

УДК 550.8.053

© И.А. Бисеркин, Е.М. Большаков, И.А. Любарев

*И.А. Бисеркин, Е.М. Большаков, И.А. Любарев*

## 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ КАРТ НА БАЗЕ ОПОРНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПО ПРОФИЛЬНЫМ ДАННЫМ

### Введение

Создание структурных карт является одной из важнейших задач, стоящих перед геологами и геофизиками. Особенно сложной эта задача становится при малой плотности опорных данных.

Авторы столкнулись с задачей моделирования сейсмических горизонтов центральной части Енисей-Хатангского прогиба, а именно горизонтов мезо-кайнозойских отложений. В наличии была уже готовая структурная карта палеозойского основания, редкая сеть проинтерпретированных сейсмических профилей и предположительные области распространения этих горизонтов.

В данной статье описано созданное решение в среде ГИС INTEGRО, которое было специально разработано для аналогичных условий моделирования.

### Условия моделирования

Прежде всего хотелось бы описать условия моделирования для которых это решение создавалось.

Как уже говорилось ранее, основой для создания моделируемых горизонтов являлись результаты интерпретации сейсмических профилей (рис. 1), предполагаемые области распространения этих горизонтов и созданная ранее структурная карта рельефа разновозрастных палеозойских отложений центральной части Енисей-Хатангского прогиба (рис. 2).

Ключевой проблемой являлось достаточно большое расстояние между профилями и необеспеченные никакими опорными данными края моделируемой территории.

Решить эту проблему помогает опорная поверхность: ее наличие позволило ограничить область интерполяции по глубинам и соблюсти унаследованность рельефа палеозойского основания, который постепенно выполаживается, переходя от нижележащих горизонтов к вышележащим. В связи с этим хотелось бы отметить общие правила для области применения созданного решения. Первое – это моделирование слоистой среды, и второе – это унаследованность результирующими поверхностями морфологии базовой поверхности. Иначе говоря, представленная технология предназначена для моделирования горизонтов осадочного чехла,

залегающих в относительно спокойной тектонической обстановке с опорой на кровлю фундамента.

### Преимущества перед традиционной интерполяцией

В отличие от традиционного подхода, когда каждый горизонт моделируется отдельно, в предложенной технологии благодаря наличию базовой поверхности было реализовано одномоментное создание сразу всего набора поверхностей.

Несомненным плюсом данного решения является то, что во время непосредственного восполнения происходит контроль геометрии поверхности, а именно исключаются пересечения горизонтов и расхождение суммы мощностей моделируемых слоев и мощности между базовыми поверхностями. Все это естественно происходит с учетом распространения моделируемых горизонтов.

### Технология моделирования

#### Технические условия работы

Исходными данными для представленной технологии являются:

1. Базовые поверхности. Глубины каждой поверхности определены в ячейках прямоугольной равномерной двумерной сети.
2. Редкая сеть профилей, содержащая данные геометрии моделируемых горизонтов в виде линейного векторного покрытия.
3. При необходимости можно задать область определения для каждой поверхности полигональным векторным покрытием.

Базовые поверхности хранятся в ТОС [1], в нашем случае это контейнер двумерных равномерных прямоугольных сетей, все геометрические параметры (точка привязки, шаг сети, количество объектов и размерности по обеим координатам) которых совпадают. В узлах сети хранятся глубины поверхностей.

Профильные данные и данные задающих области существования соответствующих поверхностей хранятся в формате shp/dbf. При этом профильные данные отображаются в специфической сцене «профиль» [2], которая в нашем случае

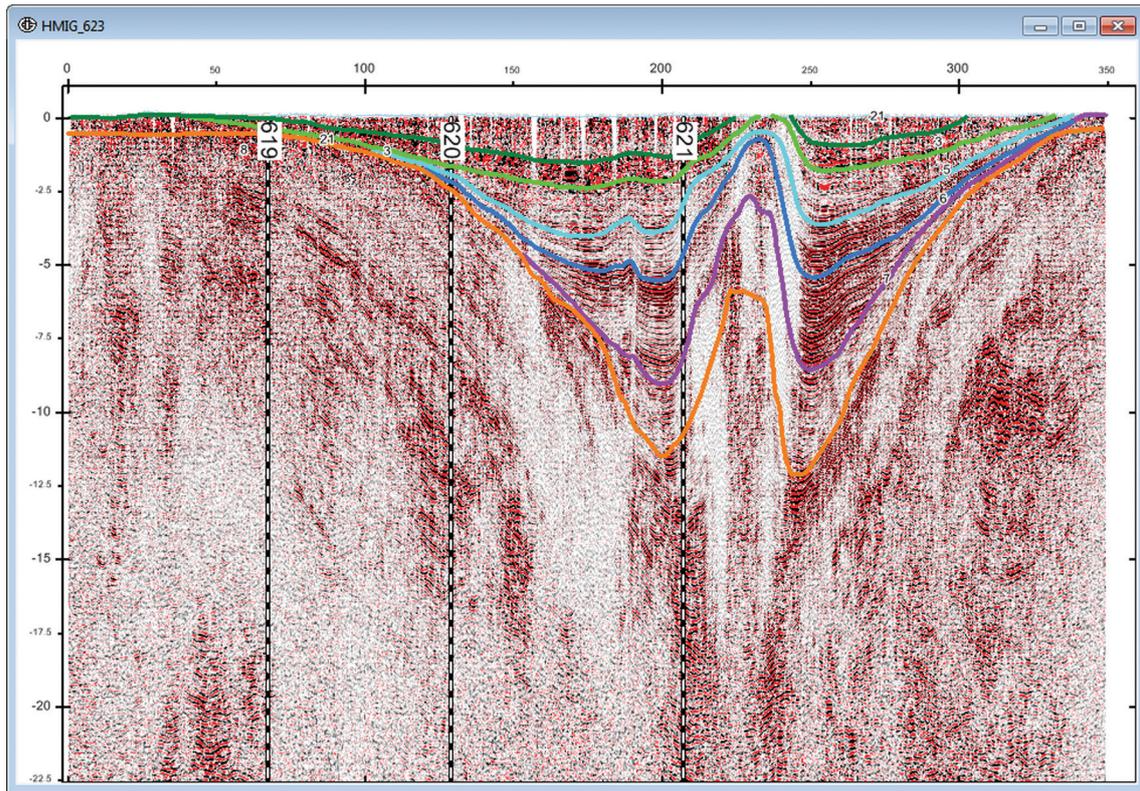


Рис. 1. Глубино-динамический профиль № 623 с границами моделируемых горизонтов

*Fig. 1. Deep-dynamic profile N 623 with the boundaries of simulated horizons*

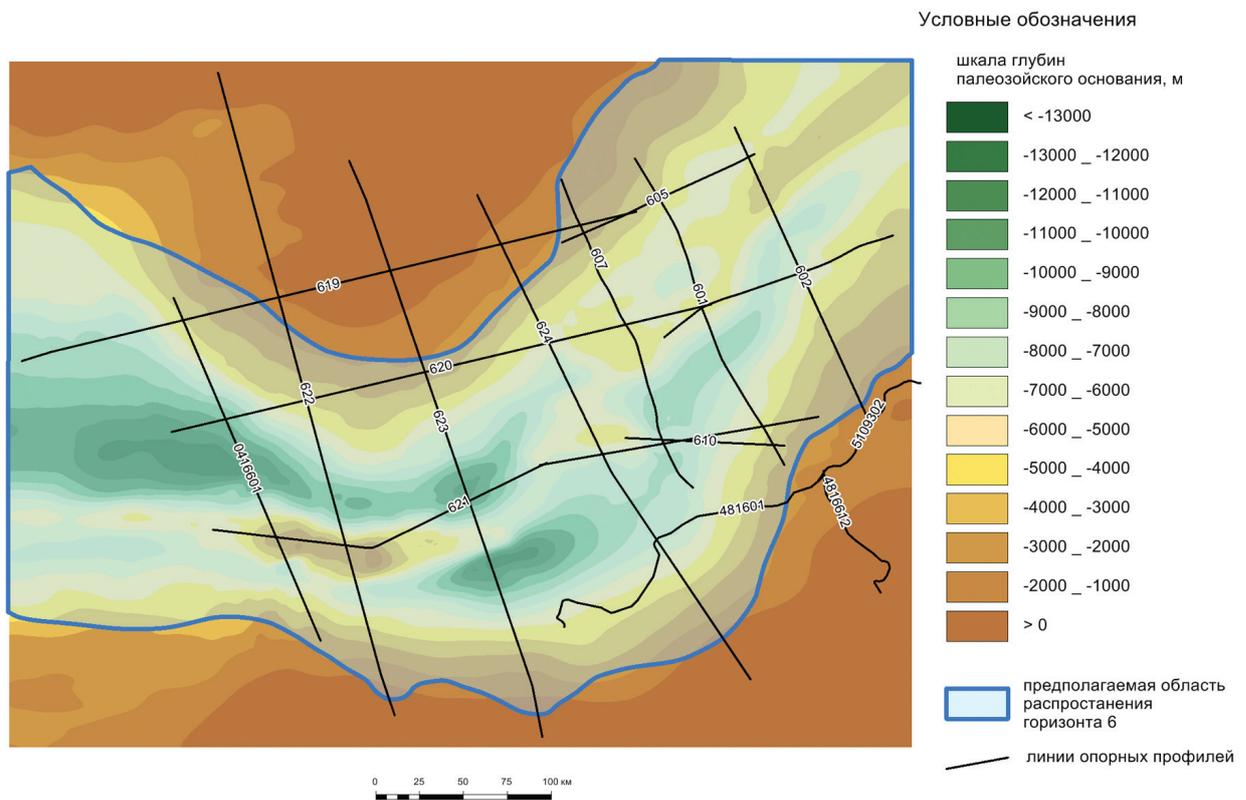


Рис. 2. Сеть профилей и маска горизонта 6, наложенные на карту опорного горизонта (кровля палеозоя)

*Fig. 2. Network of profiles and horizon mask 6, superimposed on a map of the reference horizon (roof of the Paleozoic)*

позволяет привязать линии глубин горизонтов к заданному профилю.

Поверхности полученные в результате моделирования также будут записаны в ТОС.

**Схема технологии (алгоритм)**

На первом этапе определяется, какие ячейки двумерной сети пересекает профиль. Для каждого горизонта на профиле находим значения глубин для соответствующей ячейки сети. Часть алгоритмов для этого этапа ранее входила в математическое обеспечение ГИС INTEGRO, другие были разработаны специально для описываемой технологии. В результате этого этапа мы получаем ТОС, содержащую глубины в ячейках, пересекающих профили, для каждой поверхности. Но так как сеть профилей редкая, то их количество мало по сравнению с количеством ячеек во всей сети.

Для построения модели необходимо провести восполнение отсутствующих в сети значений. Для самой экстраполяции был выбран метод конечных разностей [3]. Он хорошо зарекомендовал себя при восполнении (экстраполяции) геофизических сеточных данных, в том числе и при малом количестве (по сравнению со всей сетью) исходных данных, и входит в математическое обеспечение ГИС INTEGRO.

При независимой экстраполяции каждой поверхности они могли бы пересекаться. А суммарная мощность моделируемых слоев могла существенно отличаться от предполагаемой мощности, определяемой опорными поверхностями. В особенности эти ошибки проявляются на краях области моделирования.

Для решения этой проблемы был предложен следующий механизм (алгоритм).

1. Для каждой точки сети определяется суммарная мощность всех слоев как разница между глубинами нижней и верхней (обычно рельеф) базовых поверхностей, для которых значения в каждой ячейке сети определены.
2. Для каждой ячейки сети, в которой определено значение хотя бы для одной поверхности, продельваем следующее действие. Если значение поверхности не определено (в том числе из-за ограничений, наложенных файлом-маской), то считаем его равным значению в следующей (более верхней) поверхности. Если все поверхности выше неопределены, то значение моделируемой поверхности совпадает с значением в верхнем базовом слое.
3. В каждой ячейке, пересекающей профиль, считаем мощность каждого слоя и определяем долю от суммарной мощности.
4. Для каждого слоя проводим экстраполяцию доли мощности на всю сеть.

5. Так как в результате экстраполяции сумма долей мощностей может оказаться отличной от 1, то проводим нормировку, так чтобы сумма долей в каждой ячейки была равна 1.
6. Теперь, зная долю мощности каждого слоя, считаем абсолютные значения глубин для каждой ячейки в слое, тем самым восстанавливая поверхности.

В результате работы утилиты, реализующей предложенный алгоритм, мы получаем файл ТОС, содержащий как исходные базовые двумерные сети, так и результирующие восполненные для искомым горизонтов. Далее эти поверхности пользователь может корректировать другими инструментами ГИС INTEGRO.

**Включение в ГИС INTEGRO**

Технология моделирования автоматизирована и включена в систему ГИС INTEGRO.

При этом специалист, работающий с системой, может подготовить данные для работы в проекте ГИС INTEGRO и имеет возможность выбрать, на какие профильные данные опираться, какие поверхности в качестве базовых будут участвовать в расчете. Это позволяет оперативно получать различные варианты наборов поверхностей моделируемой территории, опираясь на различные результаты профильного моделирования.

Интерфейс программного решения представлен на рис. 3.

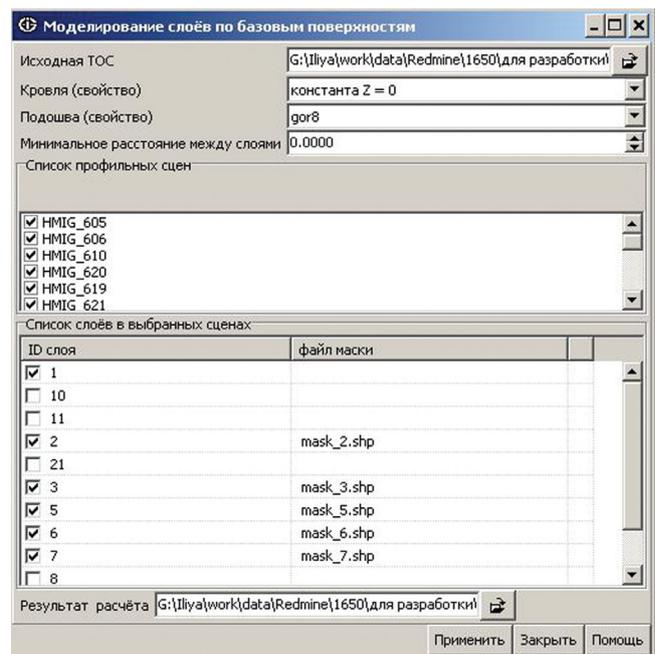


Рис. 3. Интерфейс утилиты с набором исходных данных

Fig. 3. Utility interface with a set of source data

**Заключение**

Данная технология была использована для детализации плотностной 3D-модели верхних 15 км мезозойско-кайнозойского комплекса центральной части Енисей-Хатангского прогиба (рис. 4). По принципу подобия мезозойский чехол разбивался на 6 слоев, выделенных на сейсмических разрезах. По сейсмическим разрезам вычисляются доли, занимаемые каждым из слоев. Эти доли восполнялись на всю территорию, а далее переводились в глубины в соответствии с глубиной залегания кровли палеозойского основания (без изменения геометрии на сейсмических разрезах). Благодаря предложенной технологии были построены структурные карты в условиях небольшого объема априорных данных, которые в последующем использовались при создании слоисто-градиентной плотностной 3D-модели.

Авторами предложен и реализован метод моделирования структурных карты в условиях небольшого объема априорных данных.

В дальнейшем планируется улучшить результаты моделирования за счет включения в алгоритм дополнительных типов опорных данных, в частности информацию о разломах и отбивки из базы скважин в формате ГИС INTEGRО [2].

**Ключевые слова:** ГИС INTEGRО, Енисей-Хатангский прогиб, структурна карта, сеть профилей, моделирование, сцена «профиль».

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Любарев И.А. Разработка интерфейса блока Геофизика ГИС ИНТЕГРО // Геоинформатика. – 2012. – № 3. – С. 36-41.
2. Дровнинов Д.А. Работа со скважинной информацией в ГИС ИНТЕГРО // Геоинформатика. – 2017. – № 1. – С. 3-10.
3. Мицын С.В., Ососков Г.А. Экстраполяция сеточных моделей геофизических полей методом конечных разностей // Геоинформатика. – 2016. – № 3. – С. 29-34.

**REFERENCES**

1. Lyubarev I.A. Development the interface block Geophysics GIS INTEGRО // Geoinformatics. 2012. No. 3. P. 36-41.
2. Drovninov D.A. Development the interface block Geophysics GIS INTEGRО // Geoinformatics. 2017. No. 1. P. 3-10.
3. Mitsyn S.V., Ososkov G.A. Finite difference method for numerical extrapolation of grid models of geophysical fields // Geoinformatics. 2016. No. 3. P. 29-34.

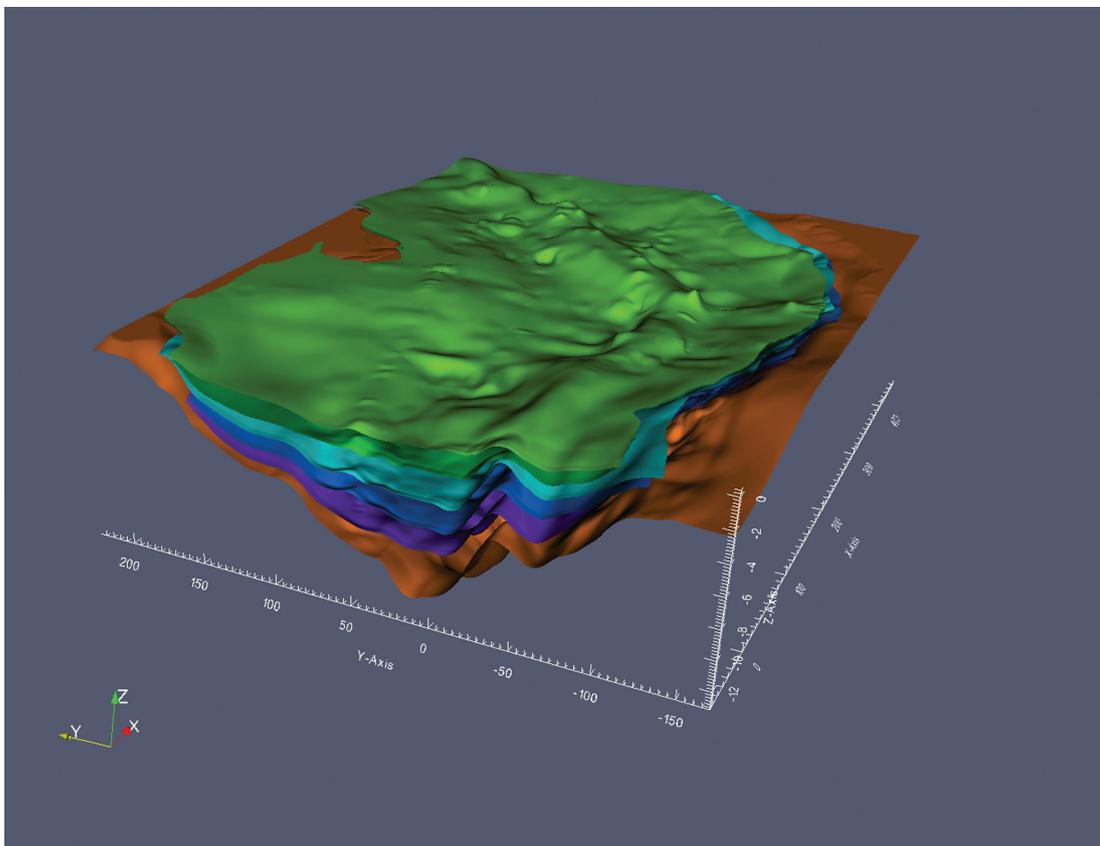


Рис. 4. Результат работы алгоритма на примере центральной части Енисей-Хатангского прогиба

Fig. 4. The result of the algorithm on the example of the Central part of the Yenisei-khatang deflection