель представляет собой совокупность пространственных ячеек (трехмерную сетку). Ячейка сетки характеризуется единственным значением каждого из параметров (например, индекса литологии, коэффициента пористости и т.д.). Геологическая модель должна обеспечивать адекватное представление изучаемой геологической среды, т.е. характеризовать пространственное размещение в объеме резервуара пород-коллекторов и неколлекторов, разного рода геологических нарушений, положение флюидальных контактов, распределение фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС).

Трехмерная геологическая модель предназначена для создания на ее основе фильтрационной модели, которая используется для расчетов вариантов разработки, в процессе проектирования дальнейших работ по бурению эксплуатационного фонда и определению технологии добычи.

Фильтрационная модель, как правило, отражает строение объекта менее детально, с возможным объединением нескольких геологических подсчетных объектов в единый объект моделирования. Такая модель создается на основе геологической и дополнительно включает фильтрационные параметры (относительные фазовые проницаемости, капиллярные давления и др.).

1.2. Этапы 3D моделирования

Процесс создания *трехмерной* геологической модели состоит из следующих основных этапов.

Подготовка исходных данных

Специалисты, изучающие залежи УВ, имеют очень ограниченный доступ к объекту исследований. Доступная информация почти всегда является косвенной. Единственный прямой метод – это изучение керна, но и в этом случае существуют сложности, т.к. характеристики породы после извлечения на поверхность могут отличаться от параметров на глубине. Остальные методы предоставляют опосредованную информацию, как, например, при сейсморазведке непосредственно измеряется время прохождения колебаний через среду, а затем на основе скоростной модели может быть получен искомый параметр – глубина залегания горизонта.

Другая важная особенность состоит в том, что методы исследований очень разномасштабны (табл. 1). Как правило, чем меньше масштаб изучения, тем более достоверной является полученная информация. Относительно точные методы, связанные со скважинами (анализ керна, шлифов, геофизические исследования скважин (ГИС) и др.)), по существу дают информацию лишь о небольшой части резервуара. Отсюда возникает проблема совместного использования разнородных данных. Прибавляет сложности и тот факт, что один и тот же параметр коллектора может быть определен на основе разномасштабных методик.

Именно объединение (комплексирование) неоднородных по объему и степени достоверности исходных данных является важнейшей задачей геологического моделирования. Проблема в том,

Масштабы изучения различных методов

Методы исследований	Масштаб изучения
Изучение шлифов	миллиметры
Исследования керна	сантиметры
ГИС, вертикальное сейсмическое профилирование	метры
Гидродинамические исследования	сотни метров
Методы полевой геофизики (сейсморазведка)	километры

что не существует единственно верного алгоритма, как решить эту задачу.

Перечень исходных данных выглядит следующим образом:

- координаты и инклинометрия скважин;
- результаты интерпретации сейсморазведки;
- данные ГИС и результаты их интерпретации (непрерывные параметры, например, $\alpha_{СП}$, пористость, нефтегазонасыщенность; дискретные параметры, например, индексы литологии, насыщения);
- описание керна и шлифов;
- результаты петрофизических исследований керна;
- физико-химические свойства УВ;
- результаты опробования скважин;
- картографическая информация (топографическая основа, координаты лицензионных участков, водоохраных зон);
- отчеты о ранее проведенных работах.

Структурное моделирование

Для создания структурного каркаса необходимо иметь стратиграфические отбивки пласта по скважинам, полученные в про-

цессе детальной корреляции, а также структурные поверхности опорных сейсмических горизонтов. На основе этих данных моделируются структурные поверхности пласта с учетом различных нарушений, в том числе тектонических. Созданные поверхности (горизонты) ограничивают моделируемый интервал разреза и отражают структурные особенности пласта.

Структурная модель представляет собой набор поверхностей, ограничивающих определенный объем геологического пространства (резервуар), в пределах которого будет построена трехмерная сетка. Такими поверхностями являются стратиграфические кровля и подошва пласта, тектонические нарушения, эрозионные поверхности и т.п. Все элементы структурного каркаса должны быть взаимно увязаны и согласоваться со скважинными данными.

3D геологическое моделирование

Трехмерное геологическое моделирование включает построение сетки на основе структурной модели, перенос скважинных данных на ячейки сетки, литологическое моделирование, построение трехмерных параметров пористости, насыщенности, а также подсчет запасов углеводородов.

1.3. Возможности программного пакета RMS

Центр компьютерного моделирования залежей УВ кафедры промысловой геологии нефти и газа оснащен программным пакетом **RMS (*Reservoir Modeling System*)**, предоставленным фирмой **Roxar**.

Пакет **RMS** состоит из различных взаимосвязанных модулей, возможности которых охватывают широкий спектр задач. Все модули используют общий интерфейс. Набор доступных модулей, в зависимости от типа лицензии на продукт, может разли-

чаться. В окне **RMS 2012 licensing** (рис. 1), появляющемся непосредственно после запуска программы, показан список модулей.

Classic structure – модуль построения структурной модели;

Structure – модуль интегрированного структурного моделирования;

Indicators – модуль индикаторного (стохастического) моделирования;

Petrophysics – модуль петрофизического моделирования;

Simgrid – модуль подготовки и редактирования геологической основы для гидродинамического моделирования.

Facies – модуль фациального моделирования;

Mapping – модуль картопостроения. Предназначен для структурного моделирования, а также для построения традиционных двухмерных геологических моделей и подсчета запасов по ним.

Таким образом, возможности **RMS** позволяют пользователям создавать **3D** геологические модели, наполнять их всевозможными параметрами в соответствии с сейсмической и скважинной информацией, учитывать статистические тренды, а также осуществлять подготовку полученных геологических данных для гидродинамического моделирования.

1.4. Интерфейс программы RMS

После запуска программы **RMS** на дисплее откроется окно, состоящее из двух панелей (рис. 2):

Project (*Панель управления проектом*) по умолчанию зани-

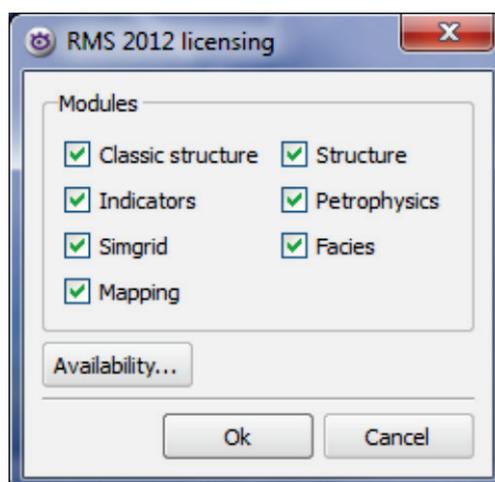


Рис. 1. Окно **RMS 2012 licensing**

мает левую сторону дисплея и используется для работы с проектами, выбора данных и т.д.

Viewer (*Панель визуализации*) по умолчанию располагается в правой половине дисплея и используется для визуализации и редактирования построений.

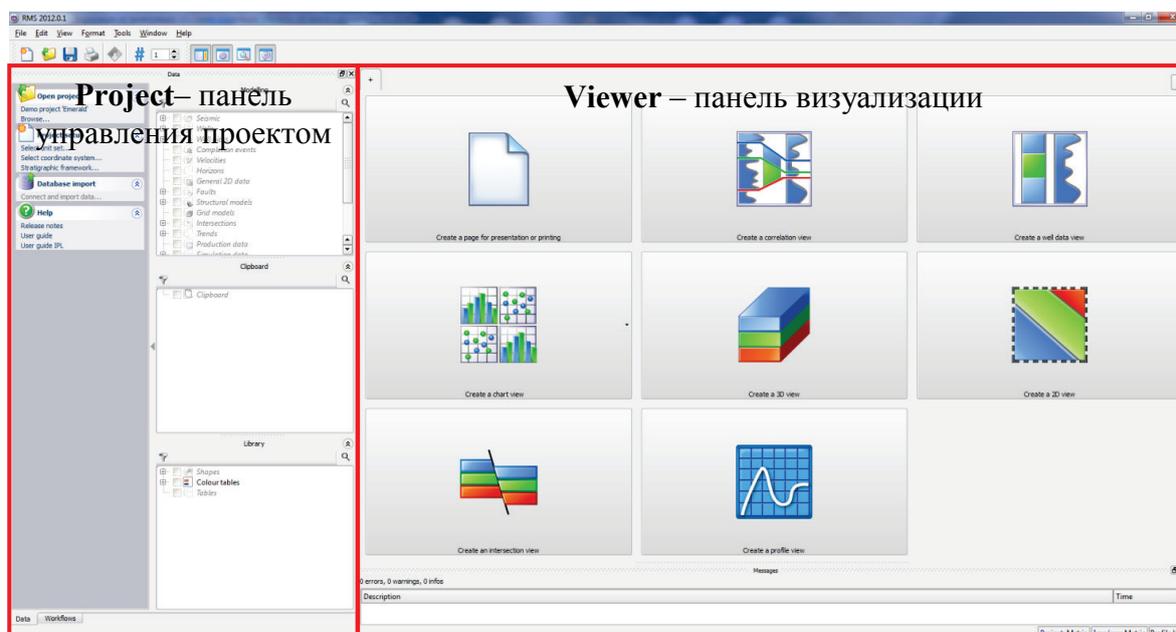


Рис. 2. Панель управления проектом и панель визуализации

1.4.1. Панель управления проектом (Project)

Панель **Project** (вкладка **Data**) состоит из двух областей: в правой находится дерево проекта, а в левой – меню операций (рис. 3). Дерево проекта состоит из контейнеров. Для каждого контейнера или объекта, выбранного в дереве проекта с помощью левой кнопки мыши (ЛКМ), в меню операций отображается список доступных действий. Также меню можно вызвать, нажав правую кнопку мыши (ПКМ) на контейнере или объекте и выбрав пункт **Tasks**.

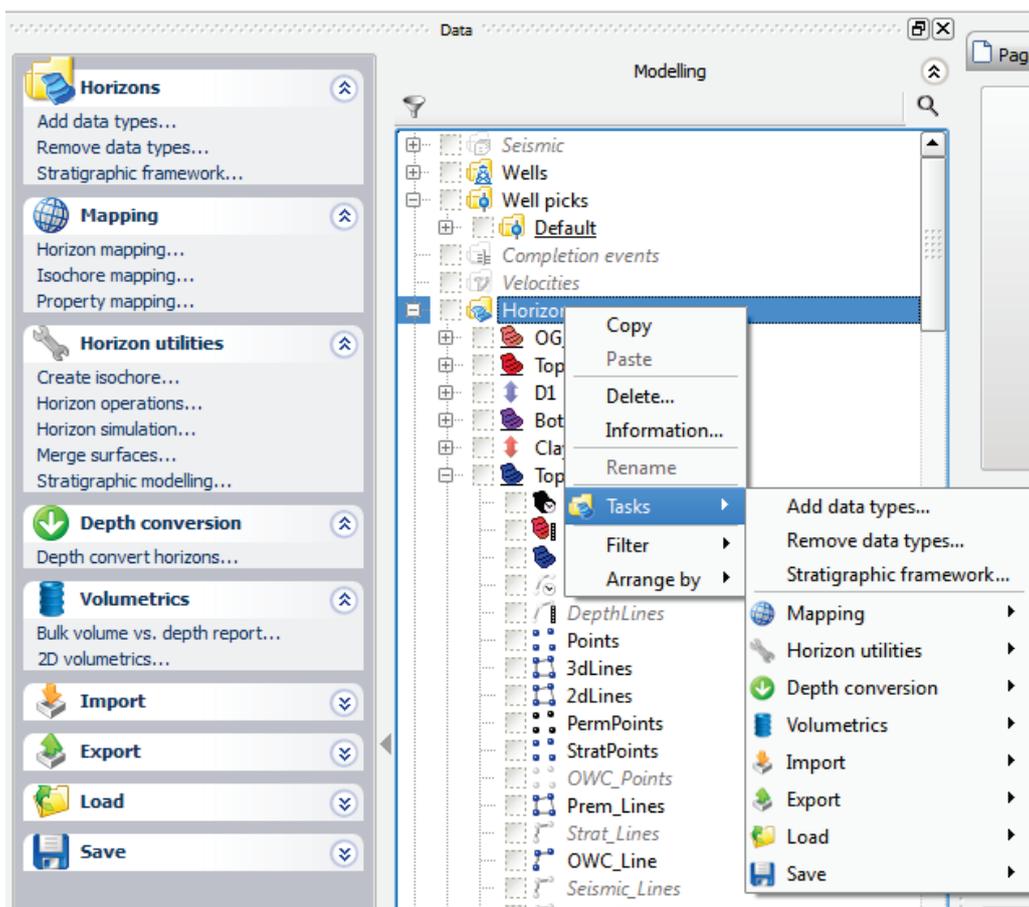


Рис. 3. Дерево проекта, меню операций и контекстное меню

Дерево проекта состоит из трех областей: **Modelling**, **Clipboard**, **Library**, в которых могут располагаться загруженные в проект или построенные (рассчитанные) объекты. Для индивидуальной настройки пользователь может в каждое окошко поместить те контейнеры, которые ему необходимы, нажатием ПКМ на пиктограмме , которая расположена вверху области.

Область **Modelling** содержит контейнеры, которые чаще всего необходимы для моделирования.

Область **Clipboard** предназначена для временного хранения данных различных типов (точки, полигоны, поверхности и др.)

В области **Library** расположены контейнеры с различными библиотеками.

Проект в программе **RMS** имеет определенную структуру.

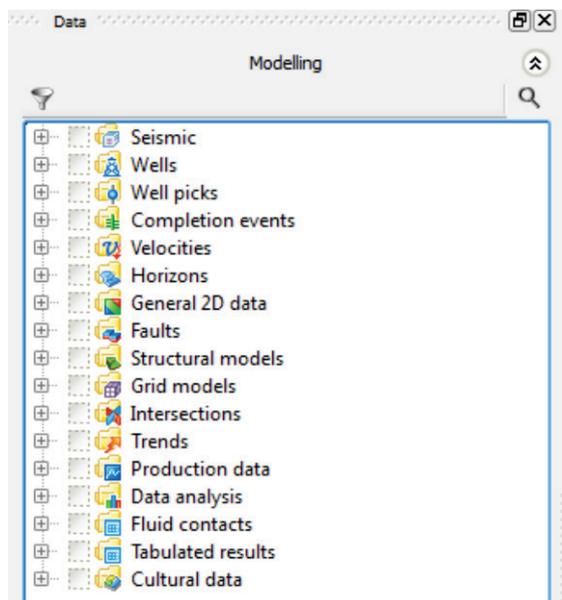


Рис. 4. Контейнеры в дереве проекта

Объекты каждого типа должны находиться в соответствующих контейнерах, предназначенных для тех или иных типов данных (рис. 4).

Seismic – контейнер содержит сейсмические данные;

Wells – скважинные данные;

Well picks – отбивки пластов;

Completion events – данные

по интервалам опробования пласта;

Velocities – скоростные модели;

Horizons – последовательность горизонтов и изохор, структурные данные;

General 2D data – 2D данные;

Faults – данные о разломах;

Structure models – интегрированные структурные модели;

Grid models – трехмерные модели;

Intersections – различные типы геологических разрезов;

Trends – информация о трендах (зависимостях);

Production data – показатели по скважинам (дебиты, давления);

Data Analysis – анализ данных;

Fluid contacts – таблицы флюидных контактов;

Tabulated results – результаты расчетов в табличном виде;

Cultural data – картографическая информация (например, границы лицензионного участка).

1.4.2. Менеджер задач (Workflow)

В панели **Project** существует также закладка **Workflows** – *Менеджер задач* (рис. 5 – 1). Панель **Workflows** состоит из двух частей: списка задач (2), где все доступные операции собраны в виде дерева, и области **Workflow** (3), которая состоит из инструментов для работы с графами (последовательностями) задач. Некоторые задачи предусматривают интерактивный ввод (**i-Tasks**), поэтому они не входят в список **All jobs**. Тем не менее, они могут быть включены в граф моделирования.

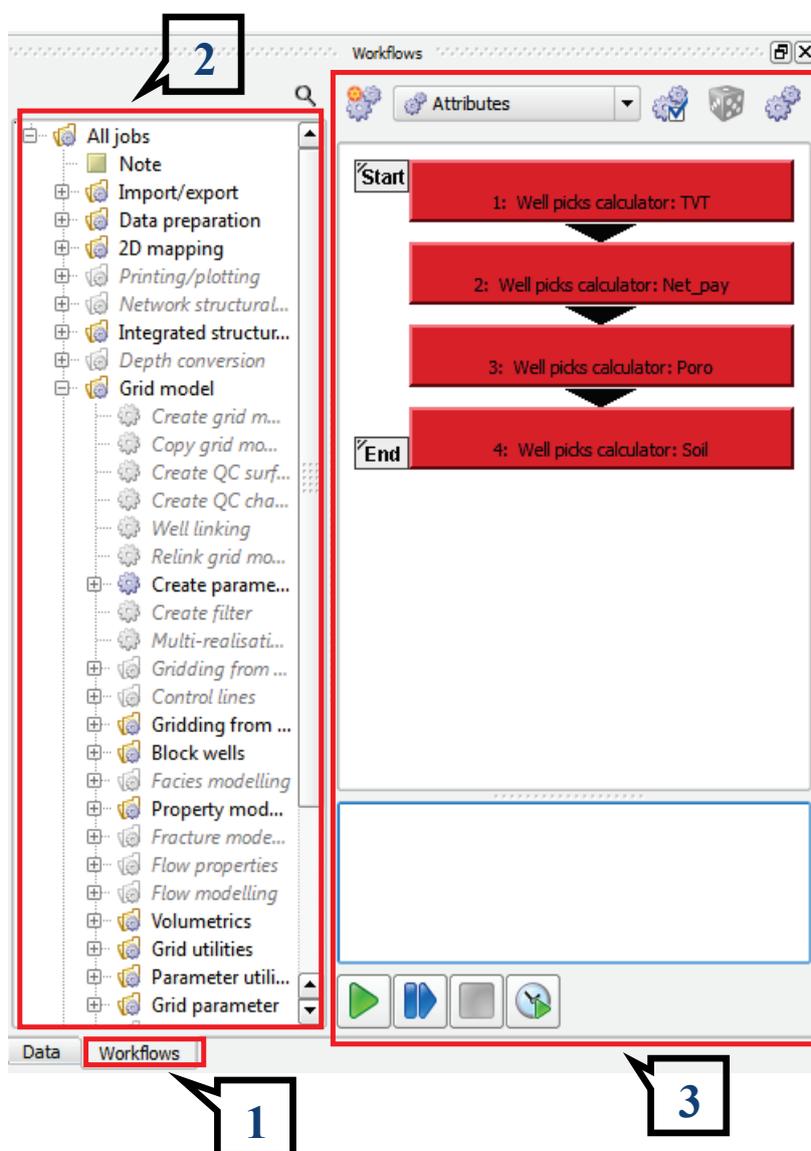


Рис. 5. Закладка Workflows (Менеджер задач)

Использование панели **Workflows** позволяет сохранить последовательность действий, автоматизировать процесс моделирования и быстро осуществлять обновление модели по новым данным.

Чтобы создать новую последовательность задач (граф), нужно кликнуть на пиктограмму (рис. 6 – 1) и указать в поле имя нового **Workflow** (2). Вызвать окно настроек расчета можно клавишей (3), операции по удалению, копированию, экспорту графов содержатся в окне **Workflow Organizer** (4). В **Workflow** можно добавить заметки (**Notes**) – текстовые сообщения со вспомогательной информацией.



Рис. 6. Панель инструментов **Workflows**

В процессе моделирования в каждом окне, настройки которого можно сохранить, есть пиктограмма в виде шестеренки с зеленой стрелкой . Если заданы все настройки и задача сохранена, двойной клик по пиктограмме позволит сразу добавить задачу в текущий **Workflow**.

Более подробно методика сохранения задач будет описана на примере расчета атрибутов пласта (п. 3.4).

Созданную последовательность задач можно запустить с помощью кнопки **Run** (рис.7 – 1), выполнить



Рис. 7. Управление процессом **Workflow**

один шаг – **Step** (2), для остановки расчета предназначена кнопка **Reset** (3). Функция **Test** (4) необходима для проверки работоспособности графа.

1.4.3. Панель визуализации (Viewer)

Панель **Viewer** позволяет отображать различные типы объектов. Чтобы создать новое окно, необходимо нажать на «+» и выбрать тип окна визуализации (рис.8). Созданные окна появляются слева от «+» в виде вкладок.

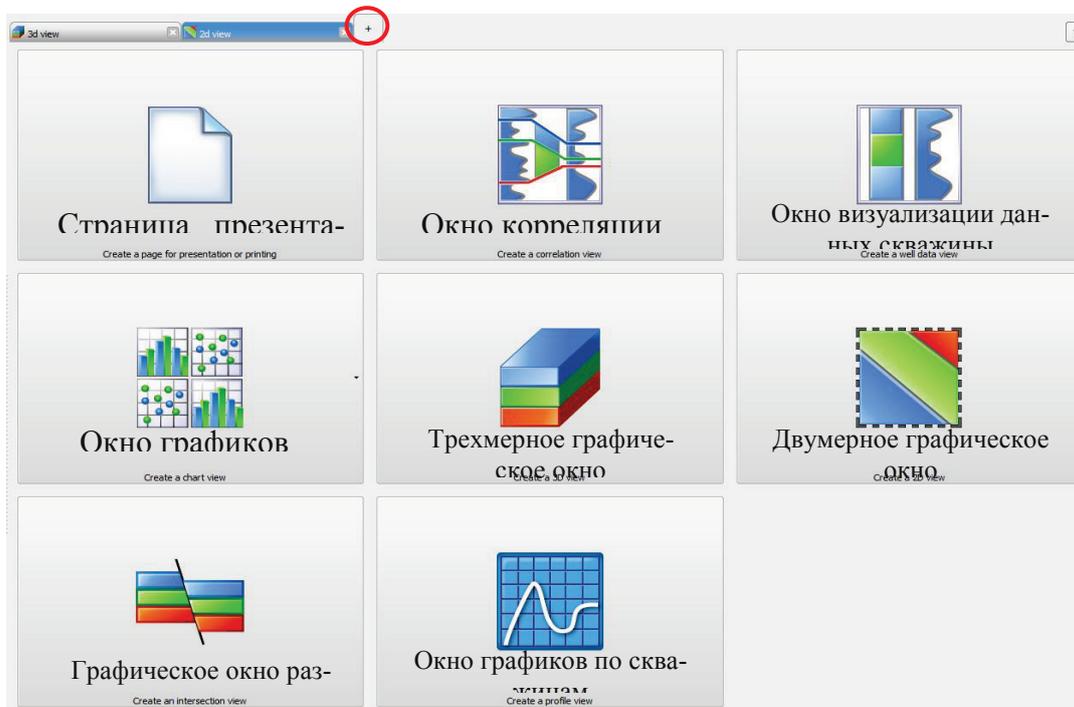


Рис. 8. Панель визуализации (Viewer)

Предусмотрены 8 типов окон:

Page for presentation or printing (*Страница презентаций*) предназначена для представления и печати результатов построений.

Correlation view (*Окно корреляции*) используется для отображения, редактирования скважинных данных, а также выполнения корреляции разрезов.

Well data view (*Окно визуализации данных скважины*) применяется для визуализации и редактирования данных единичной скважины.

Chart view (*Окно графиков*). При нажатии на кнопку **Create a**

chart view появляется список, в котором можно выбрать тип создаваемого графика или диаграммы: точечная диаграмма (**Scatterplot**), гистограмма (**Histogram**), окно визуализации функций (**Function view**), геолого-статистический разрез (**Vertical proportion curve**) и др.

3D view (*Трехмерное графическое окно*) предназначено для визуализации и редактирования широкого набора данных, таких как сетки, горизонты, разломы, траектории скважин и т.д. Также могут быть созданы новые объекты: точки, линии и скважины.

2D view (*Двумерное графическое окно*) применяется для отображения карт (горизонтов и толщин), а также для контроля качества 2D данных, таких как точки, линии, полигоны.

Intersection view (*Графическое окно разреза*) используется при двумерной визуализации и редактирования объектов в сечениях и разрезах.

Profile view (*Окно графиков по скважинам*) применяется для отображения графиков данных, зависящих от времени, и результатов гидродинамического моделирования.

Основные инструменты для работы с окном визуализации расположены на панели вверху окна. Набор функций для каждого типа окон может различаться; рассмотрим наиболее часто используемые инструменты трехмерных и двумерных окон, а также окна разреза.

	Настройки окна визуализации
	Приближение выбранного участка
	Возвращение к исходному виду. Установка исходного положения
	Рулетка (измерение расстояния)
	Включение и отключение отображения осей координат

	Включение и настройка отображения кривых по скважинам в виде цилиндров
	Включение и настройка отображения кривых по скважинам в виде планшетов
	Включение и отключение аннотаций (легенда, масштаб и др.) в режиме полного окна
	Включение и отключение цветовой легенды
	Включение и отключение условных обозначений (2D view, Intersection view)
	Включение и отключение подписи множителя вертикального масштаба (3D view, Intersection view)
	Включение и отключение подписи порядкового номера реализации
	Включение и отключение стрелки северного направления (2D view, Intersection view)
	Включение и отключение масштабной линейки (2D view, Intersection view)

Функции кнопок мыши панели Viewer

В окнах визуализации объекты можно перемещать и приближать/отдалять, а в режиме 3D view доступно вращение объектов. Эти действия осуществляются с помощью перемещения курсора при нажатой одной из кнопок мыши:

левая кнопка мыши (ЛКМ) – увеличение/уменьшение визуализированных объектов. Также выполняется с помощью колеса прокрутки;

средняя кнопка мыши (СКМ) – вращение визуализированных объектов;

правая кнопка мыши (ПКМ) – перемещение визуализированных объектов по окну.

При одиночном клике ЛКМ на визуализированном объекте становится доступным режим редактирования.

2. ПОДГОТОВКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

2.1. Экспорт исходных данных из программы Autocorr

1) Для вывода скважинных данных с результатами детальной корреляции и кривыми ГИС в Главном Диалоге программы **Autocorr** следует открыть закладку **Скв.** и нажать кнопку **Новый эксп. в IRAP** (рис. 9), чтобы открыть диалоговое окно Экспорт данных в IRAP.

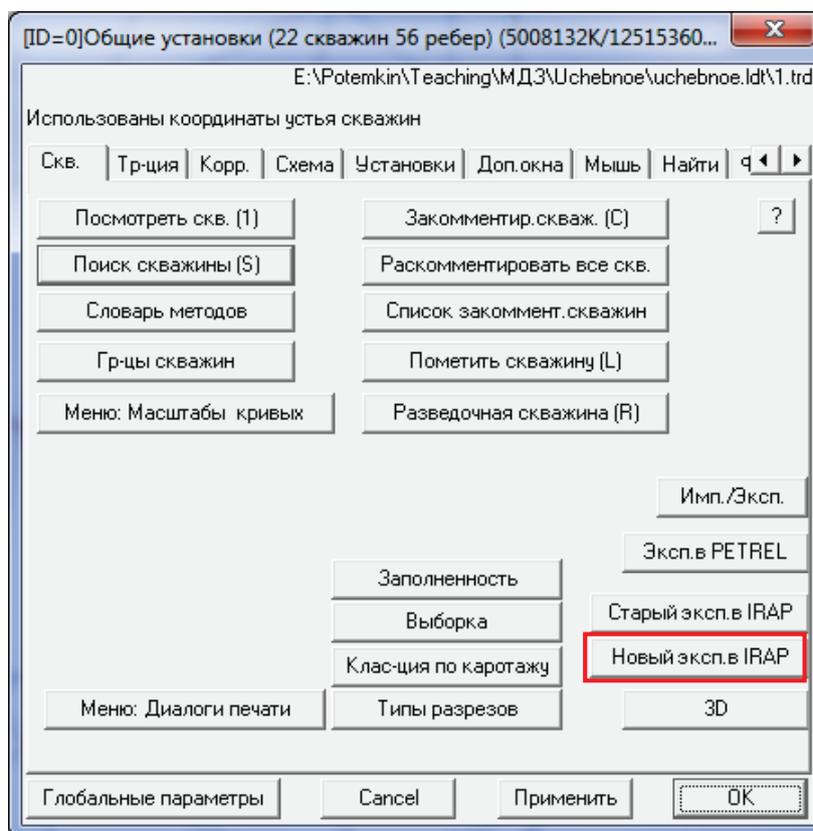


Рис. 9. Вызов меню экспорта в RMS

2) В меню Файл диалогового окна Экспорт данных в IRAP задайте новые соответствия (рис. 10).

3) Откроется список всех доступных кривых месторождения. Выберите только те, которые нужны для создания модели и подсчета запасов (рис. 11). Чтобы отключить или включить все методы, кликните на один из них, удерживая клавишу Ctrl.

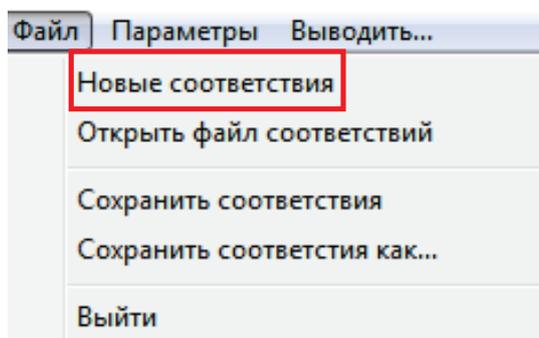


Рис. 10. Инициализация новых соответствий

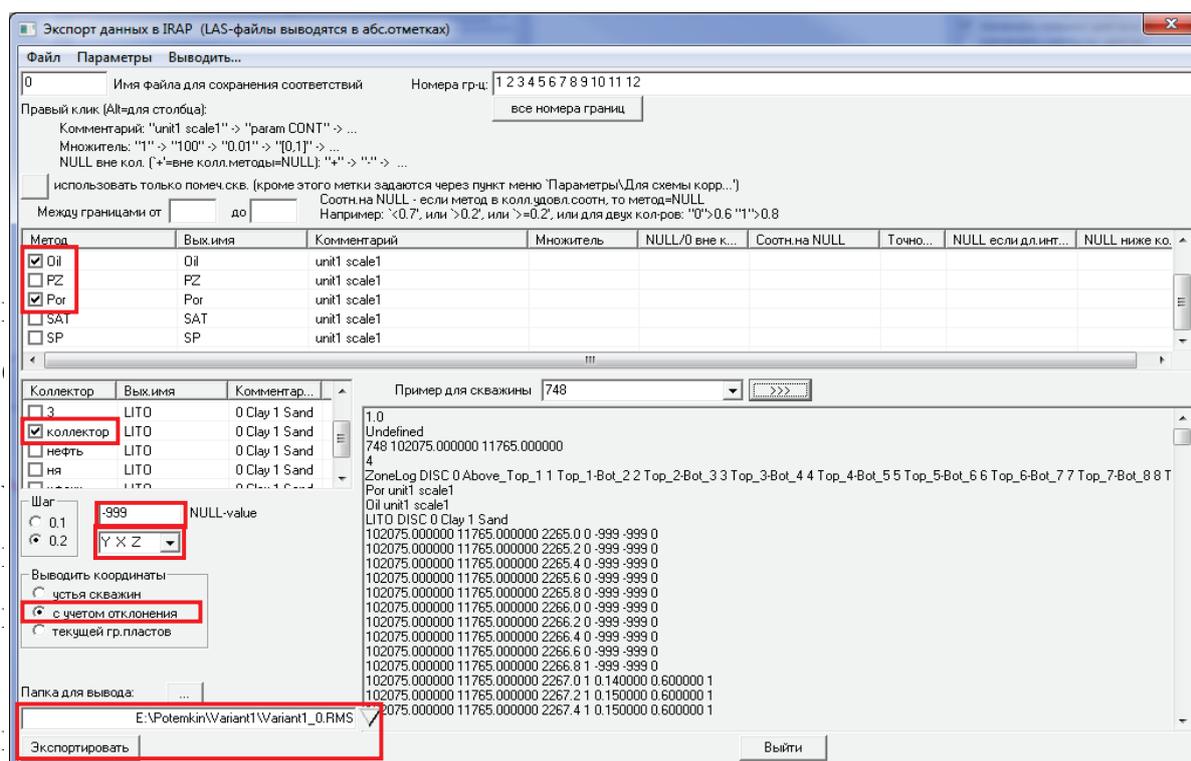


Рис. 11. Настройка параметров экспорта

Необходимо выгрузить коллектор или метод, по кондиционному значению которого он определяется, а также коэффициенты пористости и нефтенасыщенности.

Также установите код для неопределенных значений NULL-value (-999), используйте систему (Y X Z), способ вывода траекторий скважин (с учетом отклонения) и укажите папку для вывода.

Шаг выгрузки данных не должен превышать шаг оцифровки

каротажа, иначе возможно несоответствие выгруженных и исходных данных

4) Некоторые настройки экспорта задаются во вкладке Параметры. Следует выбрать пункт **Использовать поправки на высоту и удлинение** (рис. 12).

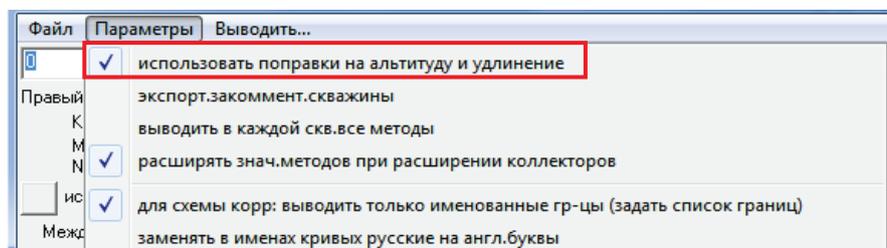


Рис. 12. Дополнительные параметры экспорта

После того, как все настройки заданы, необходимо нажать кнопку «Экспортировать».

Исходные данные для **RMS** могут быть представлены файлами разных типов. При использовании данных из программы **Autocorr** удобнее пользоваться форматом *ASCII RMS Well*, который представляет собой текстовый файл с разбиением на строки и имеет следующую структуру. Вот что означает каждая строка:

- 1 – версия формата;
- 2 – описание/назначение скважины;
- 3 – имя скважины и координаты устья скважины;
- 4 – количество кривых;
- 5 и далее построчно – описание каждой кривой (дискретной или непрерывной).

Примеры дискретных кривых: *ZoneLog* – результат детальной корреляции разрезов скважин в виде отбивок пластов; *LITO* – дискретная кривая литологии, описывающая пересечение ствола скважины с различными литотипами пород, в простейшем случае определяющая породу как коллектор или неколлектор. Примером

непрерывных кривых являются геофизические кривые и результаты их интерпретации: нефтенасыщенность, водонасыщенность, пористость, проницаемость и т.д..

Рассмотрим пример (рис. 13).

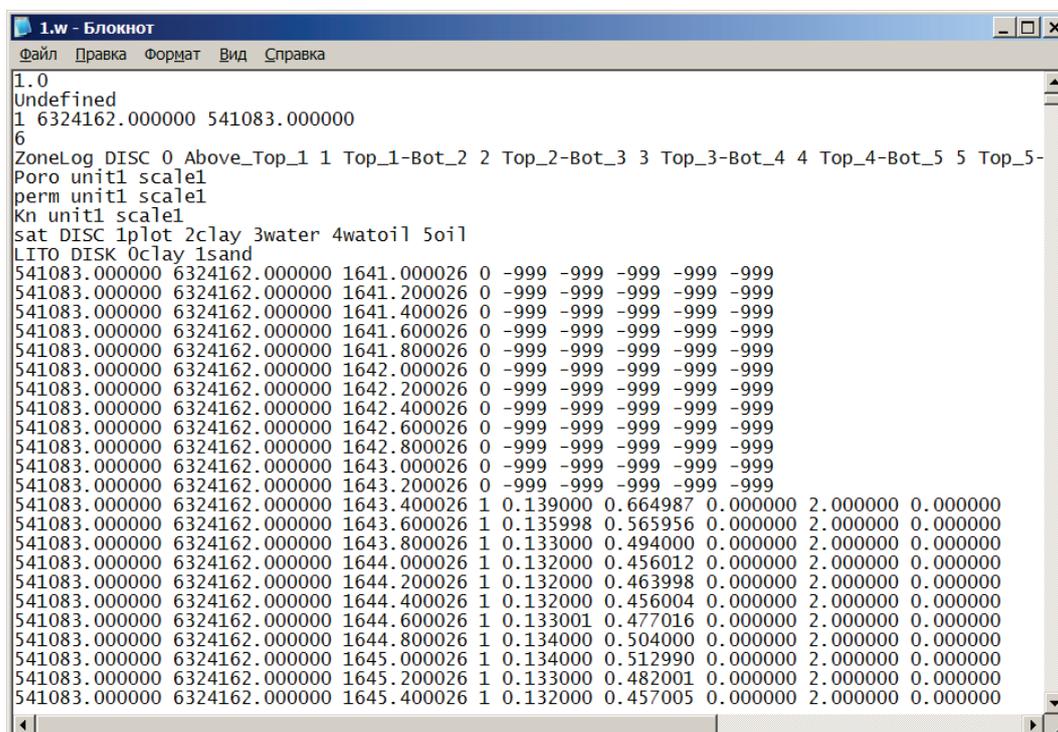
1 строка – версия формата **1.0**;

2 строка – назначение скважины **Undefined** (неопределенно);

3 строка – имя скважины **1** и условные координаты устья скважины **6324162.000000 541083.000000**;

4 строка – количество интерпретируемых кривых – **6**;

5 строка – «**ZoneLog DISC 0 Above Top_1 1 Top_1 –Bot_1 2 ...**». Дискретный параметр *ZoneLog*, являющийся результатом детальной корреляции, выглядит как последовательность кодов и их расшифровки; каждый из кодов соответствует интервалам разреза, разделенным корреляционными границами. Эта кривая служит основой для получения точек пересечения скважин с поверхностями горизонтов и затем расчета величины вскрытых толщин пластов.



```
1.0
Undefined
1 6324162.000000 541083.000000
6
ZoneLog DISC 0 Above_Top_1 1 Top_1-Bot_2 2 Top_2-Bot_3 3 Top_3-Bot_4 4 Top_4-Bot_5 5 Top_5-
Porosity scale1
perm unit1 scale1
Kn unit1 scale1
sat DISC 1plot 2clay 3water 4watoil 5oil
LITO DISK 0clay 1sand
541083.000000 6324162.000000 1641.000026 0 -999 -999 -999 -999 -999
541083.000000 6324162.000000 1641.200026 0 -999 -999 -999 -999 -999
541083.000000 6324162.000000 1641.400026 0 -999 -999 -999 -999 -999
541083.000000 6324162.000000 1641.600026 0 -999 -999 -999 -999 -999
541083.000000 6324162.000000 1641.800026 0 -999 -999 -999 -999 -999
541083.000000 6324162.000000 1642.000026 0 -999 -999 -999 -999 -999
541083.000000 6324162.000000 1642.200026 0 -999 -999 -999 -999 -999
541083.000000 6324162.000000 1642.400026 0 -999 -999 -999 -999 -999
541083.000000 6324162.000000 1642.600026 0 -999 -999 -999 -999 -999
541083.000000 6324162.000000 1642.800026 0 -999 -999 -999 -999 -999
541083.000000 6324162.000000 1643.000026 0 -999 -999 -999 -999 -999
541083.000000 6324162.000000 1643.200026 0 -999 -999 -999 -999 -999
541083.000000 6324162.000000 1643.400026 1 0.139000 0.664987 0.000000 2.000000 0.000000
541083.000000 6324162.000000 1643.600026 1 0.135998 0.565956 0.000000 2.000000 0.000000
541083.000000 6324162.000000 1643.800026 1 0.133000 0.494000 0.000000 2.000000 0.000000
541083.000000 6324162.000000 1644.000026 1 0.132000 0.456012 0.000000 2.000000 0.000000
541083.000000 6324162.000000 1644.200026 1 0.132000 0.463998 0.000000 2.000000 0.000000
541083.000000 6324162.000000 1644.400026 1 0.132000 0.456004 0.000000 2.000000 0.000000
541083.000000 6324162.000000 1644.600026 1 0.133001 0.477016 0.000000 2.000000 0.000000
541083.000000 6324162.000000 1644.800026 1 0.134000 0.504000 0.000000 2.000000 0.000000
541083.000000 6324162.000000 1645.000026 1 0.134000 0.512990 0.000000 2.000000 0.000000
541083.000000 6324162.000000 1645.200026 1 0.133000 0.482001 0.000000 2.000000 0.000000
541083.000000 6324162.000000 1645.400026 1 0.132000 0.457005 0.000000 2.000000 0.000000
```

Рис. 13. Пример файла формата ASCII RMS Well

8 строка – **Poro unit1 scale1**¹ Кривая значений коэффициента пористости;

9 строка – **perm unit1 scale1** Кривая значений коэффициента проницаемости;

10 строка – **Kn unit1 scale1** Кривая значений коэффициента нефтенасыщенности;

11 строка – **sat DISC** Дискретный параметр, описывающий насыщение, т.е. значения нефть/вода и т.п.

12 строка – **LITO DISC 0clay 1sand** Дискретный параметр *LITO*, представляет собой последовательность кодов, соответствующих проницаемым и непроницаемым интервалам. Обычно код «0» отвечает интервалу неколлектора, код «1» – коллектора. Различными кодами кривой могут описываться интервалы, относящиеся к определенным литотипам (песчаник, алевролит и т.п.)

Ниже колонками записаны непосредственные значения кривых по стволу скважины в порядке их перечисления; при этом первые три колонки – координаты *X*, *Y* и *Z*, где *X* и *Y* – условные координаты точки, а *Z* – абсолютная отметка; далее указаны все вышеперечисленные параметры.

Неопределенные значения или их отсутствие в кривых должны быть описаны значением –999.

2.2. Импорт скважинных данных и сохранение проекта

Пакет **RMS** предусматривает возможность загрузки скважинной информации по частям, когда в различных файлах содержатся координаты устьев скважин, траектории скважин, оцифрован-

¹Названия кривых могут различаться в зависимости от исходных данных.

ный каротаж и результаты интерпретации методов ГИС. Помимо этого, данные по каждой скважине могут быть объединены в один файл. В этом методическом руководстве рассмотрен вариант загрузки исходных данных по скважинам единым файлом, который был получен на стадии экспорта исходных данных из программы **Autocorr**.

При появлении новой или дополнительной информации по скважинам в любой момент ее можно добавить к уже имеющимся в проекте данным.

1) В новом проекте в меню контейнера **Wells** (*Скважины*) необходимо выбрать опцию **Import** (*Импорт*) **Well Data** (*Скважинные данные*). В открывшемся окне импорта (рис. 14) нужно выбрать формат данных RMS Well (1).

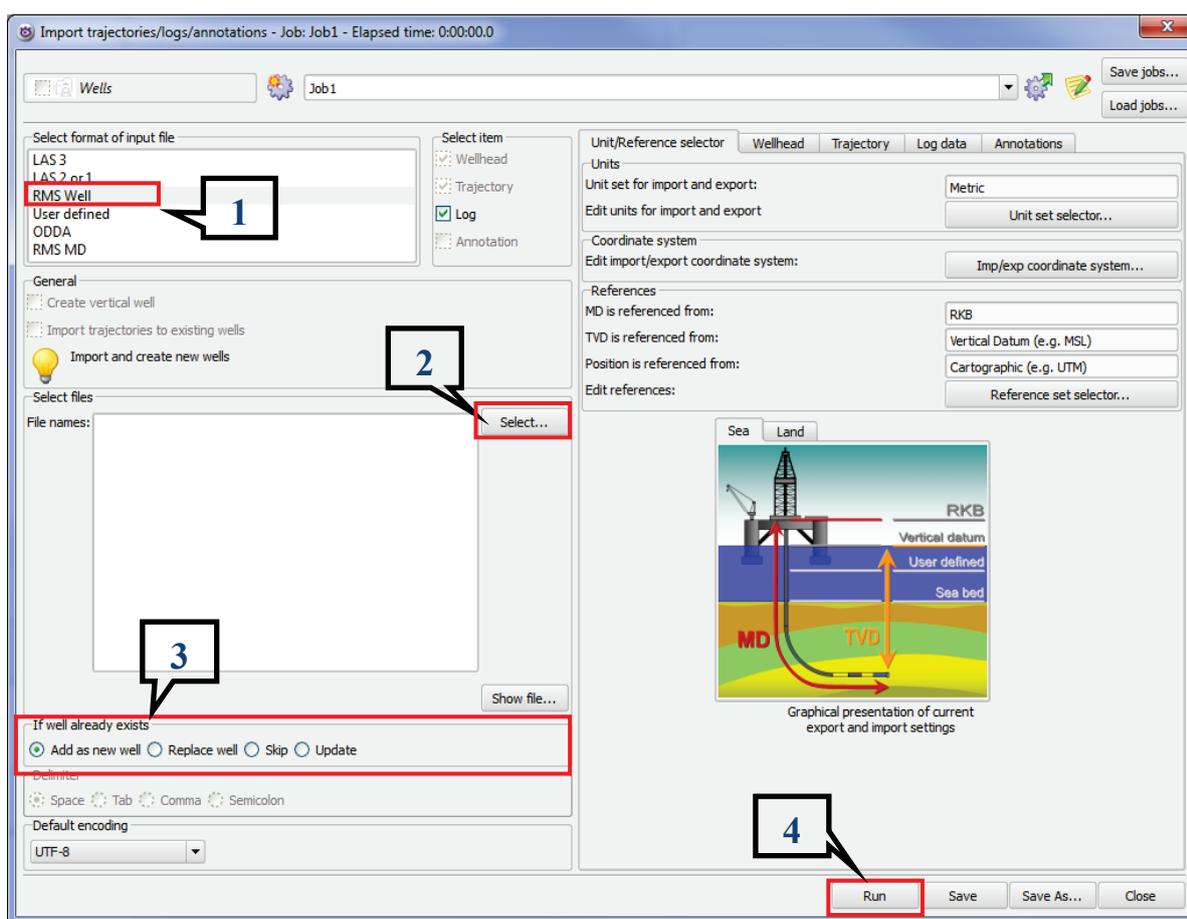


Рис. 14. Настройка параметров импорта

При нажатии на кнопку **Select** (рис. 14 – 2) откроется окно выбора файлов (рис. 15), где нужно указать путь к папке, в которую были экспортированы данные из программы **Autocorr**, выбрать в поле **Files of type** (*Тип файлов*) пункт **All files** (*Все файлы*) и выделить файлы по скважинам с расширением *.w, после чего нажать **Open** (*Открыть*).

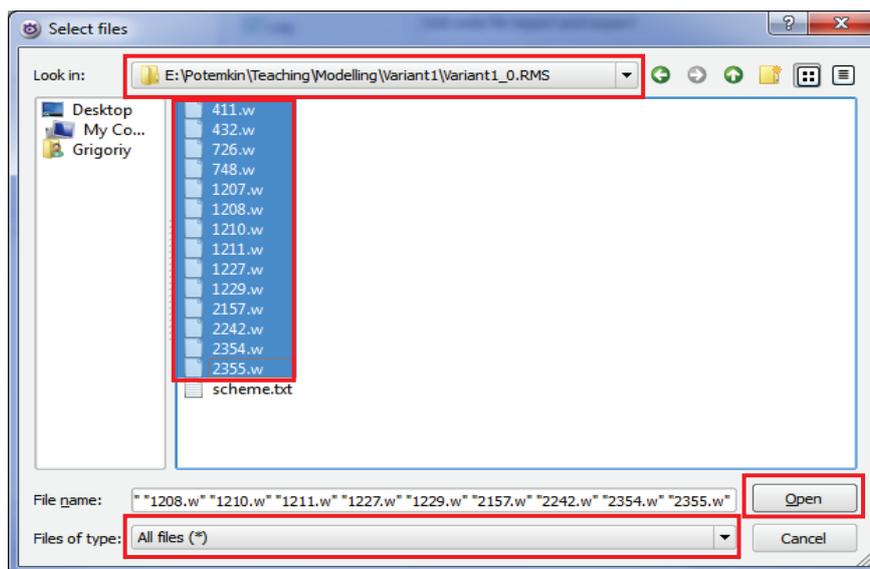


Рис. 15. Выбор файлов со скважинными данными

В поле **If well already exists** (рис.14 – 3) указывается действие для случая, если скважина с данным именем уже существует: **Add as new well** (*Добавить как новую скважину*), **Replace well** (*Заменить скважину*), **Skip** (*Пропустить*) или **Update** (*Обновить*).

В правой части окна импорта находятся вкладки, в которых задаются дополнительные настройки данных.

После нажатия кнопки **Run** (рис.14 – 4) исходные данные по скважинам будут загружены в проект.

2) Для сохранения проекта нужно нажать кнопку **Save project** . При первом сохранении откроется окно **Save project as** (*Сохранить как*), где следует выбрать папку для сохранения

проекта. В последующем при нажатии кнопки **Save project** сохранение будет происходить в ранее указанную папку.

Обратите внимание, что в программе не предусмотрено авто-сохранение!

Загрузка ранее сохраненного проекта осуществляется с помощью функции **Open Project** , в соответствующем окне нужно выбрать папку с проектом.

2.3. Визуализация введенных данных

Все данные в *Трехмерном графическом окне* визуализируются внутри прямоугольного параллелепипеда, который называется *3D бокс (bounding box)*. Настройки *3D бокса* можно менять, для чего вызывается панель *Параметров трехмерного графического окна (3D view properties)* (рис. 16) с помощью кнопки  (либо ПКМ на пустом поле окна **3D view – 3D view properties**).

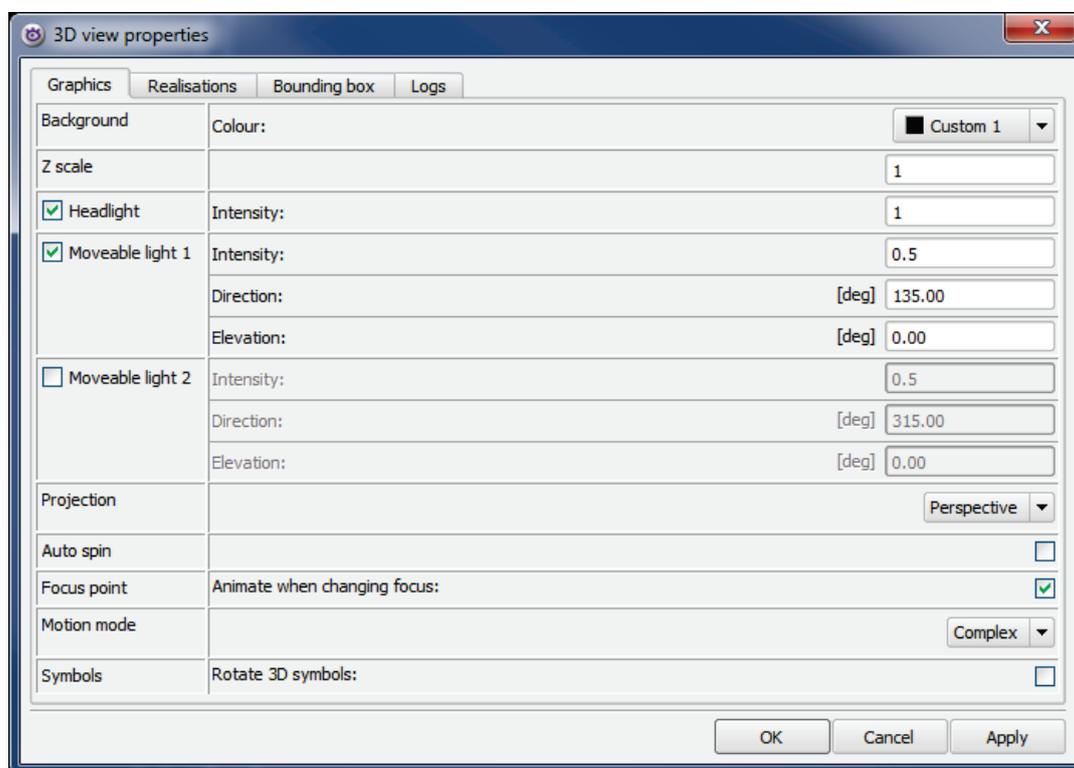


Рис. 16. Настройки трехмерного графического окна. Закладка Graphics

В закладке **Graphics** (*Настройка графики*) можно установить:

- *цвет фона* (**Background colour**) – по умолчанию используется черный фон, но можно выбрать другой цвет из выпадающего списка;

- *масштаб изображения по оси Z* (**Z scale**) – данная опция позволяет масштабировать трехмерное изображение по оси Z, делая поверхности более рельефными. Также масштаб изображения по оси Z можно изменять без вызова панели *Настроек трехмерного графического окна*, используя стрелки вверх и вниз на клавиатуре.

Закладка **Bounding box** – *Настройка 3D бокса* (рис. 17).

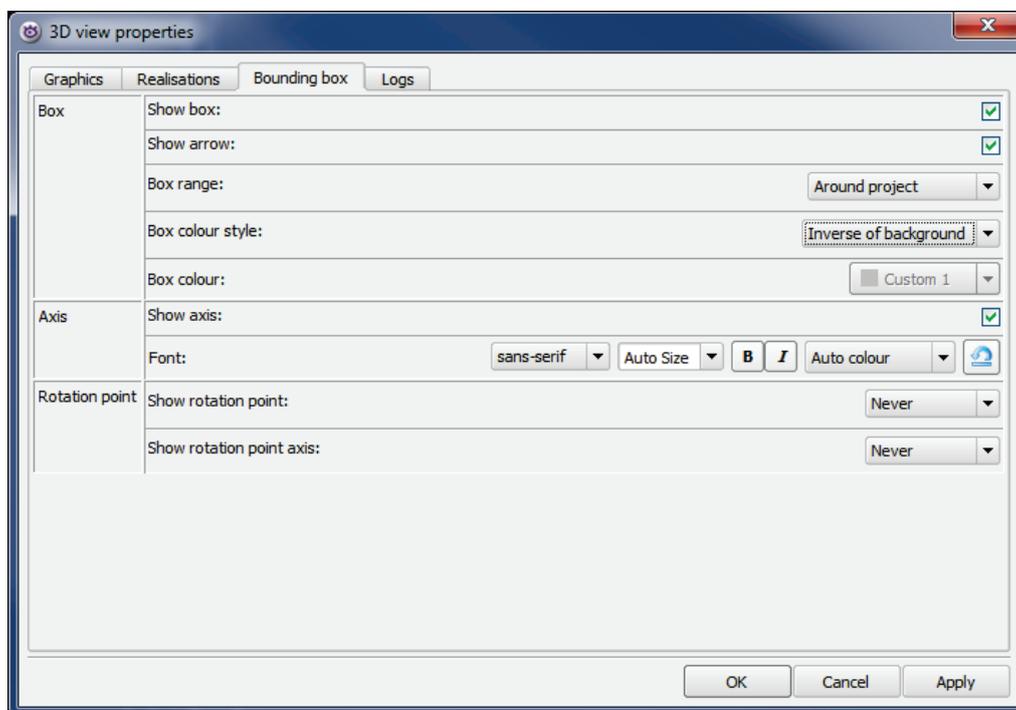


Рис. 17. Настройки трехмерного графического окна. Закладка **Bounding box**

- **Show box** (*показывать бокс*) – включает/выключает визуализацию бокса.

- **Show arrow** (*показывать стрелку*) – включает/выключает стрелку направления на север.

- Раздел **Box range** (*размер 3D бокса*) – выпадающий список, определяет, вокруг каких данных строится **3D** бокс:

Around project (*вокруг проекта*) – размеры и координаты 3D бокса будут определяться, исходя из минимальных и максимальных значений координат X, Y, Z среди всех объектов, загруженных в проект.

Around visible objects (*вокруг визуализированных объектов*) – 3D бокс всегда будет вокруг только тех данных, которые визуализированы в активном трехмерном окне.

- Раздел **Axis** – настройка осей X, Y, Z:

Show axis – показывать оси;

Font – настройки шрифта подписей осей.

Помимо настроек *Трехмерного графического окна* существует возможность установки параметров визуализации конкретных объектов.

Чтобы визуализировать объект или группу объектов (например, загруженные скважины), необходимо установить флаг у соответствующего контейнера или объекта (рис. 18).

Окно настроек визуализации объекта можно вызвать, нажав ПКМ на объект (в нашем случае на скважину) и выбрав пункт меню **Visual settings** (рис. 19).

В окне **Visual settings** можно настроить параметры отображения значков скважин (закладка **Symbol**) и имен (закладка **Name**). Чтобы применить настройки ко всем скважинами проекта, необходимо установить флаг **All wells. Only the changed fields will be applied** (рис. 20).

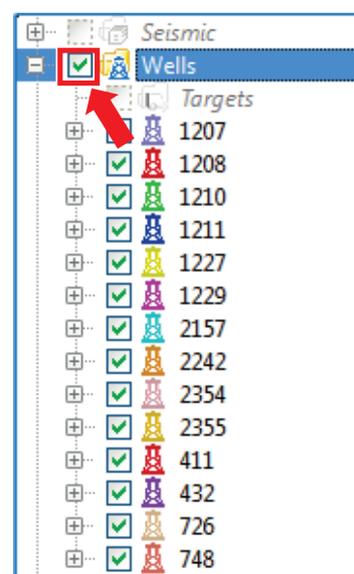


Рис. 18. Включение визуализации объектов

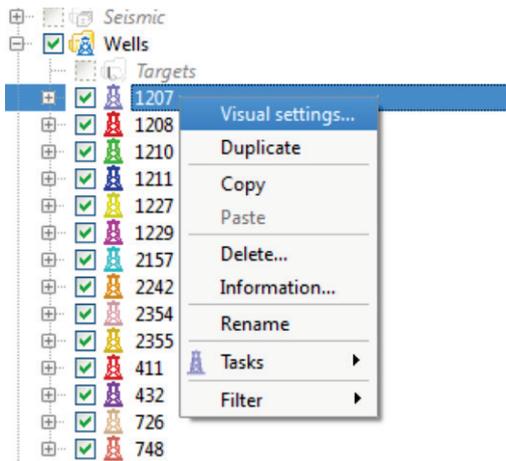


Рис. 19. Вызов окна настройки визуализации

Вкладка **Symbol** для каждого типа траектории скважин устанавливается тип значка (кнопка **Specify symbol**), его размер (**Size**), цвет (**Colour**), смещение значка в горизонтальной плоскости в направлении запад-восток (**Offset East**), север-юг (**Offset North**) и по глубине (**Offset depth**). В разделе **Position** можно задать положение значка: на устье (**At start**), на забое (**At end**) или в точке пересечения с какой-либо поверхностью (**At horizon intersection**).

Во вкладке **Symbol** для каждого типа траектории скважин устанавливается тип значка (кнопка **Specify symbol**), его размер (**Size**), цвет (**Colour**), смещение значка в горизонтальной плоскости в направлении запад-восток (**Offset East**), север-юг (**Offset North**) и по глубине (**Offset depth**). В разделе **Position** можно задать положение значка: на устье (**At start**), на забое (**At end**) или в точке пересечения с какой-либо поверхностью (**At horizon intersection**).

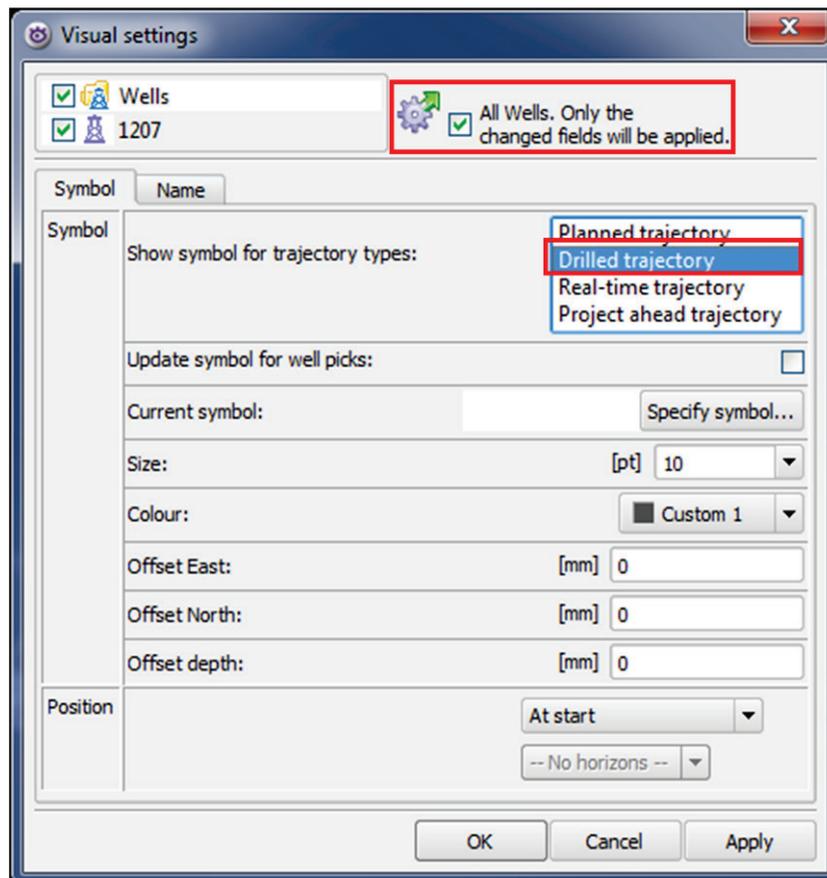


Рис. 20. Окно параметров визуализации. Закладка Symbol

В закладке **Name** (рис. 21) для имен скважин (*Well name*) или идентификаторов (UWI) задается тип и размер шрифта (**Font**), а также смещения (**Offset**) и положение имен (**Position**) аналогично закладке **Symbol**.

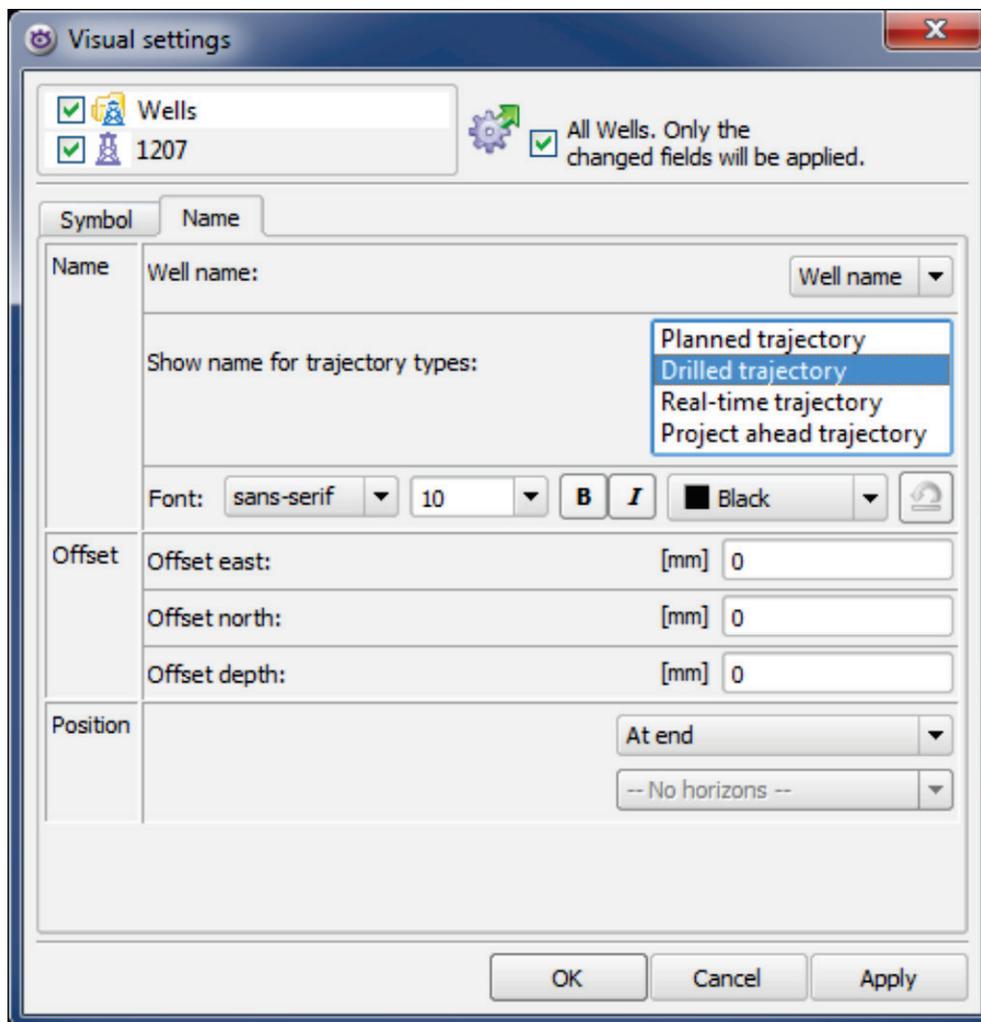


Рис. 21. Окно параметров визуализации. Закладка Name

3. СТРУКТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАЛЕЖИ УГЛЕВОДОРОДОВ

3.1. Создание структуры объекта моделирования

Перед началом геометризации залежи следует описать структуру объекта моделирования, т.е. задать пласты и поверхности с учетом последовательности напластования.

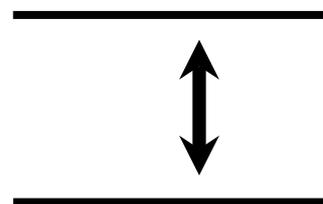
В программе **RMS** под термином «*Горизонт*» (**Horizon**) понимается стратиграфическая поверхность, а под термином «*Изохора*» (**Isochore**) – объект, характеризующий различные свойства зоны, расположенной между соседними горизонтами, т.е. сам пласт.

Простейшая структура объекта состоит из двух стратиграфических границ и пласта между ними и выглядит следующим образом:

Кровля пласта – **Horizon 1**

Пласт – **Isochore**

Подшва пласта – **Horizon 2**



Если моделируемый объект многопластовый, структура объекта будет выглядеть следующим образом:

Кровля пласта 1 – **Horizon 1**

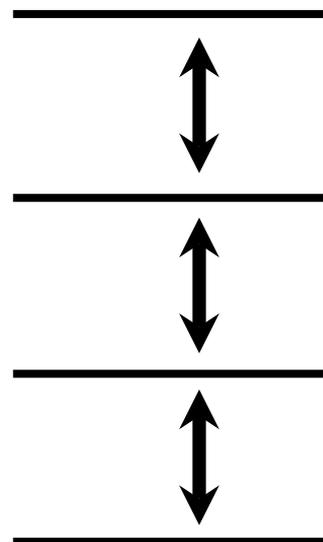
Подшва пласта 1 – **Horizon 2**

Глинистый раздел – **Isochore 2**

Кровля пласта 2 – **Horizon 3**

Пласт 2 – **Isochore 3**

Подшва пласта 2 – **Horizon 4**



1) Для создания структуры объекта моделирования следует выбрать ЛКМ контейнер **Horizons**, а затем операцию **Stratigraphic framework** (рис. 22). (Другой вариант: ПКМ на контейнере **Horizons** – **Tasks** – **Stratigraphic framework**).

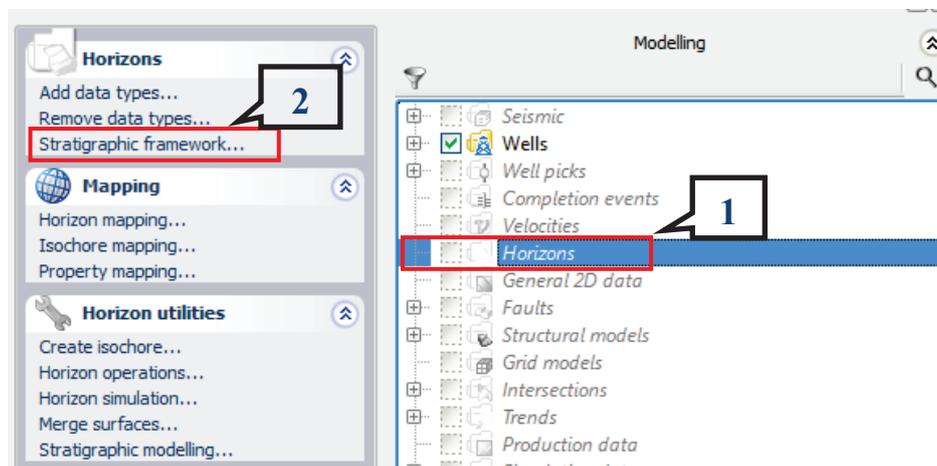


Рис. 22. Вызов операции Stratigraphic framework

2) В окне **Stratigraphic framework** нужно создать горизонты по числу корреляционных границ, присутствующих в проекте (рис. 22). Вставка выше выделенного горизонта осуществляется с помощью кнопки **Insert above**, ниже выделенного – **Insert below**. Удалить ненужный горизонт можно кнопкой **Remove**, переместить – с помощью **Move up** и **Move down**. Каждому горизонту должно быть присвоено уникальное имя¹, последовательность горизонтов должна соответствовать залеганию пластов.

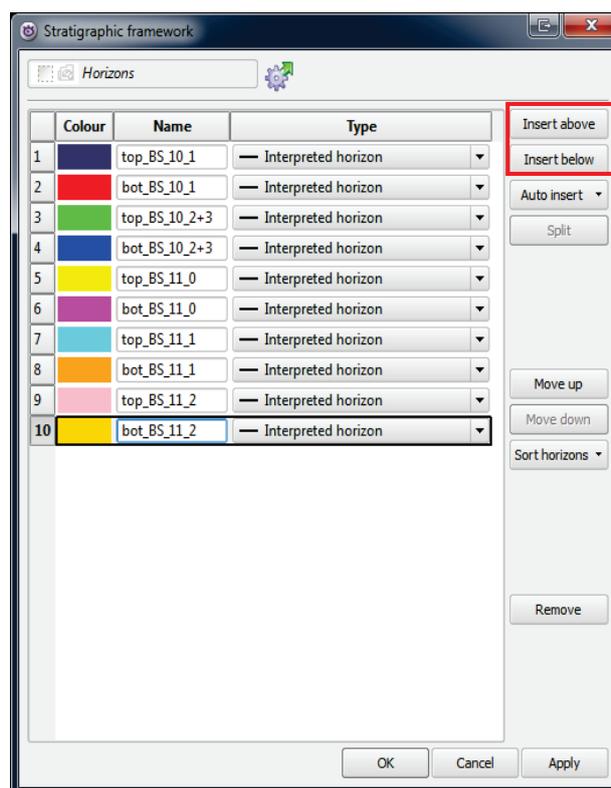


Рис. 23. Создание структуры объекта моделирования

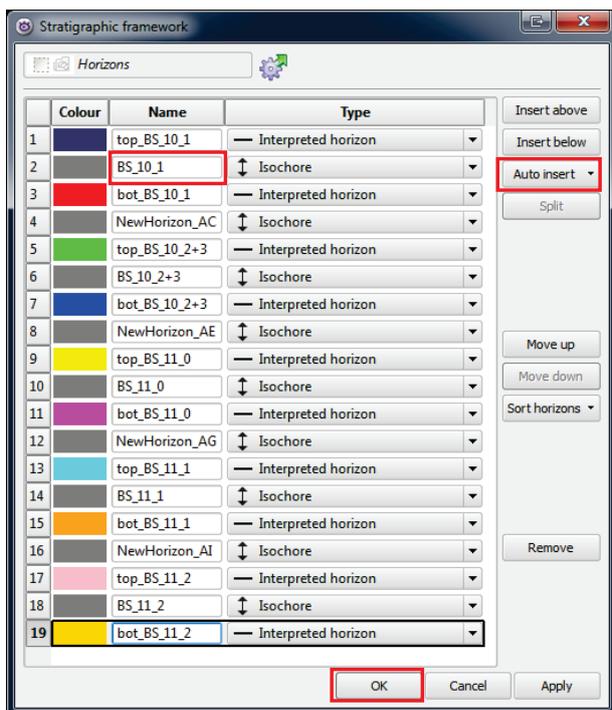


Рис. 24. Создание изохор

3) Для добавления изохор между горизонтами можно воспользоваться кнопкой **Auto insert – Isochores**. Изохорам нужно задать имена, которые соответствуют продуктивным пластами и нажать **ОК** (рис. 24).

3.2. Создание отбивок горизонтов

На основе загруженных скважинных данных необходимо рассчитать отбивки горизонтов (стратиграфических границ), а также толщины пластов (изохоры). В данной (учебной) работе отбивки горизонтов будут рассчитаны на основе загруженной кривой стратиграфии *ZoneLog*.



Рис. 25. Вызов операции **Create from zone log**

1) Для этого следует выделить контейнер **Well picks: Well picks – Well picks utilities – Create from zone log...** (рис. 25).

2) Сначала нужно рассчитать отбивки горизонтов – **Horizon picks** (рис. 26 – 1).

¹В названии горизонтов и изохор могут использоваться только латинские буквы, не должны содержаться пробелы и знаки математических операций.

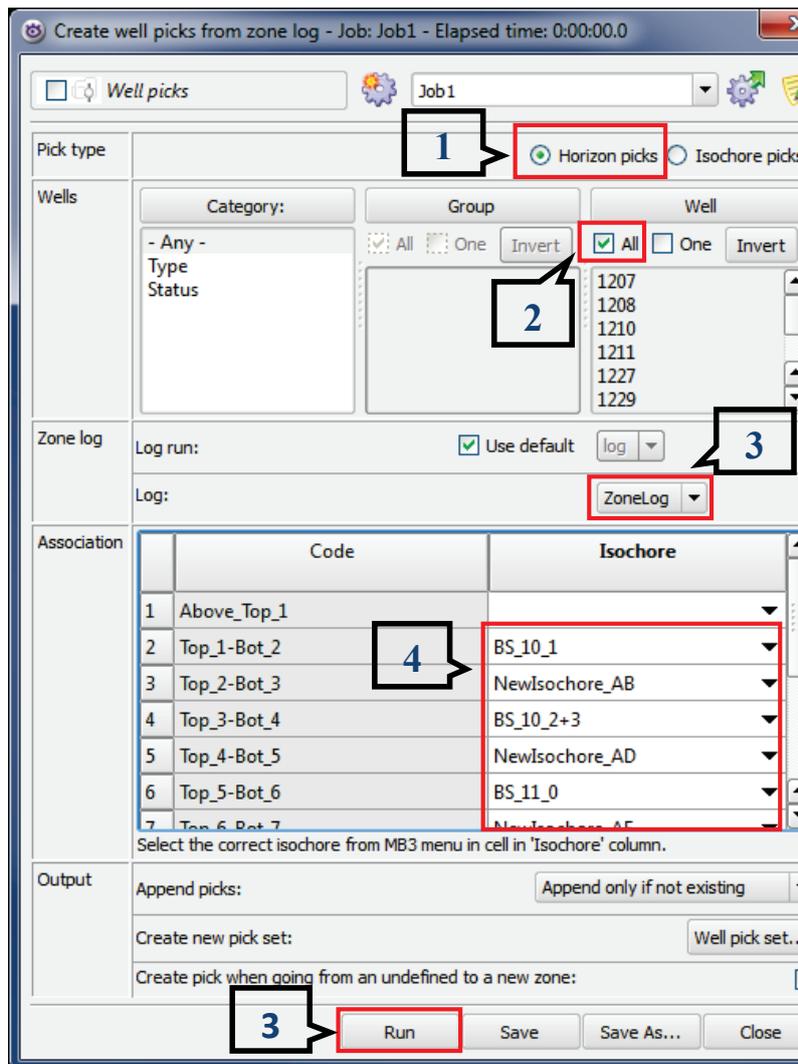


Рис. 26. Создание отбивок горизонтов

После выбора всех скважин (2) и кривой стратиграфии *ZoneLog* (3) следует присвоить интервалам кривой стратиграфии соответствующие изохоры (4). Для этого, последовательно нажимая ПКМ на ячейки в столбце **Isochore**, нужно выбрать из списка требуемые изохоры.

3.3. Создание отбивок изохор

Отбивки изохор (**Isochore picks**) можно создать как из кривой стратиграфии (*ZoneLog*), так и на основе уже созданных отбивок горизонтов (**Horizon picks**).

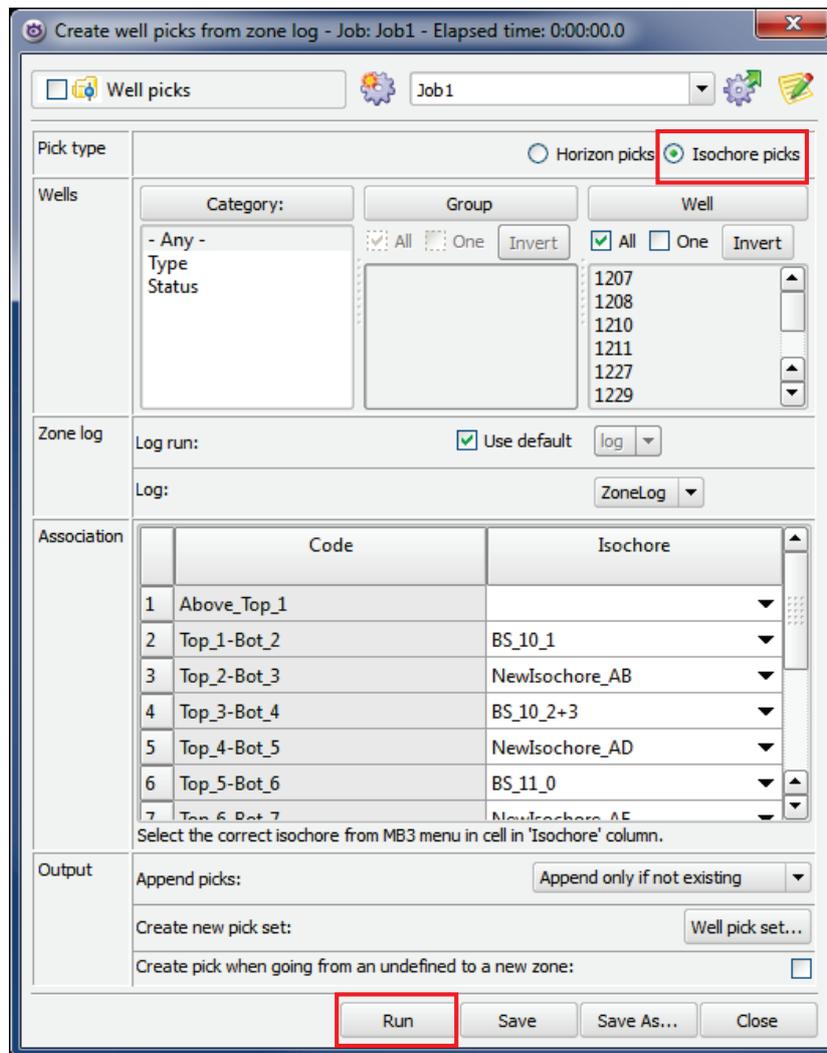


Рис. 27. Создание отбивок изохор

Вариант 1. Для расчета отбивок изохор по кривой стратиграфии в окне **Create well picks from zone log** (см. п. 3.2) следует переключить маркер на **Isochore picks** и нажать кнопку **Run** (рис. 27).



Рис. 28. Вызов операции **Create isochore picks**

Вариант 2. Чтобы создать отбивки изохор из отбивок горизонтов, в меню контейнера **Well picks** нужно выбрать опцию **Well pick utilities – Create isochore picks...** (рис. 28).

Необходимо выбрать все скважины (рис. 29 – 1) и изохоры (2) и нажать **Run** (3).

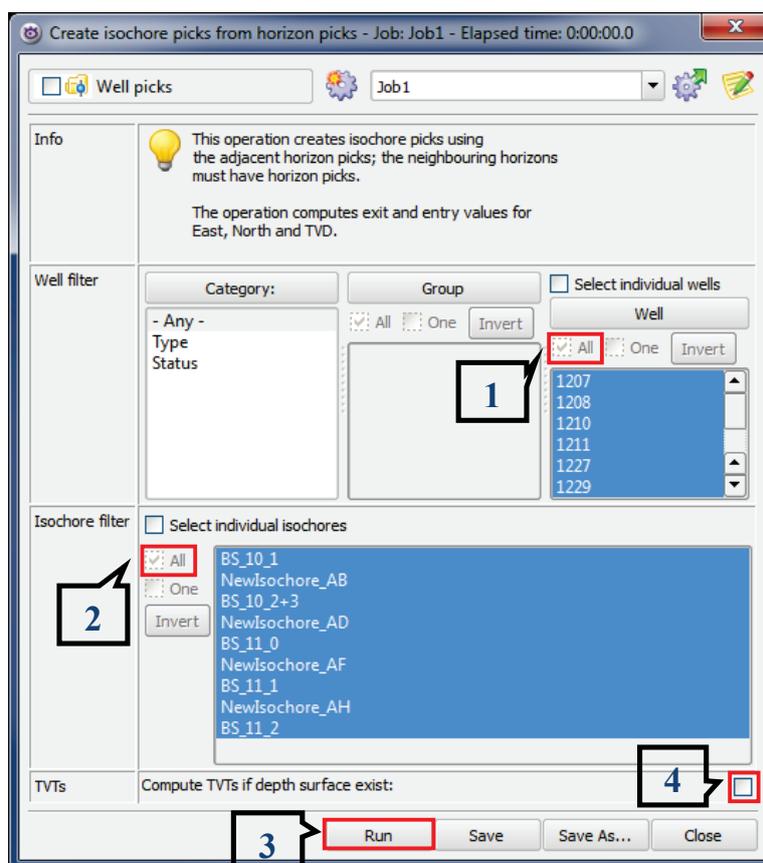


Рис. 29. Расчет отбивок изохор из отбивок горизонтов

В окне **Create isochore picks from horizon picks** предусмотрена возможность расчета атрибутов толщин (*TVT entry* и *TVT exit*)¹ – опция **Compute TVTs if depth surface exist** (4). Для использования опции должна быть построена хотя бы одна поверхность **Depth surface**. В процессе расчета программа восстановит нужные поверхности на основе заданной и корректно рассчитает толщины даже для сильно искривленных скважин. Рекомендуется воспользоваться именно этим способом расчета после того, как будет построена опорная поверхность (п. 3.8.1).

¹Подробнее об атрибутах и способах их расчета см. в п. 3.4.

3.4. Атрибуты пласта

Атрибутами пласта называют вычисленные в скважинах значения параметров, таких как общая и эффективная толщины пласта, коэффициенты доли коллектора (песчанистости), пористости, нефтенасыщенности и многие другие.

3.4.1. Расчет общих толщин

В рассматриваемом программном продукте приняты следующие обозначения для атрибутов различных видов толщин пласта (рис. 30):

TVTentry – вертикальная толщина от точки пересечения ствола скважины с кровлей пласта до подошвы;

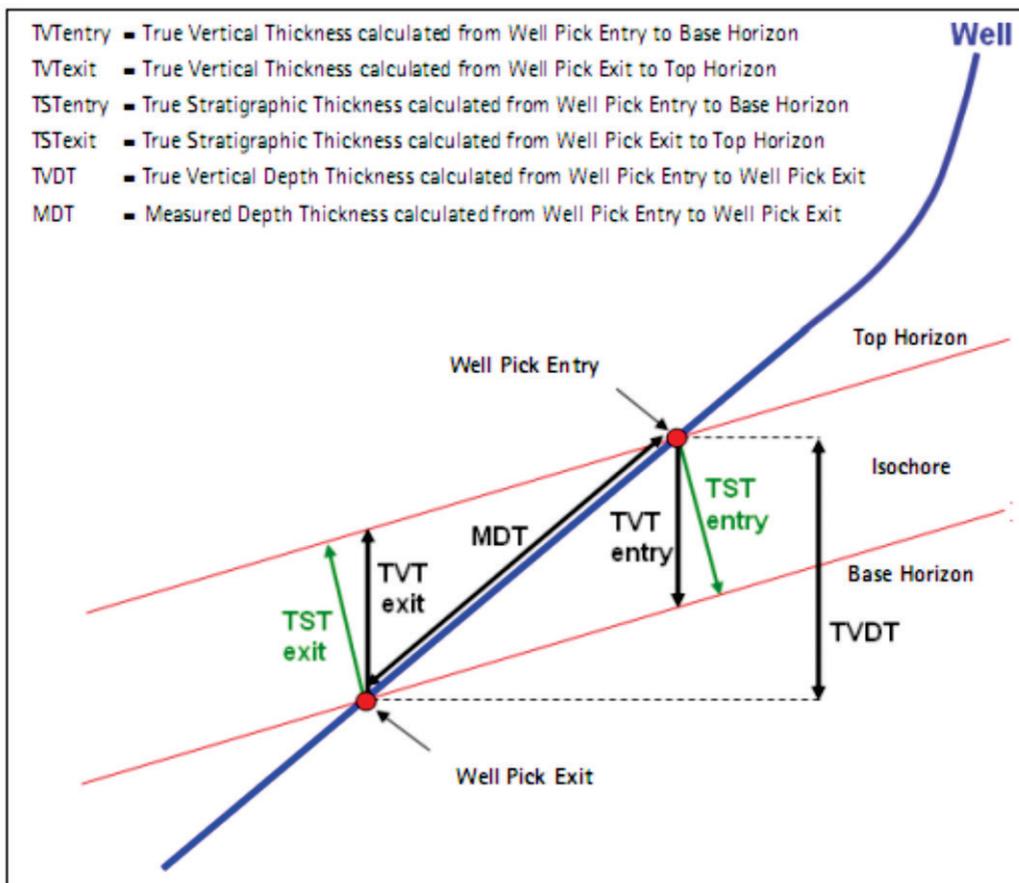


Рис. 30. Виды толщин пласта [1]

TVTexit – вертикальная толщина от точки пересечения ствола скважины с подошвой пласта до кровли;

TSTentry – толщина от точки пересечения ствола скважины с кровлей пласта до подошвы по перпендикуляру (истинная толщина пласта);

TSTexit – толщина от точки пересечения ствола скважины с подошвой пласта до кровли по перпендикуляру;

TVDT – расстояние по вертикали между плаstopересечениями с кровлей и подошвой;

MDT – расстояние вдоль ствола скважины между кровлей и подошвой.

Ниже приводится пример расчета значений вертикальной толщины ***TVT entry*** для ситуации, когда участок скважины в интервале между кровлей и подошвой пласта можно рассматривать как вертикальный¹.

Расчет атрибутов может осуществляться в окне **Well picks calculator**, которое вызывается с помощью меню контейнера **Well picks: Well picks utilities – Calculator...** (рис. 31).

На примере расчета атрибутов рассмотрим также методику сохранения задач и создания графа моделирования **Workflow** (см. п. 1.4.2). Прежде всего следует задать имя для текущей задачи,



Рис. 31. Вызов окна Well picks calculator

¹ Расчет атрибутов ***TVT entry*** и ***TVT exit*** для скважин с любыми траекториями проводится после построения опорной структурной поверхности с помощью опции **Compute TVTs if depth surface exist** в окне **Create isochore picks from horizon picks** (см. п. 3.3).

например, TVT^1 (рис. 32 – 1). Обратите внимание, что в имени задачи не допускается пробелов.

В первой закладке **Well picks** следует выбрать тип отбивок, для которых будет осуществляться расчет (**Isochore picks** или **Horizon picks**) (рис. 32 – 2). Кроме этого, в дополнительном окне, которое появится при нажатии на кнопку **Select wells...** (3), надо выбрать все скважины (4). Наконец, требуется выбрать нужные изохоры (5).

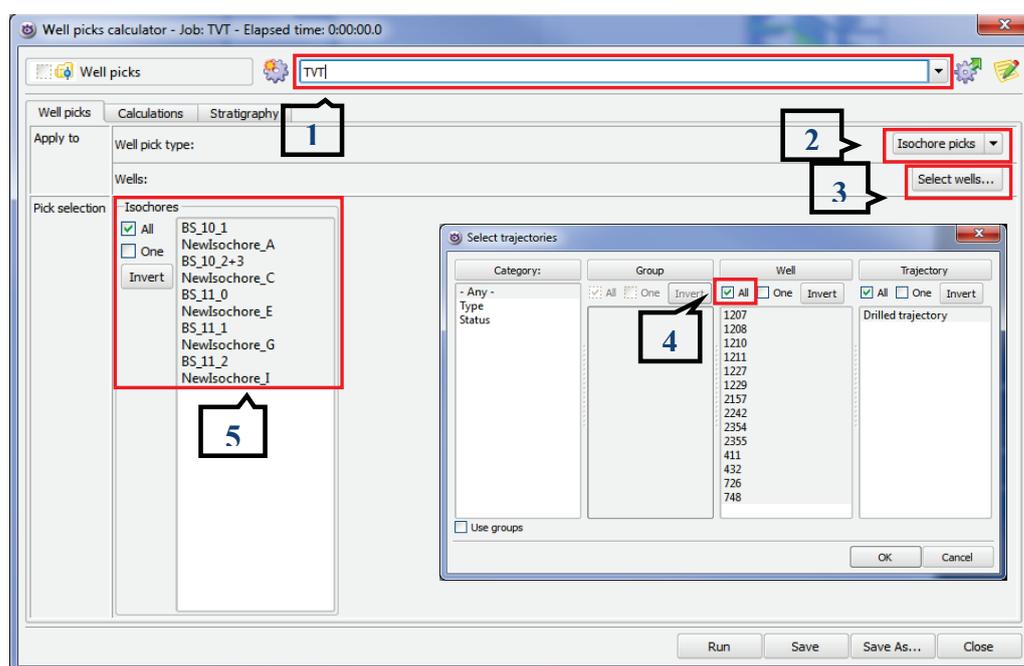


Рис. 32. Расчет атрибута TVT

В закладке **Calculations** в первую очередь из списка доступных атрибутов **Modifiable attributes** (рис. 33 – 1) следует выбрать тот, который нужно рассчитать (**TVT entry**) и перенести его в поле **Calculate** (2), нажав на стрелку. В **Well picks calculator** предусмотрены два режима расчета атрибутов: готовый (**Predefined**) и настраиваемый (**User defined**). Для расчета **TVT entry** подходит

¹Рекомендуем предварительно создать новый граф в закладке **Workflows** (см. п. 1.4.2).

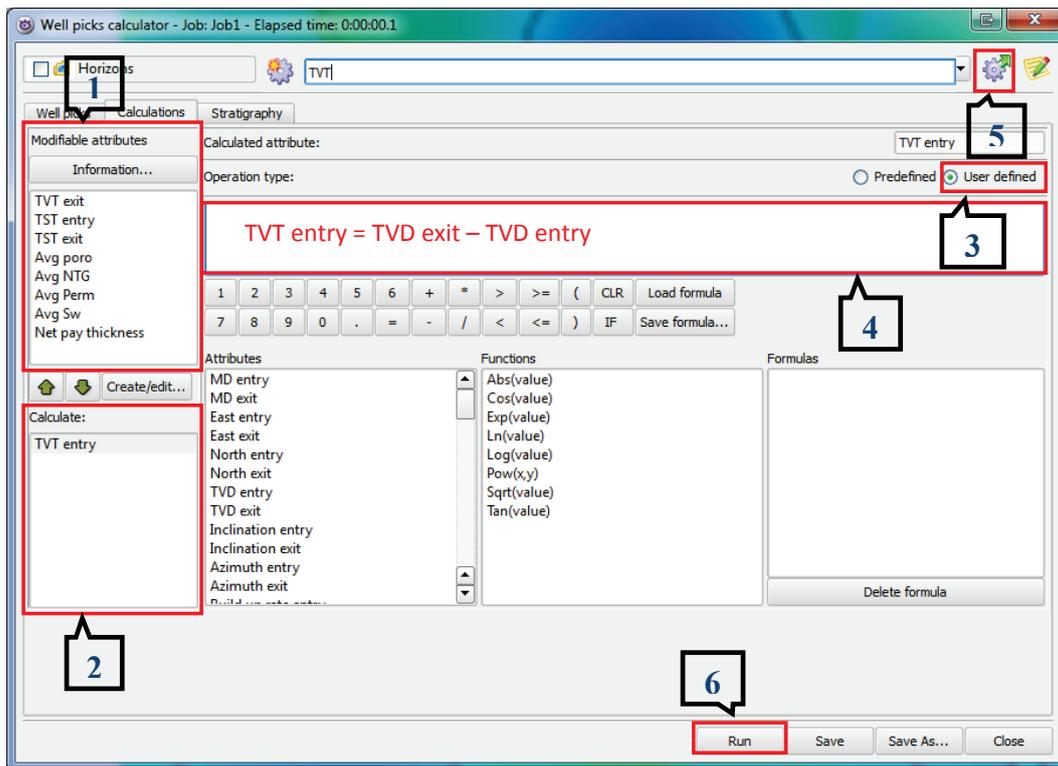


Рис. 33. Расчет атрибута TVT. Закладка Calculations

режим **User defined** (3). Поле командной строки (4) предназначено для ручного ввода формул. Ниже командной строки расположены списки переменных (атрибутов), операторов и функций. В поле (4) следует задать выражение:

$$TVT\ entry = TVD\ exit - TVD\ entry,$$

где *TVT exit* – абсолютная отметка¹ подошвы пласта; *TVT entry* – абсолютная отметка кровли пласта.

Когда все настройки будут заданы, текущая задача должна быть перенесена в **Workflow** с помощью двойного щелчка ЛКМ по пиктограмме (5). Чтобы выполнить расчет атрибута, нажмите **Run** (6).

Если теперь перейти в закладку **Workflows**, можно увидеть,

¹В общепринятой терминологии *TVD* – это вертикальная глубина, а абсолютная отметка обозначается как *TVDSS* (True Vertical Depth SubSea). В данном случае *TVT* обозначает абсолютную отметку.

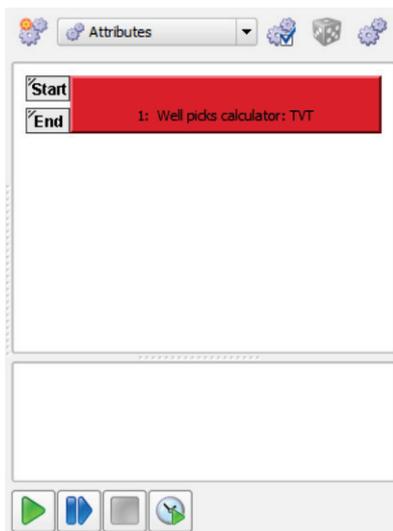


Рис. 34. Задача расчета атрибута в закладке Workflows

что задача появилась в текущем графе моделирования (рис. 34).

Примечание

Обратите внимание, что на самом деле были рассчитаны значения расстояния по вертикали между точками пересечения ствола скважины с кровлей и подошвой (*TVDT*), а не *TVT entry*. Однако в случае, когда траектория скважины в пределах пласта близка к вертикальной, разницей между этими величинами можно пренебречь. В общем

случае целесообразно производить расчет общей толщины пласта по скважинам с помощью опции **Compute TVTs if depth surface exist** в окне **Create isochore picks from horizon picks** (см. п. 3.3).

3.4.2. Расчет эффективных толщин

Эффективная толщина пласта (*Net pay thickness*) используется для 2D картопостроения, а также с целью контроля правильности введенных данных по скважинам.

Расчет эффективной толщины пласта также осуществляется в окне **Well picks calculator**, в первую очередь нужно создать новую задачу (рис. 35 – 1) и указать ее имя. Настройки в первой закладке **Well picks** такие же, как при расчете общих толщин (п. 3.4.1).

В закладке **Calculations** следует выбрать рассчитываемый атрибут *Net pay thickness* (2) и предустановленные настройки (**Pre-defined**) (3).

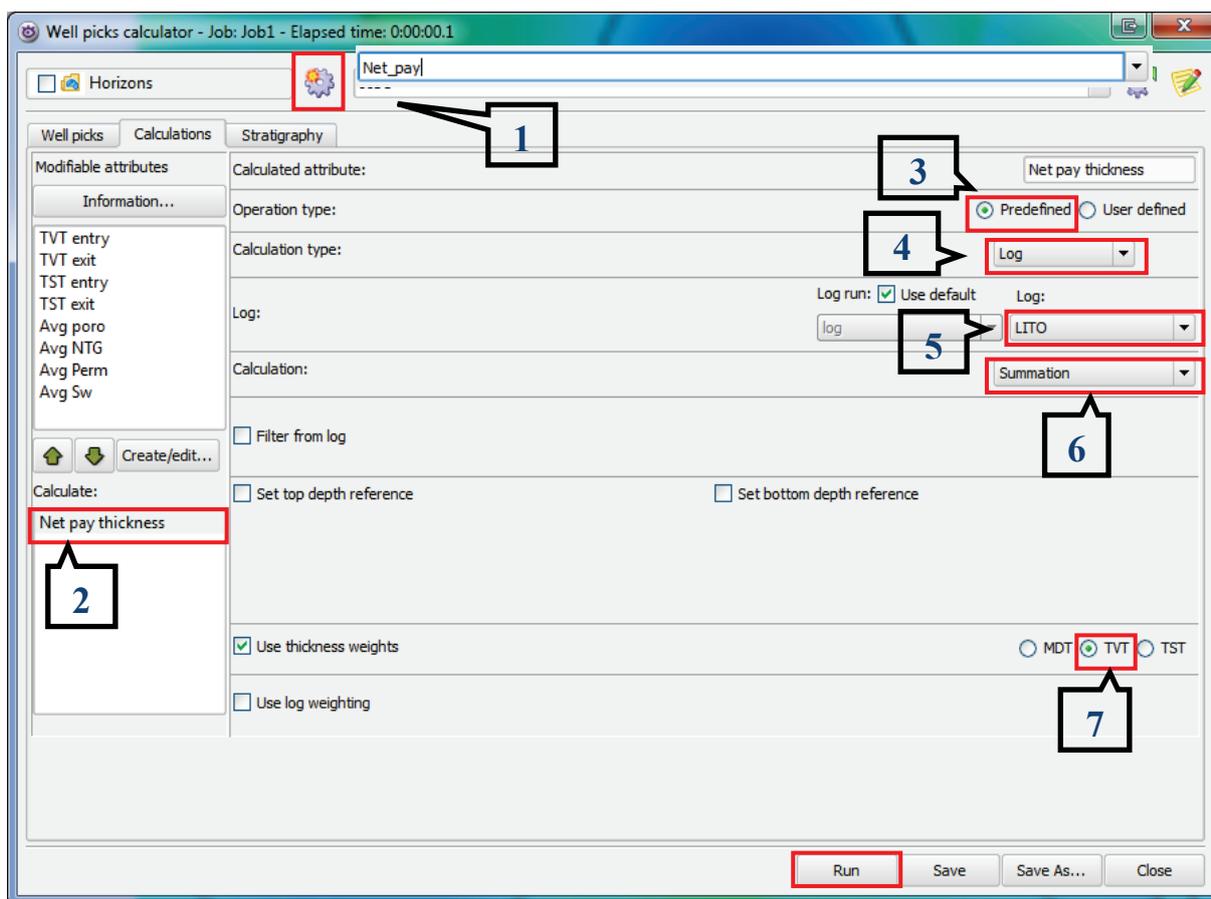


Рис. 35. Расчет атрибута эффективной толщины

Эффективные толщины будут рассчитаны на основе кривой литологии, поэтому нужно указать *Log* (4) и *LITO* (5). Из выпадающего списка следует выбрать тип расчета **Summation** (6), а в качестве атрибута для взвешивания – *TVT* (7). Таким образом, в процессе вычисления общая толщина *TVT* будет умножена на кривую *LITO*. Последняя имеет значение «0» в неколлекторах, поэтому будут просуммированы только толщины проницаемых прослоев. Задачу следует перенести в панель **Workflow** с помощью двойного клика по пиктограмме .

3.4.3. Расчет коэффициента пористости

В первую очередь следует создать новую задачу и указать ее имя (рис. 36 – 1). Для расчета по скважинам средневзвешенного

по толщине коэффициента пористости (*Avg poro*) нужно воспользоваться режимом **Predefined** (2). Необходимо указать тип расчета по кривой (**Log**) (3) и кривую пористости (4). Из выпадающего списка раздела **Calculation** нужно выбрать **Arithmetic average** (5) (среднее арифметическое) и установить фильтр по дискретной кривой литологии, чтобы при расчете среднего значения учитывались только интервалы коллектора (6). Для осреднения можно использовать атрибут **TVT** (7). Задачу следует перенести в панель **Workflow** (8), после чего нажать **Run**.

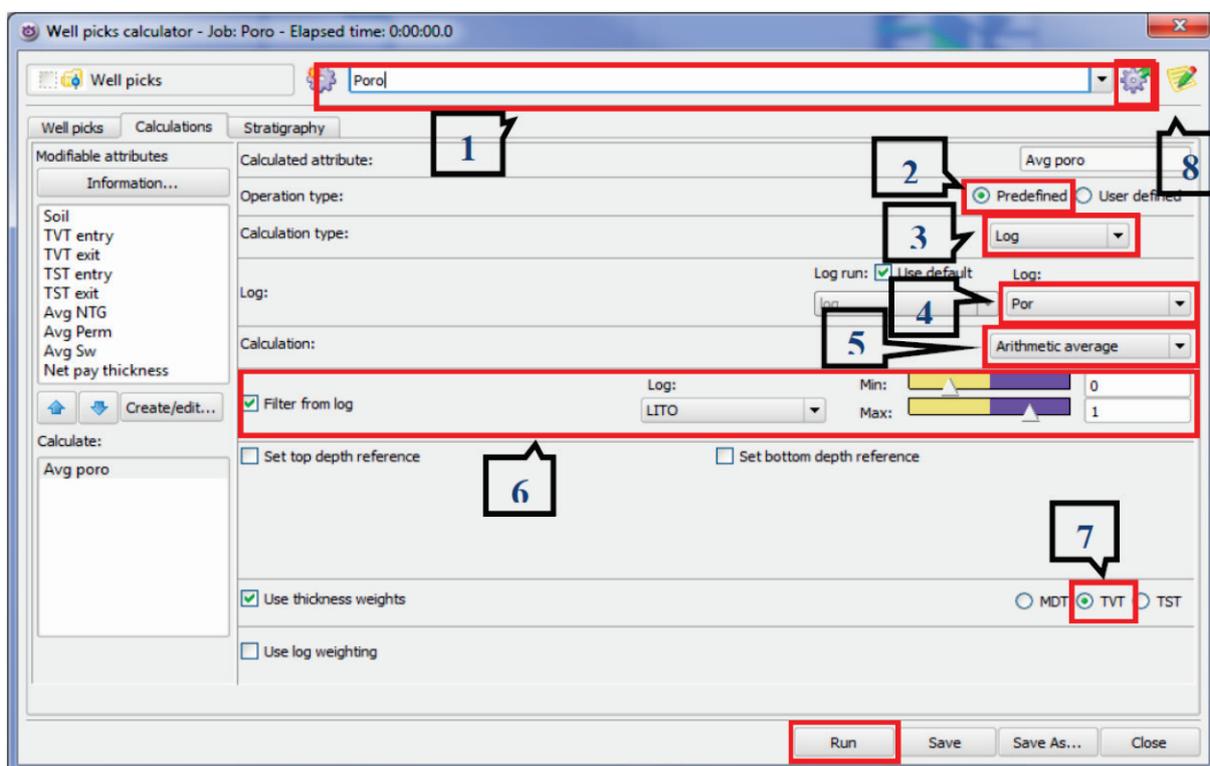


Рис. 36. Расчет атрибута коэффициента пористости

3.4.4. Расчет коэффициента нефтенасыщенности

Прежде всего, необходимо создать новую задачу и указать ее имя в поле (рис. 37 – 1). В первую очередь следует определить новый параметр **KN**, нажав кнопку **Create/edit...** (2). В окне **User defined attributes** нужно нажать **Create...** (3), в следующем окне ввести имя атрибута (4). Атрибут **KN** появится в списке.

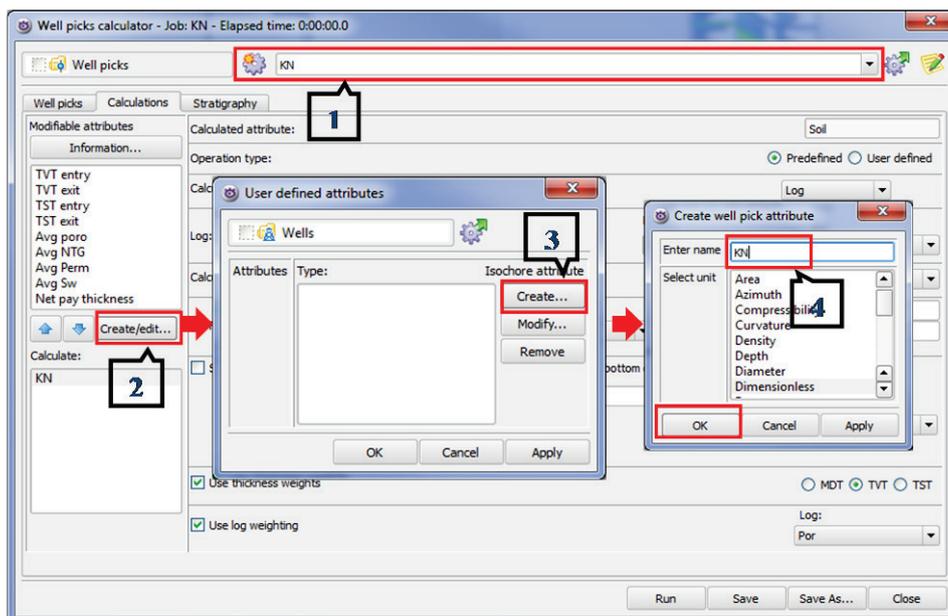


Рис. 37. Создание нового атрибута

Расчет атрибута проводится на основе кривой коэффициента нефтенасыщенности (рис. 38 – 1) с учетом фильтра по литологии (3). Чтобы использовались значения выше ВНК, следует установить флаг **Set bottom depth reference**, выбрать опцию **TVD above** и указать поверхность контакта (либо отметку, если ВНК горизонтальный) (4). Также нужно установить для взвешивания атри-

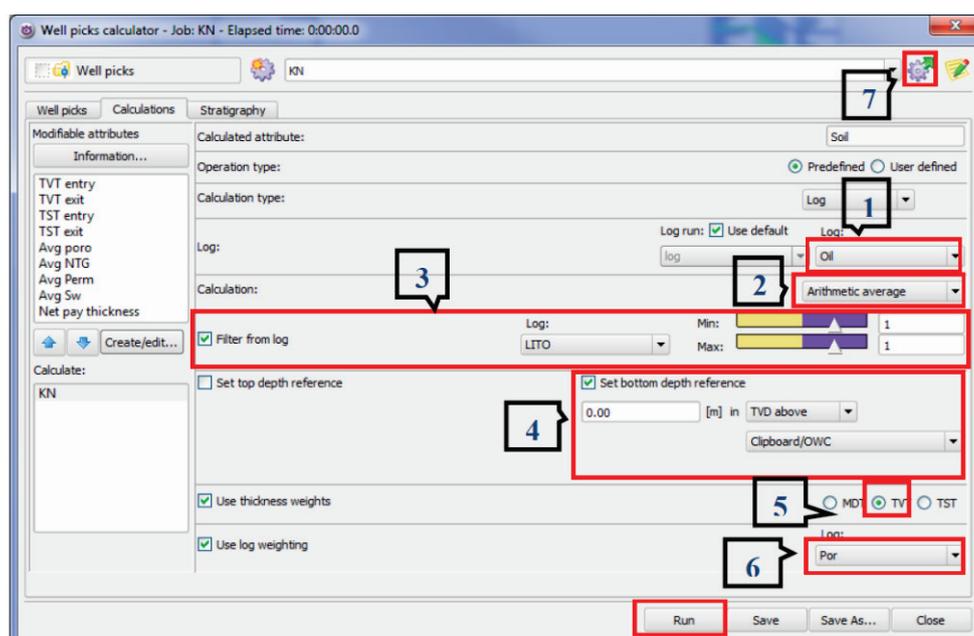


Рис. 38. Расчет атрибута коэффициента нефтенасыщенности

бут *TVT* (5) и кривую пористости (6). После этого следует перенести задачу в текущий граф **Workflow** (7) и запустить расчет. и указать поверхность контакта (либо отметку, если ВНК горизонтальный) (4). Также нужно установить для взвешивания атрибут *TVT* (5) и кривую пористости (6). После этого следует перенести задачу в текущий граф **Workflow** (7) и запустить расчет.

Вернемся к закладке **Workflows**. В созданной нами последовательности задач **Attributes** четыре действия (рис. 39 – 1) для расчета общей и эффективной толщины, коэффициентов пористости и нефтенасыщенности по скважинам. Если в дальнейшей работе потребуется рассчитать значения заново, нет необходимости открывать панель **Well picks calculator**, достаточно выбрать граф **Attributes** и запустить его (2).

Графы моделирования можно создать практически на каждом этапе, что существенно облегчает и автоматизирует работу, это особенно полезно при каких-либо изменениях в исходных данных и т.п.

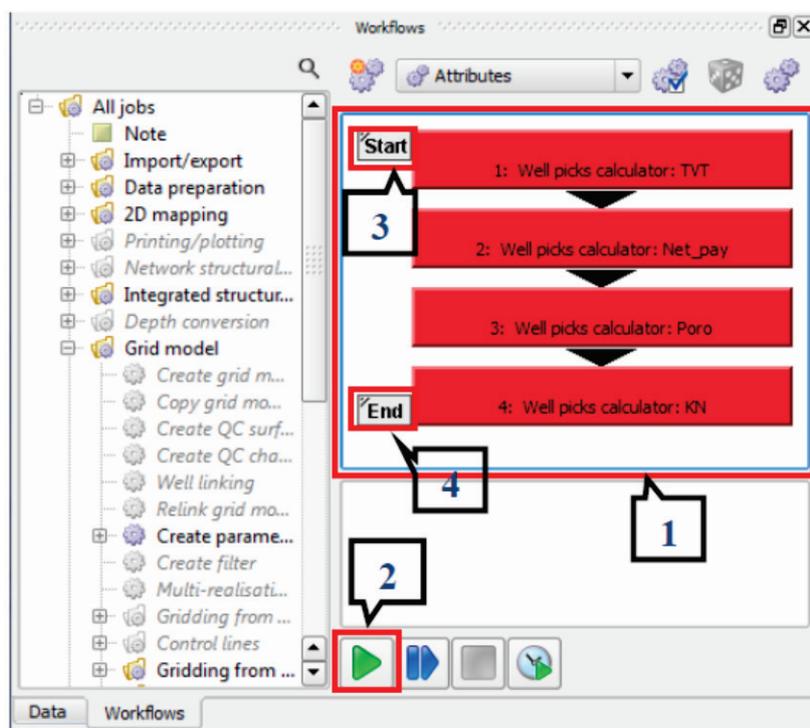


Рис. 39. Граф расчета атрибутов

При необходимости можно запустить только часть графа, например, расчет только некоторых атрибутов. Для этого нужно переместить значки **Start** (*Начало расчета*) (3) и **End** (*Конец расчета*) (4) на соответствующие позиции в последовательности задач.

3.4.5. Панель информации по отбивкам (*Well picks table*)

Чтобы просмотреть информацию по полученным отбивкам, а также по рассчитанным атрибутам, существует функция **Well picks table**. Данные по горизонтам отображаются в окне **Horizon picks table**, по изохорам – в окне **Isochore picks table** (рис. 40).



Рис. 40. Вызов панелей информации по отбивкам

Оба окна устроены аналогично: в поле **Pick attributes** (рис. 41 – 1) можно выбрать параметры для отображения, с помощью кнопки **Select wells...** (2) вызывается окно выбора скважин, кнопка **Select horizons/isochores** (3) предназначена для выбора горизонтов/изохор.

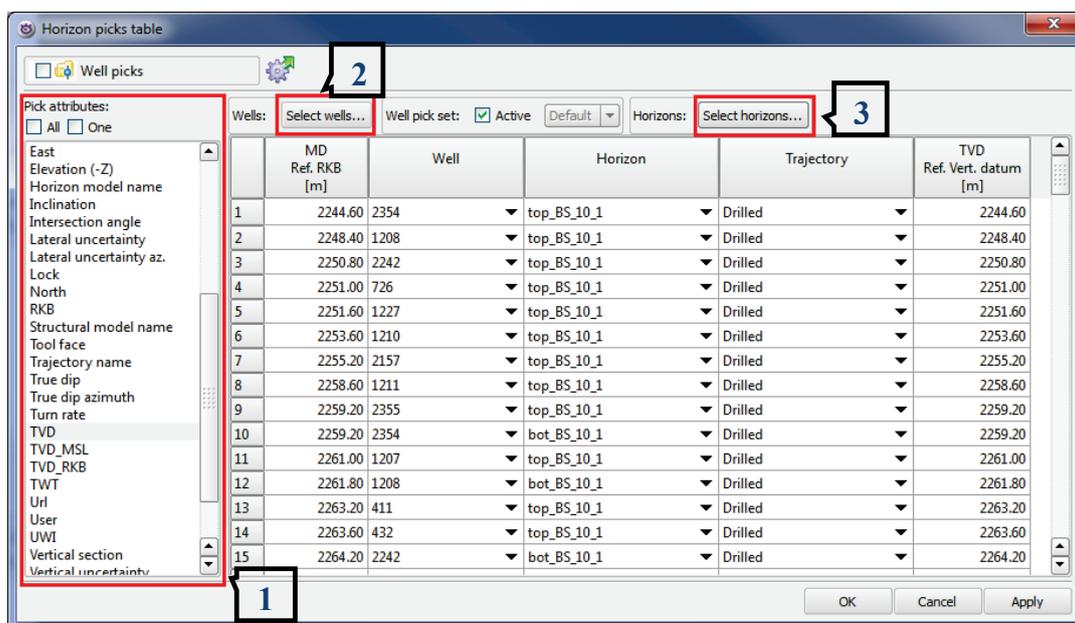


Рис. 41. Панель Horizon picks table

3.5. Редактирование типов данных в контейнере Horizons

RMS может содержать 4 типа двумерных данных в проекте: *surface* (поверхности), *points* (точки), *lines* (линии), *functions* (функции).

Каждый тип данных по горизонту, включая поверхности, по-



лигоны, точки и др. должен находиться в определенном контейнере. Редактирование типов данных в контейнерах осуществляется с помощью функций **Add data types** и **Remove data types** (рис. 42).

Рис. 42. Операции, применяемые для редактирования типов данных

1) Каждый тип данных может относиться к горизонту (**Interpreted Horizon**) или к изохоре (**Isochore**). Например, сейсмические данные в виде точек в глубинном масштабе относятся к горизонтам и должны находиться в объекте **DepthPoints** (рис. 43), для создания которого нужно выбрать следующие настройки в окне **Add data types**.

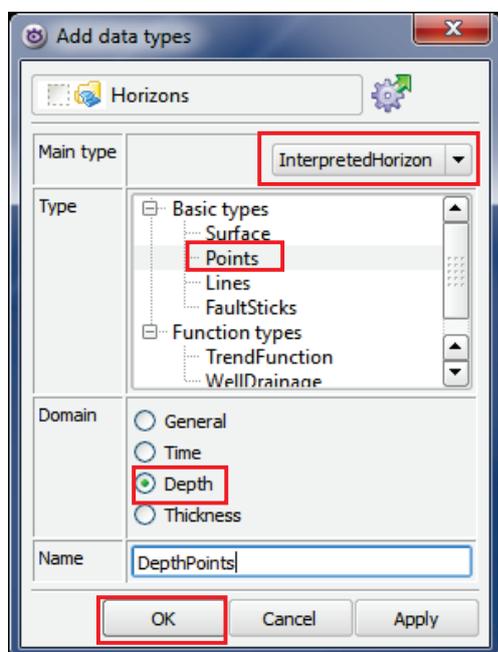


Рис. 43. Создание объекта **DepthPoints**

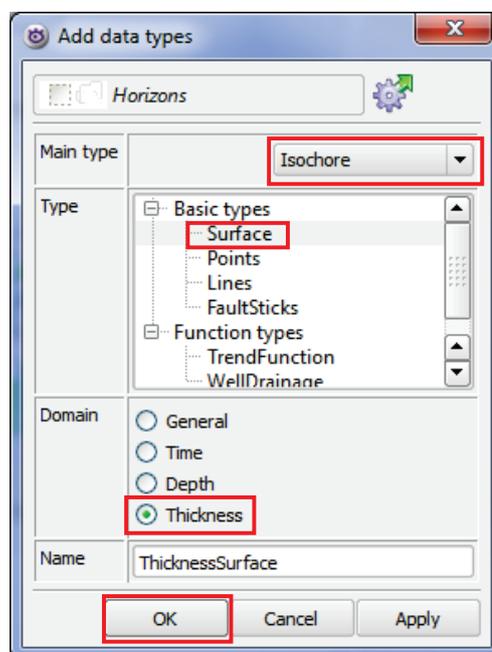


Рис. 44. Создание объекта **ThicknessSurface**

При необходимости можно задать другое имя объекта (например, **SeisPoints**).

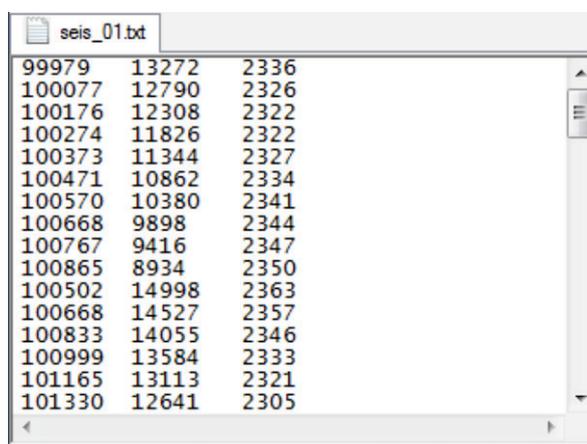
Кроме этого, нужно создать объект **DepthSurface**, в котором будут находиться структурные поверхности.

2) Карты общих толщин пласта помещаются в объект **ThicknessSurface** (тип **Isochore**) (рис. 44).

3.6. Загрузка исходных сейсмических данных

Исходные сейсмические данные в учебном варианте представлены в виде текстового файла **ASCII**, который содержит значения координат сейсмических пикетов: X, Y, Z (рис. 45).

Любые исходные данные в виде точек, изолиний или поверхностей в **RMS** можно импортировать либо непосредственно в контейнер **Horizons**, либо в **Clipboard**, а затем скопировать в нужный горизонт.



X	Y	Z
99979	13272	2336
100077	12790	2326
100176	12308	2322
100274	11826	2322
100373	11344	2327
100471	10862	2334
100570	10380	2341
100668	9898	2344
100767	9416	2347
100865	8934	2350
100502	14998	2363
100668	14527	2357
100833	14055	2346
100999	13584	2333
101165	13113	2321
101330	12641	2305

Рис. 45. Пример файла с сейсмическими данными

1) Чтобы импортировать сейсмические данные в **Clipboard**, необходимо выбрать **Clipboard – Import – Points/Polylines/ surfaces** (рис. 46).

2) В окне **Import** нужно выбрать тип загружаемых данных (**Points – точки**), формат (**Roxar text**) и указать путь к файлу, после чего нажать **Run** (рис. 47).

Загруженные точки сеймики можно визуализировать в 2D или 3D окне.

3) Опорный отражающий горизонт, по которому предоставлены данные, приурочен к кровле пласта BC_{11}^0 , поэтому загру-

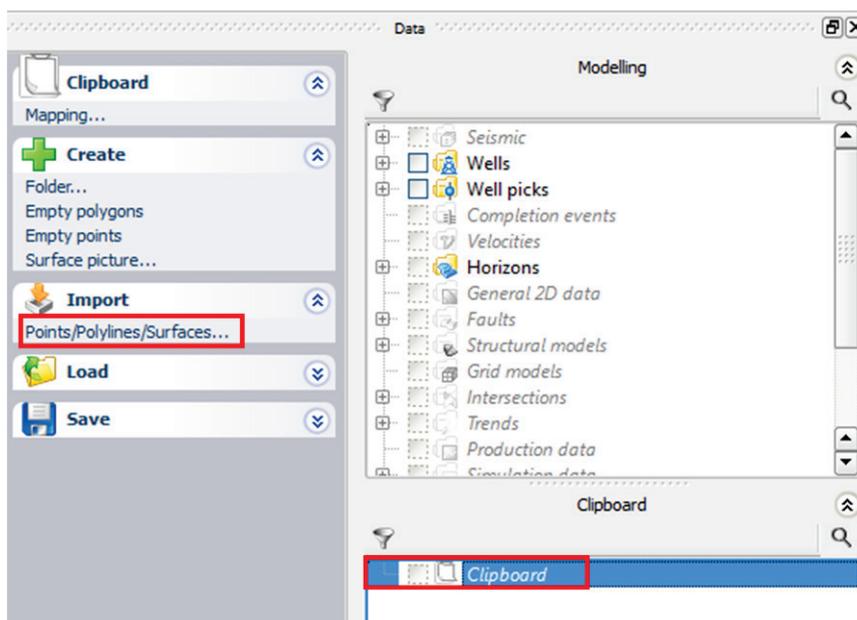


Рис. 46. Вызов операции импорта данных в Clipboard

женные точки нужно скопировать в пустой объект **DepthPoints** горизонта **top_BS_11_0**. Это можно сделать двумя способами: переместить объект из **Clipboard** в **DepthPoints** ЛКМ или с помощью пунктов контекстного меню *Копировать (Copy)* и *Вставить (Paste)*.

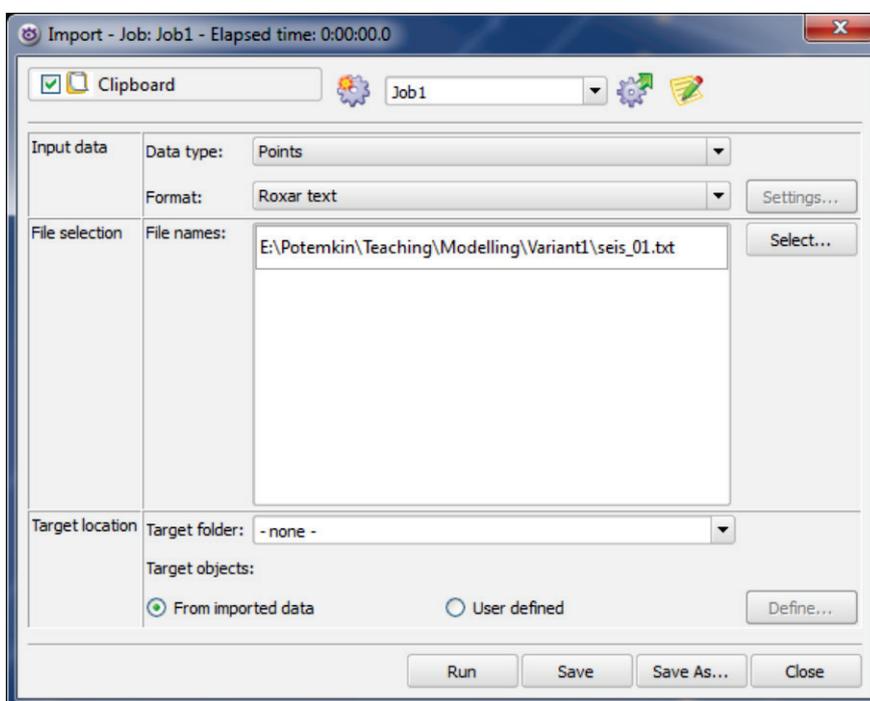


Рис. 47. Окно импорта сейсмических данных

3.7. Построение границы области моделирования проекта

Перед началом моделирования следует определить границы проекта, т.е. размер области моделирования. Границы задаются с учетом размеров месторождения, расположения скважин, лицензионных участков, границ сейсмических исследований. Контур проекта обязательно должен быть замкнут. Границы проекта хранятся в пиктограмме **Project boundary** в контейнере **Cultural data**. Создавать и редактировать границы проекта можно в окне **2D view** и **3D view**.

1) В первую очередь необходимо создать новое *двумерное графическое окно (2D view)* и визуализировать в нем импортированные точки сейсмике.

2) Пустую пиктограмму **Project boundary** из контейнера **Cultural Data** в панели проектов ЛКМ следует переместить в панель визуализации (в режим редактирования) (рис. 48 – 1).

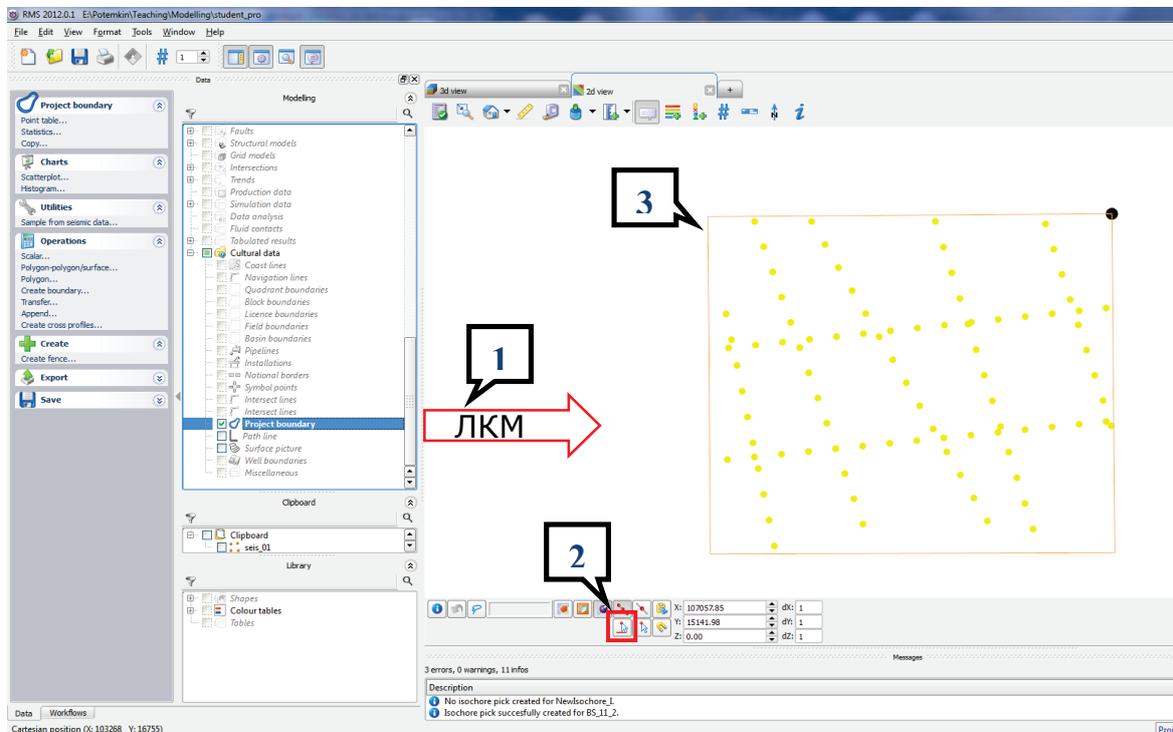


Рис. 48. Создание границ проекта

3) Затем нужно выбрать опцию **Digitize new line(s)**  (рис. 48 – 2). Нажатием ЛКМ в окне **2D view** создаются границы проекта (3). Чтобы закончить построение и замкнуть полигон, необходимо нажать ПКМ. Граница автоматически появится в пиктограмме **Project boundary**.

3.8. Построение стратиграфических поверхностей и изохор (Mapping)

3.8.1. Построение карты по опорному отражающему горизонту

1) Структурные карты в **RMS** создаются с помощью функции **Horizon mapping: Horizons – Mapping – Horizon mapping...**

2) В окне **Horizon mapping** 4 закладки. В закладке **Horizons** (рис. 49) следует выбрать глубинный масштаб картопостроения и необходимый горизонт (кровля пласта BC_{11}^0).

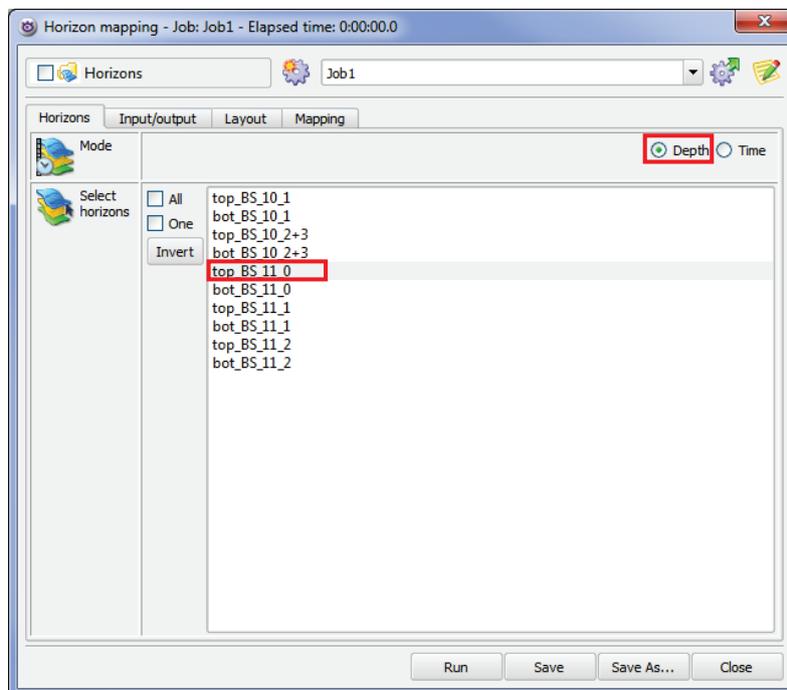


Рис. 49. Закладка Horizons

3) Закладка **Input/output** (рис. 50) предназначена для определения исходных данных и результирующих объектов. Выберите нужный горизонт (1), в разделе исходных данных (**Input**) укажите, что сейсмические данные находятся в контейнере **Horizon** (2) в объекте **DepthPoints** (3).

В разделе **Output** нужно выбрать контейнер (4) и объект внутри этого контейнера (5), где будет размещен результат.

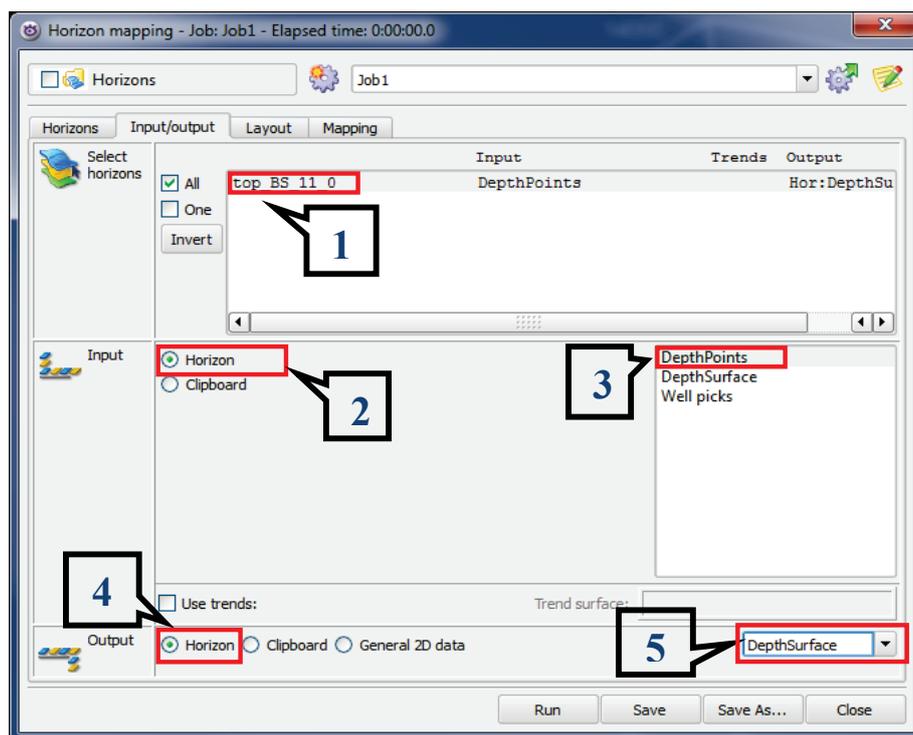


Рис. 50. Закладка **Input/output**

4) В закладке **Layout** (рис. 51) задаются границы построения и размер ячеек в метрах (инкремент) сетки 2D поверхности. Размеры ячейки сетки задаются в полях **Xinc** и **Yinc**. Границы области построения настраиваются в пункте **Boundary**. Так как в нашем проекте уже задана область моделирования **Project boundary** (см. п. 3.7), следует выбрать пункт **Project**.

5) В закладке **Mapping** можно выбрать алгоритмы картопостроения и настроить различные операции. Необходимо выбрать

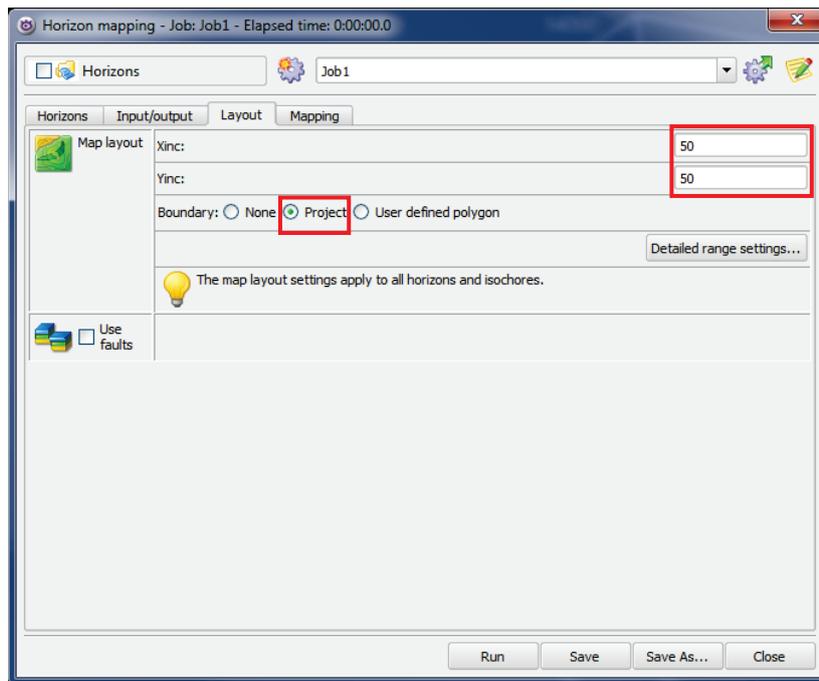


Рис. 51. Закладка Layout

горизонт (рис. 52 – 1), в разделе **Algorithm** из выпадающего списка следует выбрать алгоритм построения (2). В разделе имеется подсказка по выбору алгоритма в зависимости от типа исходных данных (3). Более подробная информация по алгоритмам

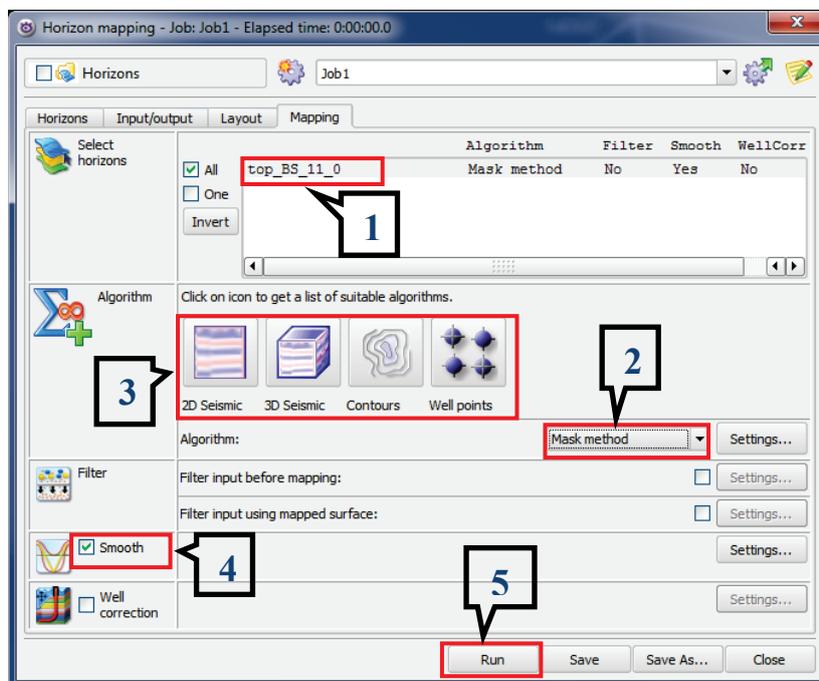


Рис. 52. Закладка Mapping

приводится в Руководстве пользователя [1]. При необходимости можно включить опцию **Smooth** (*Сглаживание*) (4). После нажатия кнопки **Run** (5) будет запущен процесс картопостроения.

Полученная поверхность появится в **DepthSurface** контейнера **Horizons**. Результаты построения можно визуализировать в окнах **2D view** (рис. 53) и **3D view** (рис. 54).

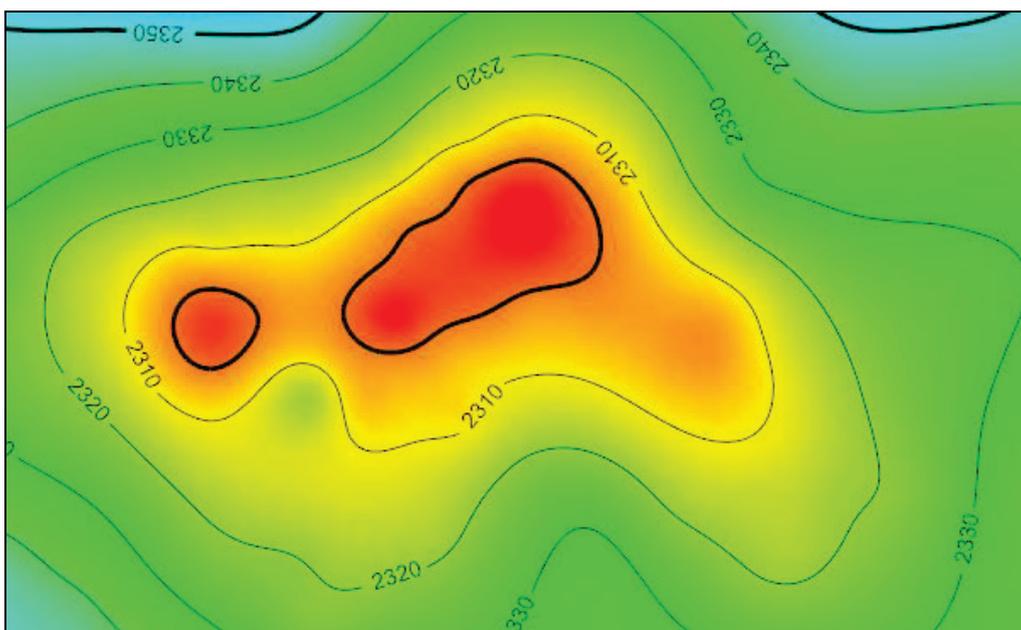


Рис. 53. Визуализация структурной поверхности в 2D окне

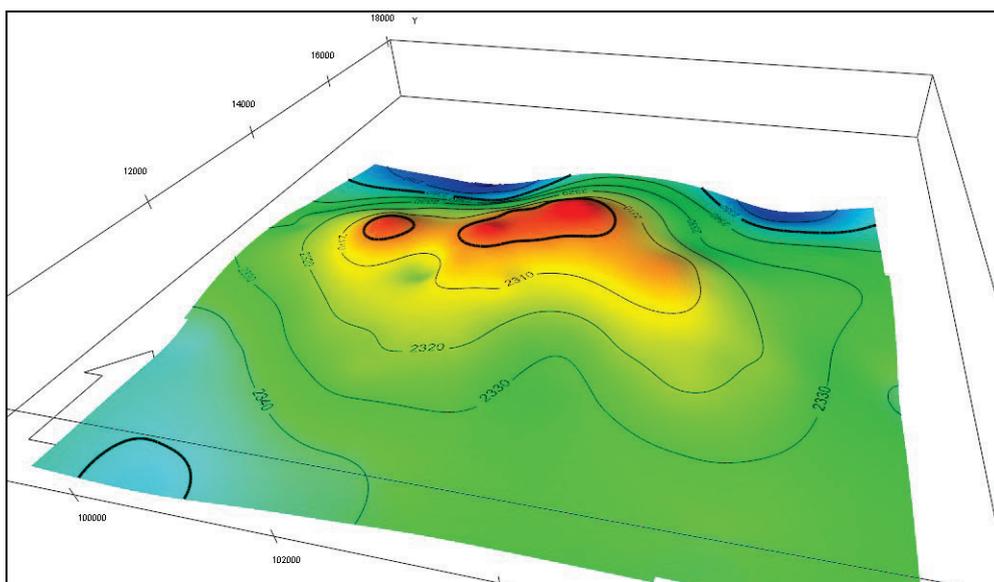


Рис. 54. Визуализация структурной поверхности в 3D окне

3.8.2. Настройка визуализации поверхности

Параметры отображения объектов, в том числе поверхностей, устанавливаются в окне **Visual settings** (рис. 55), которое запускается из контекстного меню объекта, визуализированного в графическом окне (ПКМ на объекте).

1) Закладка **General** включает общие настройки.

Colour – цвет заливки поверхности;

Transparency – прозрачность;

Grid lines – визуализация линий сетки поверхности;

Surface:

Filled – заливка сплошным цветом;

Smooth – сглаживание поверхности;

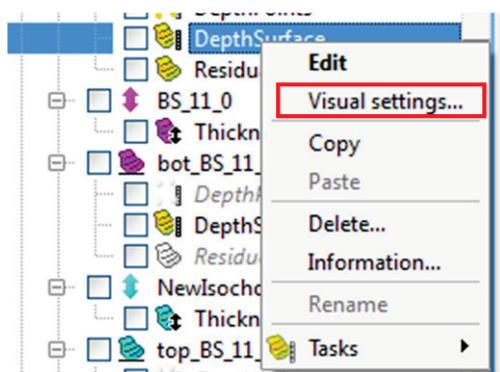


Рис. 55. Вызов операции **Visual settings**

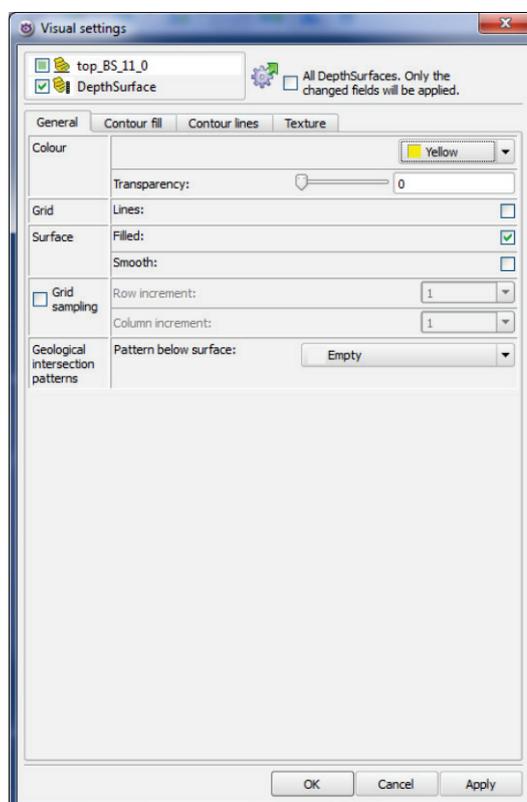


Рис. 56. Закладка **General**

Grid sampling – укрупнение сетки при визуализации, задается количество исходных ячеек, которые объединяются по горизонтали (**Row**) и по вертикали (**Column**). Позволяет ускорить визуализацию при нехватке ресурсов ЭВМ;

Geological intersection patterns – текстура, которой на разрезе будет заполнен интервал под поверхностью.

2) В закладке **Contour fill** (рис. 57) настраивается цветовая палитра заливки.

Раскрывающийся список **Contours** содержит доступные палитры. Раздел **Range** предназначен для установки минимального и максимального значения диапазона, в котором будет отображаться цветовая заливка.

В разделе **Discrete** есть возможность выбрать ширину интервала значений, который будет заливаться одним цветом (другими словами, шаг изменения цвета).

Если поместить какую-либо поверхность в поле **Attribute surface – Coloured by dropped surface**, то диапазон ее значений будет использован для палитры рассматриваемой поверхности.

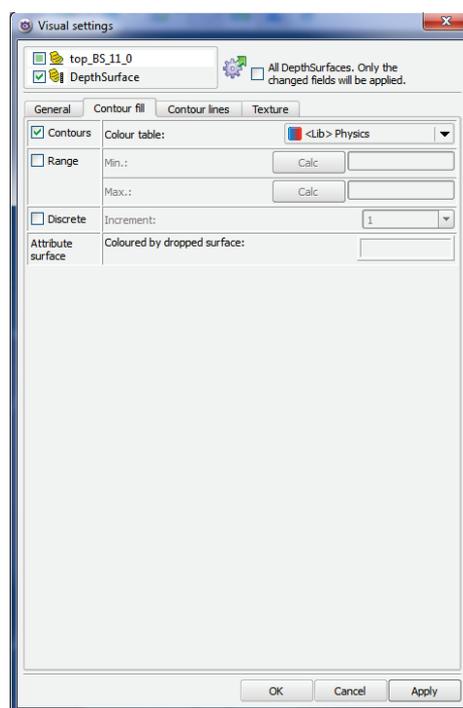


Рис. 57. Закладка **Contour fill**

3) Закладка **Contour fill**. Закладка **Contour lines** (рис. 58) предназначена для настройки визуализации изолиний.

*Раздел **Lines** относится к параметрам линий:*

Contour line increment – шаг сечения изолиний;

Major contour line period – шаг сечения основных изолиний;

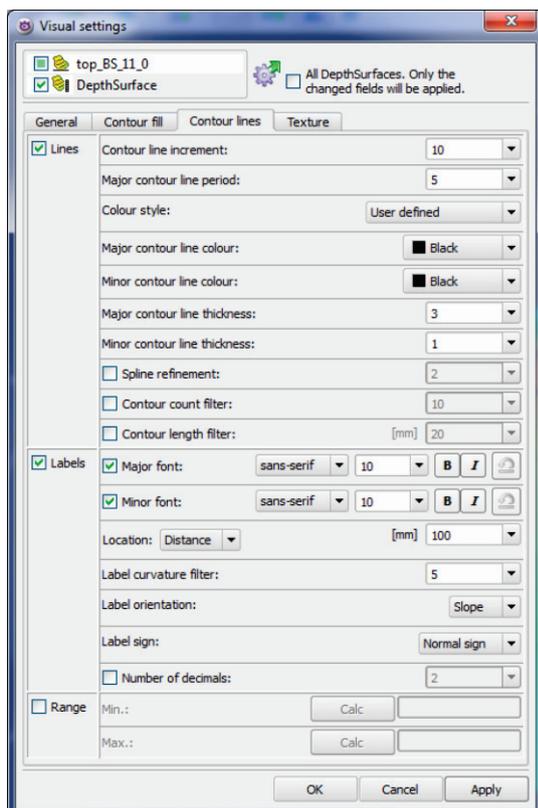


Рис. 58. Закладка Contour lines

Major (Minor) contour line colour – цвет основных (промежуточных) изолиний;

Major (Minor) contour line thickness – толщина основных (промежуточных) изолиний;

Contour count (length) filter – не визуализируются изолинии с количеством точек меньшего заданного (**count filter**) или с длиной, не превышающей заданную (**length filter**).

*Раздел **Labels** относится к параметрам подписей:*

Major (Minor) font – шрифт основных (промежуточных) изолиний;

Location – расположение подписей. Если выбрана опция **Distance**, задается минимальное расстояние между подписями. Если выбрана опция **Polygon**, подписи будут находиться в местах пересечения изолинии и заданного полигона;

Label curvature filter – настройка определяет, насколько прямым должен быть участок изолинии, чтобы поместить на него подпись;

Label orientation – переворачивать подписи изолиний;

Label sign – перед значением изолинии будет подписываться минус, если установлено **Reverse sign**.

*Раздел **Range** предназначен для установки диапазона, в котором будут визуализированы изолинии.*

В закладке **Texture** можно задать и настроить подложку для поверхности (из графического файла).

3.8.3. Статистические характеристики поверхности и оценка невязки

В программе существует возможность получать основные статистические данные для объекта, которые обновляются автоматически при любых его изменениях.

Для просмотра статистических данных поверхности необходимо в меню поверхности **Depth Surface** выбрать опцию **Statistics** (рис. 59).

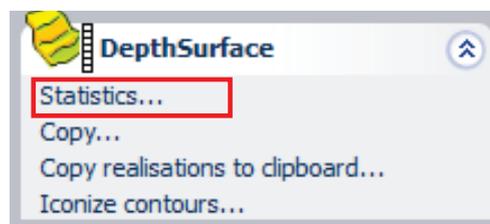


Рис. 59. Вызов операции **Statistics** для поверхности

Окно **Statistics** для поверхностей содержит 4 закладки.

В закладке **Table** (рис. 60) приводится таблица с характеристиками поверхности (минимальными, максимальными и средними значениями координат и значений карты, площади поверхности и ее горизонтальной проекции и др.).

Закладка **Difference statistics** содержит инструменты для расчета невязок. Эта функция доступна для любой поверхности.

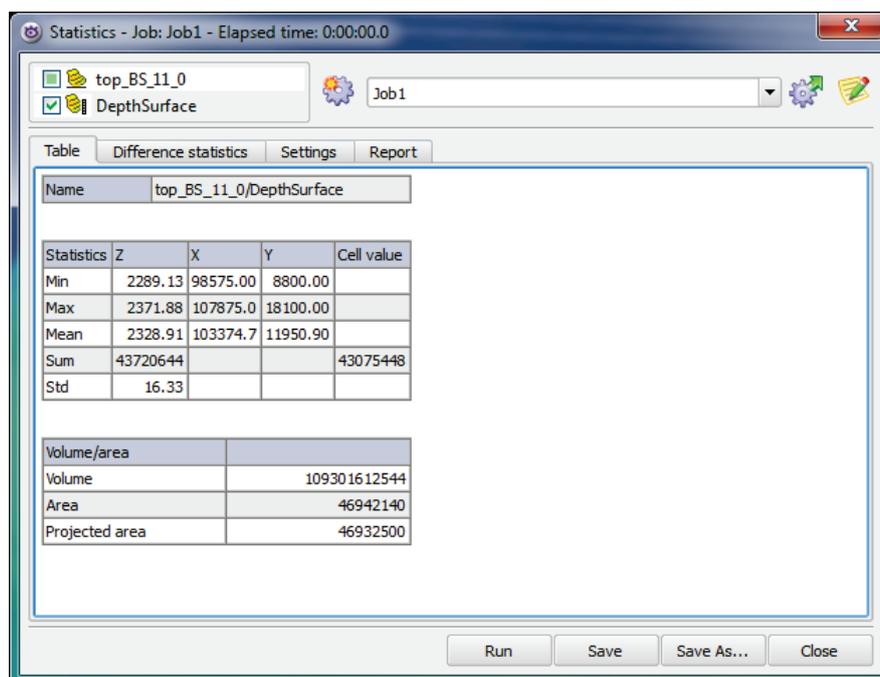


Рис. 60. Окно характеристик поверхности

Чтобы проверить, как согласуется поверхность со скважинными данными (отбивками горизонтов **Horizon picks**), нужно поместить ЛКМ отбивки (**Well picks**) по соответствующему горизонту (в нашем случае кровли BC_{11}^0) в пустое поле (**drop-site**) (рис. 61 – 1) раздела **Difference**. В качестве атрибута **Well picks**, который будет использоваться для расчета невязок, следует выбрать **TVD** (**True Vertical Depth** – абсолютную отметку¹) (2).

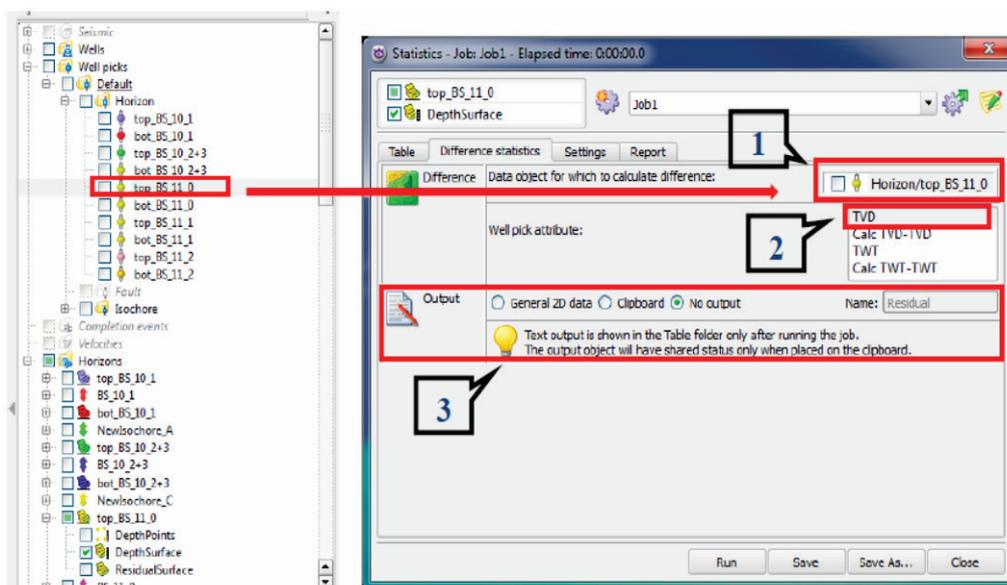


Рис. 61. Расчет невязок структурной поверхности и скважинных отбивок

В качестве объектов для сопоставления могут использоваться не только отбивки, но и точки, полигоны или другие поверхности.

Результаты определения невязок при необходимости можно выгрузить в контейнер **Clipboard** или **General 2D data**, установив соответствующий флаг в разделе **Output**² (3).

¹В общепринятой терминологии **TVD** – это вертикальная глубина, а абсолютная отметка обозначается как **TVDSS** (True Vertical Depth SubSea). В данном случае **TVD** обозначает абсолютную отметку.

²Результирующий объект **Residual** в зависимости от типа данных, которые сопоставляются с поверхностью, будет содержать точки, полигоны или поверхность.

Закладка **Settings** предназначена для настройки вида таблицы: формата чисел (**Scientific notation**), количества знаков после запятой (**Number of decimals**) и цветовой палитры (**Set colours**).

В закладке **Report** можно включить выгрузку статистики в файл.

После того как все установки заданы, следует нажать **Run** и вновь открыть закладку **Table**, в которой появится дополнительная таблица **Difference statistics** (рис. 62). В ней указано общее количество точек, количество точек за пределами карты, средняя ошибка и др. По величинам отрицательного и положительного расхождения (**Min error** и **Max error**) можно оценить, насколько хорошо сейсмическая поверхность согласуется со скважинными данными. В приведенном примере расхождения лежат в диапазоне от -4,01 м до +5,03 м, поэтому структурная поверхность нуждается в корректировке.

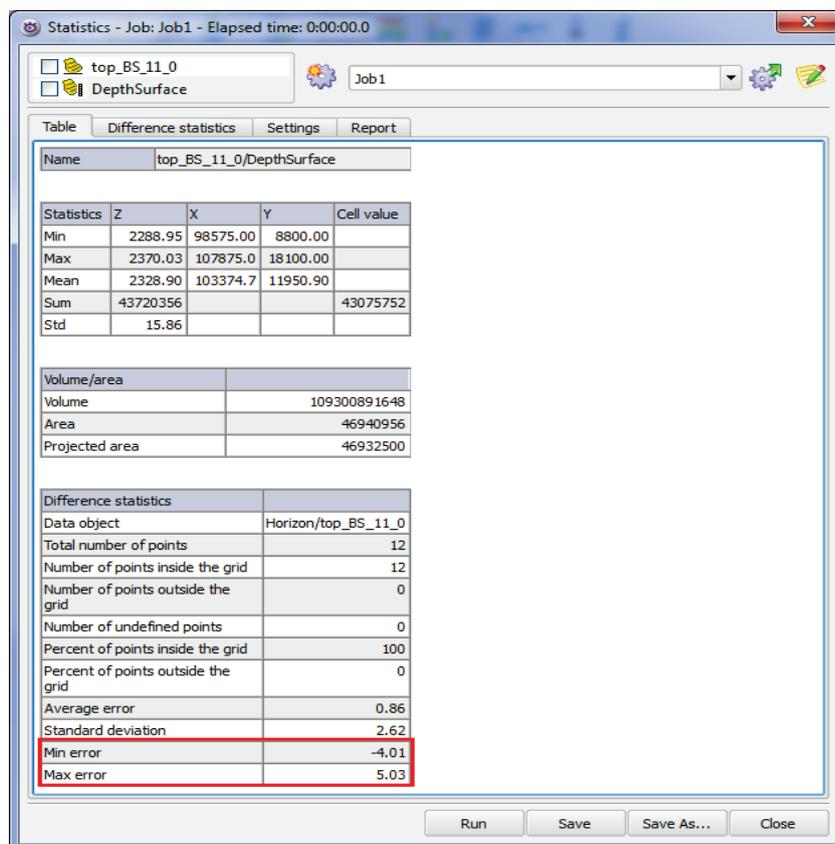


Рис. 62. Величины расхождения поверхности и скважинных отбивок

3.8.4. *Корректировка структурной поверхности*

Чтобы согласовать сейсмическую поверхность и скважины, следует воспользоваться инструментом **Horizon operations**, который доступен для контейнера **Horizons** в разделе **Horizon utilities** (рис. 63).



Рис. 63. Вызов операции Horizon operations

Horizon operations позволяет выполнять различные операции для нескольких поверхностей (сглаживать, изменять размерность сетки, корректировать поверхности по скважинам и разломам и др.).

В рассматриваемом случае нужно включить опцию корректировки по скважинным данным (**Adjust to wells**)

(рис. 64 – 1), в закладке **General** выбрать тип поверхности (**Horizons**) (2), режим глубины (**Depth**) (3) и указать исходные данные и имя результирующего объекта (4), а также выбрать горизонт (5).

В закладке **Adjust to wells** находятся настройки алгоритма корректировки. Выберите горизонт (1), скважины (2) и атрибут **TVD** (3). Значения невязок до корректировки можно посмотреть, установив флаг **Input** и нажав кнопку **Status** (4). В списке алгоритмов выберите **Moving average** (5), установите флаг **Do exact** (выполнять точную корректировку) (6). Опция **Influence radius** (7) позволяет выбрать радиус области вокруг скважины, которая будет исправлена. Чтобы избежать «конусов» на поверхности вблизи скважин, рекомендуется не выбирать малые радиусы влияния либо вообще отключить данную опцию. Закончив настройку, нажмите кнопку **Run**.

Для вывода результатов корректировки следует выставить флаг **Output** и нажать кнопку **Status** (4).

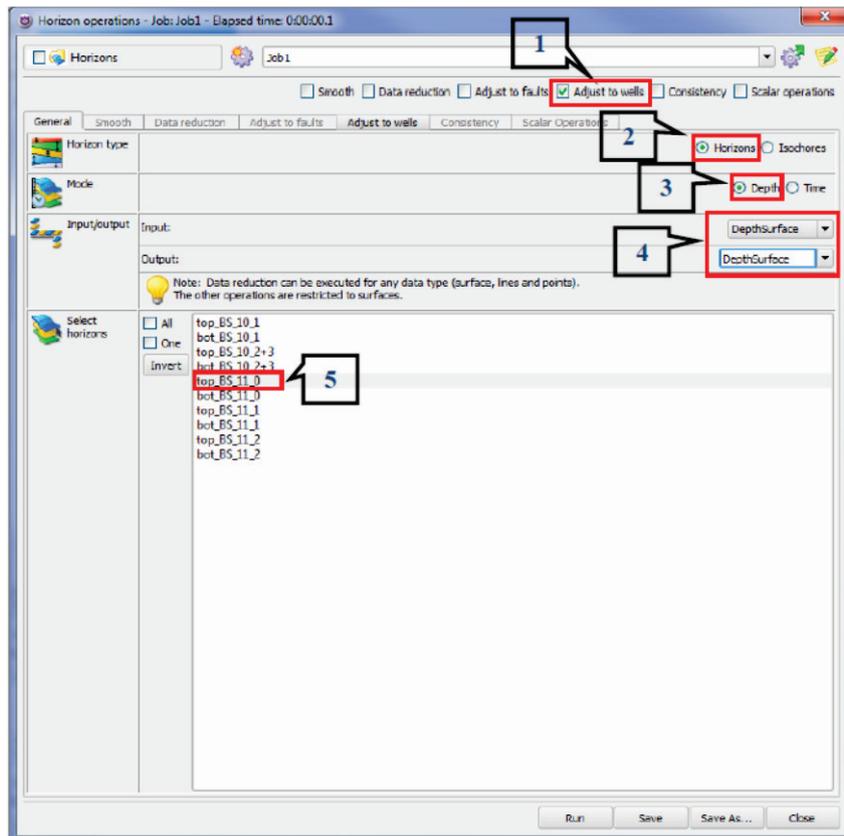


Рис. 64. Окно Horizon operations

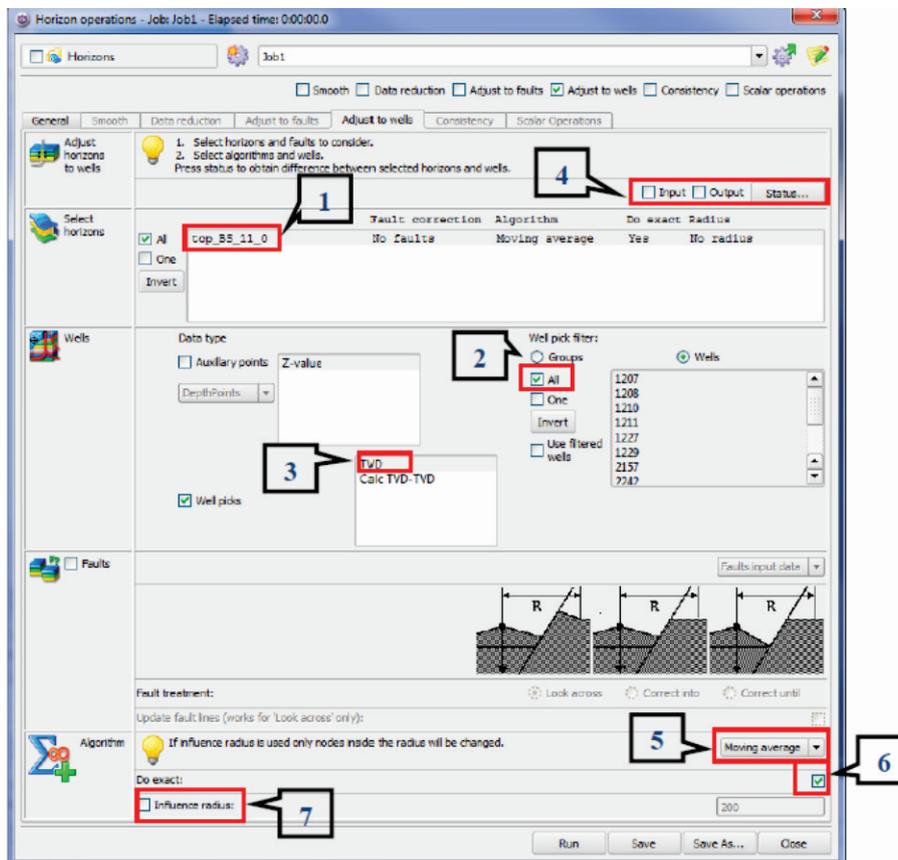


Рис. 65. Настройки операции Adjust to wells

3.9. Построение изохоры

Перед тем как перейти к построению изохоры (карты общих толщин), нужно убедиться, что для отбивок рассчитан атрибут вертикальной толщины *TVT entry*. Расчет данного атрибута рекомендуется проводить с помощью опции **Compute TVTs if depth surface exist** в окне **Create isochore picks from horizon picks** (см. п. 3.3), после того как построена опорная сейсмическая поверхность.

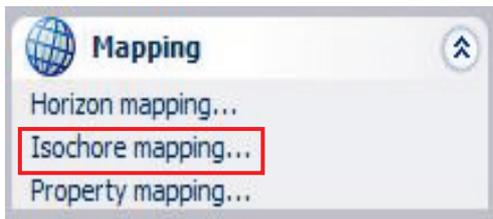


Рис. 66. Вызов операции **Isochore mapping**

распространении пласта.

Карту общих толщин пласта можно построить с помощью опции **Isochore mapping** контейнера **Horizons** (рис. 66).

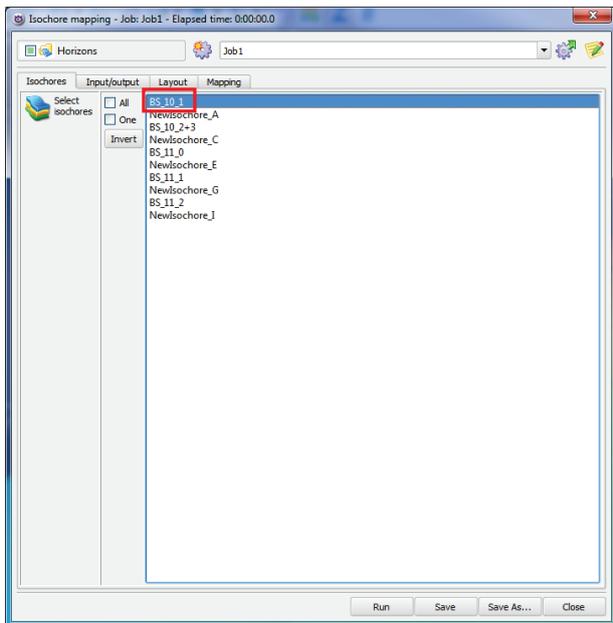


Рис. 67. Закладка **Isochores**

Исходными данными для построения изохоры являются значения толщин в скважинах (атрибут *TVT entry* для **Isochore picks**). Далее будет рассмотрен алгоритм действий в простейшем случае – при сплошном

1) Окно **Isochore mapping** содержит 4 закладки, которые аналогичны окну **Horizon mapping** (п. 3.8.1). В первой закладке следует выбрать пласт (рис. 67).

2) Закладка **Input/Output** предназначена для выбора исходных данных и настройки результата. Во-первых, следует выбрать отстраиваемую изохору (рис. 68 – 1), во-

вторых, указать исходные данные: **Well picks** (2), атрибут **TVTentry** (3) и все скважины (4). В разделе **Output** осуществляется выбор контейнера и объекта, где будет создана карта (5).

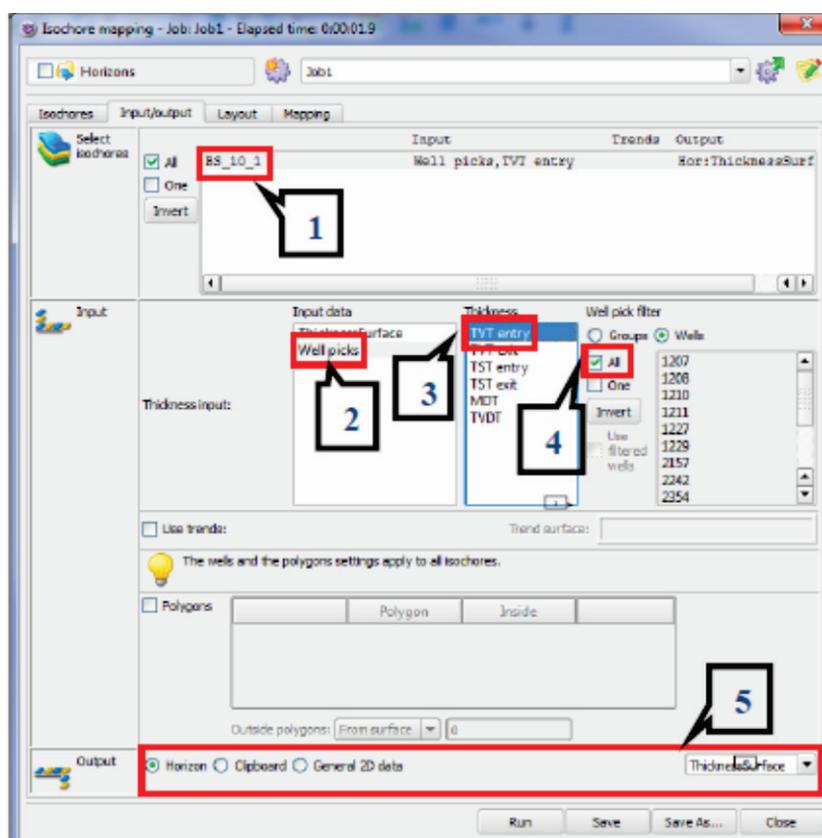


Рис. 68. Закладка Input/Output

3) В закладке **Layout** следует выбрать тот же размер ячеек (рис. 69 – 1), как и при построении карты по отражающему горизонту, указав, что карта будет построена в границах проекта (2), вновь выбрать пласт (3). В нижнем поле (4) нужно установить флаги. *Использовать минимальные/максимальные значения толщин (Use thickness min/max)* и рассчитать эти значения с помощью кнопок **Calc**. При необходимости минимум и максимум можно изменить.

4) Закладка **Mapping** предназначена для настройки параметров картопостроения для рассматриваемой изохоры (рис. 70 – 1). Из раскрывающегося списка (2) следует выбрать алгоритм. Также

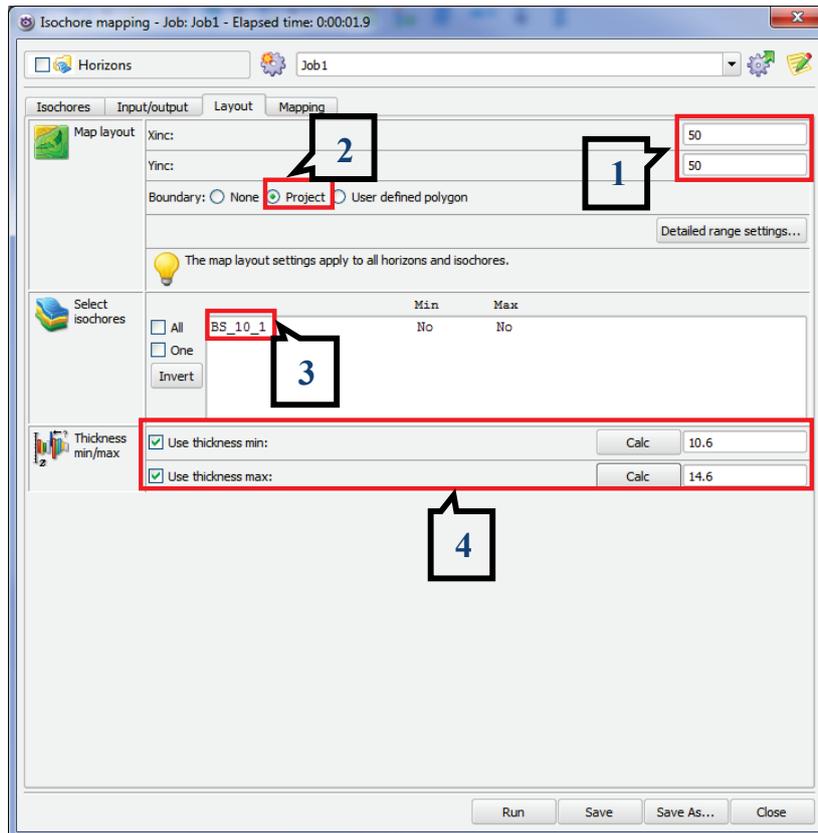


Рис. 69. Закладка Layout

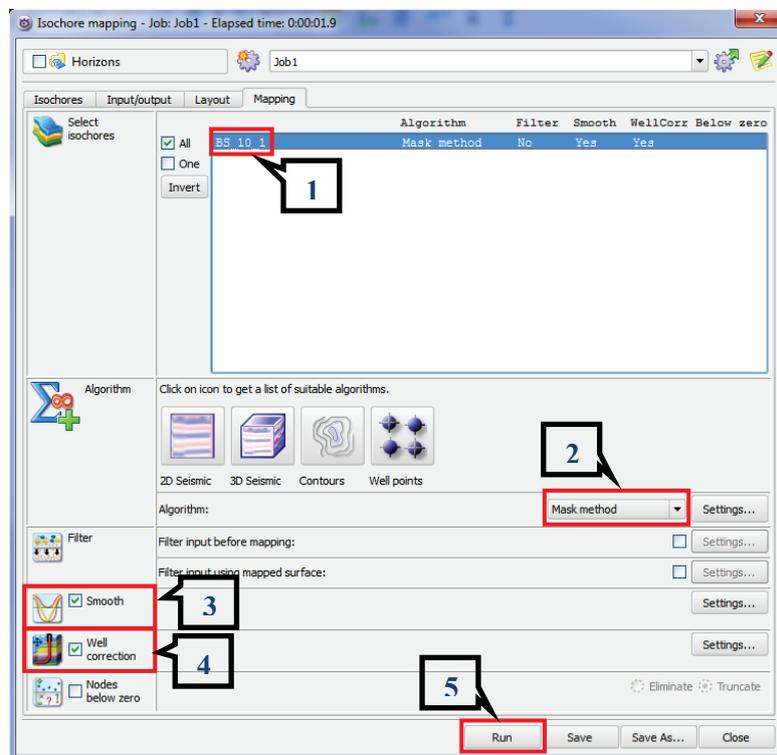


Рис. 70. Закладка Mapping

существует возможность включить опции сглаживания (**Smooth**) (3) и коррекции по скважинам (**Well correction**) (4).

Построенную карту толщин можно отобразить в двумерном графическом окне (рис. 71) и настроить ее визуализацию (см. п. 3.8.2)

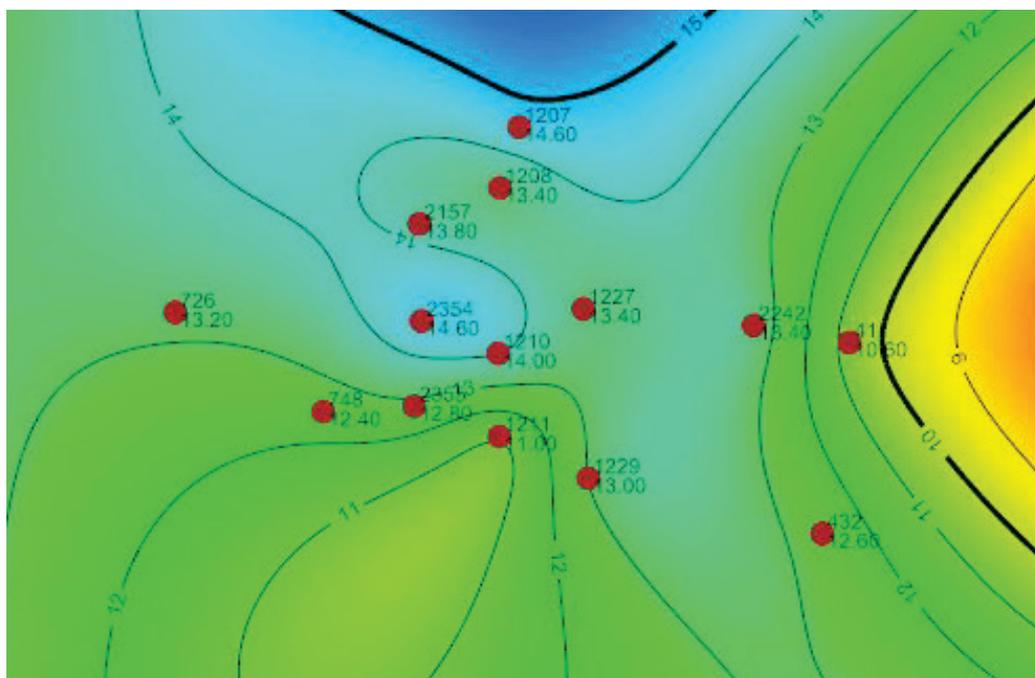


Рис. 71. Визуализация карты общих толщин (изохоры)

3.10. Метод схождения

После того как структурная поверхность по опорному горизонту и карты общей толщины (изохоры) построены, отредактированы и выверены, можно полностью воссоздать структурный каркас. Для этого используется метод схождения (метод наращивания толщин). Принцип метода состоит в прибавлении карты общих толщин (изохоры) к опорной поверхности, если моделируемая поверхность залегает ниже опорной, и в вычитании – если моделируемая поверхность находится выше опорной³.

³Справедливо для случая, когда ось абсолютных отметок направлена вниз (минусы отбрасываются).

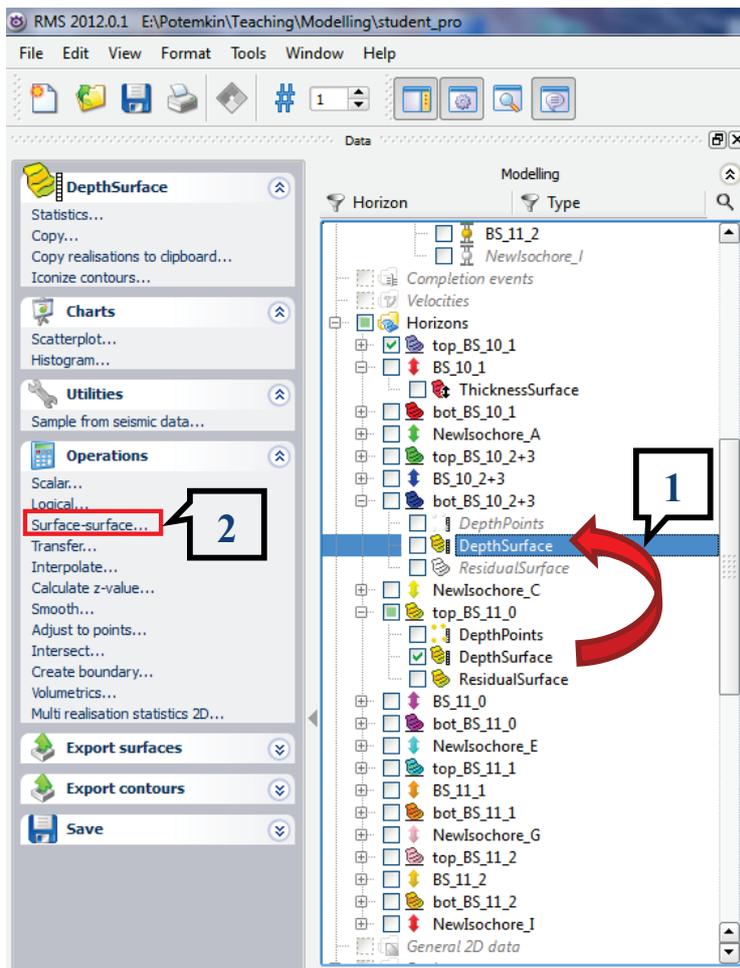


Рис. 72. Метод схождения

Рассмотрим пример применения метода схождения. Поверхность отражающего горизонта *top_BS_11_0* уже построена с использованием сейсмических данных и скорректирована с учетом скважин. Чтобы получить, к примеру, подошву вышележащего пласта (*bot_BS10_2+3*), необходимо скопировать⁴ опорную поверхность в пустой объект **Depth surface** моделируемого горизонта (рис. 72 – 1).

После этого следует выбрать пункт **Operations – Surface-surface...** для моделируемого горизонта (*bot_BS10_2+3*) (2).

⁴ Допускается переместить поверхность в пустой объект левой кнопкой мыши.

В окне **Surface-Surface operations** в пустое поле **Surface B** (**drop-site**) левой кнопкой мыши нужно поместить изохору, разделяющую опорную и моделируемую поверхности (рис. 73 – 1), выбрать математическую операцию (2) и действие, которое нужно осуществить (3).

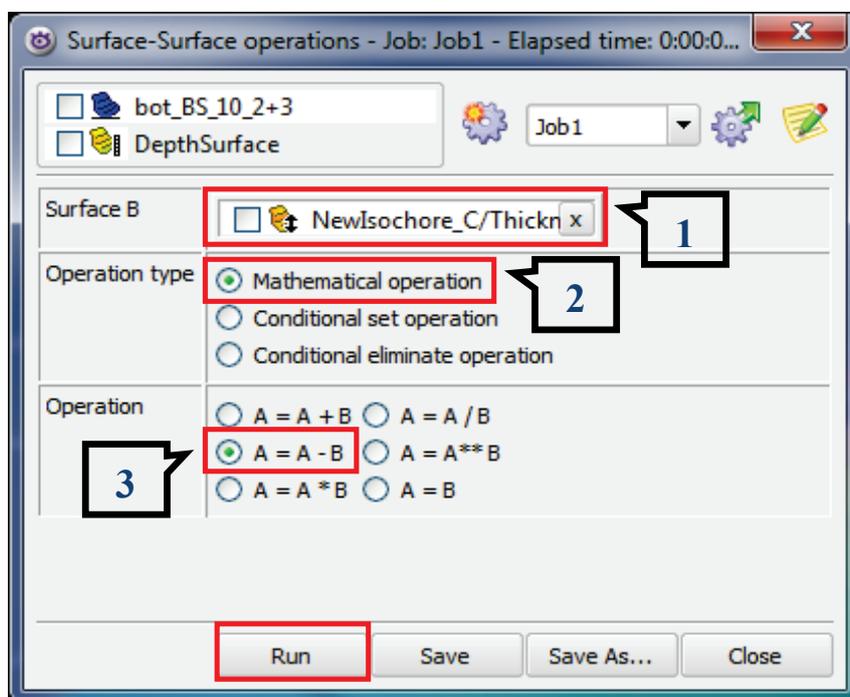


Рис. 73. Окно операций поверхности

Следует проверить соответствие полученной поверхности скважинным данным (п. 3.8.3) и, при необходимости, скорректировать ее (п. 3.8.4).

Вышеописанный алгоритм нужно последовательно повторить для других горизонтов, пока не будут получены все структурные поверхности.

3.11. Интегрированное структурное моделирование

В пакете RMS предусмотрено два способа создания структурно-стратиграфических моделей. Первый – это сеточное структурное моделирование (**Network-Based Structural Modelling**), а вто-

рой – интегрированное структурное моделирование (**Integrated Structural Modelling**).

При классическом варианте сеточного моделирования структурный каркас создается с помощью опций **Horizon Mapping** и **Isochore Mapping**, как было описано в разделах 3.8–3.10.

Второй способ доступен при наличии модуля **Structure** (начиная с версии **RMS 9.0**). Этот метод использует все данные по всем горизонтам, стратиграфии и разломам в одном шаге вычислений, поэтому его называют *комплексным* или *интегрированным*. Применение такого подхода открывает большие возможности для моделирования залежей со сложным строением, учета разломов, интрузий и т.д.

В данном пособии будут рассмотрены базовые возможности модуля **RMS Structure** для простейшего многопластового объекта без нарушений. Для ознакомления с полным функционалом пакета можно обратиться к руководству пользователя [1].

Инструменты и результаты построения интегрированной структурной модели находятся в контейнере **Structural models**. Создать новую структурную модель можно с помощью пункта меню **Create structural model** (рис. 74).

В контейнере будет создана структурная модель **Model 1** (рис. 75).

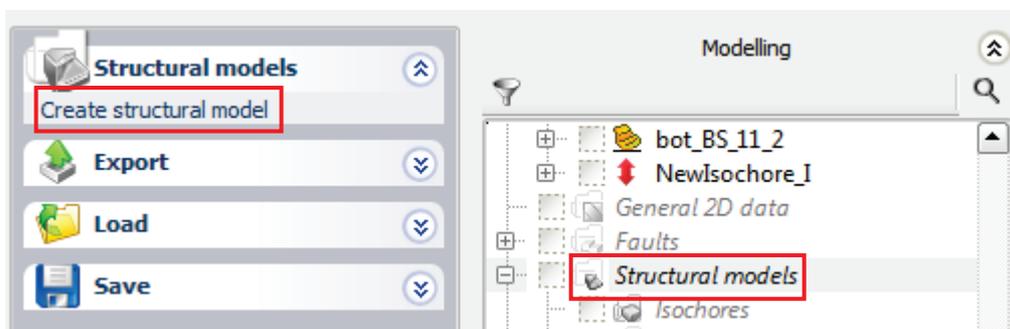


Рис. 74. Создание новой структурной модели

В интегрированной модели возможно создать единственный набор изохор (папка **Isochores**) и множество структурных моделей, каждая из которых содержит объекты:

Model Box – границы построения модели;

Fault truncations – взаимоотношения разломов;

Faults – модель разломов.

Папка **Horizon model 1** содержит стратиграфическую модель в виде зон (**Zones**) или в виде горизонтов (**Horizons**). В свою очередь, для каждой структурной модели можно создать множество моделей горизонтов.

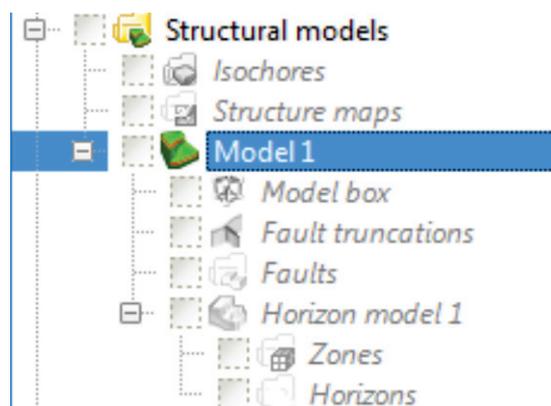


Рис. 75. Структурная модель **Model 1**

3.11.1. Границы построения интегрированной модели

Сначала следует задать границы построения структурной модели (пункт **Edit...** в меню объекта **Model Box** (рис. 76)).

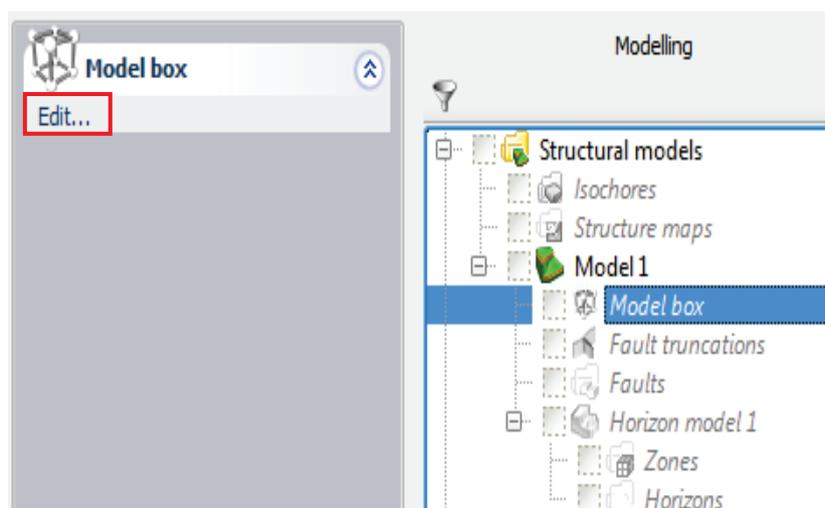


Рис. 76. Вызов операции редактирования границ структурной модели

В окне **Edit box** нужно задать координаты центра и размеры параллелепипеда, задающего область построения. Значения можно ввести вручную или установить размеры по какому-либо объекту (поверхности, полигону), помещенному в **drop-site** (рис. 77 – 1). Например, возьмем участок, в пределах которого заданы сейсмические данные, для чего поместим в поле (1) загруженные точки сейсмических пикетов (см. п. 3.6). Размеры этого участка по горизонтали нас устраивают, однако высоту **Model Box** в поле **Z length** (2) нужно увеличить, чтобы поместились все моделируемые горизонты.

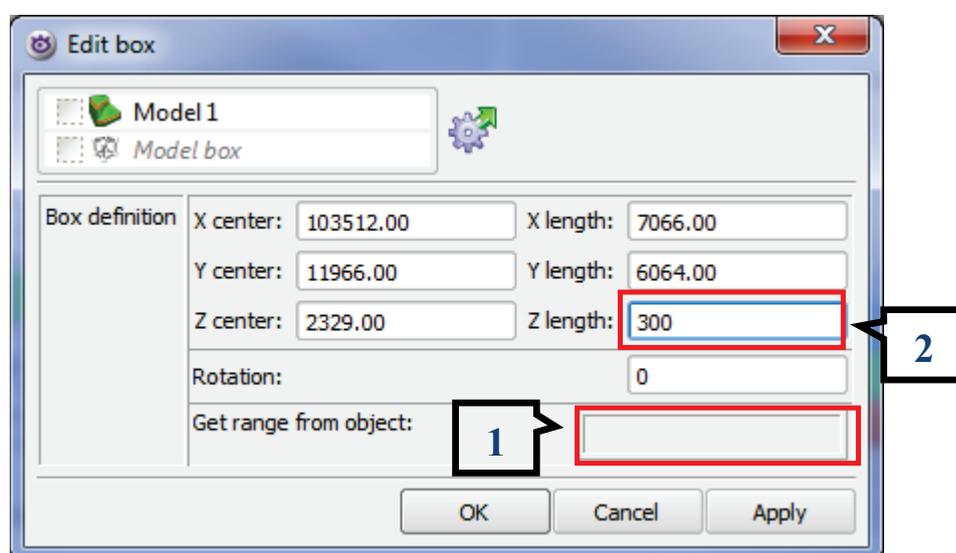


Рис. 77. Редактирование границ структурной модели

На следующем этапе должна создаваться модель разломов. В учебном варианте разломы отсутствуют, поэтому перейдем сразу к построению модели горизонтов.

3.11.2. Построение опорной модели горизонтов

Сначала нужно создать обобщенную модель, учитывающую опорные сейсмические горизонты. В учебном варианте таким горизонтом является кровля пласта BC_{11}^0 .

В списке доступных действий объекта **Horizon model 1** выберите **Horizon modelling...**

Окно **Horizon modelling** содержит 4 закладки.

Закладка **Stratigraphy** (рис. 78).

В разделе **General** устанавливаются общие настройки. Опция **Based on horizon model** предназначена для выбора базовой модели, если такая существует.

Если нажать кнопку **Define...** (рис. 78 – 1) в пункте **Horizon model box**, то появится уже знакомое окно **Edit box**, где, при необходимости, можно настроить область построения модели горизонтов. По умолчанию область соответствует заданному ранее параллелепипеду.

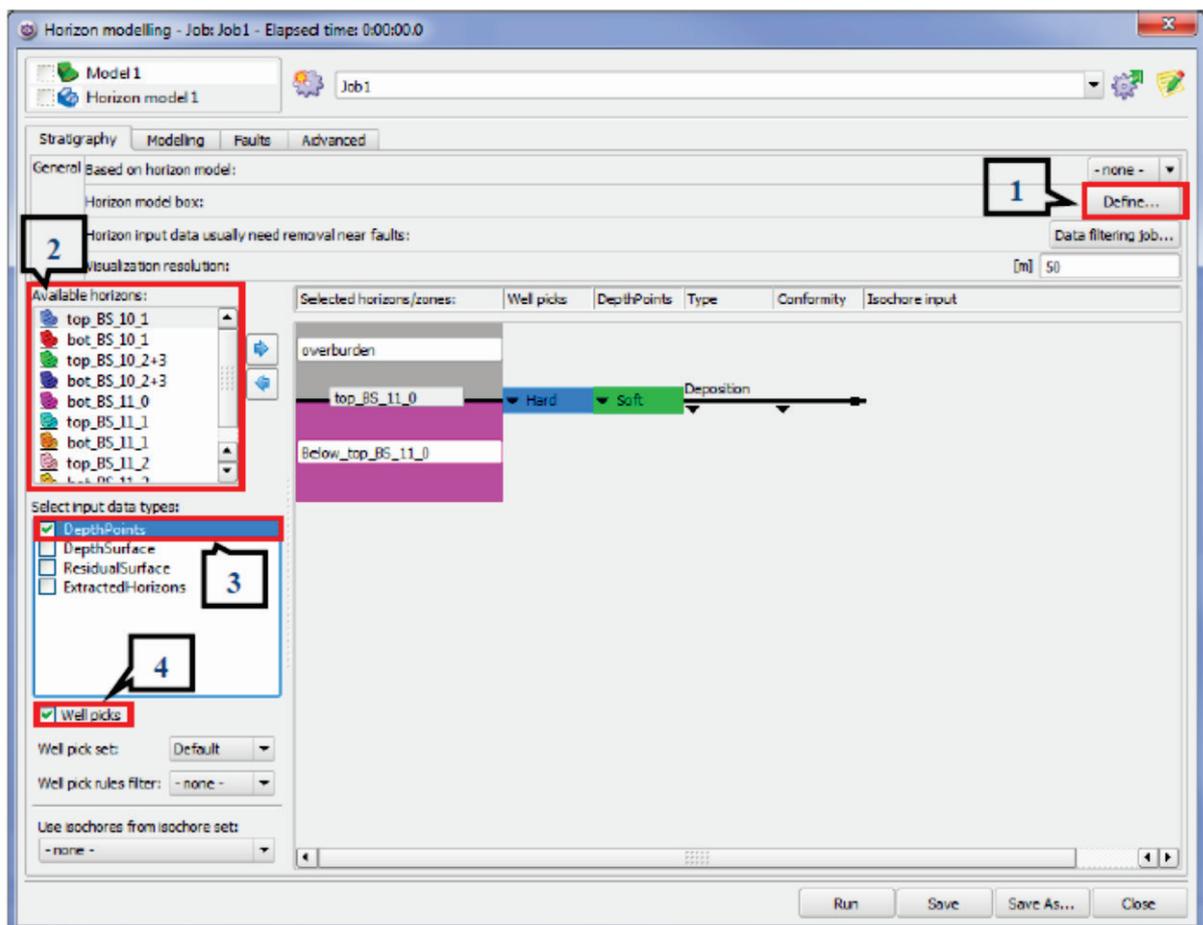


Рис. 78. Создание опорной модели горизонтов. Закладка **Stratigraphy**

Из списка **Available horizons** (2) горизонт **top_BS_11_0** нужно перенести в правое поле с помощью стрелки. Затем укажите, какие виды исходных данных будут использованы для построения поверхности. Это сейсмические данные в виде точек, которые находятся в контейнере **DepthPoints** (3). Для корректировки поверхности по скважинным данным необходимо установить флаг **Well picks** (4).

Для каждого типа данных справа от имен горизонтов будет создана колонка, в которой указан способ учета данных.

Существует 3 способа учета:

- **Soft** (неточные данные) – используются для создания общей формы горизонта. В нашем случае – это сейсмические данные.

- **Hard** (точные данные) – применяются для корректировки поверхности, построенной по данным типа **Soft**, имеют более высокий вес при создании поверхности.

- **Ignore** – данные не используются.

Способ использования данных может быть настроен индивидуально для каждого горизонта.

В закладке **Modelling** (рис. 79) задаются настройки сетки и особенности использования разных данных различных типов.

	Horizon name	Type	Grid x-y increment	Grid z increment	Soft data smoothing range	Correction range	Skeleton lines
1	top_BS_11_0	Deposition	50		0	500	

Рис. 79. Создание опорной модели горизонтов. Закладка Modelling

Grid X-Y Increment – расстояние между узлами сетки создаваемой поверхности (размер ячейки). Установите значение 50 м.

Soft data smoothing range – радиус сглаживания неточных данных.

Correction range – радиус коррекции, т.е. расстояние, в пределах которого точка данных будет оказывать влияние.

В закладке **Faults** производится настройка разломов (при их наличии).

Закладка **Advanced** предназначена для случая, когда необходимо использовать данные кривой стратиграфии *ZoneLog* при отсутствии отбивок.

3.11.3. Построение модели изохор

Необходимо выбрать для объекта **Isochores** операцию **Isochore modelling** (рис. 80).

В качестве опорной модели используется **Horizon model 1** (рис. 81 – 1), в поле **Grid increment** задается размер ячейки для изохоры – 50 м (2).

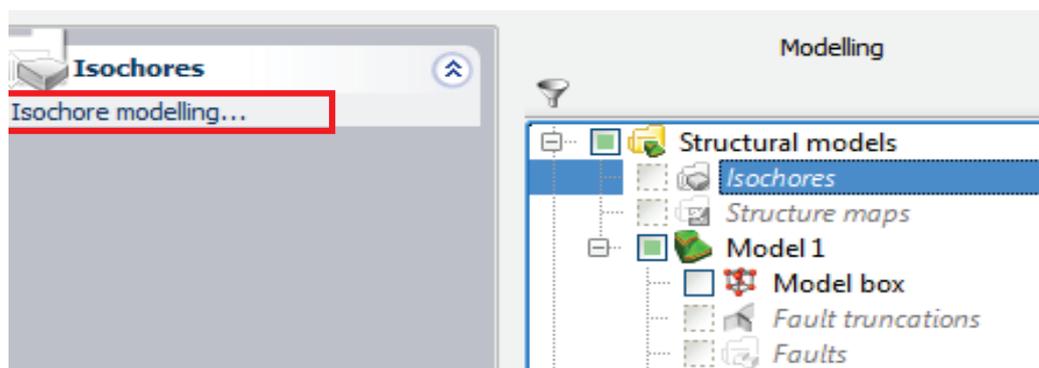


Рис. 80. Вызов операции Isochore modelling

Все горизонты из списка **Available horizons** следует перенести направо (рис. 81 – 3). В качестве исходных данных используются отбивки (7). Горизонт *top_BS_11_0* является опорным, поэтому изохоры будут отстроены согласно ему. Для интервала разреза выше опорного горизонта в секции **Conform** нужно выбрать **Bottom** (5), для нижележащих пластов – **Top** (6). Изохоры будут созданы на основе атрибута истинной вертикальной толщины

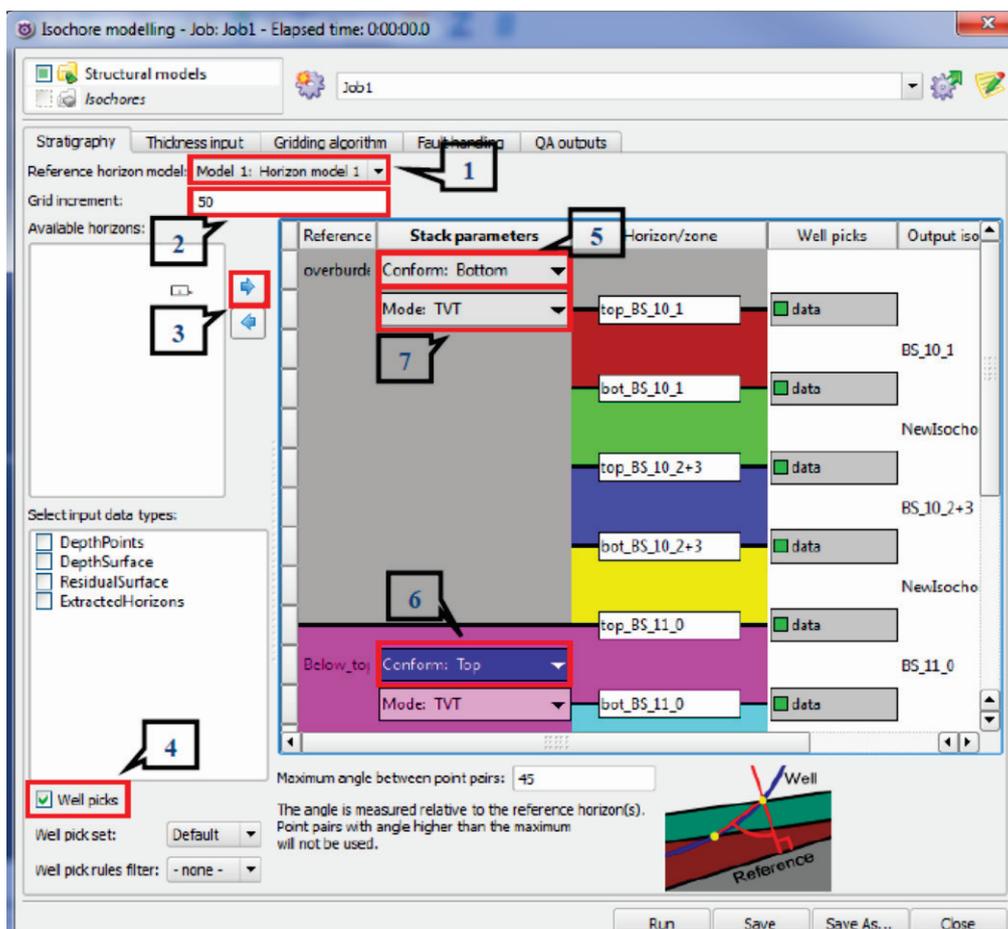


Рис. 81. Создание модели изохор. Закладка Stratigraphy

(*TVT*) (7). Закладка **Thickness input** (рис. 82) предназначена для использования дополнительных данных, таких как трендовые карты (**Thickness trend**), границы распространения пласта (**Pinchout polygon**) и другие. В рассматриваемом случае дополнительные данные не используются.

В закладке **Gridding algorithm** (рис. 83) из выпадающего списка можно выбрать алгоритм построения изохор: *Local B-spline*, *Converging Average* или *Global B-spline*.

Закладка **Fault handling** предназначена для дополнительных настроек согласования с разломами.

В закладке **QA output** можно выбрать для выгрузки объекты, которые используются для контроля качества модели изохор.

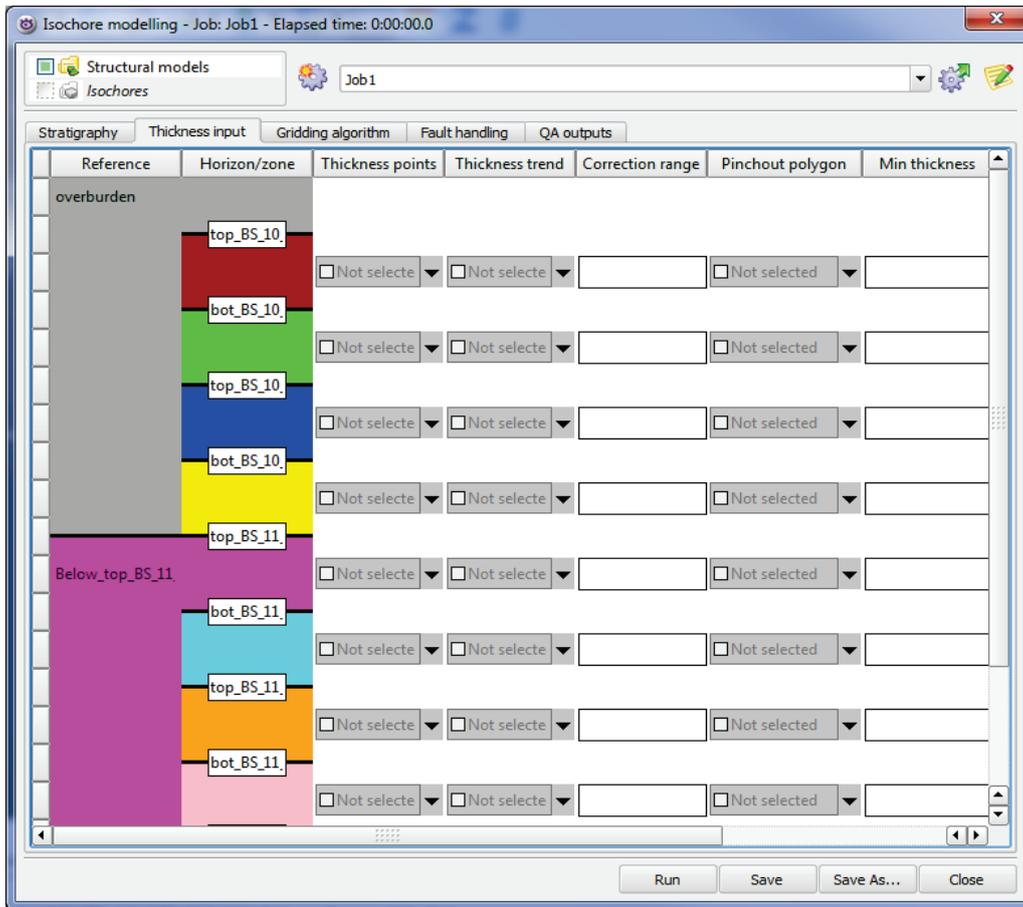


Рис. 82. Создание модели изохор. Закладка Thickness input

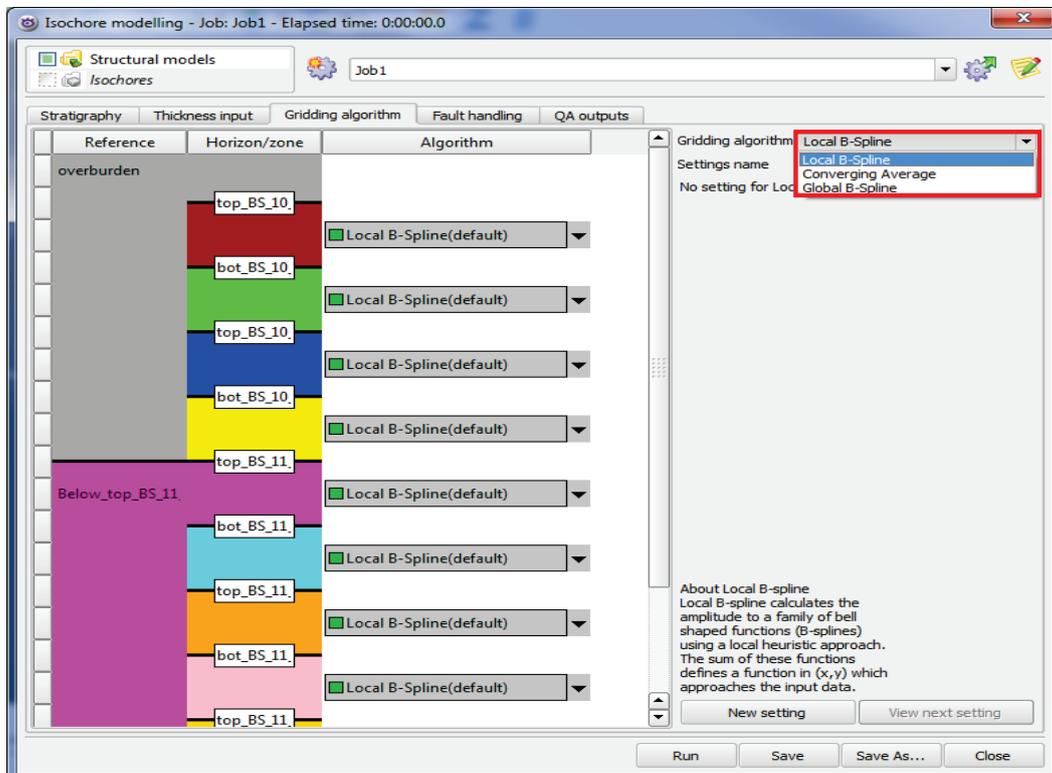


Рис. 83. Создание модели изохор. Закладка Gridding algorithm

3.11.4. Построение детальной модели горизонтов

На следующем этапе необходимо на основе опорных моделей горизонтов и изохор создать детальную модель горизонтов.

Работа осуществляется с новой моделью горизонтов: **Model 1 – Create horizon model**. Далее, аналогично п. 3.11.2, для **Horizon model 2** следует использовать опцию **Horizon modelling...**

Из списка базовых моделей необходимо выбрать **Horizon model 1** (рис. 84 – 1), перенести все горизонты в правую область (2), а также указать **Well picks** (3) и созданную модель изохор **Job1** (4).

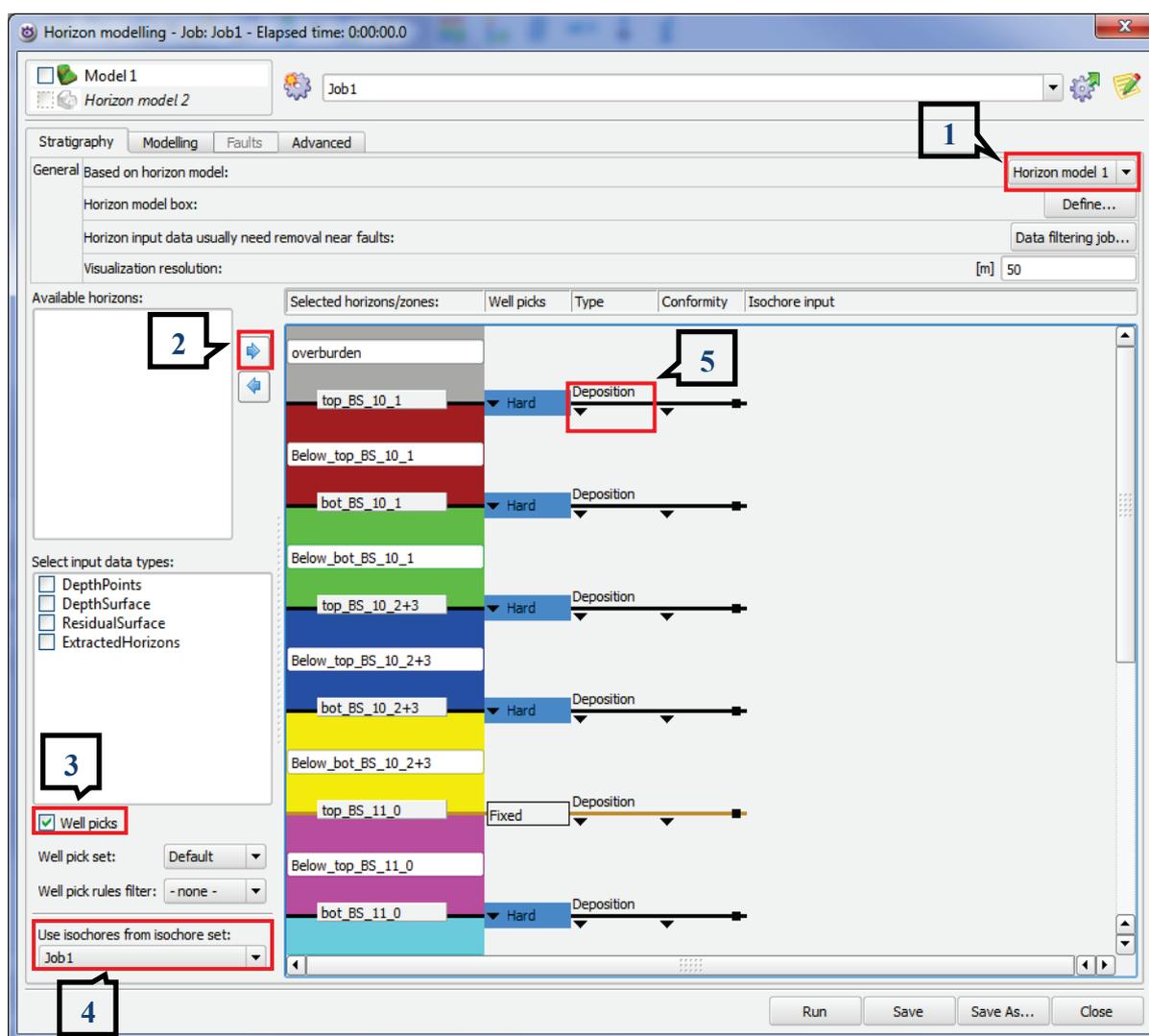


Рис. 84. Создание детальной модели горизонтов. Зкладка Stratigraphy

В схеме горизонтов в колонке **Type** при необходимости можно задать тип границы: согласная (**Deposition**), несогласная (**Unconformity**) или граница интрузии (**Intrusion**) (5). В рассматриваемом варианте все границы являются согласными.

Далее необходимо задать группы согласно залегающих пластов. Для этого нужно потянуть ЛКМ за черный квадрат на опорной границе (рис. 85 – 1) до кровли верхнего пласта (2). Затем аналогичным образом объединить границы от кровли опорного горизонта BC_{11}^0 до подошвы нижнего пласта BC_{11}^2 . Теперь все горизонты будут отстроены согласно друг другу.

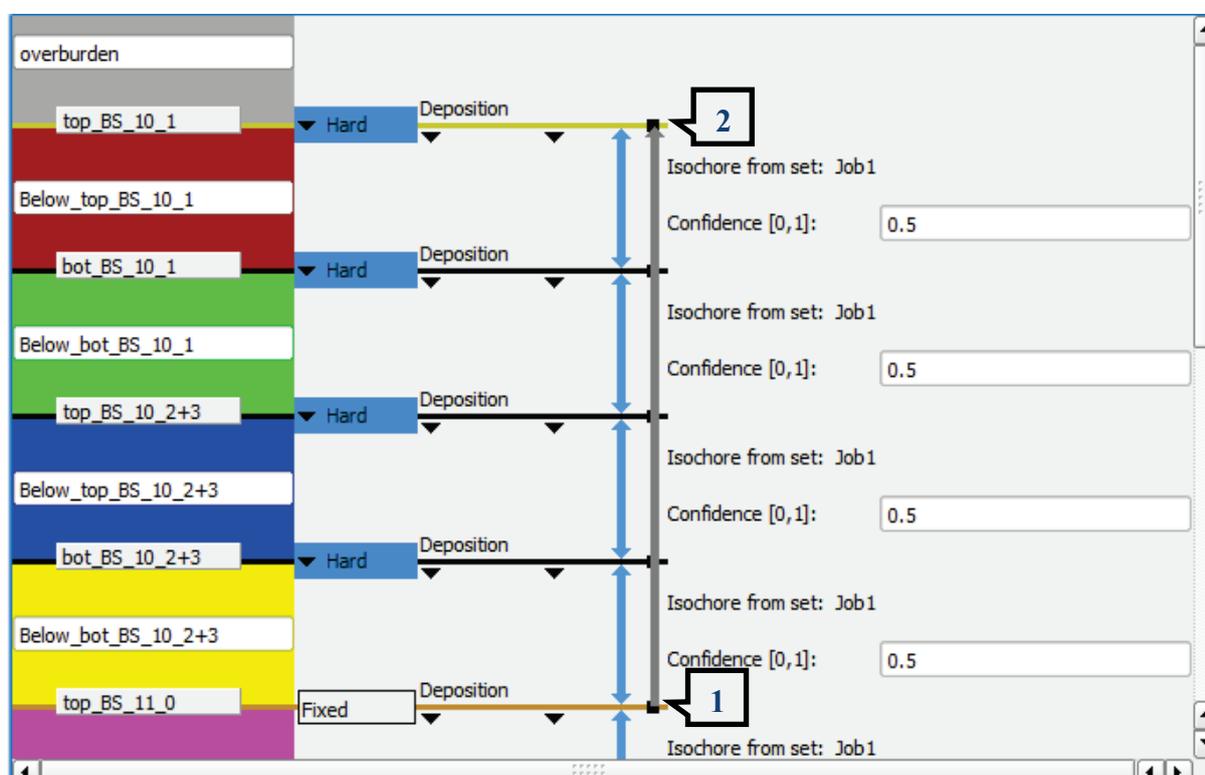


Рис. 85. Выбор групп согласно залегающих пластов

В закладке **Modelling** нужно установить размер ячейки поверхности 50×50 м (рис. 86). Чтобы задать всем строкам одинаковое значение, нужно предварительно выделить их ЛКМ с нажатой клавишей Shift.

Stratigraphy Modelling Faults Advanced							
	Horizon name	Type	Grid x-y increment	Grid z increment	Soft data smoothing range	Correction range	Skeleton lines
1	top_BS_10_1	Deposition	50		0	500	
2	bot_BS_10_1	Deposition	50		0	500	
3	top_BS_10_2+3	Deposition	50		0	500	
4	bot_BS_10_2+3	Deposition	50		0	500	
5	top_BS_11_0	Deposition	50		0	500	
6	bot_BS_11_0	Deposition	50		0	500	
7	top_BS_11_1	Deposition	50		0	500	
8	bot_BS_11_1	Deposition	50		0	500	
9	top_BS_11_2	Deposition	50		0	500	
10	bot_BS_11_2	Deposition	50		0	500	

Рис. 86. Создание детальной модели горизонтов. Закладка Modelling

Чтобы экспортировать из модели структурные поверхности и карты общих толщин (изохоры), можно воспользоваться опцией **Extract surfaces/isochores** (рис. 87), которая доступна для детальной модели горизонтов **Horizon model 2**.

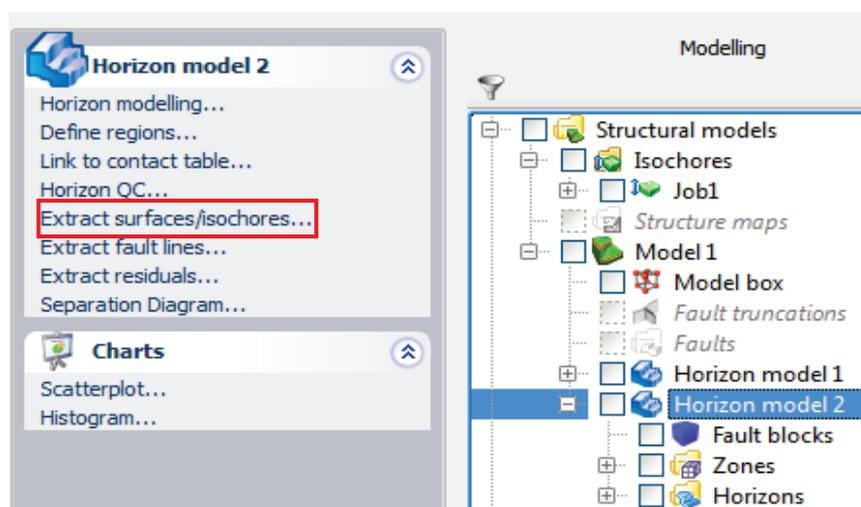


Рис. 87. Вызов операции экспорта поверхностей и изохор из структурной модели

В окне **Extract Surface** (рис. 88) следует указать объекты, в которые будут выгружены горизонты и изохоры, а также размер ячеек (**Increment**) карт.

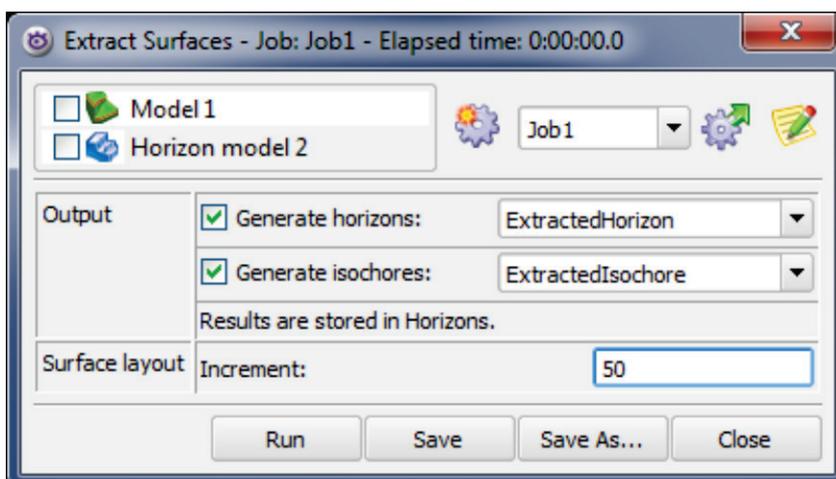


Рис. 88. Настройки экспорта поверхности

Полученные объекты будут созданы в контейнере **Horizons** (рис. 89).

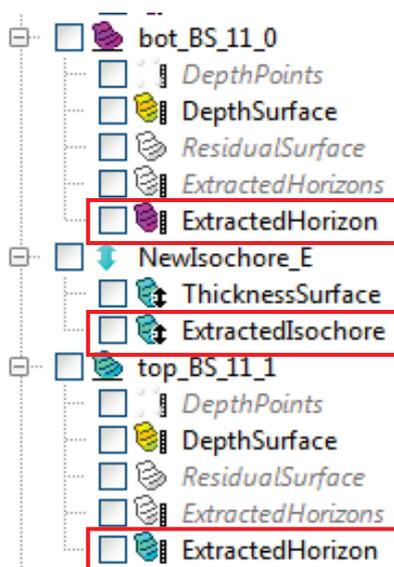


Рис. 89. Результаты экспорта

4. ПОСТРОЕНИЕ ТРЕХМЕРНОЙ ДЕТЕРМИНИРОВАННОЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

4.1. Создание трехмерной геологической сетки

Начальный этап 3D геологического моделирования – создание сетки, которая является основой модели. Трехмерная сетка необходима для того, чтобы разбить моделируемый объем на ячейки, которым впоследствии будут присвоены значения тех или иных параметров. Именно сетка в значительной мере определяет адекватность модели, т.к. распределение параметров в объеме неразрывно с ней связано.

Трехмерная геологическая сетка создается в пределах ограничивающих ее поверхностей, которыми являются стратиграфические поверхности кровли и подошвы пласта. При создании сетки должны выполняться два основных условия:

- поверхности должны быть согласованными (не должны пересекаться, но, тем не менее, могут совпадать в отдельных местах);
- поверхности должны иметь одинаковое распространение по площади (должны быть построены в единых границах). Если поверхности перекрывают различные площади, сетка будет создана только в той области, где заданы обе поверхности.

В процессе создания трехмерной сетки объем, заключенный между кровлей и подошвой пласта, будет разбит на ячейки в соответствии с правилами, установленными геологом, исходя из особенностей моделируемого объекта и назначения модели.

Сетки подразделяются на два типа: регулярные и нерегулярные.

Регулярные – X, Y regular. Размеры ячеек по горизонтали в

регулярных сетках постоянны, боковые ребра ячеек такой сетки всегда вертикальны (рис. 90). К преимуществам регулярных сеток относится быстрый расчет геометрии и упрощенное математическое описание (т.к. все ячейки имеют одинаковую длину и ширину), основной недостаток – это невозможность встраивания тектонических нарушений.

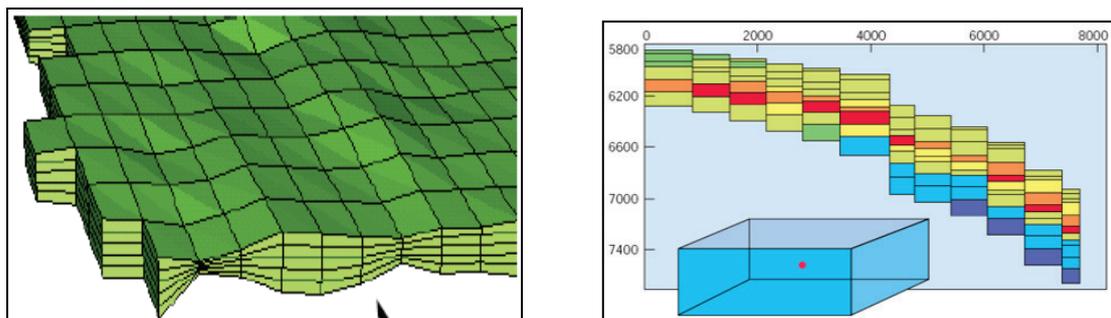


Рис. 90. Регулярная сетка [1]

Нерегулярные – Corner Point. Эта сетка является более универсальной, т.к. горизонтальное расстояние между узлами ячеек может изменяться и боковые ребра могут образовывать произвольные углы (рис. 91). Для описания ячейки нужно использовать координаты всех ее вершин. Такой тип сетки лучше адаптируется к структуре, в нее могут встраиваться разломы, в отдельных участках можно применять локальное измельчение (более высокое горизонтальное разрешение).

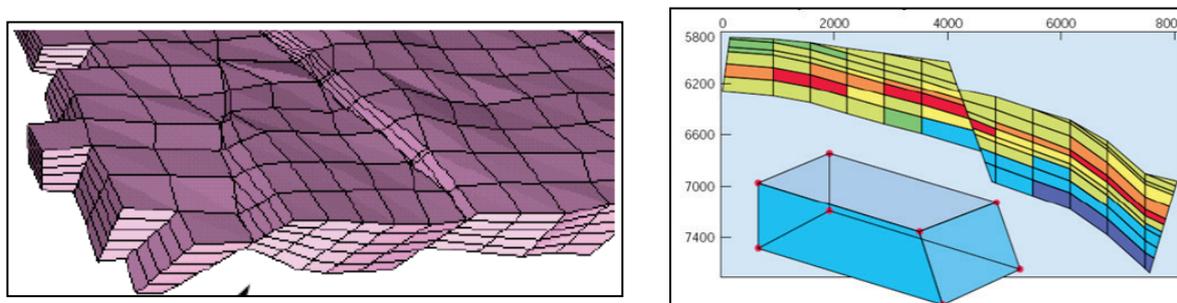


Рис. 91. Нерегулярная сетка [1]

На первом этапе создания трехмерной геологической сетки необходимо выбрать поверхности, в пределах которых будет проходить построение.



Рис. 92. Вызов операции Create grid model

Для 3D моделирования предназначен контейнер **Grid models**. Необходимо выделить этот контейнер и выбрать пункт меню **Create grid model...** (рис. 92).

Если структурная модель сеточная, т.е. создана с помощью модуля **Classic Structure** (инструменты **Horizon mapping** и **Isochrome Mapping**), в окне **Create grid model** следует выбрать опцию **Use network structural framework** (рис. 93 – 1), задать имя сетки (2) и поверхности, ограничивающие моделируемый объем (3), после чего нажать **ОК**.

Особенности построения трехмерной сетки на основе интегрированной структурной модели будут описаны ниже.

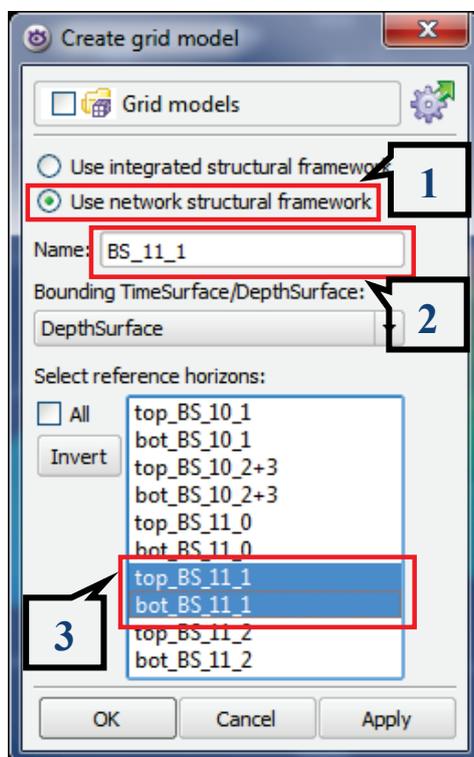


Рис. 93. Создание сетки

В контейнере **Grid models** появится новая модель *BS_11_1*, в которой находится пустой объект **Grid**, в нем нужно создать сетку. Пункт **Grid – Create modeling grid...** (рис. 94) позволяет вызвать соответствующее окно, где необходимо указать горизонтальные и вертикальные настройки сетки: тип сетки, разрешение (размер ячеек) по горизонтали и способ разбиения объема на слои, вариант адаптации ячеек сетки к поверхностям, ограничивающим сетку.



Рис. 94. Вызов операции Create modeling grid

Выбор горизонтального разрешения сетки

Один из важных элементов геологического моделирования – выбор размеров ячеек сетки по горизонтали (X, Y). Разумеется, мелкие ячейки позволяют с большей детальностью описать моделируемое пространство, однако производительность ЭВМ накладывает ограничения на общее количество ячеек в модели, особенно при переходе к гидродинамическим моделям. В связи с этим, важно установить оптимальные размеры сетки, при которых с необходимой детальностью будут отражены особенности геологического строения объекта, а возможности ЭВМ позволят работать с такой сеткой.

Как правило, размеры ячеек выбирают таким образом, чтобы между соседними скважинами было как минимум 3 ячейки. Например, если расстояние между скважинами в среднем 500–600 м, стоит использовать ячейки не более 200x200 м. Нельзя применять сетки, в которых две скважины попадают в одну ячейку или в соседние.

Обычно для моделирования залежей используют горизон-

тальные размеры ячеек 50×50 или 100×100 м. Если месторождение очень крупное, размеры ячеек могут достигать 200×200 м. Уникальные и гигантские месторождения приходится делить на секторы и моделировать каждый сектор по отдельности.

Выбор способа разбиения сетки на слои

Существует два варианта вертикальной разбивки сетки: *пропорциональный* и *параллельный*. Выбор того или иного варианта обусловлен особенностями геологического строения моделируемого объекта: характером напластования, слоистостью, наличием несогласий в кровле/подошве пласта и т.п. Важность корректного выбора, с промыслово-геологической точки зрения, обусловлена тем, что именно способ задания слоев сетки влияет на связанность пропластков коллектора в межскважинном пространстве, т.е. характеризует пути фильтрации флюида.

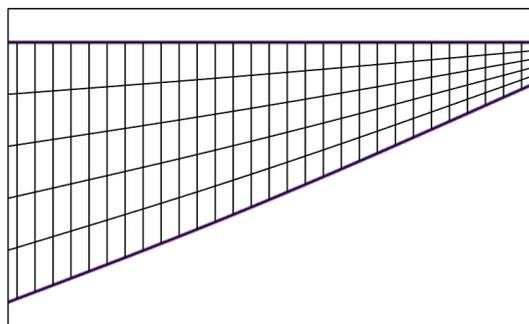


Рис. 95. Пропорциональная разбивка по вертикали [1]

При *пропорциональной* разбивке общая толщина, заключенная, как правило, между кровлей и подошвой моделируемого пласта, делится на равное количество слоев. Таким образом, на любом участке сетка будет иметь одинаковое количество ячеек по вертикали, но размер ячеек по высоте будет отличаться (рис. 95). Например, если выбрана сетка с количеством слоев, равным 75, на участке с общей толщиной пласта 15 м высота ячеек будет составлять $15/75 = 0,2$ м, а на участке с толщиной 20 м – 0,27 м.

При *параллельной* разбивке требуется задать высоту одной ячейки и опорную поверхность, параллельно которой будут отстраиваться слои сетки. В качестве такой поверхности может вы-

ступать кровля, подошва или другая поверхность (рис. 96 – 98). При данном варианте разбивки количество слоев будет меняться в зависимости от общей толщины пласта, но толщина одного слоя будет постоянна. Такой вид сетки может использоваться, например, при наличии эрозионных поверхностей и т.п.

Выбор вертикального разрешения как для пропорциональной, так и для параллельной разбивки должен осуществляться с учетом вертикальной изменчивости пласта коллектора. Например, если по скважинным данным средняя толщина проницаемого прослоя составляет 1 м, рекомендуется создавать сетки со средней толщиной ячейки 0.5 м и менее. Кроме того, следует учитывать шаг дискретизации скважинных данных (нет смысла создавать сетку, в которой высота ячейки меньше, чем шаг скважинных замеров) и производительность ЭВМ.

Вернемся к окну **Create modeling grid** (рис. 99).

В разделе **Horizontal layout** задаются горизонтальные настройки. Выберите тип сетки **Corner-point** (нерегулярную) (1).

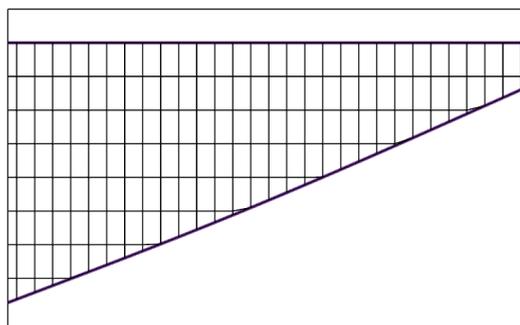


Рис. 96. Параллельная разбивка вдоль кровли [1]

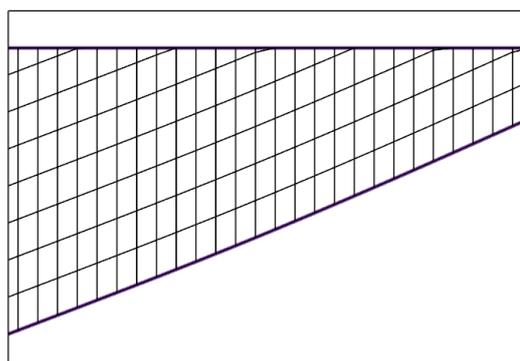


Рис. 97. Параллельная разбивка вдоль подошвы [1]

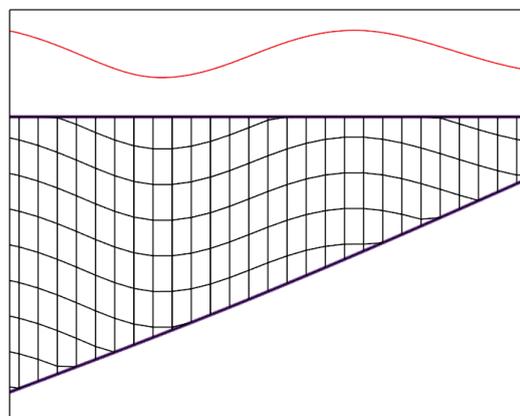


Рис. 98. Параллельная разбивка вдоль дополнительной поверхности [1]

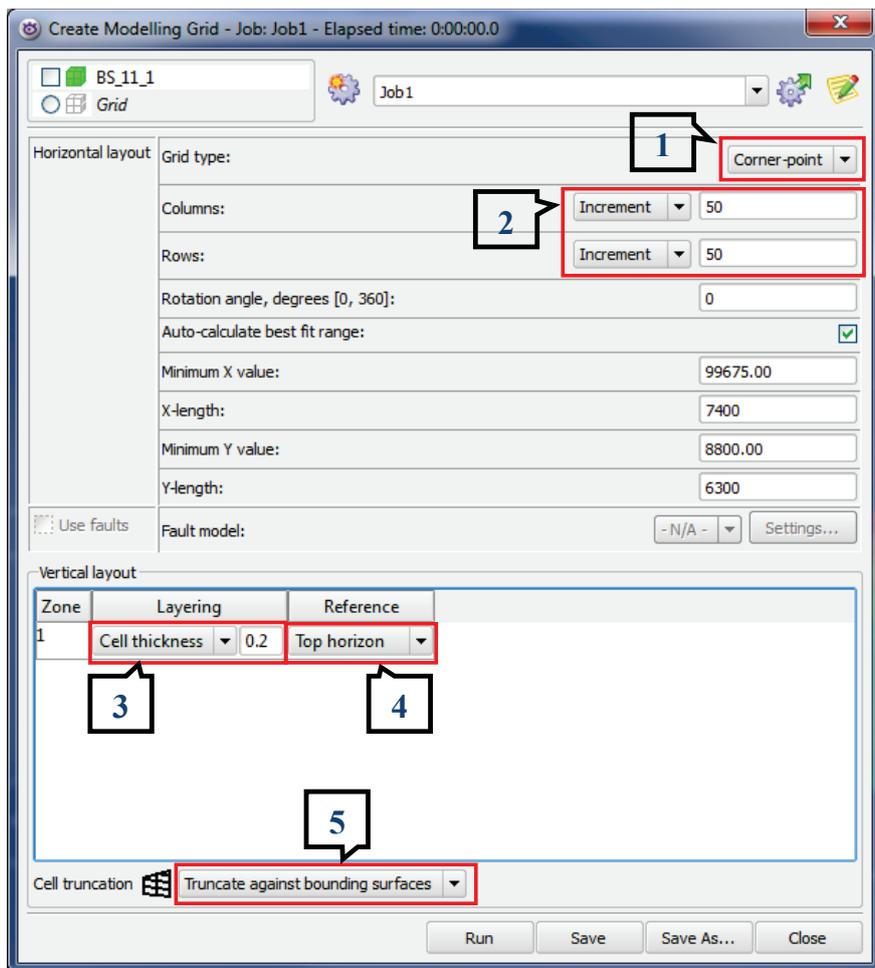


Рис. 99. Настройки геологической трехмерной сетки

Размерность ячеек по горизонтали можно задать двумя способами: указав количество ячеек по оси X и Y (**No. of cells**) либо их размер (**Increment**). Воспользуемся вторым вариантом и установим размер сетки по горизонтали, например, 50×50 м (2).

Вертикальные настройки можно выбрать в разделе **Vertical layout**. В столбце **Layering** существует возможность задать количество слоев, на которые будет разделено расстояние от кровли до подошвы (**No. of cells**) или высоту ячейки (**Cell thickness**), т.е. пропорциональный или параллельный вариант разбиения сетки.

В качестве примера можно задать сетку с вертикальной толщиной ячеек 0.2 м (3), причем слои будут параллельны кровле (**Top horizon** в столбце **Reference**) (4).

При создании сетки нередко возникают ячейки, узлы которых (один или несколько) не вписываются в ограничивающие поверхности. Такие ситуации обычно возникают при создании параллельных сеток. В таком случае есть возможность автоматически адаптировать ячейки к границам сетки с помощью функции **Cell truncation** (адаптация ячеек). Эта функция имеет следующие варианты (рис. 100):

1) **None** (не адаптировать). Ячейки, имеющие 3 и более углов за пределами зоны, становятся частью трехмерной сетки, что может привести к ломаной границе сетки.

2) **Truncate against bounding surface**. Ячейки, имеющие хотя бы один угол за пределами зоны, адаптируются к ее границам (усекаются по граничной поверхности).

3) **Attach to bounding surface**. Ячейки, которым не хватает толщины, объединяются с ячейками предыдущих слоев.

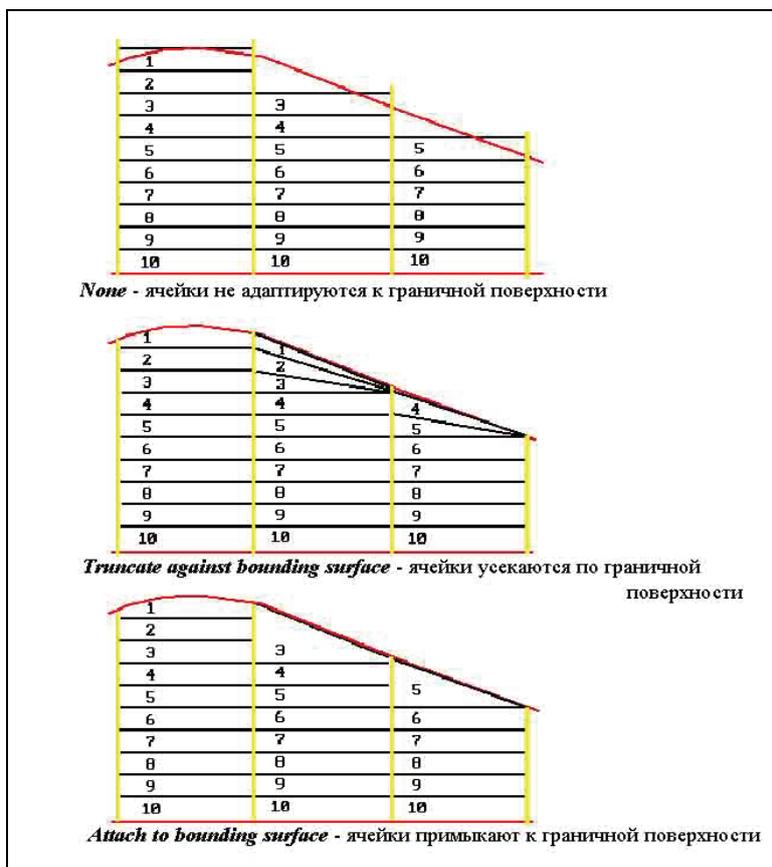


Рис. 100. Варианты адаптации ячеек к границам сетки [1]

В данном примере можно задать адаптацию ячеек сетки **Truncate against bounding surfaces** (рис. 99 – 5), после чего нажать кнопку **Run**.

Теперь сетку можно отобразить (рис. 101) и, если необходимо, настроить параметры визуализации (**Grid – Visual settings**).

Создание сетки на основе интегрированной структурной модели

Трехмерную сетку можно также создать на основе интегрированной структурной модели, полученной с помощью модуля **RMS Structure** (см. п. 3.11). На основе интегрированной модели можно создать только нерегулярную сетку (**Corner-point**).

В меню контейнера **Grid** следует выбрать пункт **Create grid model...**, в соответствующем окне указать **Use integrated structural framework** (рис. 102), ввести имя новой модели и нажать **OK**.

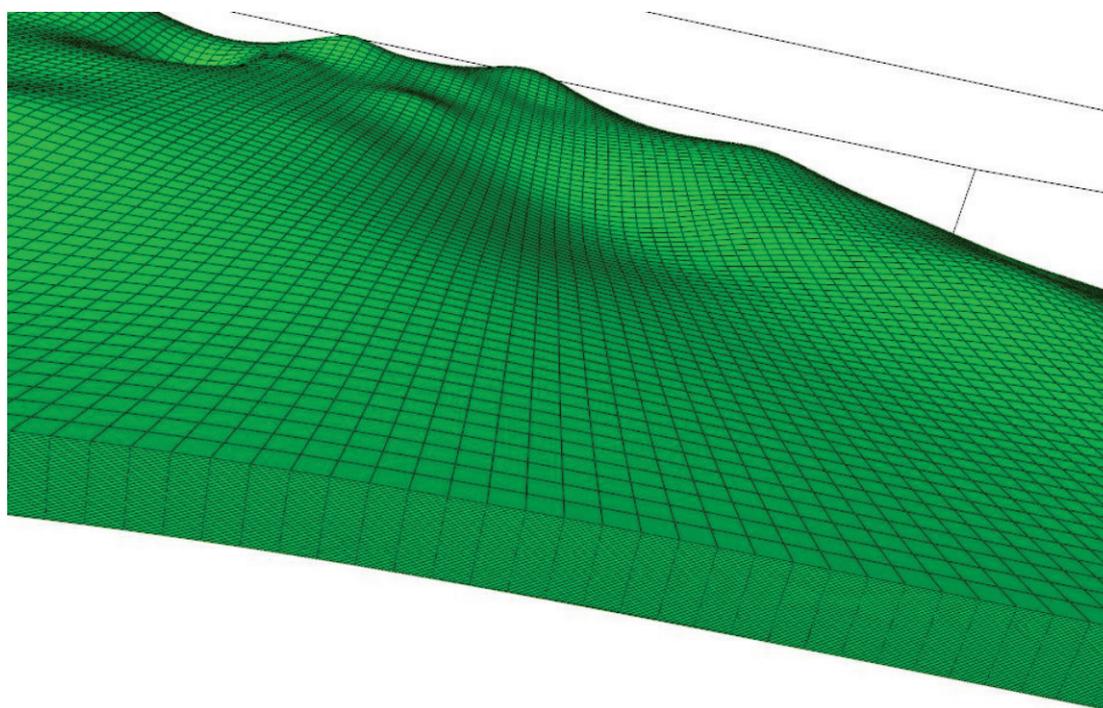


Рис. 101. Визуализация трехмерной сетки

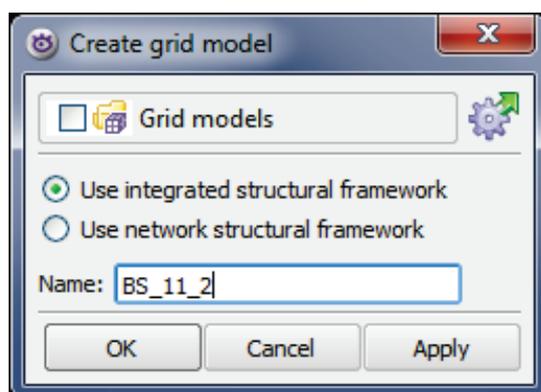


Рис. 102. Создание сетки на основе интегрированной структурной модели

Для созданного объекта **Grid** нужно выбрать опцию **Create grid...** (рис. 103).

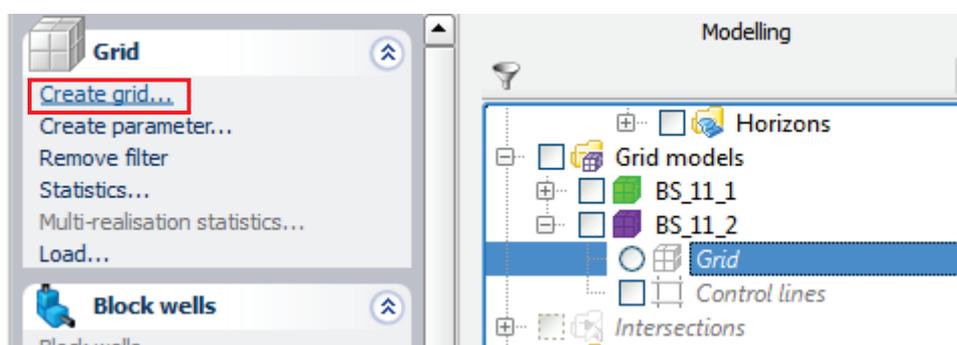


Рис. 103. Вызов окна настройки трехмерной сетки

Окно **Create grid** содержит 4 закладки.

В закладке **General** (рис. 104) следует указать модель горизонтов и разломов (при необходимости). С назначением настроек раздела **Main settings** можно ознакомиться в Руководстве пользователя [1].

Закладка **2D layout** (рис. 105) предназначена для настройки размеров и детальности сетки по горизонтали. По умолчанию размеры сетки по осям X и Y принимаются по структурной модели, поэтому их допускается оставить без изменения. Требуется задать размеры ячейки (инкремент) 50×50 м.

Закладка **Zone layout** (рис. 106) содержит инструменты для определения строения сетки по вертикали.

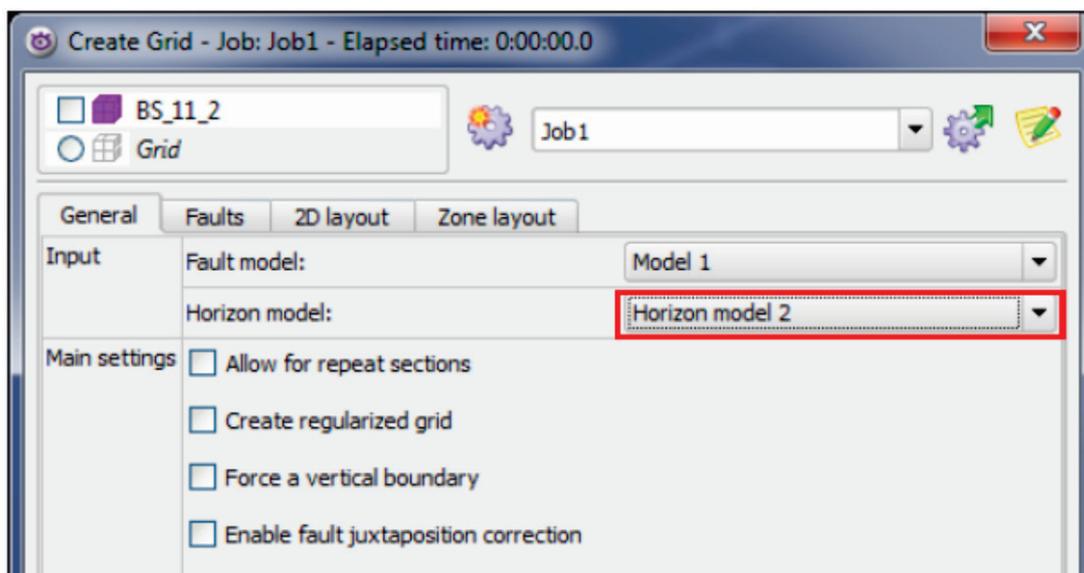


Рис. 104. Настройка трехмерной сетки на основе интегрированной структурной модели. Закладка General

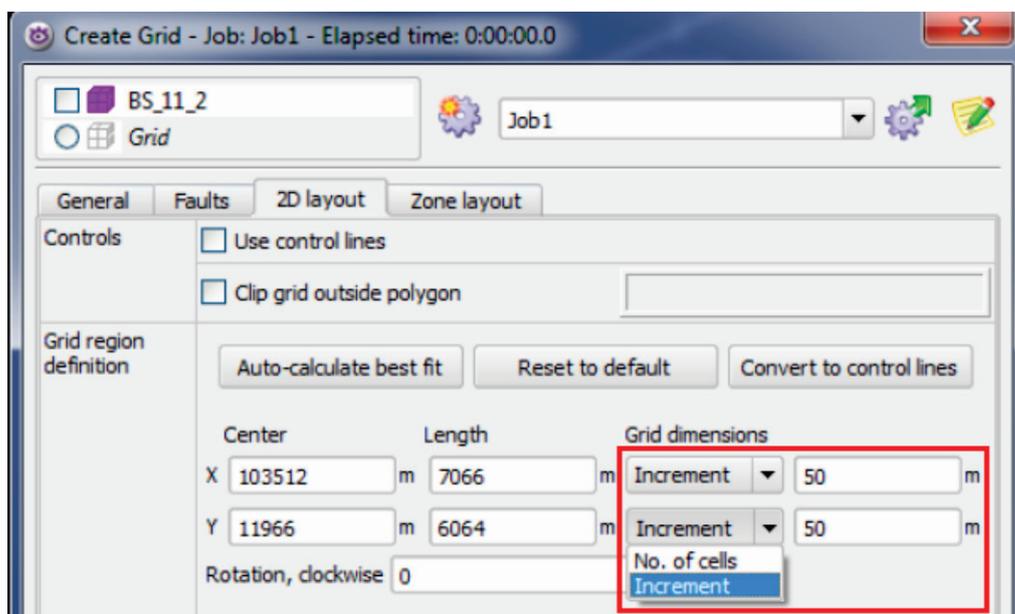


Рис. 105. Настройка трехмерной сетки на основе интегрированной структурной модели. Закладка 2D layout

В поле **Selected horizons** изначально перечислены все горизонты, которые содержатся в структурной модели. Следует оставить только границы интересующего интервала (рис. 106 – 1), а остальные перенести в поле *Available horizons* (2) с помощью стрелки.

В разделе **Vertical layout** нужно определить способ разбиения сетки на слои. В качестве примера можно создать сетку с равным числом слоев (пропорциональную) **No of cells** (3). Исходя из того, что максимальная толщина моделируемого пласта BS_{11}^2 равна 10 м, а максимальная высота одной ячейки не должна превышать 0.2 метра, оптимальное число слоев составляет 50 (рис. 106 – 4). Сетка будет создана после нажатия кнопки **Run**.

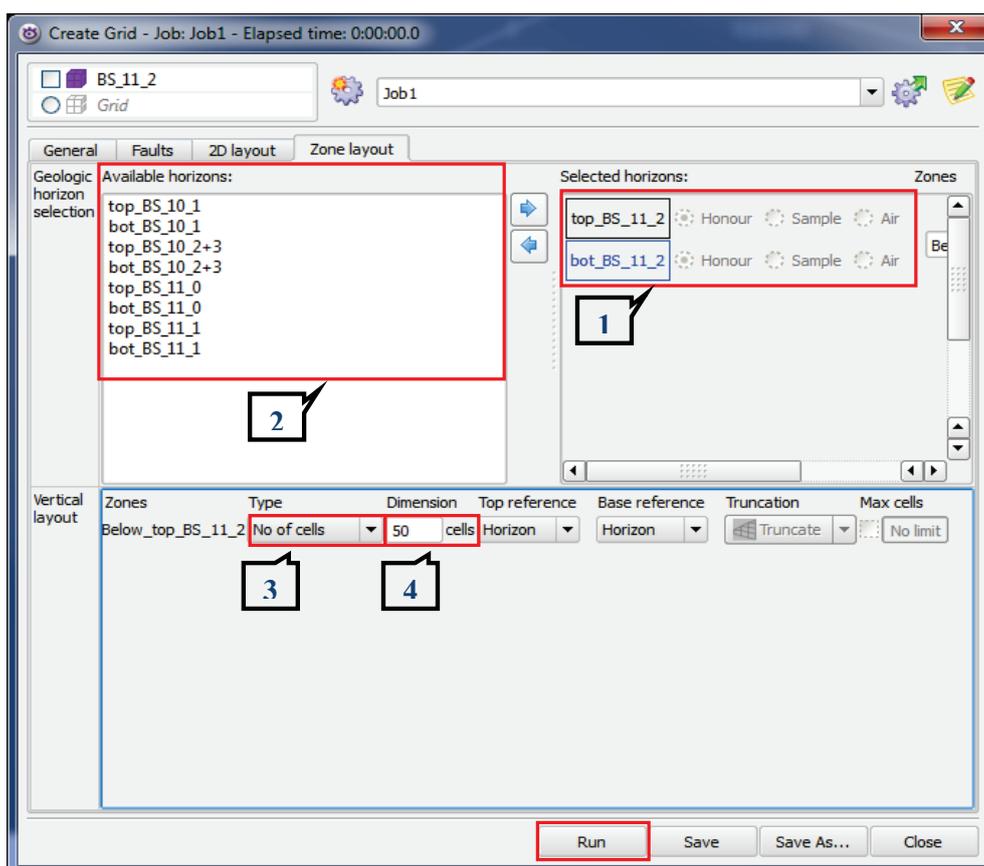


Рис. 106. Настройка трехмерной сетки на основе интегрированной структурной модели. Закладка **Zone layout**

4.2. Конвертирование кривой литологии

Заполнение созданной трехмерной сетки начинают, как правило, с параметра литологии либо песчанистости (доли коллектора). В рамках данного практикума будет описан детерминистический алгоритм создания параметра литологии (см. п. 4.4).

Результаты литологического расчленения разрезов скважин, т.е. выделение интервалов коллекторов и неколлекторов, содержатся в кривой *LITO*. Кривая является дискретной и содержит только значения 0 (неколлектор) и 1 (коллектор). В силу того, что дискретную кривую нельзя корректно проинтерполировать в межскважинном пространстве, необходимо создать на ее основе непрерывную кривую.

Диалог операций над кривыми можно открыть следующим образом: **Wells – Well Utilities – Log Operations...**

Необходимо выбрать определяемый пользователем режим **User defined** (рис. 107 – 1), в дополнительном окне **Select wells** (2) указать все скважины.

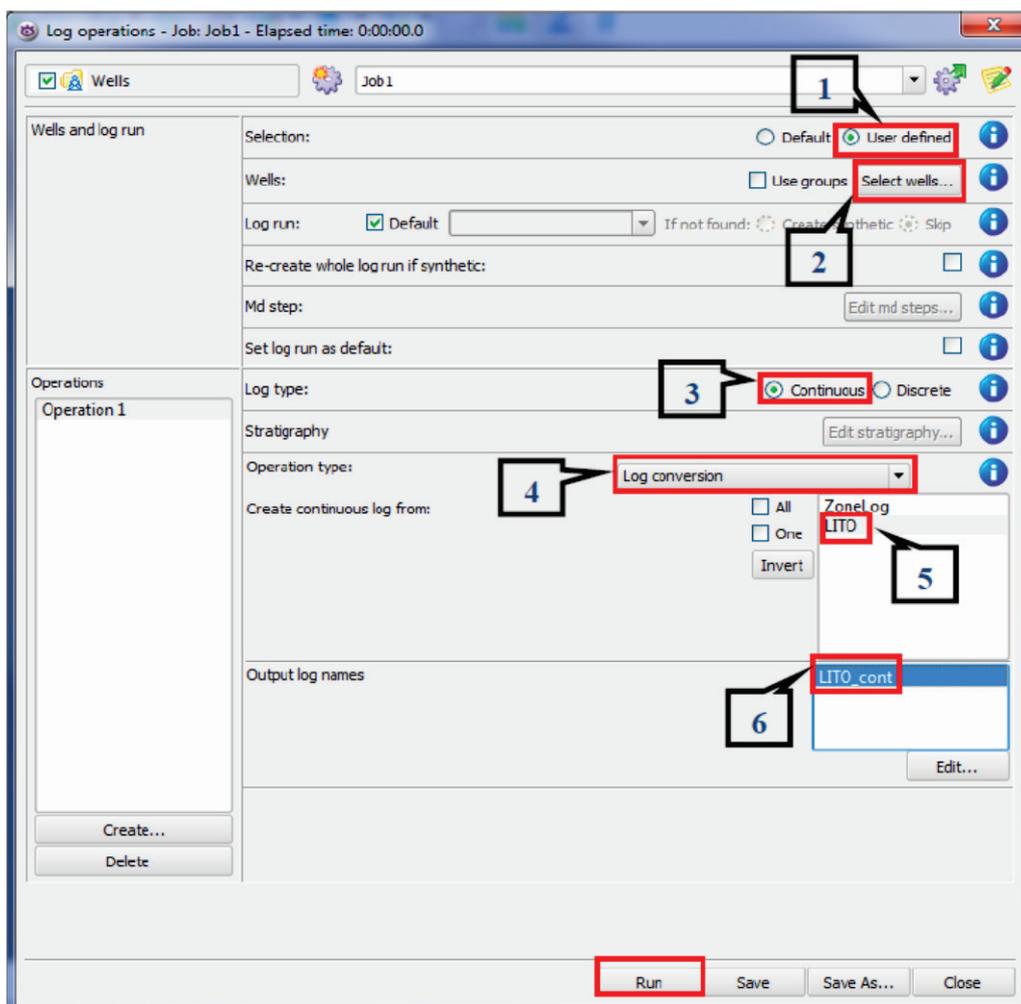


Рис. 107. Конвертирование кривой литологии

Требуемый тип кривой – непрерывная **Continuous** (3), для этого следует осуществить конвертирование **Log conversion** (4) дискретной кривой **LITO** (5). В поле (6) нужно задать имя новой кривой. После нажатия **Run** будет создана непрерывная кривая литологии **LITO_cont**.

4.3. Перенос скважинных данных на ячейки сетки (Block Wells)

Теперь, когда скважинные данные подготовлены, можно перенести значения параметров на ячейки сетки, через которую проходит траектория скважин. Каждая ячейка сетки может иметь только одно значение параметра, поэтому скважинные данные должны быть осреднены до размеров ячейки сетки.

1) Операция переноса скважинных данных на сетку осуществляется в соответствующем окне: **Grid – Block Wells – Block Wells...** В первой закладке **Data selection** следует указать имя (рис. 108 – 1), выбрать все скважины (2), после чего из списка доступных кривых перенести кривую стратиграфии **ZoneLog** в соответствующее поле (3), а остальные кривые – в поле **Scale up logs** (4).

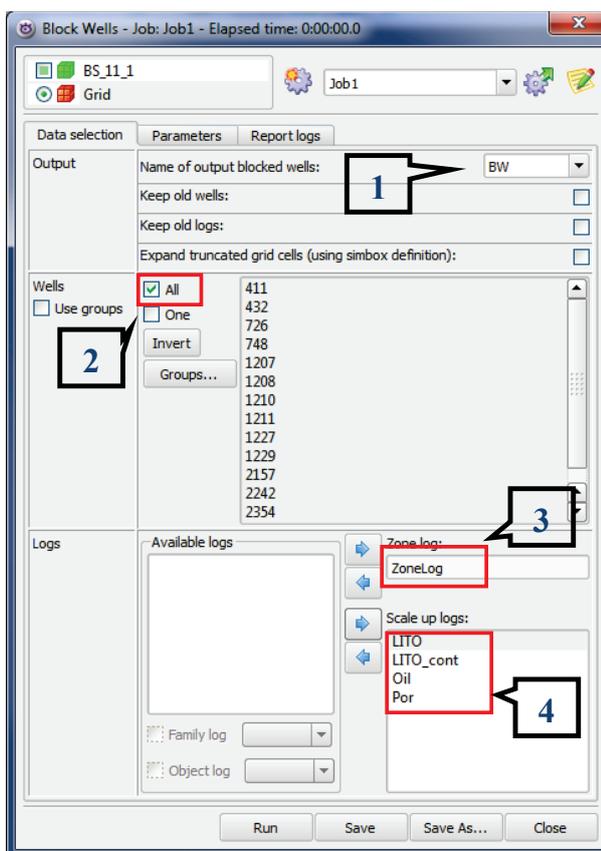


Рис. 108. Перенос скважинных данных на сетку. Закладка **Data selection**

2) Во второй закладке **Parameters** нужно задать настройки последовательно для каждой кривой. Для *ZoneLog* указываются номера корреляционных границ, которые соответствуют кровле и подошве моделируемого пласта (рис. 109 – 1).

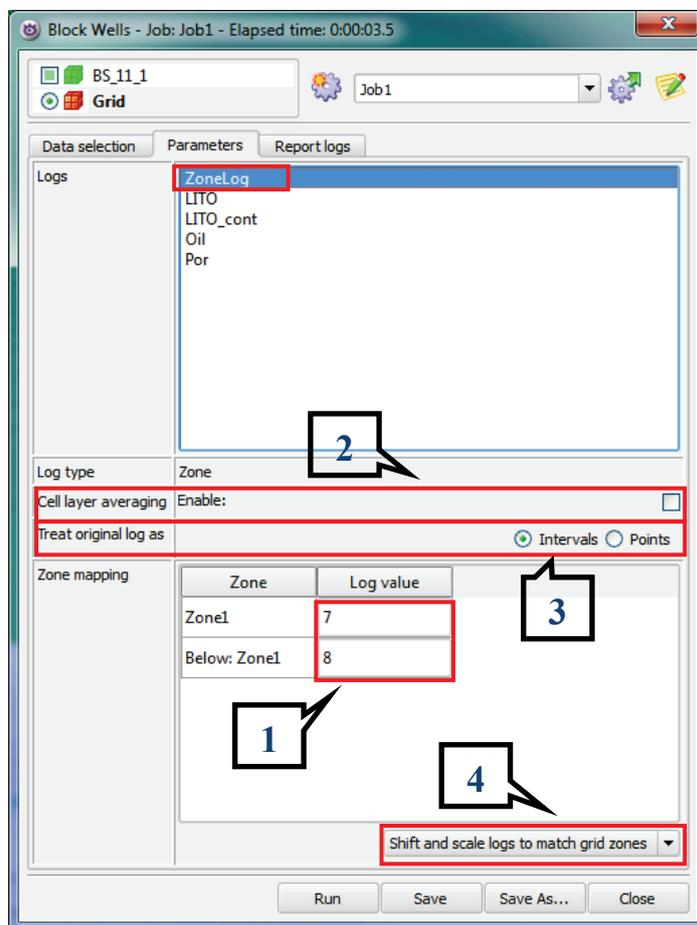


Рис. 109. Перенос скважинных данных на сетку. Закладка Parameters

Использование опции **Cell layer averaging** (2) позволяет не занижать значения исходных скважинных кривых при осреднении на ячейки сетки в ситуациях, когда траектория скважины проходит через несколько ячеек одного слоя. На рисунке 110 пористость занижена из-за того, что правой ячейке присвоено значение пористости, пропорциональное длине кривой, проходящей через эту ячейку.

Если используется опция **Cell averaging**, пересеченные ячейки

(в одном слое) обрабатываются как одна ячейка в процессе осреднения. Осредненное значение присваивается ячейке, которая содержит наибольший по протяженности отрезок ствола скважины, а другие ячейки задаются как неопределенные (рис. 111).

Опция **Treat original log as** (рис. 109 – 3).

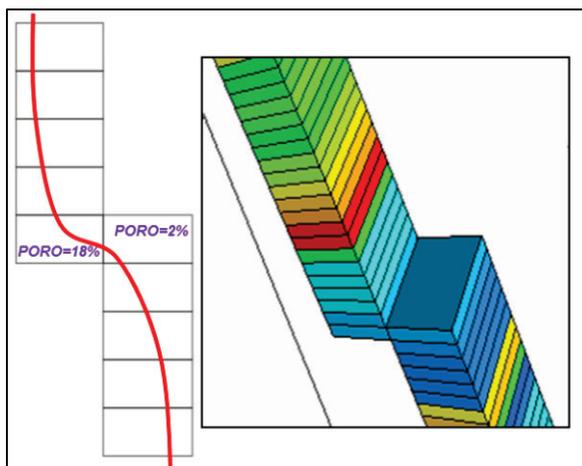


Рис. 110. Осреднение кривой пористости без использования опции **Cell averaging** [1]

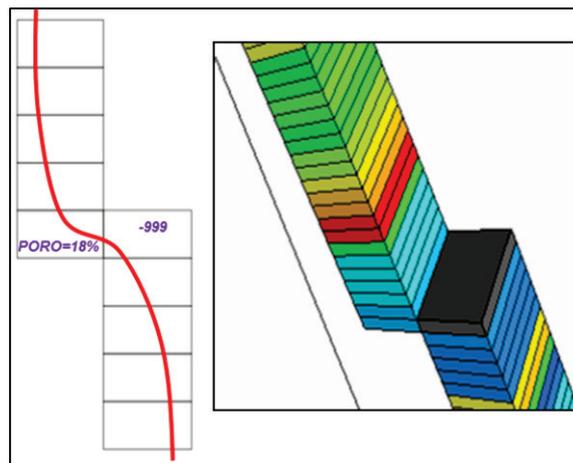


Рис. 111. Осреднение кривой пористости с использованием опции **Cell averaging** [1]

В режиме **Intervals** – данные осредняются по интервалам между соседними замеренными точками. Границы интервалов – середина расстояния между точками с данными. В этом случае значения также получают ячейки, в которых нет точек с данными (рис. 112).

При выборе режима **Points** точки с данными осредняются только в те ячейки, в которые они попадают. Всем остальным ячейкам присваивается неопределенное значение.

Для ситуаций, когда граница сетки не совсем соответствует кривой стратиграфии, предусмотрены три алгоритма осреднения (рис. 109 – 4), которые определяют, каким образом *ZoneLog* будет контролировать осреднение других кривых.



Рис. 112. Точки с данными и интервалы [1]

Normal scale up. Нормальное осреднение, при этом данные переносятся на сетку независимо от стратиграфии, т.е. в те ячейки, в которые попали точки с данными. Этот способ следует использовать только в тех случаях, когда скважин мало и они идеально сидят на модели.

Scale up biased to grid zones. Осреднение также происходит без учета стратиграфии, но при этом ячейкам, которые не соответствуют интервалу кривой *ZoneLog* присваивается неопределенное значение (-999).

Shift and scale logs to match grid zones. При несоответствии между кривой стратиграфии и сеткой первая сдвигается и масштабируется так, чтобы она четко лежала на 3D сетке.

3) Для дискретной кривой литологии **LITO** указываются литотипы, которые нужно перенести на ячейки сетки. В данном случае это коллектор и неколлектор (рис. 113).

4) Для всех непрерывных кривых (**LITO_cont**, **Oil** и **Por**)

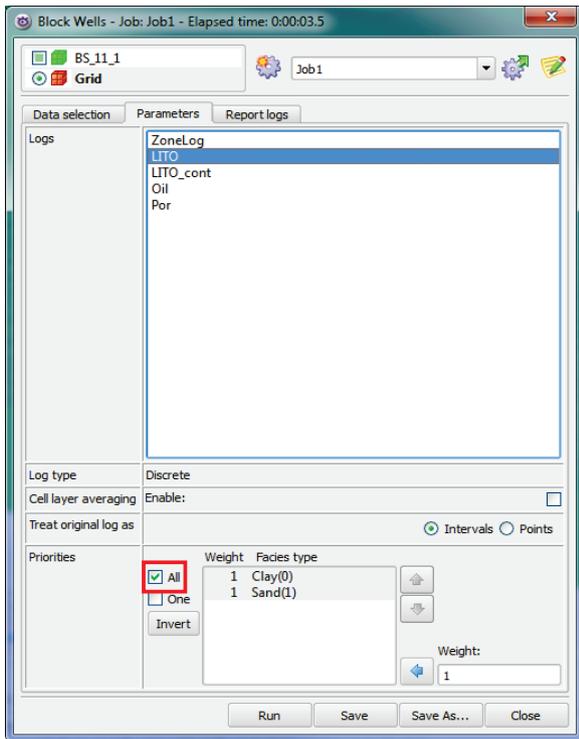


Рис. 113. Параметры осреднения.
Кривая LITO

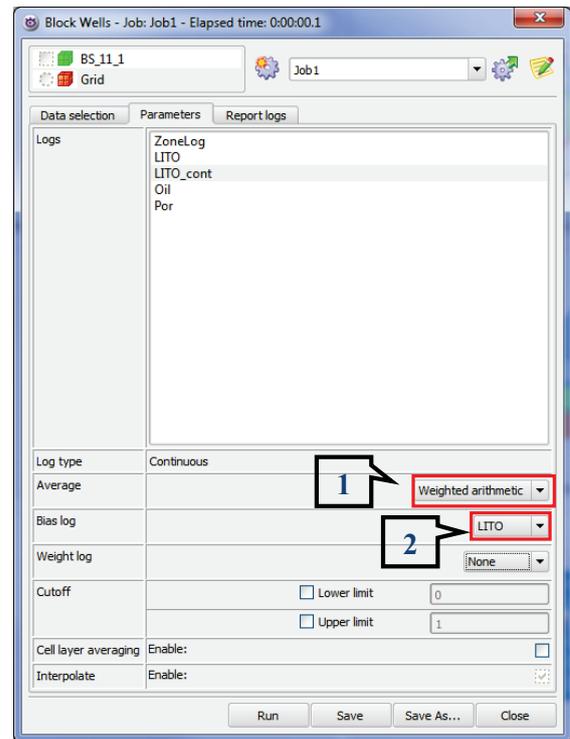


Рис. 114. Параметры осреднения.
непрерывные кривые

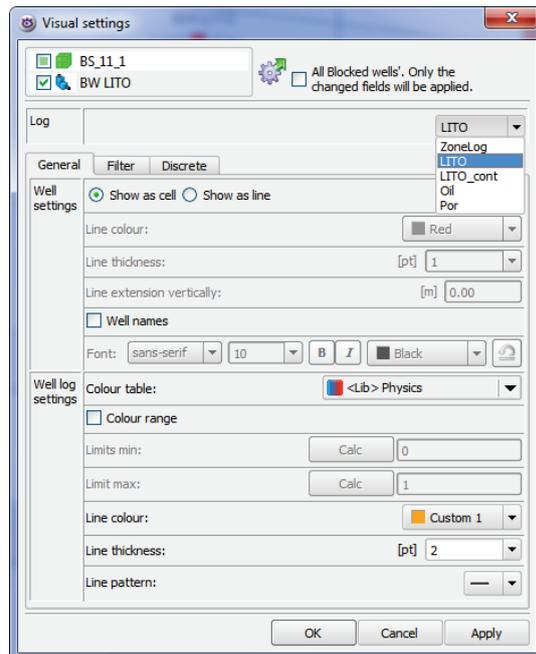
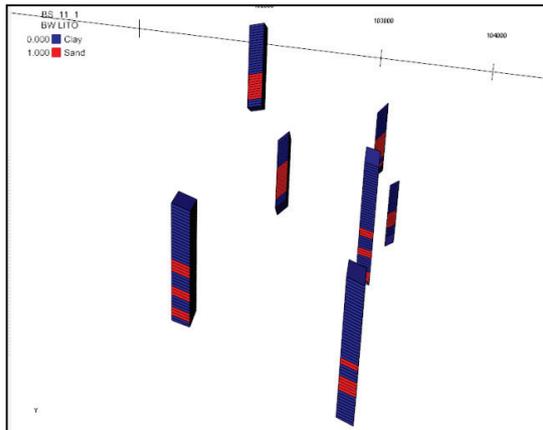


Рис. 115. Визуализация Blockedwells

настройки одинаковы. Следует установить способ осреднения **Weighted arithmetic** (рис. 114 – 1) и базисную кривую **LITO** (2).

Для кривых **Oil** и **Por** существует возможность установить граничные значения, в пределах которых будут осредняться

скважинные данные. Для этого в поле **Cutoff** необходимо включить флаг **Lower limit** (*нижний предел*) и **Upper limit** (*верхний предел*), затем в соответствующих полях установить числовые значения.

После того как будут заданы настройки для всех кривых, надо нажать **Run** и визуализировать полученный объект **Block Wells (BW)**. Выбрать параметр, который будет отображаться в **BW**, можно в окне **Visual settings** (рис. 115).

4.4. Создание параметра литологии

Методики построения трехмерного параметра литологии можно разделить на *детерминистские* и *стохастические*. Указанные термины относятся не только к параметру литологии, но и к геологическим моделям в целом. К *детерминистским* методам относят такие, в процессе реализации которых при одном и том же наборе исходных данных, всегда будет получен одинаковый результат. *Стохастические* методики позволяют при одних и тех же настройках и исходных данных, получать различные равновероятные случайные реализации. Для построения литологической (фациальной) модели могут применяться следующие стохастические методики:

1) *пиксельные*, которые последовательно заполняют геологическую сетку с использованием корреляционных зависимостей на основе вариограмм. Пикселом называется элемент модели (ячейка), заполнение которых тем или иным параметром определяется с учетом окружающих ячеек по определенной статистической методике.

2) *объектные*, моделирующие литофации с помощью заданных заранее «шаблонов» геологических тел. Данные методы наиболее применимы для отложений палеорусел, потоков и т.п.

Для более подробной информации по стохастическим методам рекомендуем обратиться к источникам [4], [8].

В рамках настоящего практикума трехмерный параметр литологии будет создан наиболее простым путем интерполяции (детерминистский вариант). Интерполяция непрерывных параметров осуществляется с помощью функции **Grid – Property modelling – Parameter Interpolation**.

Окно **Parameter Interpolation** содержит две закладки.

В закладке **Framework** следует указать исходные данные – **Blocked Wells** (рис. 116 – 1) и сам параметр, который требуется проинтерполировать (2). Помимо этого, предусмотрена возможность отдельной интерполяции в пределах каждого тектонического блока (**Separate interpolation in each fault block**) и внутри зон распространения каждого типа фаций (**Separate interpolation in each facies**).

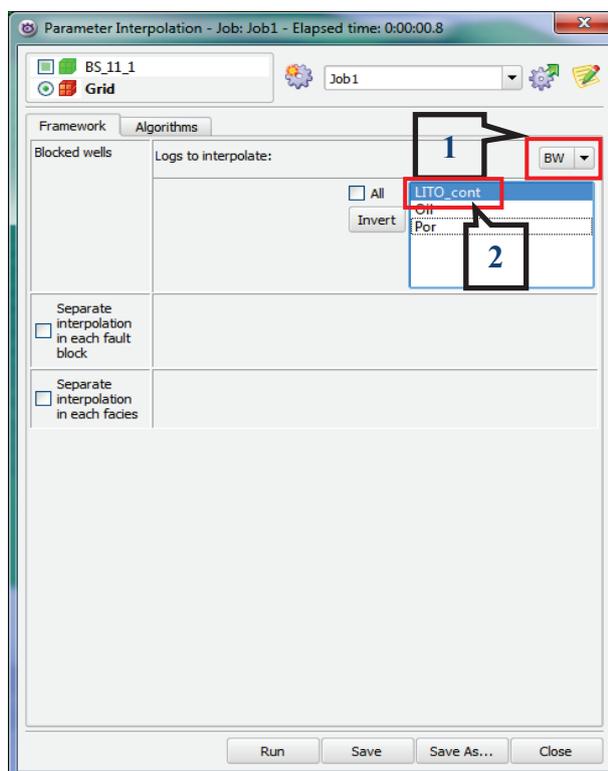


Рис. 116. Интерполяция параметра литологии. Закладка **Framework**

В закладке **Algorithms** задаются настройки интерполяции. Следует указать имя нового трехмерного параметра (рис. 117 – 1). По умолчанию оно соответствует имени кривой. Затем нужно выбрать режим интерполяции **Stratigraphic** (параллельно слоям сетки) (2). Также существует вариант **Horizontal** (по горизонтали). В разделе **Influence radius** следует задать радиус интерполяции по горизонтали (X,

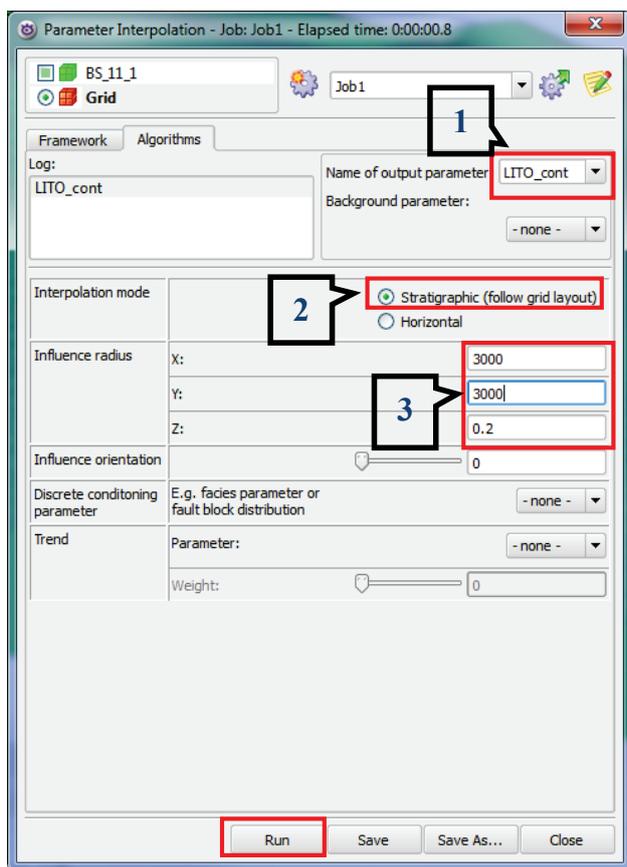


Рис. 117. Настройка параметров интерполяции

параметр, ограничивающий интерполяцию (например, отдельно по каждому литотипу или тектоническому блоку), и трендовый параметр **Trend**.

Чтобы осуществить интерполяцию параметра литологии, следует нажать **Run**. Созданный непрерывный параметр *LITO_Cont* появится в списке контейнера **Grid**. Убедитесь, что визуализированный в трехмерном окне параметр распространялся на всю область проекта. Если это условие не соблюдается, следует изменить горизонтальные радиусы интерполяции.

Теперь необходимо создать дискретный параметр литологии на основе непрерывного: все ячейки, имеющие значение *LITO_Cont* меньше 0.5, будут отнесены к неколлектору, а остальные – к коллектору.

Y) и по вертикали (Z) (3). Горизонтальные радиусы подбираются на основе представлений об изменчивости параметров с учетом размеров сетки скважин и моделируемой области.

Вертикальный радиус, как правило, равен средней высоте ячейки сетки. Кроме того, предусмотрена возможность задать азимут интерполяции **Influence orientation** (если горизонтальные радиусы X и Y не равны), а также **Discrete conditioning parameter** – дискретный па-

Сначала создается новый дискретный параметр *LITO_disc*: **Grid – Create parameter**.

После этого надо открыть калькулятор для трехмерных параметров: **Grid – Parameter utilities – Calculator**. Калькулятор предназначен для осуществления различных математических операций над параметрами.

Окно **Parameter Calculator** состоит из нескольких частей (рис. 118). Списки **Parameters**, **Trend lines** и **Trend maps** содержат параметры, трендовые функции и карты соответственно. Ниже находятся списки математических операторов (**Functions**) и системных переменных (**System variables**).

Если выбрать какой-либо параметр, оператор или переменную, он появится в поле **Expression** (внизу окна), в котором задаются выражения для расчета.

Для того чтобы присвоить параметру *LITO_disc* значение 1, если *LITO_Cont* больше либо равно 0.5, следует задать выражение:

Lito_disc=0 if LITO_Cont>=0.5 then Lito_disc=1 endif и нажать **Run**.

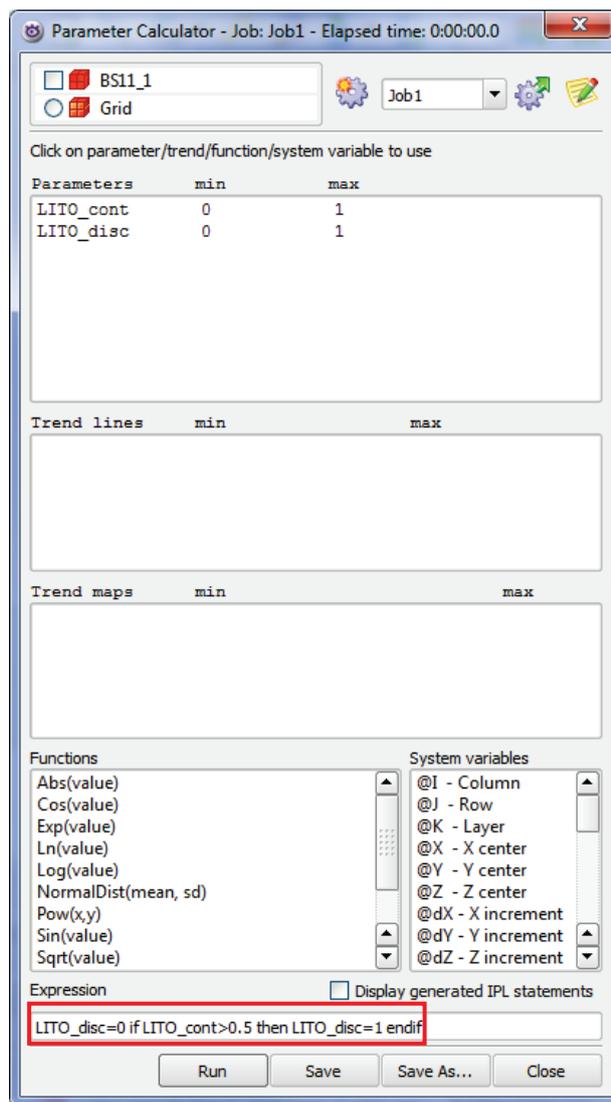


Рис. 118. Применение математического выражения для параметров

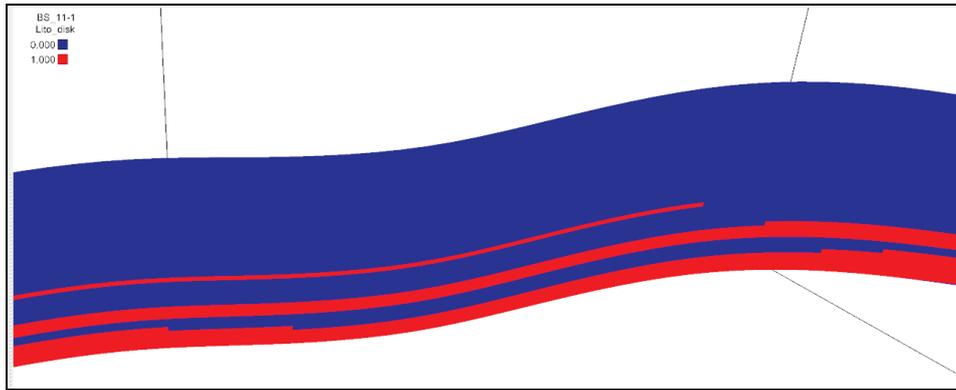


Рис. 119. Сечение параметра литологии (без использования фильтра)

Визуализация параметра *LITO_disc* по одному из сечений трехмерного параметра показана на рис. 119. Чтобы работать только с ячейками, имеющими определенные значения параметров (например, только с коллекторами), предусмотрен фильтр: **Grid – Filter**. Для включения фильтра по какому-либо параметру нужно установить флаг «On» и выставить диапазон значений (рис. 120). Установите фильтр таким образом, чтобы отображались только ячейки коллектора (*LITO_disc=1*) (рис. 121).

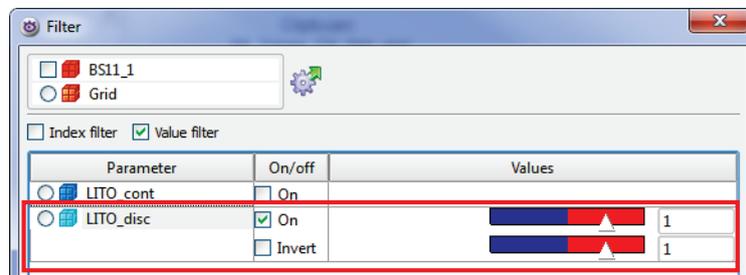


Рис. 120. Установка фильтра по дискретному параметру литологии

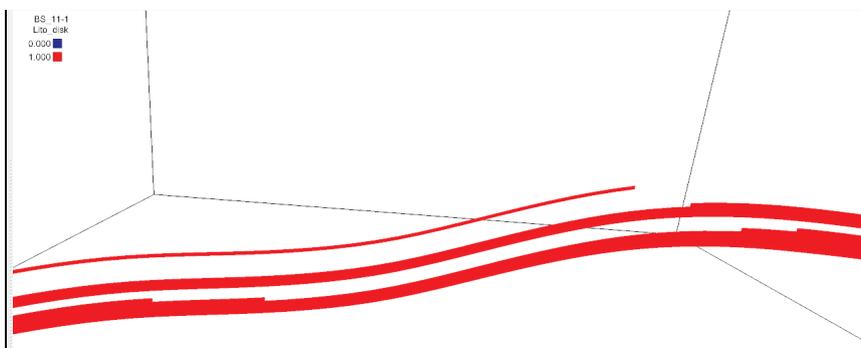


Рис. 121. Сечение параметра литологии (с использованием фильтра)

4.5. Создание параметра геометрического объема

Под параметром геометрического объема понимают объем пород, ограниченный структурными поверхностями и ВНК.

1) В первую очередь необходимо создать непрерывный параметр V_{geo} (**Grid – Create parameter**).

2) Для этого параметра следует выполнить: **V_{geo} – Volumetrics – Geometric volumes**. В окне **Geometric volume** в поле **Lower fluid contact** нужно указать отметку флюидального контакта (**Use z-surface**) или задайте поверхность (**Use surface**).

Ячейкам рассчитанного параметра, находящимся выше контакта, будет присвоено значение их геометрического объема, а тем ячейкам, которые пересекает поверхность ВНК – часть полного геометрического объема выше контакта. Для ячеек ниже ВНК значение параметра V_{geo} равно нулю.

3) На основе непрерывного параметра V_{geo} создается дискретный параметр V_{disc} , который будет равен нулю в тех ячейках, где $V_{geo}=0$, и равен 1, если $V_{geo}>0$.

Для этого в строке калькулятора задается выражение:

$$V_{disc}=0 \text{ if } V_{geo}>0 \text{ then } V_{disc}=1 \text{ endif.}$$

4) Чтобы получить объем пород-коллекторов выше контакта, нужно установить фильтры по дискретным параметрам литологии ($LITO_disc$) и геометрического объема (V_{disc}) и визуализировать непрерывный параметр геометрического объема (V_{geo}) (рис. 123, 124).

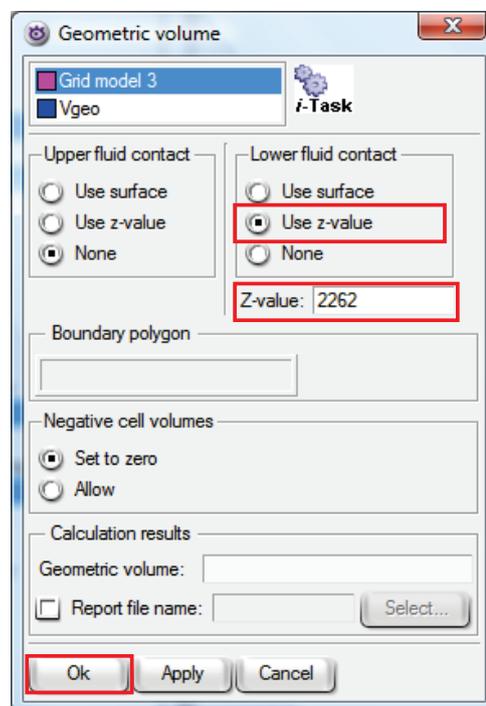


Рис. 122. Создание параметра геометрического объема

Parameter	On/off	Values
LITO_cont	<input type="checkbox"/> On	
LITO_disc	<input checked="" type="checkbox"/> On	1
	<input type="checkbox"/> Invert	1
Vgeo	<input type="checkbox"/> On	
Vdisc	<input checked="" type="checkbox"/> On	1
	<input type="checkbox"/> Invert	1

Рис. 123. Применение фильтра по коллектору и объему пород выше ВНК

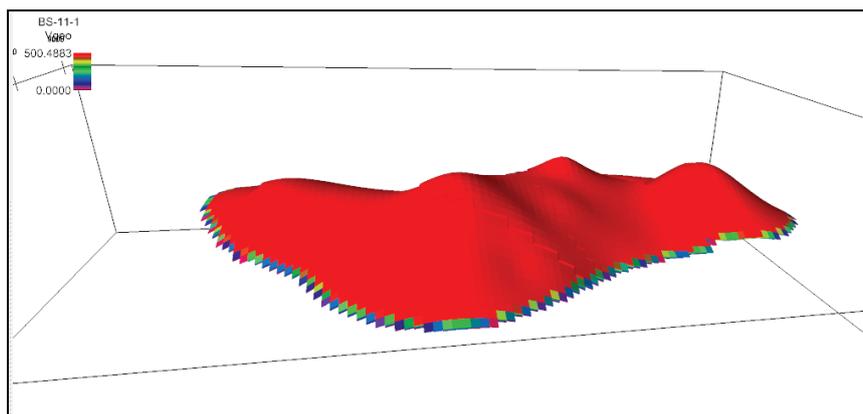


Рис. 124. Визуализация объема пород-коллекторов выше ВНК

Величина объема пород-коллекторов (в м³) указана в поле **Sum** панели **Information** (рис. 125).

The screenshot shows the 'Information' dialog box for the 'Vgeo' parameter. The 'Sum' value is 14226553.4719. The 'Statistics' section includes the following data:

Parameter	Value
Type	Continuous
Subtype	Continuous
Total no. of cells	969696
No. of defined cells	30671
No. of undefined cells	939025
Sum	14226553.4719
Minimum	0.406901
Average	463.844
Maximum	500.488
Standard deviation	106.556

The 'Version' table at the bottom of the dialog is as follows:

Version	Date	Time	User	Release
1	2013.04.06	19:12:02	Grigoriy	RMS 2012

Рис. 125. Величина объема пород-коллекторов

4.6. Создание параметра пористости

Для получения распределения пористости в межскважинном пространстве существуют стохастические и детерминированные методики, для которых могут использоваться различные вертикальные и горизонтальные тренды [4].

В рамках курса параметр пористости будет создан путем интерполяции скважинных данных. Как уже было описано выше, интерполяция непрерывных параметров осуществляется с помощью функции **Grid – Property modelling – Parameter interpolation** (см. п. 4.4.)

Выберите в закладке **Framework** скважинные данные **BW** и пористость **Por**.

В закладке **Algorithms** желательно задавать те же радиусы интерполяции, как и для параметра литологии (рис. 126). Интерполяцию будем производить отдельно в коллекторах и неколлек-

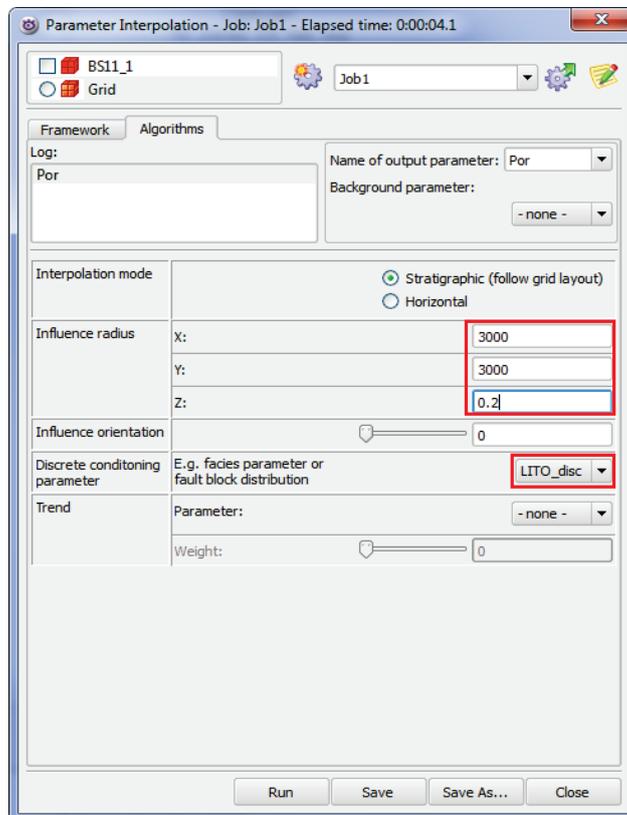


Рис. 126. Интерполяция пористости. Закладка Algorithms

торах, поэтому в списке **Discrete conditioning parameter** следует выбрать параметр *LITO_disc* и нажать **Run**.

4.7. Создание параметра нефтенасыщенности

Существует несколько способов создания параметра нефтенасыщенности.

1) Непосредственная интерполяция значений K_n , определенных в скважинах, может осуществляться по горизонтали или вдоль слоев трехмерной сетки. Интерполяция значений нефтенасыщенности допустима при достаточно плотной сетке скважин, когда не предполагается никакой явной связи с другими петрофизическими свойствами (например, пористостью), и залежь находится в зоне предельного насыщения, т.е. K_n не зависит от удаленности ячейки от ВНК.

2) Использование зависимости между нефтенасыщенностью и пористостью. Такая зависимость, как правило, наблюдается в резервуарах с достаточно простой поровой средой. Зависимости такого типа могут быть получены для различных литотипов. При использовании данного варианта не учитывается явление увеличения нефтенасыщенности по мере удаления от поверхности контакта.

3) Использование зависимости между нефтенасыщенностью и удаленностью ячейки от ВНК. Такой метод пригоден для достаточно однородных пластов, т.к. не учитывает изменения ФЕС свойств коллектора.

4) Использование модели переходной зоны, т.е. зависимости нефтенасыщенности как от ФЕС, так и от удаленности от зеркала свободной воды. Являясь наиболее достоверным для большинст-

ва залежей, где необходимо учитывать наличие значительной переходной зоны, метод требует качественных исходных данных.

В рамках практикума рассмотрим один из вариантов – построение трехмерного параметра нефтенасыщенности на основе зависимости K_n от расстояния до ВНК.

Методика создания параметра нефтенасыщенности состоит из 4 этапов:

- Получение параметра высоты над ВНК.
- Получение кривой высоты над ВНК из соответствующего параметра.
- Нахождение зависимости между K_n и высотой над ВНК.
- Расчет трехмерного параметра нефтенасыщенности по полученной зависимости.

4.7.1. Получение параметра высоты над ВНК

Параметр ***DEPTH***, который в каждой ячейке будет иметь значение абсолютной отметки данной ячейки, создается по выражению ***DEPTH=@Z*** в **Parameter Calculator**.

Поверхность ВНК¹ (***OWC***) нужно скопировать в объект **Surface** контейнера **Trend**.

Создать трендовый параметр расстояния от ВНК можно с помощью опции **Grid – Property modeling – Parameter trend modeling**.

Окно **Parameter trend modeling** содержит две закладки. В закладке **General** (рис. 127) нужно указать имя параметра ***H_OWC*** и тип **Continuous** (непрерывный).

В закладке **Trends** следует выбирать горизонтальный тренд (**Lateral trend surface**) (рис. 128) из контейнера **Trends** – поверхность ***OWC***.

¹Если поверхность ВНК горизонтальна, трехмерный параметр можно получить, присвоив значение ВНК новому параметру ***H_OWC*** в **Parameter Calculator**.

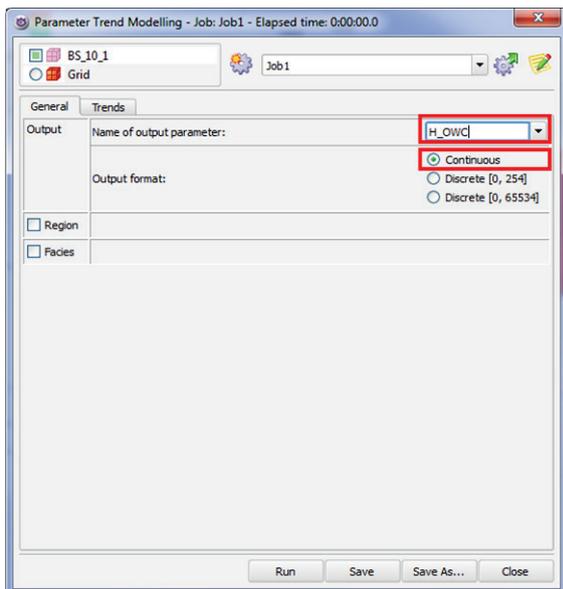


Рис. 127. Создание трендового параметра. Закладка General

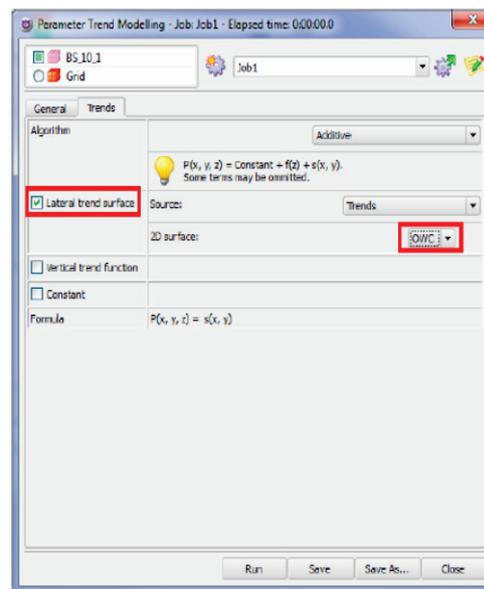


Рис. 128. Создание трендового параметра. Закладка Trends

Созданный параметр H_OWC имеет в ячейках значение контакта.

На следующем этапе следует вычислить расстояние от ВНК до ячейки. Для этого в окне **Parameter Calculator** нужно вычесть из параметра H_OWC абсолютную отметку:

$$H_OWC = H_OWC - DEPTH$$

Параметр H_OWC во всех своих ячейках имеет значения высоты над ВНК, но так как параметр глубины имел значения и ниже ВНК, то H_OWC принимает некие отрицательные значения, которые необходимо обнулить:

$$if\ H_OWC < 0\ then\ H_OWC = 0\ endif$$

4.7.2. Получение кривой высоты над ВНК из соответствующего параметра

Из полученного параметра H_OWC необходимо получить для скважин кривую H , содержащую значения высоты над ВНК.

В окне редактирования **Blocked wells: BW – Well log editor/calculator** необходимо создать новую кривую с помощью кнопки **Create** в разделе **Curves** (рис. 129).

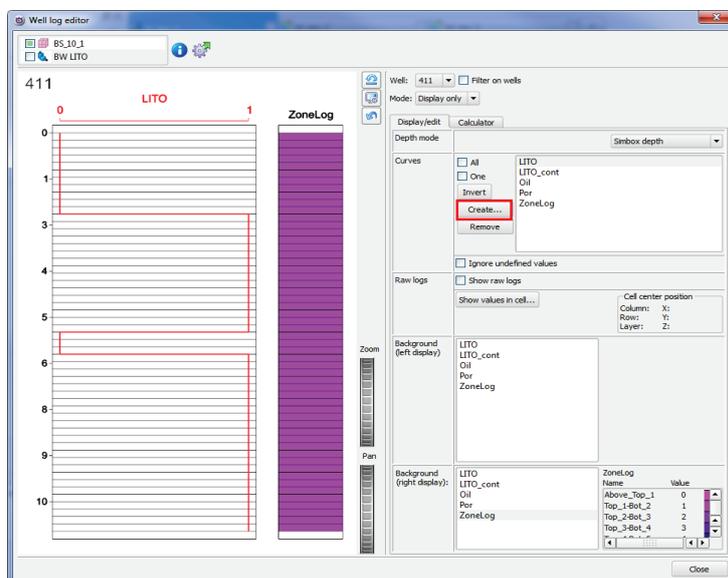


Рис. 129. Окно Well log editor/calculator. Создание новой кривой

В окне **Create log** нужно выбрать **Log from Parameter** (рис. 130 – 1), указать параметр **H_OWC** (2), ввести имя новой кривой **H** (3) и нажать ОК.

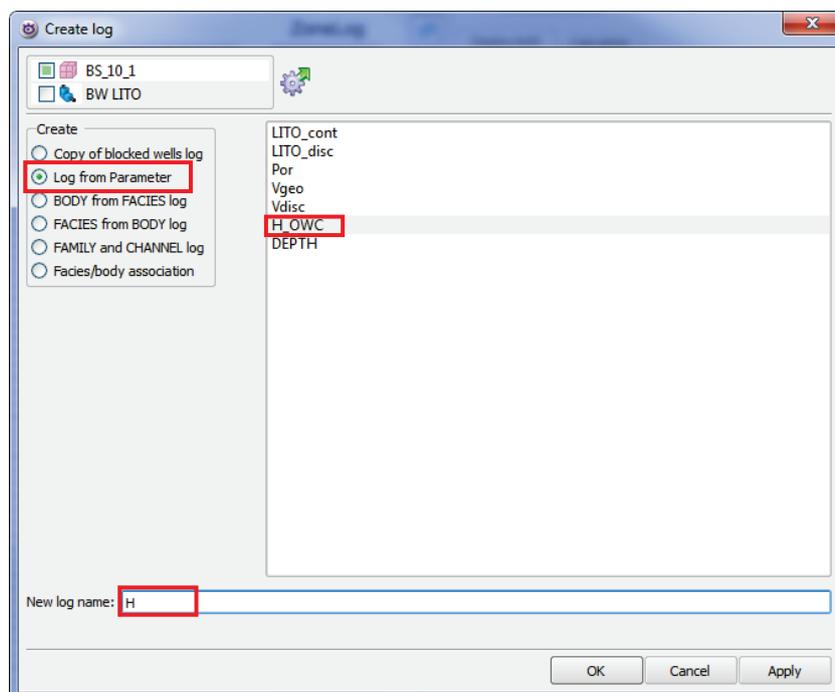


Рис. 130. Получение кривой из трехмерного параметра

Кривая высоты над ВНК H теперь появилась в списке **Curves** (рис. 131).

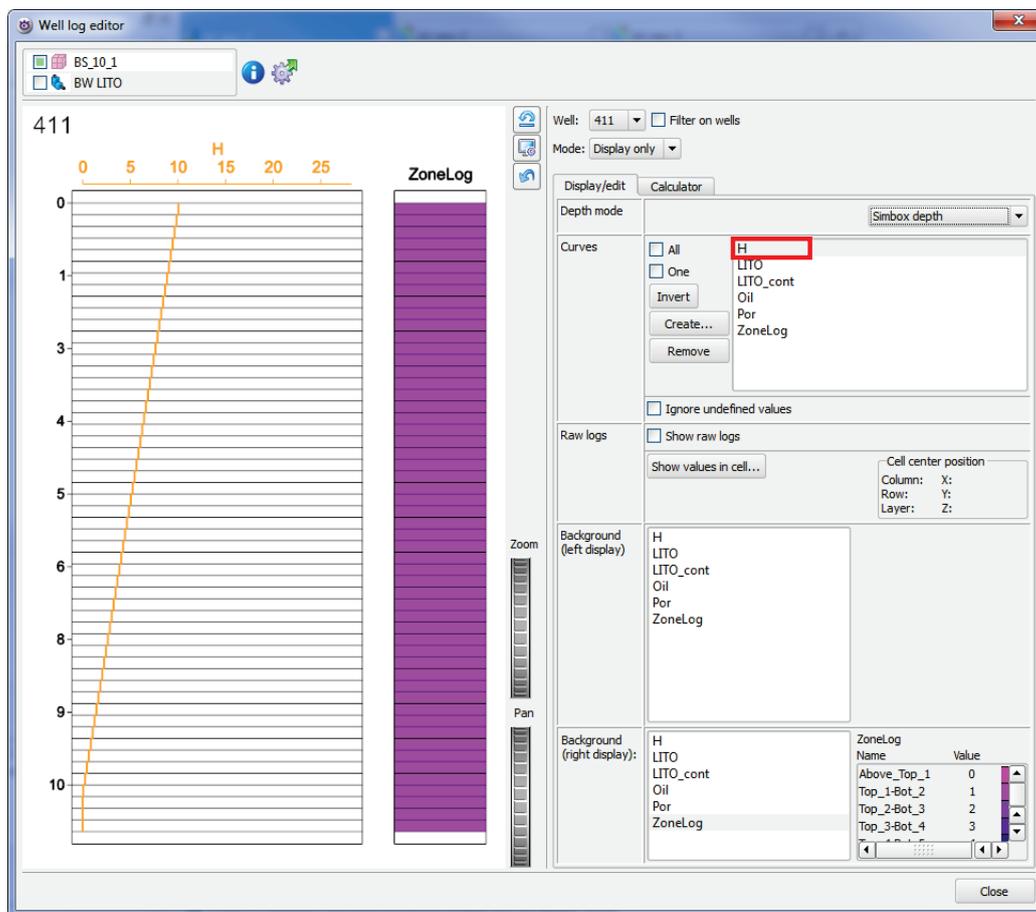


Рис. 131. Окно Well log editor/calculator. Кривая высоты над ВНК

4.7.3. Нахождение зависимости между K_n и высотой над ВНК

Далее следует создать зависимость K_n от расстояния от ВНК. Для этого создается новое окно **Scatterplot** (рис. 132).

В новом окне необходимо выбрать пиктограмму **Source and data filter** (рис. 133).

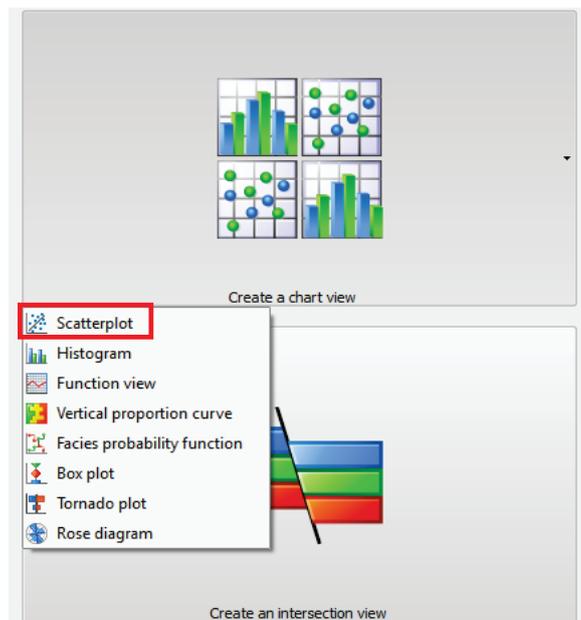


Рис. 132. Создание окна Scatterplot

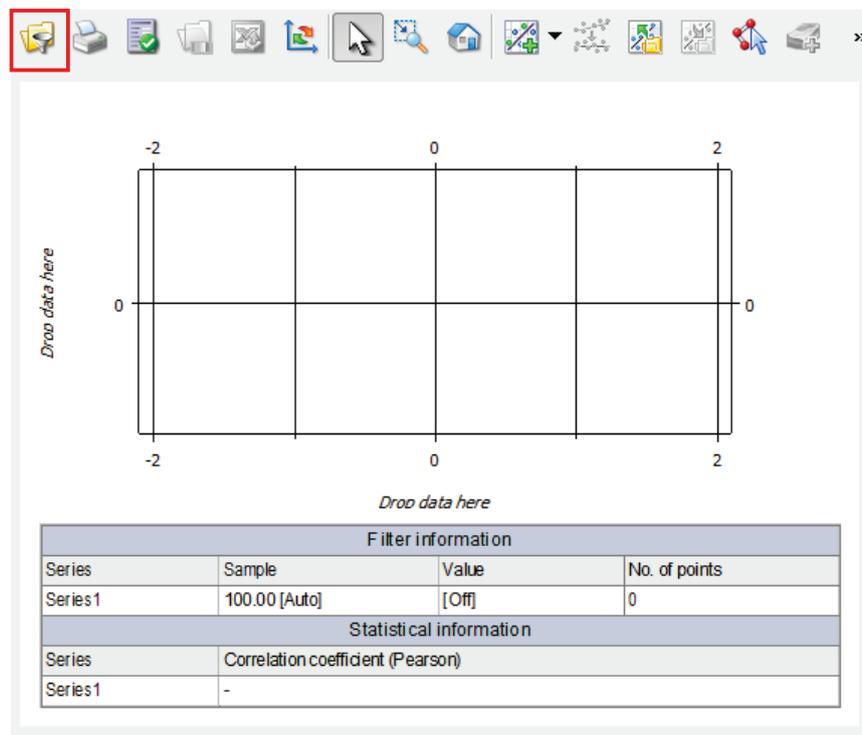


Рис. 133. Окно Scatterplot

В закладке **Source data** в поле **X-axis** требуется поместить объект **BW** (рис. 134). Затем нужно выбрать параметры **H** и **So** для построения зависимости и задать фильтр по литологии в закладке **Discrete filters**.

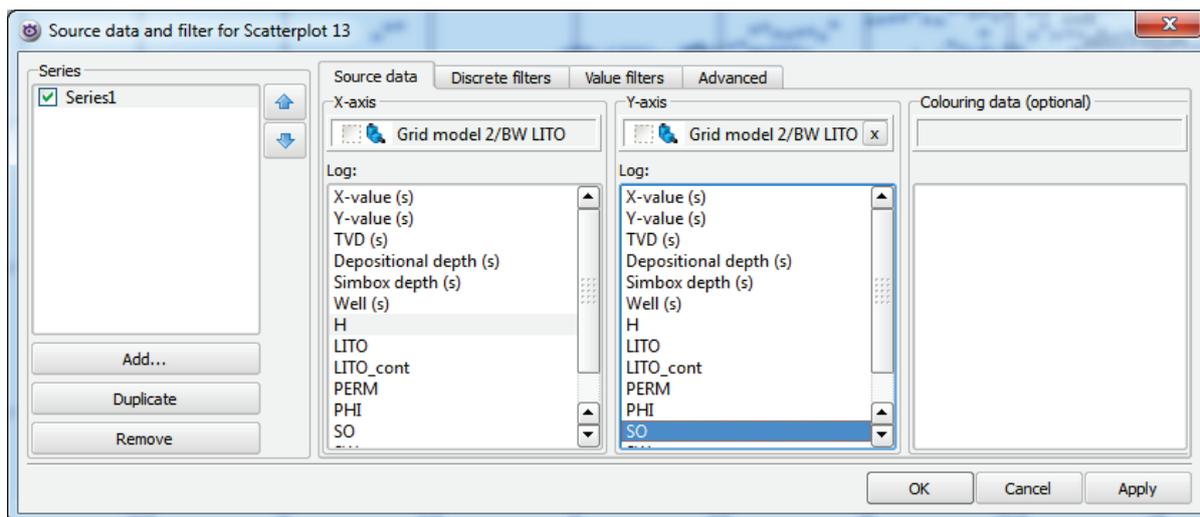


Рис. 134. Выбор данных для построения зависимости

Полученная зависимость будет показана в окне **Scatterplot** (рис. 135).

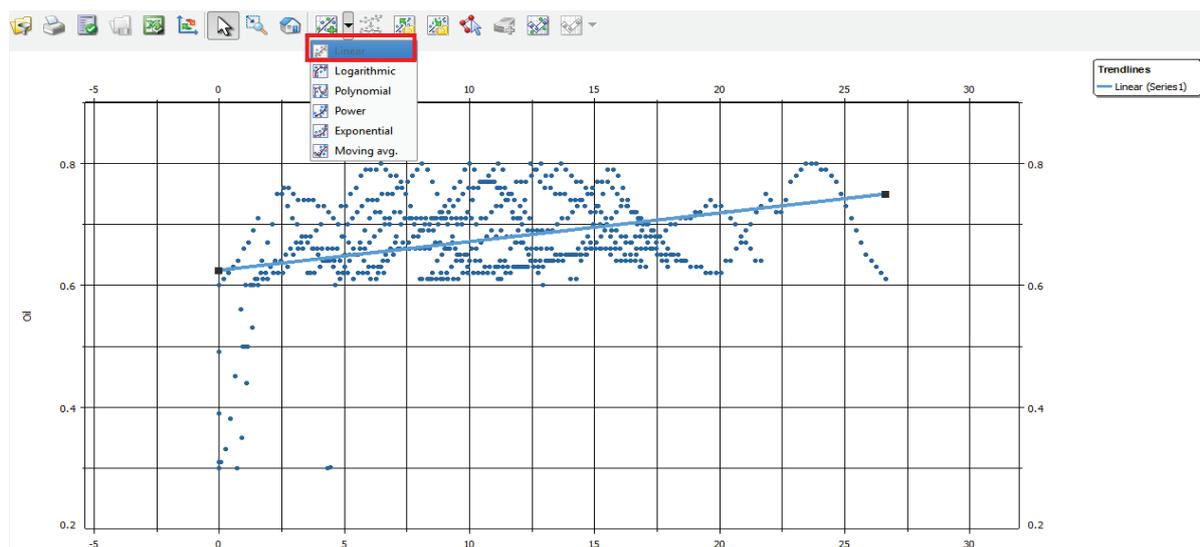


Рис. 135. Создание тренда

Следует описать облако точек функцией, характеризующей зависимость. С помощью пиктограммы **Create trendline** нужно добавить линейную (**Linear**) зависимость, которая доступна для редактирования. Зависимость следует отредактировать таким образом, чтобы она соответствовала точкам и отражала повышение

нефтенасыщенности от граничного значения K_n на контуре нефтеносности (рис. 136). Добавить несколько узлов на линию можно двойным щелчком ЛКМ.

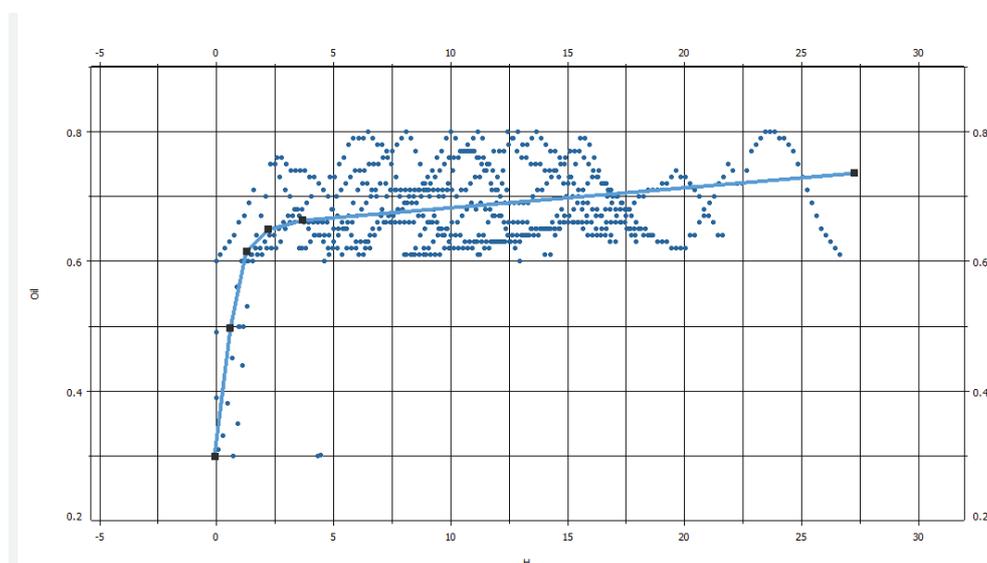


Рис. 136. Редактирование тренда

После редактирования линии необходимо сохранить ее в виде функции с помощью кнопки **Copy selected trendline to the Trends folder** . Функция появится в списке **Functions** контейнера **Trends** (рис. 137), следует задать ей имя (например, *func_H*).

Полученная функция имеет вид $K_n = f(H_OWC)$, где H_OWC – расстояние от некоторой точки до ВНК.

Необходимо проверить, чтобы диапазон значений аргумента полностью входил в область значений функции по оси X. Иными словами, если используется параметр H_OWC в качестве аргумента и его значения изменяются в диапазоне 0–34 м, то интервал изменения аргумента функции должен быть 0–34 или более широким.

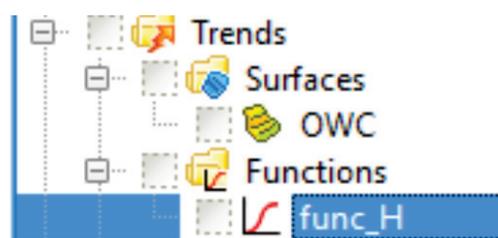


Рис. 137. Созданная функция *func_H*

Statistics	
Sum:	2709423.09497
Minimum:	0
Average:	2.2752
Maximum:	33.8499
Standard deviation:	5.26931

Рис. 138. Характеристики трехмерного параметра H_{OWC}

С помощью панели **Information** можно узнать диапазон значений параметра H_{OWC} (рис.138).

Редактирование полученной функции осуществляется с помощью опции **Show/Edit values**, которая доступна для функции $func_H$ в контейнере **Trends – Functions**.

В панели **Show/edit function values** нужно создать точку с аргументом 0 и значением K_H на контуре (рис. 139) и убедиться в том, что наибольшее значение аргумента превышает максималь-

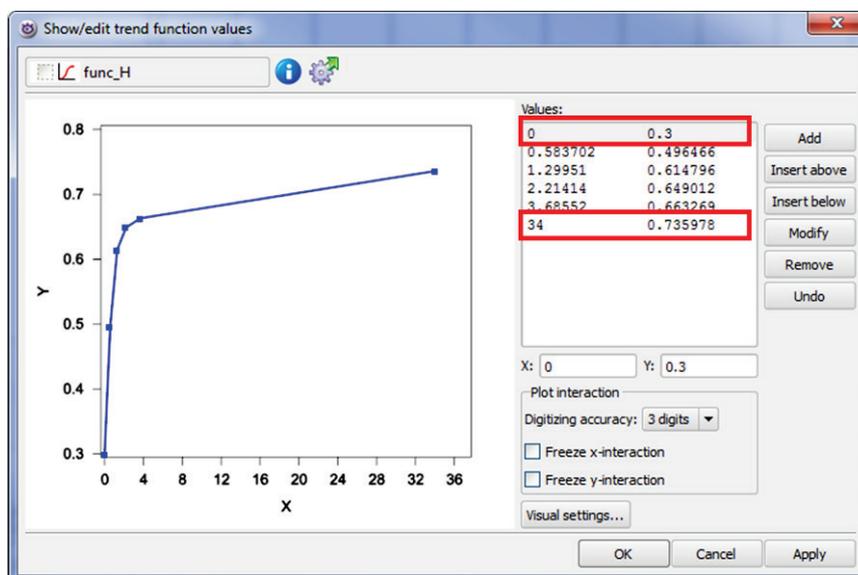


Рис. 139. Редактирование зависимости

ное значение параметра H_{OWC} . Добавление точек осуществляется с помощью кнопок **Add** (*Добавить*), **Insert above** (*Вставить выше выделенной*) и **Insert below** (*Вставить ниже выделенной*), а удаление – **Remove**. Чтобы изменить значения какой либо точки, следует выделить ее в списке, затем задать нужные значения в полях X и Y и нажать кнопку **Modify**. Кнопка **Undo** предназначена для отмены последнего действия.

4.7.4. Расчет трехмерного параметра нефтенасыщенности по полученной зависимости

Теперь все готово для расчета трехмерного параметра нефтенасыщенности. Значения K_n должны быть определены только в ячейках коллектора, поэтому нужно установить соответствующий фильтр по литологии. Вне залежи коэффициент нефтенасыщенности равен 0, поэтому также будем учитывать только объем залежи (фильтр по V_{disc}).

В окне **Parameter Calculator (Grid – Parameter Utilities – Parameter Calculator)** следует задать выражение $So^1 = func_H(H_OWC)$, причем $func_H$ нужно выбрать из списка функций (**Trend Lines**), а H_OWC – из списка параметров. После нажатия **Run** будет предложено указать тип нового параметра So (**Continuous**).

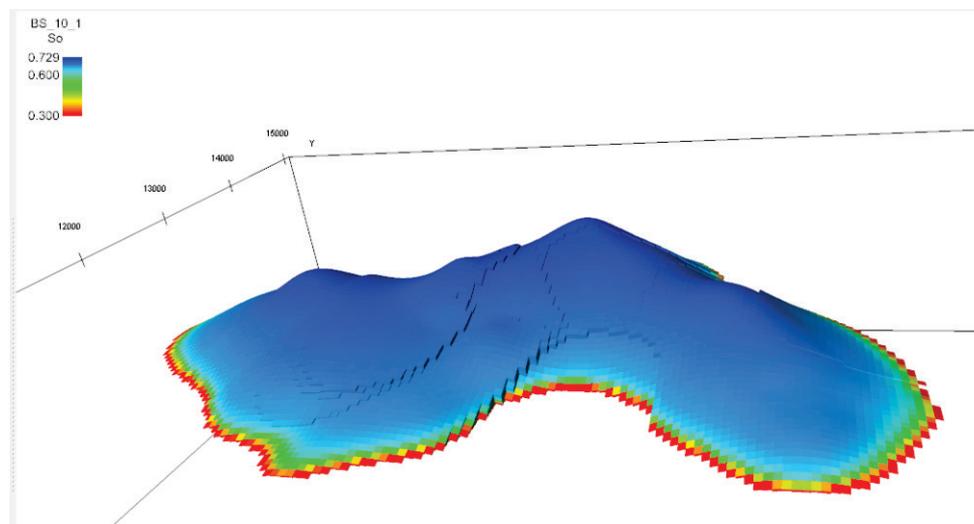


Рис. 140. Трехмерный параметр нефтенасыщенности

При расчете параметра нефтенасыщенности с использованием зависимости неизбежно возникают несоответствия значений K_n по скважинам и по 3D параметру, т.к. функция $K_n = f(H_OWC)$

¹ So – то же, что коэффициент нефтенасыщенности K_n .

описывает облако точек данных (рис. 136). Куб нефтенасыщенности следует сопоставить со скважинными данными, построив кросс-плот (аналогично п. 4.7.3). Если расхождение превышает 5% (отн.), рекомендуется скорректировать трехмерный параметр с учетом скважинных данных. Для этого можно использовать исходный куб в качестве тренда при интерполяции скважинных данных [4].

4.8. Создание карт на основе трехмерной модели

Обязательным этапом построения трехмерной геологической модели является представление результатов в виде карт и геологических разрезов. Это необходимо для более четкого понимания особенностей строения и характеристик изучаемого объекта и для контроля качества полученной модели.

Для создания карт в **RMS** предусмотрено две процедуры: **Extract framework data** (для карт поверхностей коллектора) и **Extract surface** (для карт толщин, параметров и др.). При этом из непрерывных параметров с помощью инструмента **Extract surface** можно создать следующие типы поверхностей:

- **Average Surface** – карта средних значений параметра;
- **Sum Surface** – карта суммарных значений, в которой каждое z-значение будет равно сумме значений параметров по соответствующему ребру сетки;
- **Netmap Surface** – карта толщин – поверхность, каждый узел которой содержит сумму значений, равных произведению высоты ячейки и значения параметра;
- **IsoSurface** – карта, в каждом узле содержится значение глубины, на которой встречено указанное значение параметра.

4.8.1. Построение карт поверхности кровли и подошвы коллектора

Построение карт поверхностей осуществляется с помощью инструмента **Extract framework data**.

Во-первых, необходимо установить фильтр по дискретному параметру литологии, чтобы при картопостроении учитывались только ячейки коллектора (**Grid – Filter**).

Затем следует выполнить: **Grid – Grid utilities – Extract framework data**. В открывшемся окне надо установить флаги **Horizons** (рис. 141 – 1) и **Zones** (2), чтобы

осуществить выгрузку поверхностей по всей зоне. В поле **List of layers/zones** нужно ввести значения **0, 1** (3). Это означает, что будут экспортироваться поверхности кровли «0» и подошвы «1» коллектора. В разделе **Horizon layout** указывается размер сетки карты **Increment** (4) и, при необходимости, поворот сетки (**Rotation**). В разделе **Horizon output** задаются параметры сохранения получаемых поверхностей; стоит выбрать **Clipboard** (5).

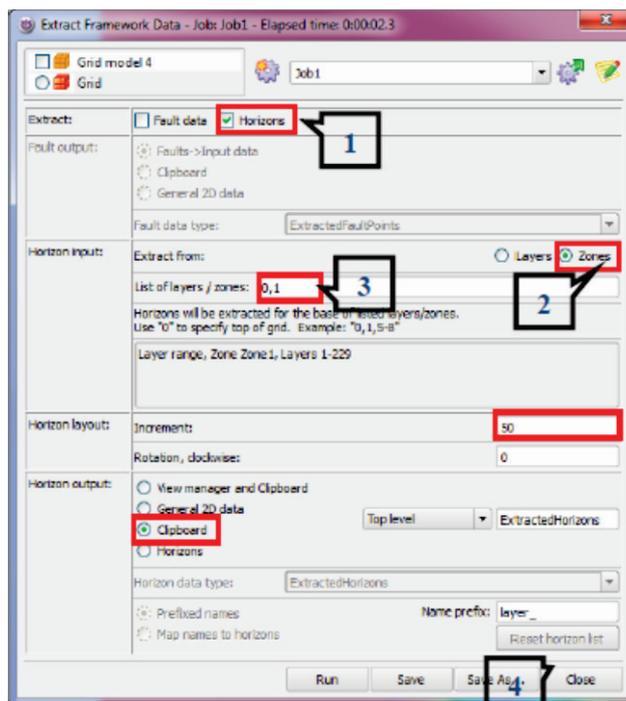


Рис. 141. Настройки панели экспорта поверхностей

В разделе **Horizon layout** указывается размер сетки карты **Increment** (4) и, при необходимости, поворот сетки (**Rotation**). В разделе **Horizon output** задаются параметры сохранения получаемых поверхностей; стоит выбрать **Clipboard** (5).

Полученные поверхности, как правило, требуют некоторого сглаживания (рис. 142). Необходимо выделить поверхность, которую требуется преобразовать, и выбрать **Operations – Smooth**. Так как возможность отмены последней операции не предусмотрена, рекомендуется работать с копией поверхности.

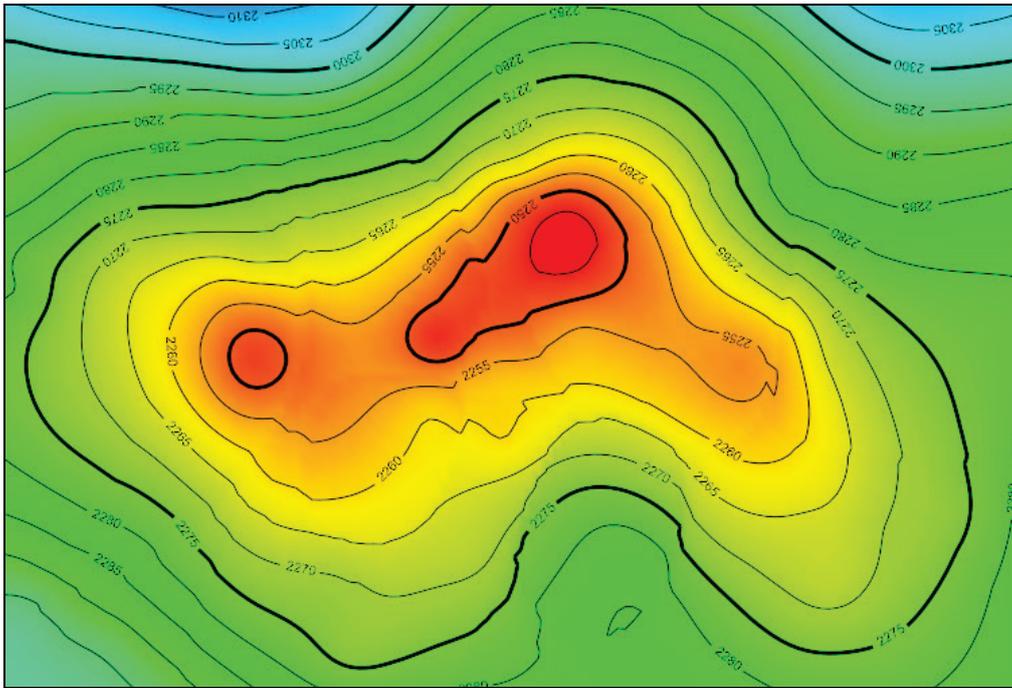


Рис. 142. Карта поверхности кровли проницаемой части пласта

Для равномерного сглаживания всей поверхности предназначен тип фильтра **Convolution** (рис. 143). При необходимости можно задать настройки, определяющие степень сглаживания: **Iterations** (число повторений), **Filter width** (ширина фильтра) и **Filter Weight** (вес фильтра). Если в поле **Boundary** поместить полигон, то сглаживание будет осуществляться только внутри этого полигона.

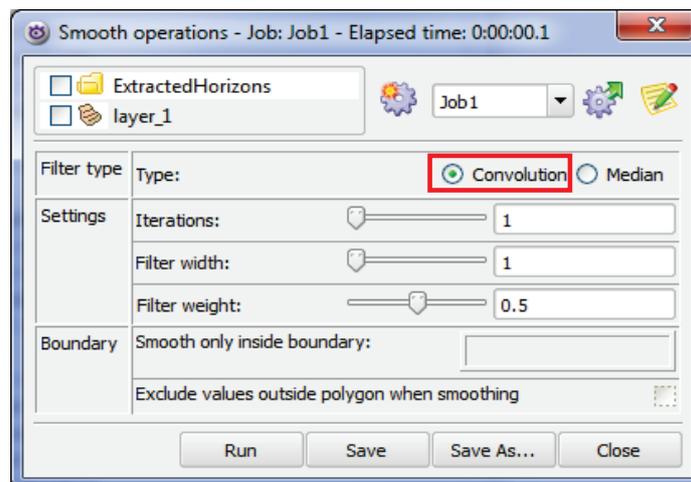


Рис. 143. Параметры сглаживания

Примечание. Процедура сглаживания искажает поверхность, поэтому не рекомендуется применять ее многократно.

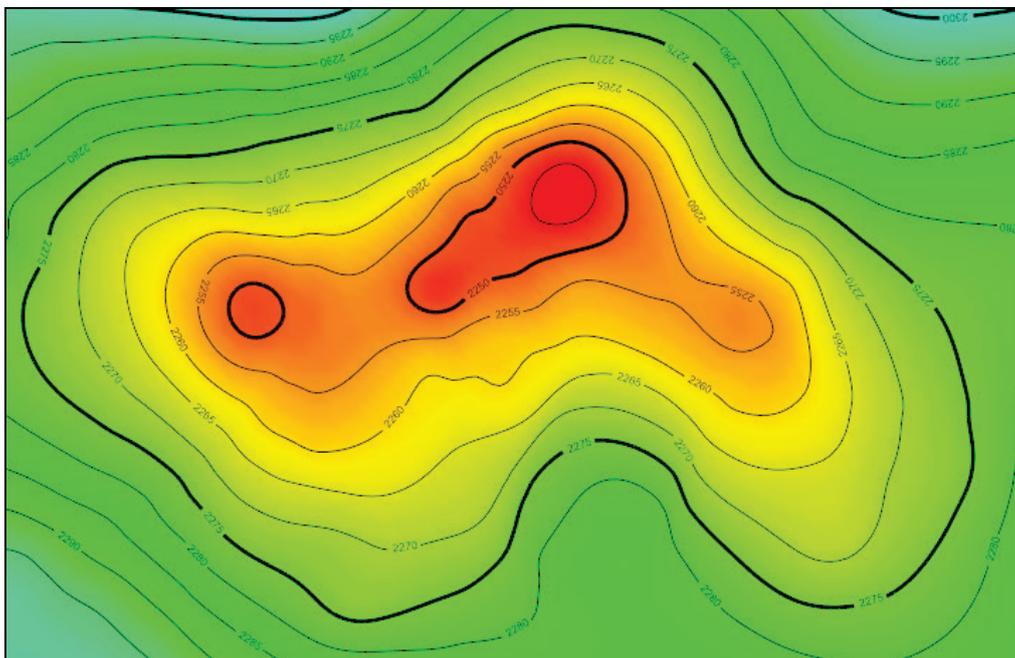


Рис. 144. Карта поверхности кровли проницаемой части пласта после сглаживания

Когда созданы поверхности кровли и подошвы коллектора, можно получить контуры нефтеносности. Необходимо визуализировать поверхность кровли коллектора и поверхность ВНК, для одной из поверхностей выбрать **Operations – Intersect**. В окне **Surface intersect** следует нажать **ОК**, и внешний контур нефтеносности появится в контейнере **Clipboard**. Аналогичным образом создается внутренний контур.

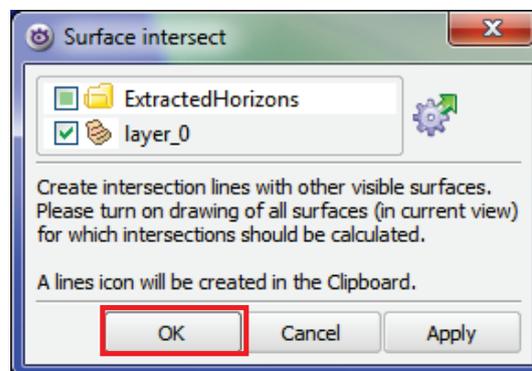


Рис. 145. Получение контура нефтеносности

4.8.2. Построение карт пористости и нефтенасыщенности

Карты пористости и нефтенасыщенности создаются из соответствующих трехмерных параметров. Рассмотрим методику построения на примере карты коэффициента пористости.

Во-первых, будут использоваться только ячейки коллектора, поэтому нужно задать соответствующий фильтр.

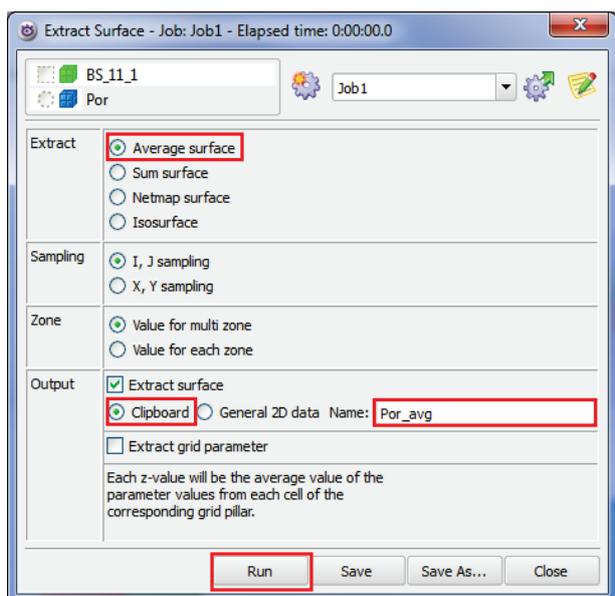


Рис. 146. Создание карты из трехмерного параметра

выбрать контейнер **Clipboard** для выгрузки и указать имя новой поверхности.

Карта нефтенасыщенности создается аналогичным образом, помимо фильтра по литологии необходимо установить фильтр по объему залежи.

Примечание. Следует учитывать, что если используется параметр, который построен в сетке **Corner-point**, то карта получится нерегулярной, т.е. расстояние между узлами сетки будет невыдержанным. К такой карте не могут корректно применяться многие операции. Чтобы преобразовать поверхность в регулярную, необходимо выполнить следующие операции:

Во-вторых, для 3D параметра пористости используется операция **Parameter utilities – Extract surface** (рис. 146).

Карта пористости – это карта средних значений (**Average map**). В разделе **Sampling** можно выбрать систему координат (I, J – система координат сетки, X, Y – система координат проекта). Следует

- 1) скопировать любую поверхность с регулярной сеткой в контейнер **Clipboard**;
- 2) для этой карты выбрать пункт меню **Transfer**;
- 3) в поле раздела **Surface transfer** (рис. 147) поместить нерегулярную карту и нажать **Run**.

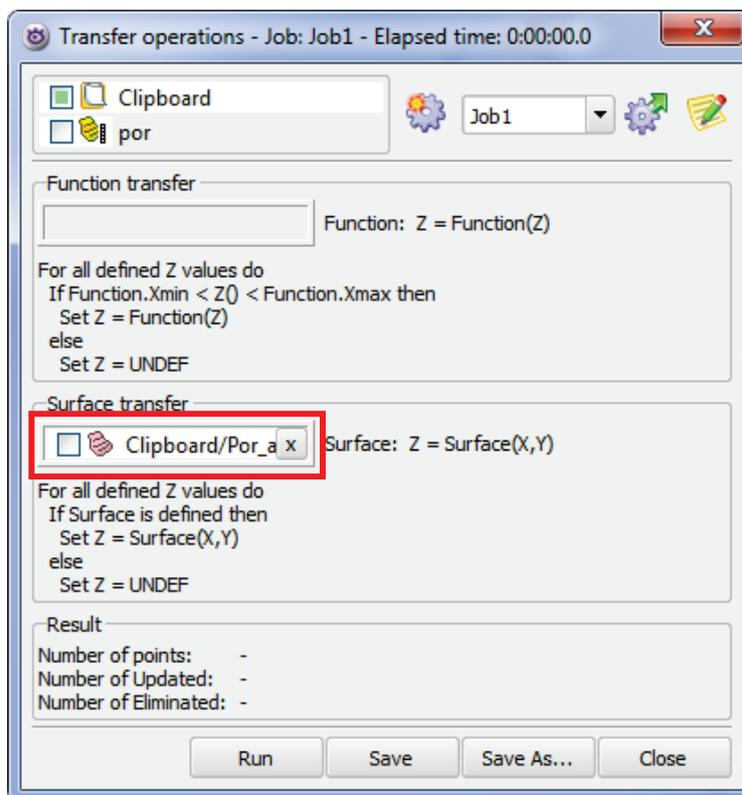


Рис. 147. Регуляризация карты

На карте должны быть показаны скважины и подписи значений параметра. Для этого нужно визуализировать **Isochore picks** для соответствующего пласта и в окне **Visual settings** задать необходимые настройки (рис. 148). В закладке **Symbols and labels** можно назначить значок скважины, его размер и т.п. Подписи скважин задаются в дополнительном окне **Labels**. Например, для карты пористости следует вывести номер скважины и значение $K_{п}$, которое было предварительно рассчитано в **Well picks calculator** (см. п. 3.4).

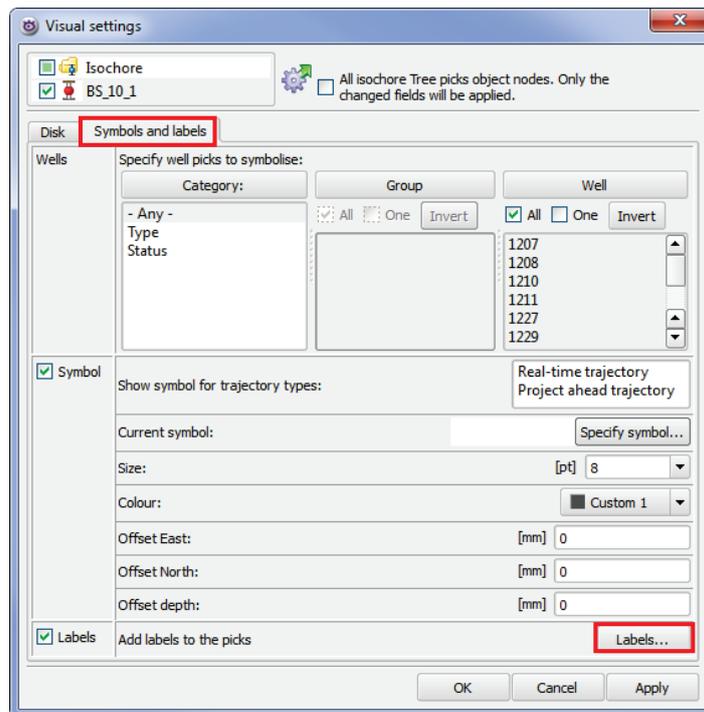


Рис. 148. Панель свойств отбивок

В окне **Labels** (рис. 149) также можно настроить число знаков после запятой (**Number of decimals**), шрифт (**Font**) и смещение относительно точки скважины (**Offset**). Имя скважины и значение

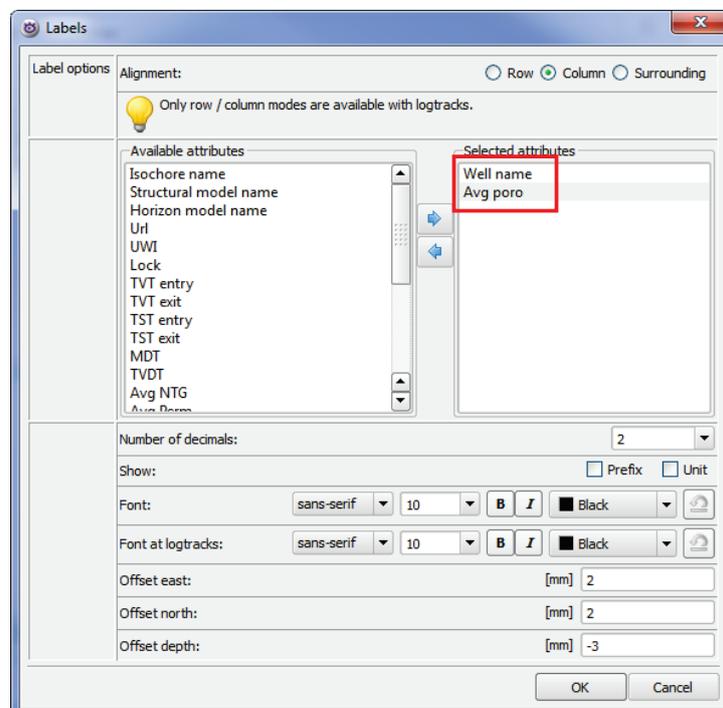


Рис. 149. Настройка подписей скважин

могут располагаться относительно скважины в ряд (**Row**), столбцом (**Column**), вокруг точки скважины (**Surrounding**).

Пример карты коэффициента пористости показан на рисунке 150.

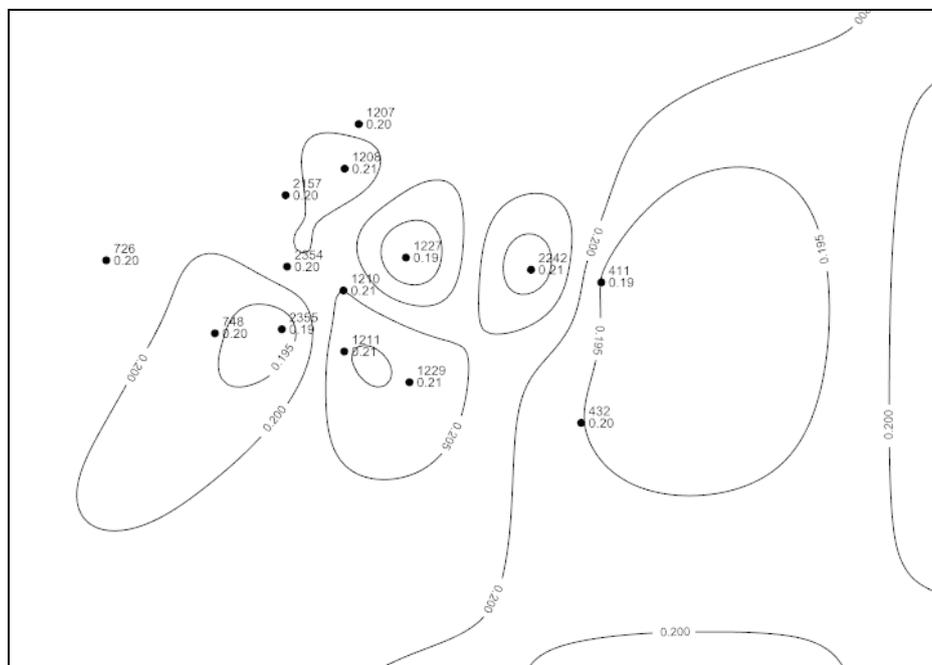


Рис. 150. Пример карты коэффициента пористости

4.8.3. Построение карты эффективных толщин

Для построения адекватной карты эффективных толщин необходимо использовать трехмерный параметр, в котором значения всех ячеек коллектора равны 1. Однако для дискретного куба литологии нет опции «сложить значения и умножить на толщину» -**Netmap surface**. Поэтому создадим непрерывный аналог дискретного параметра литологии в **Parameter Calculator**, задав выражение вида

$$LITO_new=LITO_disc,$$

где **LITO_new** – новый непрерывный параметр; **LITO_disc** – существующий дискретный параметр литологии.

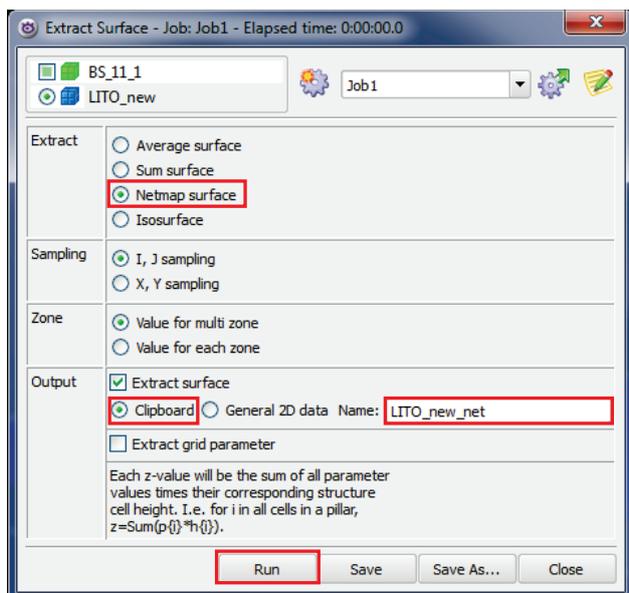


Рис. 151. Построение карты эффективных толщин

следует задать контейнер **Clipboard** для выгрузки и ввести название карты.

Карта эффективных толщин создается из параметра **LITO_new** с использованием фильтра по коллектору. Следует выбрать операцию **Extract Surface** (рис. 151) для непрерывного параметра **LITO_new**.

Чтобы толщина всех ячеек коллекторов суммировалась, необходимо установить флаг **Netmap surface**. Также

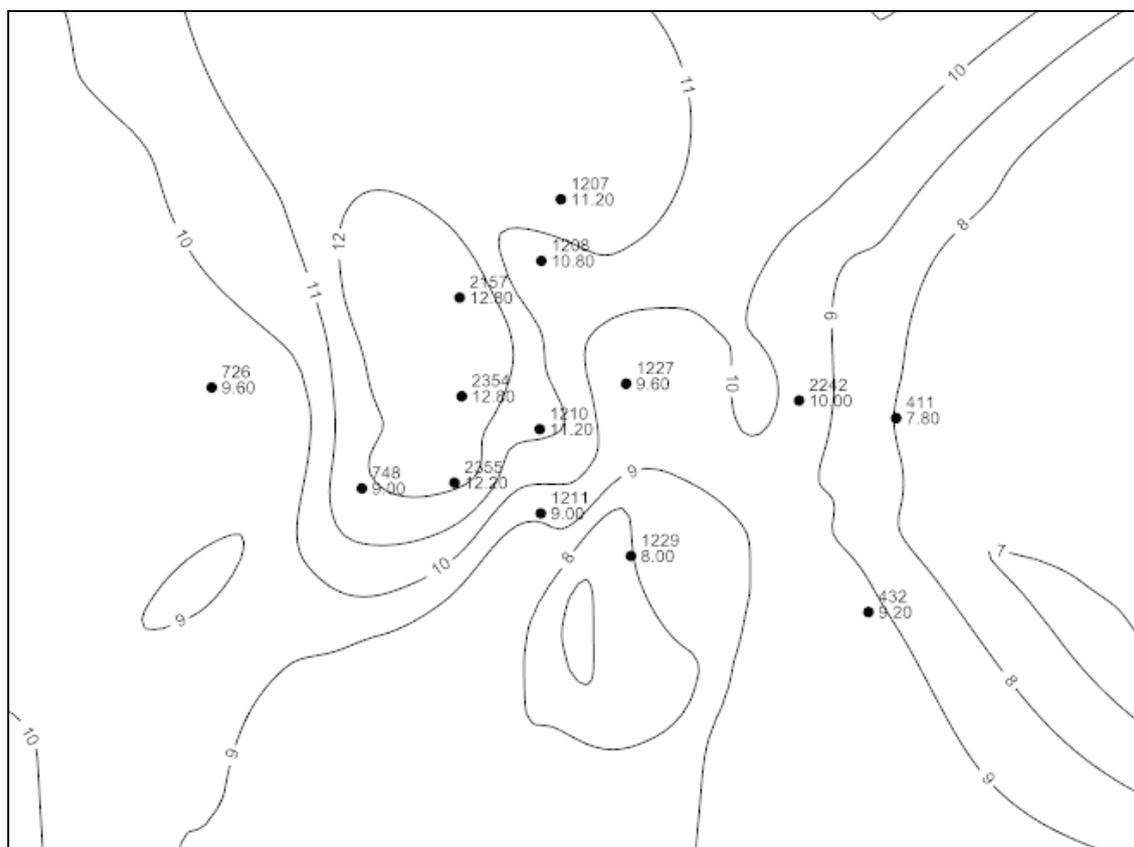


Рис. 152. Пример карты эффективных толщин

4.8.4. Построение карты эффективных нефтенасыщенных толщин

Карту нефтенасыщенных толщин можно построить одновременно с подсчетом запасов УВ в панели **Volumetrics** (см. п. 4.8). Для этого в закладке **Calculations** (рис. 153) следует указать **Total map** для параметра **Net**, а остальные настройки – в соответствии с п.4.8. Полученная карта будет иметь регулярную сетку (рис. 154).

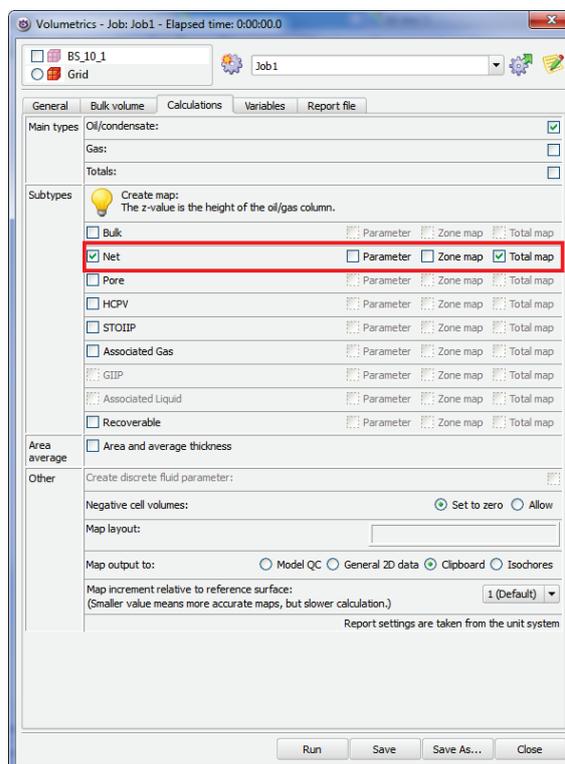


Рис. 153. Построение карты эффективных нефтенасыщенных толщин

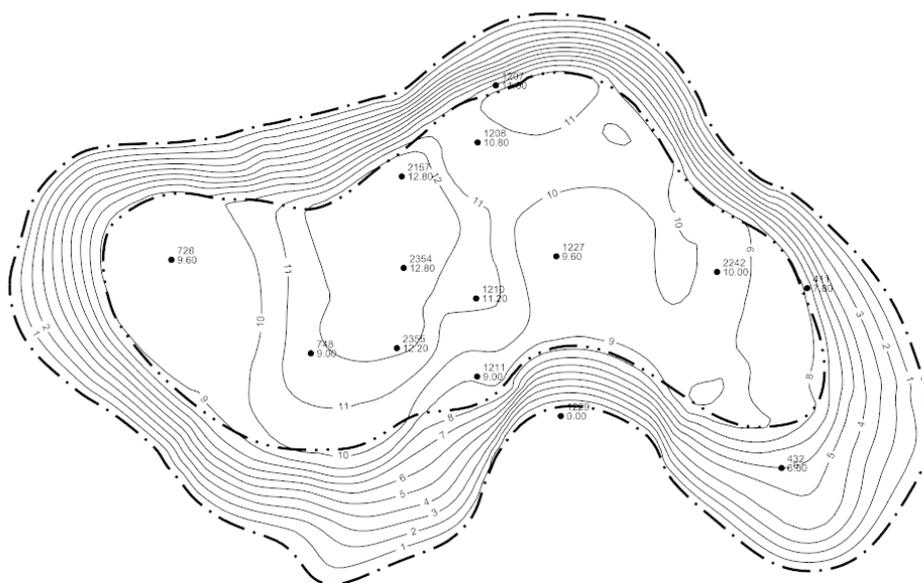


Рис. 154. Пример карты эффективных нефтенасыщенных толщин

4.9. Создание геологических разрезов и сечений

В пакете **RMS** разрезы и сечения находятся в контейнере **Intersections**.

Существует несколько типов разрезов и сечений: разрез плоскостью в любом заданном направлении – X, Y, Z (**Cross Planes**) (рис. 155 – 1); разрез по точкам, заданным пользователем (**Fence**) (2); разрез по скважинам (**Multi-well fence**) (3); мультиразрезы (**Multiple fences**, **Multiple cross planes**) – несколько параллельных плоскостей разрезов, созданных через заданное расстояние (4, 5). Отобразить созданный разрез можно в следующих окнах: **2D view**, **3D view**, **Intersections**.

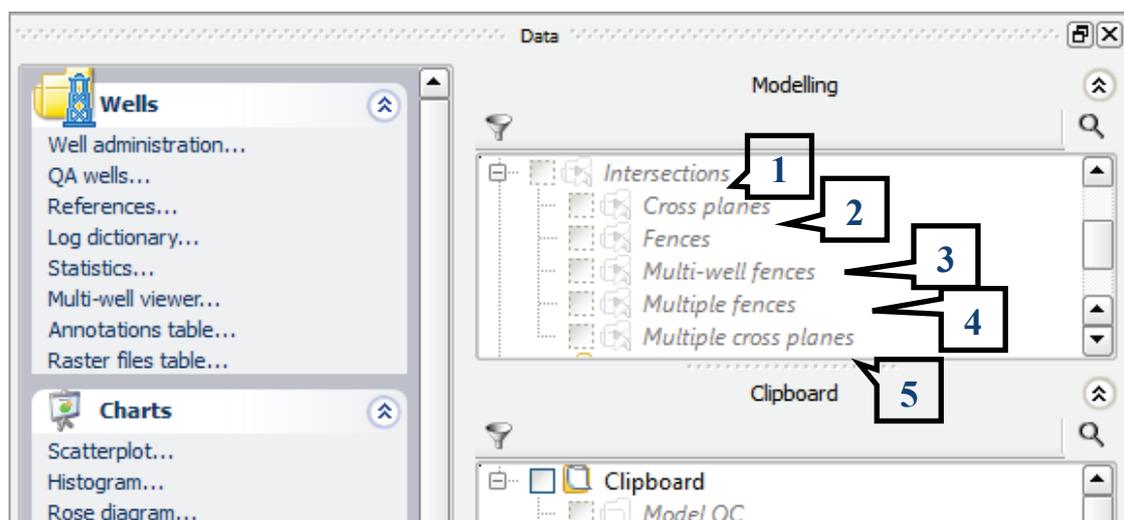


Рис. 155. Содержание контейнера **Intersections**

4.9.1. Разрезы **Cross Planes** – плоскость в заданном направлении

Чтобы создать разрез, в списке операций папки **Cross Planes** необходимо выбрать опцию **Create** (рис. 156).

В открывшемся окне в поле **Orientation** (рис. 157) следует указать проекцию сечения – X, Y, Z или вертикальная плоскость

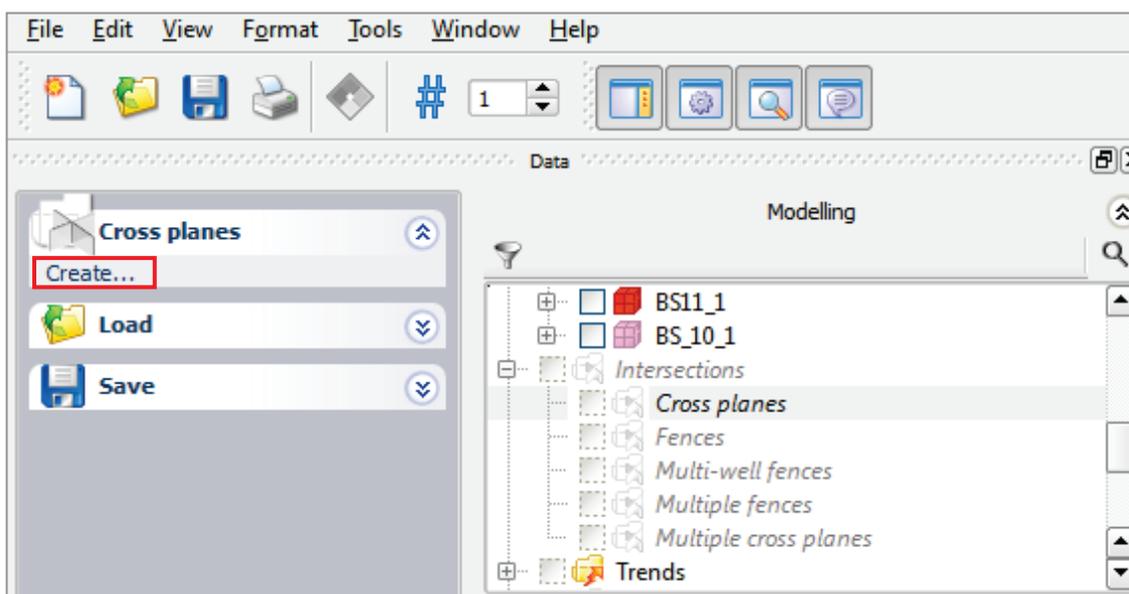


Рис. 156. Создание разреза Cross Plane

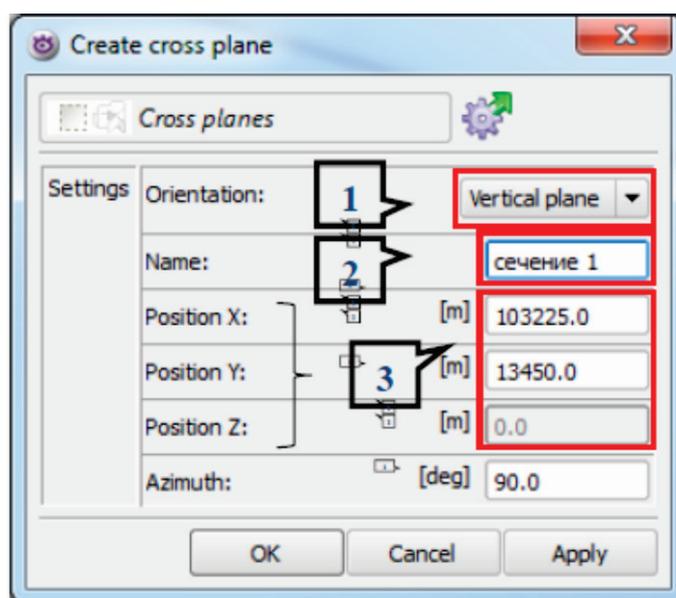


Рис. 157. Настройки разреза Cross Plane

(1), в поле **Name** вводится имя разреза (2). В полях **Position** (3) определяются координаты плоскости, которые можно задать либо в этом окне, либо изменить позже, в процессе визуализации сечения. По умолчанию плоскость сечения помещается по середине оси ограничивающего блока. Поле **Azimuth** доступно только для вертикальной плоскости, по умолчанию азимут составляет

90⁰ и также может быть изменен в процессе интерактивного редактирования.

После нажатия кнопки **OK** сечение будет помещено в папку **Cross Planes**.

Чтобы визуализировать созданное сечение в трехмерном окне визуализации, необходимо:

- создать окно **3D view**;
- визуализировать объекты, которые нужно показать на разрезе (рис. 158 – 1);
- перевести разрез в режим редактирования (переместив ЛКМ объект в окно **3D view**);
- в появившейся панели редактирования выбрать опцию **Intersect all displayed objects now** (2).

Изменять координаты плоскости или перемещать плоскость сечения в пределах осей ограничивающего блока можно с помощью **Fence Player** (3)

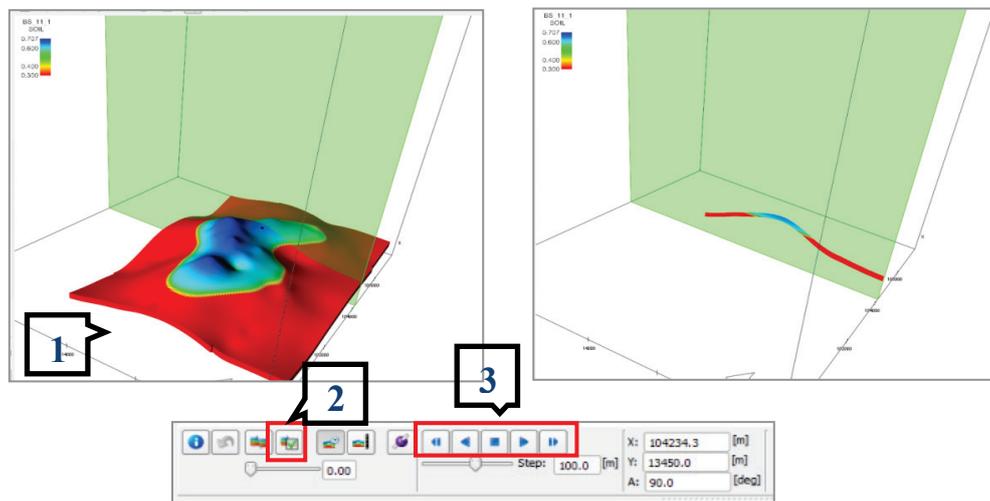


Рис. 158. Визуализация разреза Cross Plane

4.9.2. Разрезы по произвольным точкам (Fences)

Разрез типа **Fences** создается по аналогии с разрезом типа **Cross Planes**, за исключением того, что точки, через которые проходит плоскость разреза, задаются пользователем в произвольном порядке. Сначала следует создать разрез **Fences** – **Create** (рис. 159 – 1), а затем перевести разрез в режим редактирования (2).

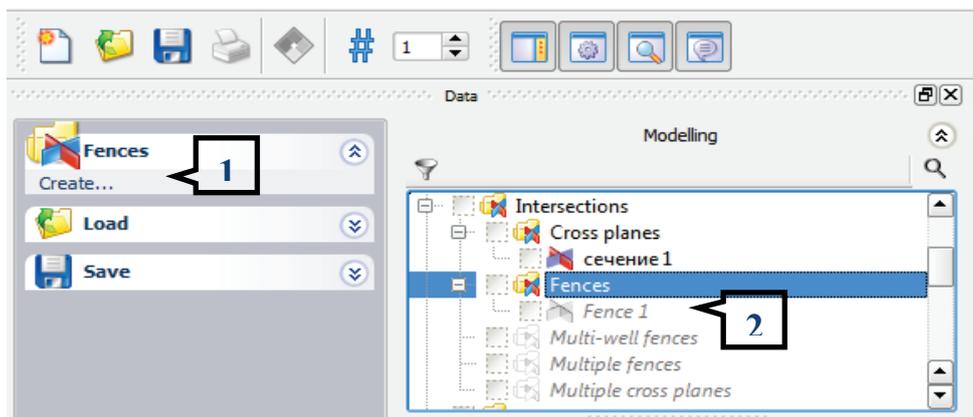


Рис. 159. Создание разреза Fence

В панели инструментов нужно выбрать опцию **New fence** (рис. 160 – 1) и ЛКМ определить траекторию разреза (2). Чтобы отоб-

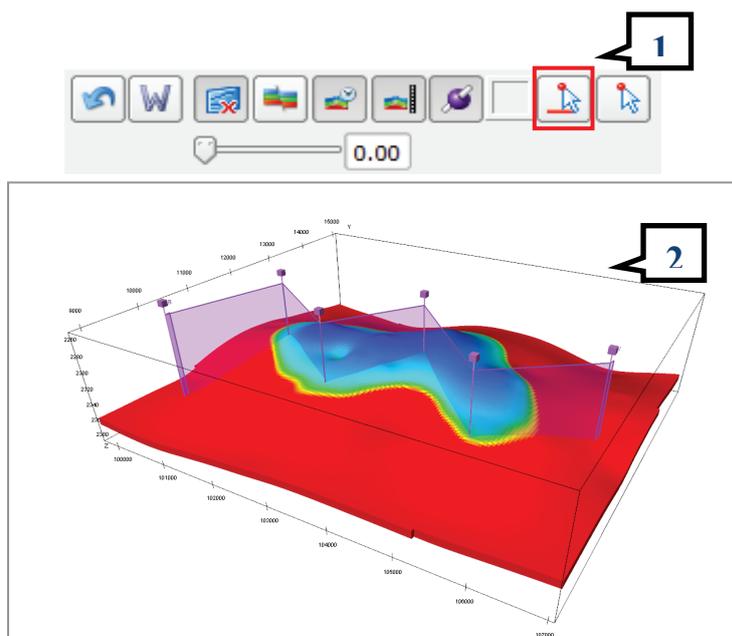


Рис. 160. Настройка разреза Fence

разить разрез, требуется нажать кнопку **Intersect all displayed objects now** (рис. 161).

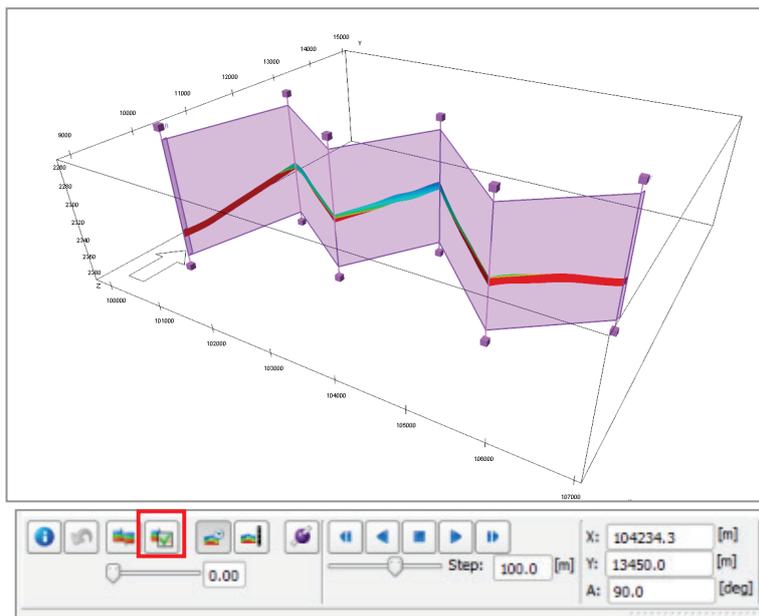


Рис. 161. Визуализация разреза Fence

4.9.3. Создание разреза по скважинам (Multi well fences)

В папке **Multi well fences** контейнера **Intersections** нужно создать новый объект разреза. Для этого в списке операций данной папки следует выбрать опцию **Create** (рис. 162 – 1). В панели вводится имя нового разреза (2).

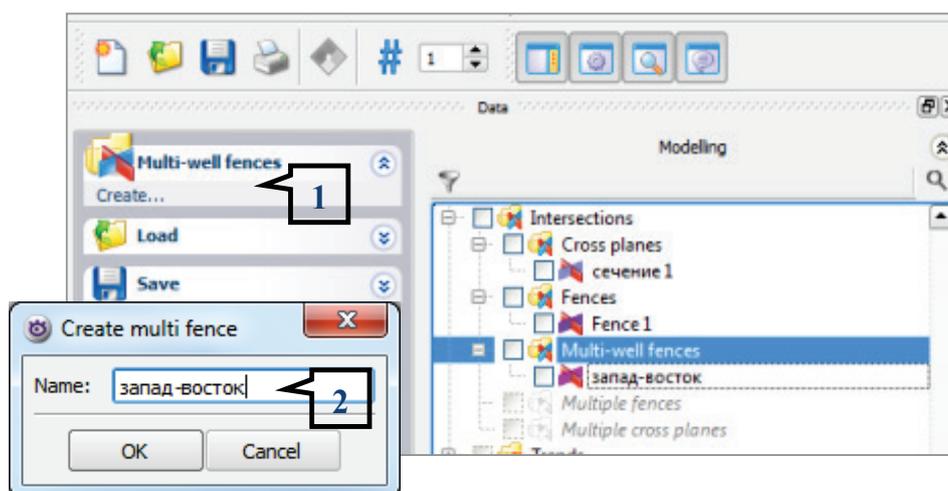


Рис. 162. Создание разреза Multi well fence

Для определения списка скважин, по которым будет проходить разрез, существует опция **Fence administration**.

В поле **Well** указываются те скважины разреза (рис. 163 – 1), которые переносятся в поле **Organize wells in fence** с помощью клавиши (2). Предусмотрена возможность автоматически упорядочить скважины ((3) – создать разрез по наименьшему расстоянию между скважинами). Также возможно ограничение плоскости разреза по вертикали, чтобы исключить траекторию скважин выше и ниже изучаемого продуктивного пласта. Для этого в поле **Define range of interest** необходимо указать абсолютную отметку выше и ниже продуктивного пласта (4) либо задать ограничение по структурным поверхностям.

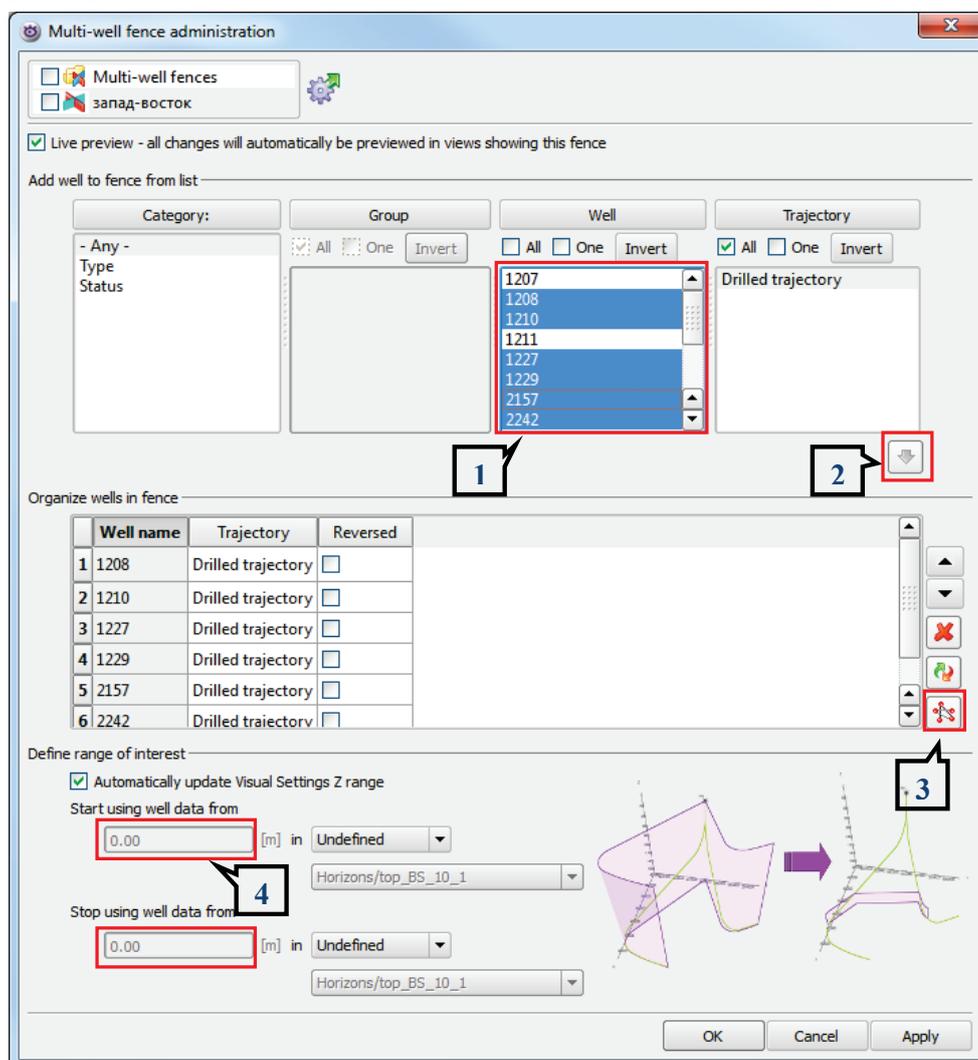


Рис. 163. Настройки разреза Multi well fence

4.10. Подсчет запасов по трехмерной модели

В программном комплексе **RMS** существует специальный инструмент для подсчета запасов (объемов) УВ – **Volumetrics**, использование которого дает ряд преимуществ. Тем не менее, для лучшего понимания сути процесса сначала рассмотрим подсчет запасов залежи с использованием **Parameter calculator**.

Подсчет запасов в **Parameter calculator**

Как известно, формула подсчета начальных геологических запасов нефти объемным методом имеет вид:

$$Q = F \cdot h \cdot K_{\text{оп}} \cdot K_{\text{нн}} \cdot \theta \cdot \rho_{\text{н}};$$

где F – площадь нефтеносности, тыс. м²; $h_{\text{нн}}$ – эффективная нефтенасыщенная толщина, м; $K_{\text{оп}}$ – коэффициент открытой пористости, д. ед.; $K_{\text{нн}}$ – коэффициент нефтенасыщенности, д. ед.; θ – пересчетный коэффициент, д. ед.; $\rho_{\text{н}}$ – плотность нефти в стандартных условиях, г/см³.

Очевидно, что в условиях трехмерного моделирования производству $F \cdot h$ (объему нефтенасыщенных пород (объему пород-коллекторов выше ВНК)) соответствует величина геометрического объема ***Vgeo*** для ячеек коллектора.

Исходя из вышесказанного, для вычисления величины геологических запасов необходимо:

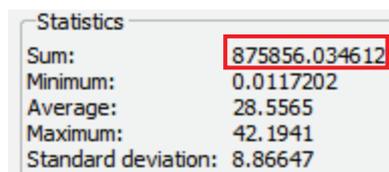
1) с помощью фильтров по параметру литологии ***LITO_disc*** и геометрического объема ***Vdisc*** оставить для расчета только ячейки коллектора в пределах залежи;

2) задать в строку **Parameter calculator** выражение вида:

$$Q = V_{\text{geo}} * \text{Por} * \text{So} * 0.815 * 0.841,$$

где 0.815 и 0.841 – соответственно значения плотности (г/см³) нефти и пересчетного коэффициента, принятые для залежи.

После того как параметр запасов Q будет рассчитан, не отключая фильтров, следует открыть панель **Information**: величина запасов в тоннах будет указана в строке **Sum** (рис. 164).



Statistics	
Sum:	875856.034612
Minimum:	0.0117202
Average:	28.5565
Maximum:	42.1941
Standard deviation:	8.86647

Рис. 164. Суммарная величина запасов в панели **Information**

Подсчет запасов с использованием **Volumetrics**

Используя панель **Volumetrics**, можно рассчитать следующие объемы:

- **Bulk volume** (геометрический объем пород выше контакта);
- **Net volume** (объем пород-коллекторов);
- **Pore volume** (объем пустотного пространства);
- **Hydro Carbon Pore Volume (HCPV)** (объем пород, заполненных флюидом)
- **Stock Tank Oil Initially In Place (STOIP)** (начальные объемы нефти в поверхностных условиях);
- **Associated gas in oil zone** (объем растворенного газа в нефтяной части);
- **Recoverable Volume** (извлекаемые объемы) и др.

Исходные данные, необходимые для расчетов объемов, могут быть заданы как константы поверхности или 3D параметры.

Преимуществом данного инструмента является также то, что можно одновременно производить расчет для отдельных участков сетки (тектонических блоков, зон насыщения, лицензионных участков). Кроме того, результаты расчета могут быть получены в виде трехмерных параметров, карт и таблиц.

Для запуска панели выполняется операция **Grid – Volumetrics**.

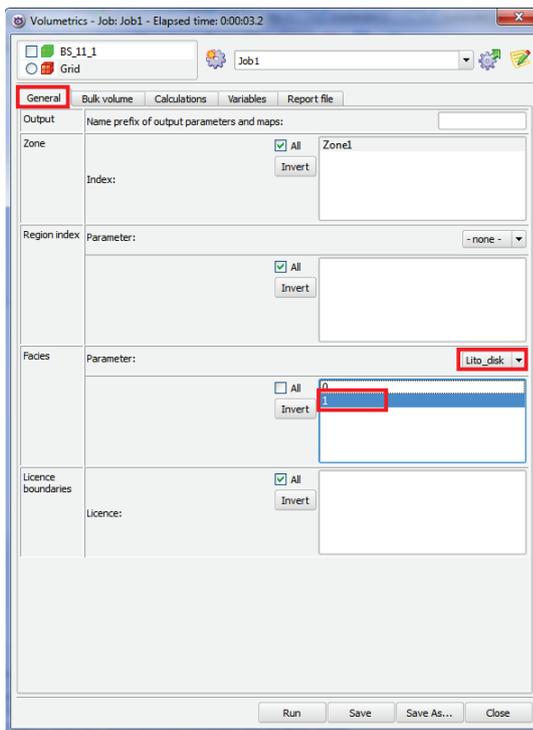


Рис. 165. Закладка **General** панели **Volumetrics**

Окно имеет 5 закладок. В закладке **General** содержатся общие настройки (рис. 165) – префикс для итоговых параметров и карт в разделе **Output**, зоны в разделе **Zone**. В разделе **Regions** можно указать сегменты сетки¹ (например, тектонические блоки). В разделе **Facies** нужно выбрать дискретный параметр литологии и указать код коллектора (аналог фильтра). Раздел **Licence boundaries** предназначен для учета границ лицензионного участка (в виде полигонов).

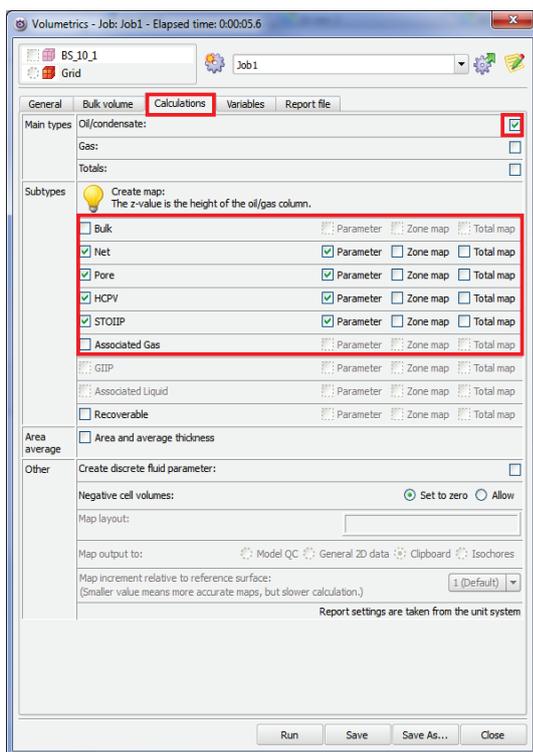


Рис. 166. Закладка **Calculations** панели **Volumetrics**

В закладке **Bulk volume** можно выбрать параметр геометрического объема, если он создан, для ускорения расчетов. Пропустим этот шаг.

Закладка **Calculations** предназначена для настроек расчета. Необходимо указать тип флюида – **Oil/condensate** (рис. 166). В разделе **Subtypes** появится возможность выбрать объемы, которые будут рассчитаны, а также форму вывода: 3D параметр, карты по подзонам (**Zone map**) и суммарные

¹Сегменты должны быть описаны дискретным параметром.

карты (**Total map**). Отметим, что **Total map** для параметра **Net volume** – это карта эффективных нефтенасыщенных толщин. Необходимо задать вывод параметра объемов нефти в поверхностных условиях (**СТОИП**) и, при необходимости, другие параметры.

Закладка **Variables** (переменные) (рис. 167). В разделе **Formulas** показаны выражения, которые применяются для расчета тех или иных параметров. Ниже находится раздел **Type**, где необходимо задать значения параметров и констант. Предлагается указать 2 класса переменных: **Oil variables** (параметры нефти) и **Formation variables** (параметры пласта).

В типе **Oil variables** 3 переменные:

1) **Oil/water contact** (ВНК). Допускается задать отметку (если ВНК горизонтальный) либо поверхность, установив флаг **Use surface**.

2) **Water saturation** (рис. 168). В **Volumetrics** используется параметр водонасыщенности, а не K_n , поэтому нужно в **Parameter calculator** рассчитать коэффициент водонасыщенности S_w ($S_w = 1 - S_o$), который затем

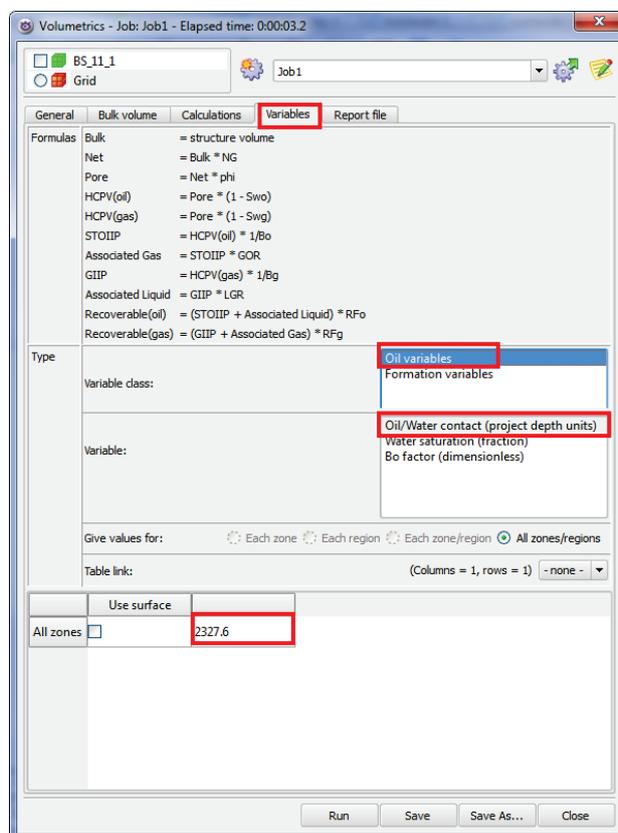


Рис. 167. Закладка **Variables** панели **Volumetrics**

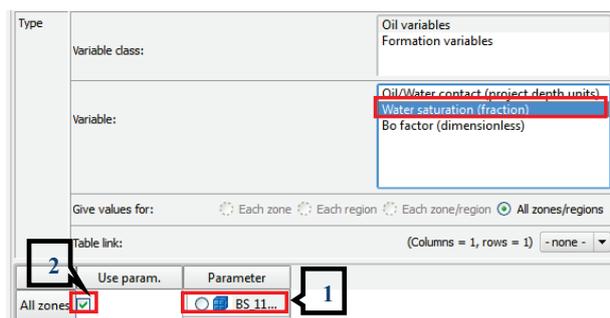


Рис. 168. Параметр водонасыщенности

Type	Oil variables Formation variables
Variable class:	
Variable:	Oil/Water contact (project depth units) Water saturation (fraction) Bo factor (dimensionless)
Give values for:	<input type="radio"/> Each zone <input type="radio"/> Each region <input type="radio"/> Each zone/region <input checked="" type="radio"/> All zones/regions
Table link:	(Columns = 1, rows = 1) - none -
	Use param. <input type="checkbox"/> 1.189

Рис. 169. Объемный коэффициент

Type	Oil variables Formation variables
Variable class:	
Variable:	Net/Gross (fraction) Porosity (fraction)
Give values for:	<input type="radio"/> Each zone <input type="radio"/> Each region <input type="radio"/> Each zone/region <input checked="" type="radio"/> All zones/regions
Table link:	(Columns = 1, rows = 1) - none -
	Use param. <input type="checkbox"/> 1

Рис. 170. Песчанность

Type	Oil variables Formation variables
Variable class:	
Variable:	Net/Gross (fraction) Porosity (fraction)
Give values for:	<input type="radio"/> Each zone <input type="radio"/> Each region <input type="radio"/> Each zone/region <input checked="" type="radio"/> All zones/regions
Table link:	(Columns = 1, rows = 1) - none -
	Use param. <input checked="" type="checkbox"/> Parameter BS_11...

Рис. 171. Пористость

Закладка **Report file** (рис. 172) предназначена для настройки вывода результатов подсчета в текстовый файл, который может быть текстовым (**Document list**) и таблицей (**Tabular**).

После того, как все настройки будут заданы, нужно запустить расчет (**Run**).

Величину запасов можно увидеть в панели **Information** для параметра **STOIP** либо в таблице.

поместить в поле **Parameter** (2), предварительно установив флаг **Use param.** (1)

3) **Bo factor** – объемный коэффициент (рис. 169).

Затем следует перейти к классу переменных **Formation variables**.

1) **Net/Gross** – песчанность (рис. 170), по умолчанию она равна 1, т.к. в закладке **General** в качестве литотипа уже был выбран коллектор.

2) **Porosity** – пористость (рис. 171). Необходимо установить флаг **Use param.** и поместить в **dropsite** трехмерный параметр пористости.

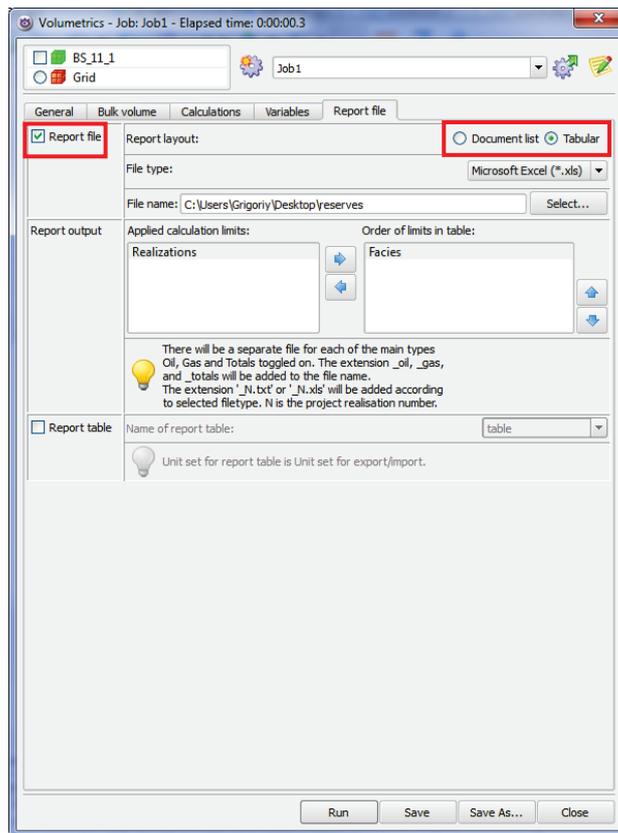


Рис. 172. Закладка Report file панели Volumetrics

Примечание. В расчетах, осуществляемых в панели **Volumetrics**, параметр **STOIP** представлен в единицах объема (m^3). Для получения запасов нефти в тоннах необходимо умножить **STOIP** на плотность нефти в **Parameter calculator**.

4.11. Контроль качества 3D модели

Построение геологической модели всегда должно сопровождаться оценкой ее качества. Процесс контроля качества модели подразделяется на следующие этапы [5]:

- оценка количества и качества исходной информации;
- оценка соответствия построенной модели исходной информации;
- оценка корректности распределений параметров в объеме резервуара.

Адекватность модели может оцениваться по качественным и количественным критериям. Качественные критерии подразумевают субъективную оценку модели на соответствие определенным представлениям и требованиям (модели осадконакопления и тектонической модели, схожесть гистограмм и т.п.). Количественные критерии позволяют осуществлять контроль на основе рассчитанных показателей.

Контроль корректности исходной информации осуществляется на этапе подготовки данных и включает оценку качества и полноты исходных материалов, а также правильности альтитуд, инклинометрии и местоположения пластопересечений. Очень важно контролировать исходную информацию до начала моделирования, чтобы избежать трудоемкого перестроения модели «с нуля».

Комплексному изучению проблемы оценки качества геологических моделей посвящена работа [5]. В таблице 2 приведено краткое описание основных элементов, подлежащих контролю, а также применяемых для этого средств.

Таблица 2

Содержание работ по оценке качества модели

Контролируемый элемент модели	Оцениваемые показатели	Основные методические приемы
Стратиграфическое расчленение разреза	Степень детальности расчленения продуктивного интервала, его соответствие условиям осадконакопления. Изменение общих толщин по скважинам. Прослеживаемость пропластков и глинистых прослоев.	Анализ схем корреляции. Анализ карт толщин. Построение геологостатистических разрезов (ГСР). Гистограммы общих толщин (изохор) по скважинам.

Контролируемый элемент модели	Оцениваемые показатели	Основные методические приемы
Структурный каркас	Соответствие поверхностей данным сейсмике и исходным данным. Согласованность поверхностей. Отсутствие резких необоснованных изменений абсолютных отметок поверхностей. Изменение общих толщин в межскважинном пространстве.	Сопоставление поверхностей с отбивками. Кросс-плоты отбивок и отметок поверхности. Визуальный контроль поверхностей в трехмерном окне (с учетом разрывных нарушений). Гистограмма невязок отбивок. Гистограммы общих толщин (изохор) в межскважинном пространстве.
Трехмерная сетка	Размеры ячеек по горизонтали и вертикали. Способ разбиения сетки на слои.	Визуальный контроль: – отсутствие скважин, попадающих в одну или в соседние ячейки; – характер напластования. Соответствие размерности сетки и степени изменчивости объекта, детальности исходных данных. Общее количество ячеек
Осреднение скважинных данных на сетку (Blocked wells)	Корректное осреднение и перенос на сетку непрерывных и дискретных параметров	Совместный визуальный анализ скважинных и осредненных данных Гистограммы распределения скважинных данных и осредненных данных параметров
Литологическое моделирование	Соответствие распределения скважинным данным Корректность выбора и применения методики литофациального моделирования	Сопоставление ГСР по скважинам и по кубу. Сопоставление значений доли коллектора по скважинным данным и по кубу (минимум, среднее, максимум).

Контролируемый элемент модели	Оцениваемые показатели	Основные методические приемы
	<p>Соответствие распределения скважинным данным.</p> <p>Корректность выбора и применения методики лито-фациального моделирования.</p> <p>Связанность коллекторов</p>	<p>Сопоставление ГСР по скважинам и по кубу.</p> <p>Сопоставление значений доли коллектора по скважинным данным и по кубу (минимум, среднее, максимум).</p> <p>Сопоставление карт эффективных толщин, построенных по скважинам и по кубу.</p> <p>Контроль связанности проницаемых пропластков по сечениям куба с учетом скважин.</p>
Моделирование пористости, проницаемости, нефтенасыщенности	<p>Соответствие распределения скважинным данным.</p> <p>Отсутствие зон необоснованных значений в межскважинном пространстве.</p> <p>Корректность выбора и применения методики моделирования свойств.</p>	<p>Сопоставление гистограмм по скважинам и по кубу.</p> <p>Сопоставление значений параметра по скважинным данным и по кубу (минимум, среднее, максимум).</p> <p>Сопоставление карт распределения параметра, построенных по скважинам и по кубу.</p> <p>Контроль распределения параметра в объеме пласта по картам, сечениям.</p>
Подсчет запасов	Сходимость величин запасов, подсчитанных разными способами	Сопоставление с результатами подсчета по 2D модели

Подробная информация об инструментах, применяемых в RMS для контроля качества модели, содержится в Руководстве пользователя [1].

4.12. Подготовка и вывод данных на печать

Цифровая геологическая модель, созданная с помощью различных программных продуктов, всегда должна быть представлена в виде набора графических приложений. В пакете **RMS** существует «*Страница для печати и презентации*», позволяющая вывести полученные карты и разрезы на печать.

В первую очередь необходимо открыть окно **Create a page for presentation or printing**. Далее нужно указать размер и ориентацию страницы презентации **Presentation page**. По умолчанию страница презентации создается размером А4 и имеет альбомную ориентацию. Для изменения этих настроек необходимо открыть окно параметров страницы **Page Properties** (рис. 173). Существует два способа вызова данного окна:

- на панели инструментов с помощью пиктограммы ;
- ПКМ на странице – **Page Properties**.

Чтобы отобразить на странице презентации графические объекты для печати, необходимо вставить окно визуализации. Для этого на окне презентации необходимо щелкнуть ПКМ и указать пункт **Insert**, либо на панели инструментов выбрать требуемый тип окна и ЛКМ нарисовать область визуализации.

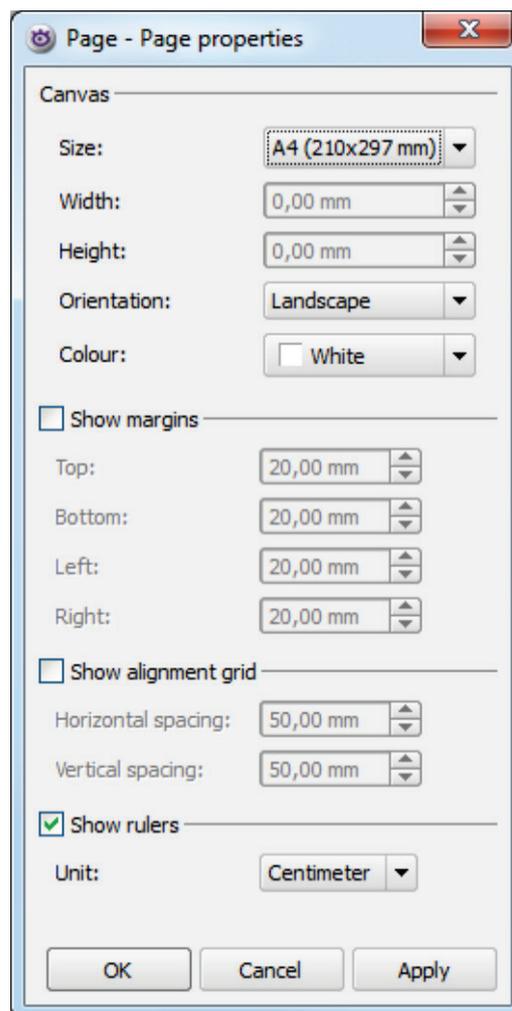


Рис. 173. Настройки страницы печати

	3D окно
	2D окно
	Окно разрезов и сечений
	Окно графиков по скважинам
	Окно графиков, диаграмм, ГСР и др.
	Окно визуализации данных скважины
	Окно корреляции
	Текстовый блок
	Блок информации о проекте
	Нарисовать линию
	Добавить рамку
	Вставить рисунок из файла

На одной странице можно вставлять несколько различных окон и объектов других типов (линий, текстовых блоков).

Для установки масштаба изображения в нарисованном окне ПКМ из контекстного меню следует выбрать **2D view properties** (*Настройки окна 2D визуализации*).

В этом окне в закладке **Scale/range** (рис. 174 – 1) нужно поставить флаг **Lock view** (2) и ввести необходимый масштаб изображения (3).

Созданная нами страница **Presentation** может быть распечатана на принтере или экспортирована в файл, который можно будет открыть в любом графическом редакторе.

Для печати подготовленного изображения в меню необходимо выбрать **File – Print**. Откроется окно **Page view Printing**.

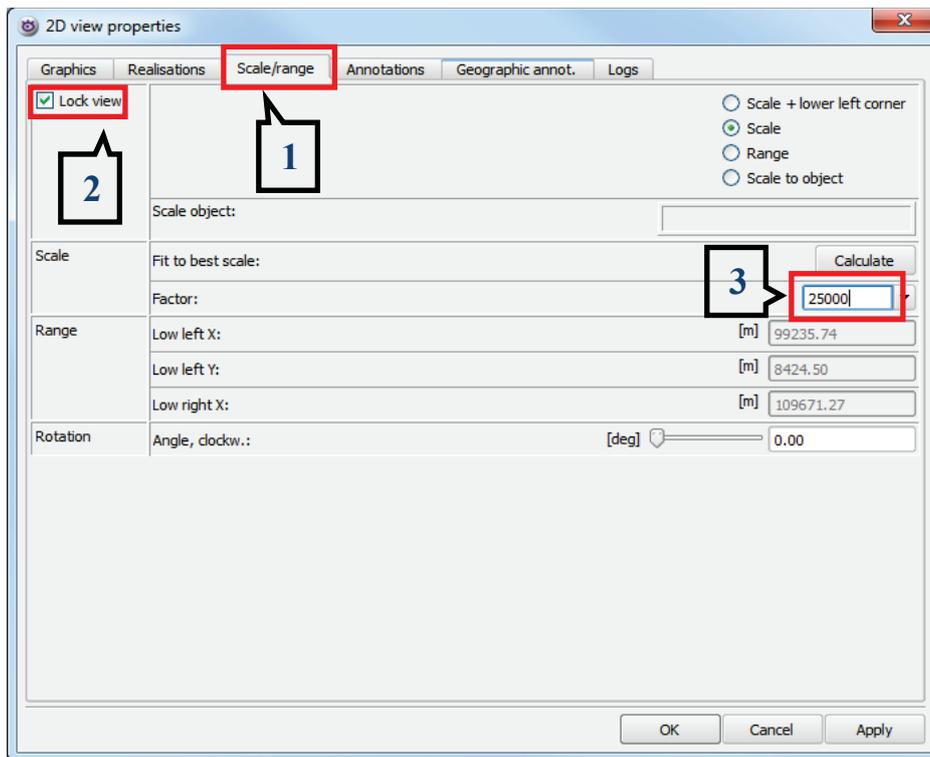


Рис. 174. Установка масштаба изображения

Чтобы распечатать изображение на принтере, в открывшемся окне необходимо установить флаг **Printer**, выбрать устройство, на котором будет осуществляться печать, и нажать клавишу **Print**.

Чтобы экспортировать изображение в файл, необходимо установить флаг **File**, с помощью клавиши **Select** выбрать путь для сохранения, в поле **Format** выбрать **Postscript (vector)** и нажать клавишу **Print**.

Размеры страницы в поле **Page size** указываются автоматически, согласно выбранному ранее формату страницы.

Литература

1. *RMS 2012*. Руководство пользователя/ *RMS 2012. User Guide*.
2. *Гутман И.С.*, Балабан И.Ю., Кузнецова Г.П., Староверов В.М., Брагин Ю.И. Детальная корреляция геологических разрезов скважин и подготовка геологической основы для моделирования залежей УВ с помощью программы «AUTOCORR»: Учебное пособие. – М.: Издательский центр РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2010. – 89 с.
3. *Гутман И.С.*, Кузнецова Г.П., Староверов В.М., Брагин Ю.И. Геометризация залежей, геологическое моделирование и подсчет запасов УВ с помощью программы «AUTOCORR»: Учебное пособие. – М.: Издательский центр РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2010. – 91 с.
4. *Закревский К.Е.* Геологическое моделирование 3D. – М.: ООО «ИПЦ Маска», 2009. – 376 с.
5. *Закревский К.Е.*, *Майсюк Д.М.*, *Сыртланов В.Р.* Оценка качества 3D моделей. – М.: ООО «ИПЦ Маска», 2008. – 272 с.
6. *Золоева Г.М.*, *Денисов С.Б.*, *Билибин С.И.* Геолого-геофизическое моделирование залежей нефти и газа: Учебное пособие. – М.: МАКС Пресс, 2008. – 212 с.
7. *Иванова М.М.*, *Чоловский И.П.*, *Брагин Ю.И.* Нефтегазопромысловая геология. – М.: Недра, 2000.
8. *Косентино Л.* Системные подходы к изучению пластов. М. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2007. – 400 с.
9. *Лобусев А.В.* Геолого-промысловые основы моделирования залежей нефти и газа: Учебник для вузов. – М.: ООО «Издательский дом Недра», 2010. – 247 с.
10. *Методические рекомендации к корреляции разрезов скважин* / Под ред. И.С. Гутмана. – М.: ООО «Издательский дом Недра», 2013. – 112 с.
11. *Гутман И.С.*, *Белобородов И.М.*, *Пастух Ю.С.* и др. Построение трехмерной детерминированной геологической модели залежи углеводородов: Учебное пособие. – М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2004. – 101 с.
12. *Золоева Г.М.*, *Жемжурова З.Н.*, *Рыжков В.И.* и др. Практический курс геологического моделирования: Учебное пособие. – М.: ООО «Издательский дом Недра», 2010. – 319 с.

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

**ЛОБУСЕВ Александр Вячеславович
ИСЯНГУЛОВА Наталья Равилевна
ПОТЕМКИН Григорий Николаевич
РУДНЕВ Сергей Анатольевич**

**ОСНОВЫ ТРЕХМЕРНОГО
ГЕОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ЗАЛЕЖЕЙ НЕФТИ И ГАЗА**

Редактор *Л. А. Суаридзе*
Компьютерная верстка: *И. В. Севалкина*

Подписано в печать 15.09.2015. Формат 60×84 ¹/₁₆.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура «Таймс».
Усл. п. л. 9,0. Тираж 70 экз. Заказ № 336

Издательский центр
РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина
119991, Москва, Ленинский проспект, 65
тел./факс: (499) 507 82 12