

*М. О. Мамыкин<sup>1\*</sup>, В. В. Лапковский<sup>1,2</sup>*

## **Реализация 3D отображения геолого-геофизических объектов в среде W-SEIS**

<sup>1</sup> Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Российская Федерация

<sup>2</sup> Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация

\* e-mail: m.mamykin.2023@stud.nstu.ru

**Аннотация.** Модуль интерактивной трёхмерной визуализации геолого-геофизических объектов для интерпретационной среды W-SEIS реализован на языке C++. При его создании был использован набор, свободно распространяемых библиотек с открытым кодом VTK (Visualization Toolkit). Взаимодействие с моделями интерпретации сейсмических и скважинных данных осуществляется через так называемый слой совместимости (разработка НГУ), в котором обеспечивается управление потоками данных напрямую между приложениями на основе TCP протокола. Через среду совместимости отслеживаются сигналы об изменении видимости объектов и параметров их изображения. Для визуализации скважин как один из новых приемов применена технология RGB смешивания выбранных каротажных кривых. Что позволяет визуально анализировать различия слоистых толщ в трехмерном пространстве. Трёхмерная визуализация геологических поверхностей и сейсмических разрезов облегчает анализ имеющихся в проекте информации. Объекты W-SEIS нельзя сразу преобразовать в трёхмерные модели с помощью VTK. Для этого созданы специальные классы, объединяющие данные из W-SEIS и параметры их отображения. При этом благодаря технологии передачи и получения сигналов между приложениями реализовано синхронное отображение геолого-геофизических моделей в разных окнах в 2D и 3D представлениях.

**Ключевые слова:** 3D геологическое моделирование, 3D интерактивная визуализация, автоматизированное проектирование, интерпретация сейсмических данных

*М. О. Мамыкин<sup>1\*</sup>, V. V. Lapkovsky<sup>1,2</sup>*

## **Implementation of a 3D Display of Geological and Geophysical Objects in the W-SEIS Environment**

<sup>1</sup> Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>2</sup> Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation

\* e-mail: m.mamykin.2023@stud.nstu.ru

**Abstract.** The module of interactive three-dimensional visualization of geological-geophysical objects for the interpretational environment W-SEIS is implemented in C++. In its creation, a set of freely distributed open-source libraries VTK (Visualization Toolkit) was used. Interaction with seismic and well data interpretation models is carried out through a so-called compatibility layer (developed by Novosibirsk State University), which provides data flow management directly between applications based on TCP protocol. The compatibility environment tracks signals about changes in the visibility of objects and parameters of their representation. To visualize wells, the technology of RGB blending of selected well log curves is applied as one of the new techniques, allowing for visually

analyzing differences in layered strata in three-dimensional space. Three-dimensional visualization of geological surfaces and seismic sections facilitates the analysis of existing information in the project. W-SEIS objects cannot be directly converted into three-dimensional models using VTK. For this purpose, special classes have been created that combine data from W-SEIS and parameters of their visualization. Thanks to the technology of signal transmission and reception between applications, synchronous display of geological-geophysical models in different windows in 2D and 3D representations is implemented.

**Keywords:** 3D geological modeling, 3D interactive visualization, aided design, seismic data interpretation

### *Введение*

Трёхмерная визуализация геолого-геофизических объектов играет важную роль на всех этапах исследования недр земли, при поиске и разведке полезных ископаемых, при планировании их добычи. Визуальные модели позволяют совместить в единых изображениях разнородную информацию, такую как сейсмические разрезы и кубы, числовые модели поверхностей слоев, положение разрывных нарушений, данные по траекториям пробуренных скважин, результатам их испытаний и геофизических исследований. Это может позволить интерпретатору выявить неочевидные связи в совокупности разнородной информации. Подобные средства визуализации являются обязательным инструментом в программных комплексах индустриальных лидеров в нефтегазовой геологии и геофизике. Они представлены в Petrel Schlumberger [1, 2, 3], iHS Kingdom, CGG [4, 5], в отечественных системах, например, в tNavigator от Рок Флоу Динамикс [6], а также во многих других продуктах, опыт использования которых для создания 3D геолого-геофизических моделей представлен в [7-14].

В связи с активным развитием отечественной среды W-SEIS для обработки и интерпретации сейсмических и скважинных данных, возможности трёхмерной визуализации были реализованы в этом продукте.

### *Методы и материалы*

W-SEIS – разрабатывается в Институте нефтегазовой геологии и геофизике им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (ИНГГ СО РАН) в консорциуме с Новосибирским государственным университетом (НГУ). Программное обеспечение является кроссплатформенным (работает на всех видах операционных систем, включая операционные системы российского производства), обладает высокой производительностью и предъявляет минимальные системные требования к компьютерному оборудованию. Некоторые модули реализованы как клиент-сервисные приложения. Для трёхмерной визуализации данных и моделей разрабатывается самостоятельное приложение на языке C++ с использованием набора библиотек графического представления научных данных с открытым исходным кодом – VTK. Приложение получает из интерпретационных модулей W-SEIS всю информацию, и формирует на её основе трёхмерные изображения. Передача информации осуществляется, минуя

файловые структуры или базы данных. По запросу приложения в оперативной памяти формируется согласованная структура, затем слепок памяти через установленное соединение отдается в графический модуль. Эта технология реализована на основе протокола TCP, прямая передача данных наиболее эффективна, и пользователь её не ощущает. Для работающего в среде W-SEIS интерпретатора все выглядит как единый процесс согласованного отображения моделей одновременно в нескольких окнах.

### *Результаты*

Ниже приведено описание технологии построения изображений для поверхностей, заданных числовыми моделями на регулярных прямоугольных сетках (гридами) и данных каротажа скважин. Для того, чтобы отобразить поверхность необходимо получить её числовую модель. Координаты узлов регулярной сети передаётся из W-SEIS в виде двумерного массива вместе с их высотами. Сетка регулярная и её узлы находятся равноудаленно между собой в плоскости XY. Некоторые узлы могут не содержать реальных отметок высот поверхности, в этом случае им приписывается значение константы незаданного поля. Для получения и использования этих данных создан специализированный класс – GridReader.

В VTK отсутствует функционал для создания трёхмерных изображений поверхностей напрямую из данного формата. Поэтому был разработан класс GridFabric, который осуществляет преобразования данных о поверхности в трёхмерный объект. Алгоритм начинает работу со второго ряда точек. Он проверяет стоят ли рядом 4 точки, если да, то формируется на основе их высот четырёхугольный полигон, так проверяя весь ряд и переходя на следующий. Получается трёхмерная сетка, состоящая из четырёхгранных полигонов, вершины которых равноудалены между собой в плоскости XY, но имеющие разные высоты. Каждая точка имеет свой цвет, в соответствии с высотой и алгоритмом окрашивания – палитрой, которая также передаётся из W-SEIS. Цвет между точками интерполируется. В связи с тем, что отображение поверхностей может занимать значительный объём памяти при большом количестве узлов, планируется реализовать методы их упрощенного представления для оптимизации потребления памяти.

Для того чтобы управлять трёхмерной сценой создан класс SceneController, который загружает данные, отображает, проверяет их каждые полсекунды и обновляет при изменении в W-SEIS. Как данные самих поверхностей, так и сигналы об изменении их видимости или параметров отображения передаются непосредственно в модуль визуализации через установленное соединение. При загрузке данных инициализируются виджеты для изменения вертикального масштаба, полосы загрузки, указателя ориентации, координатной сетки (рис. 1).

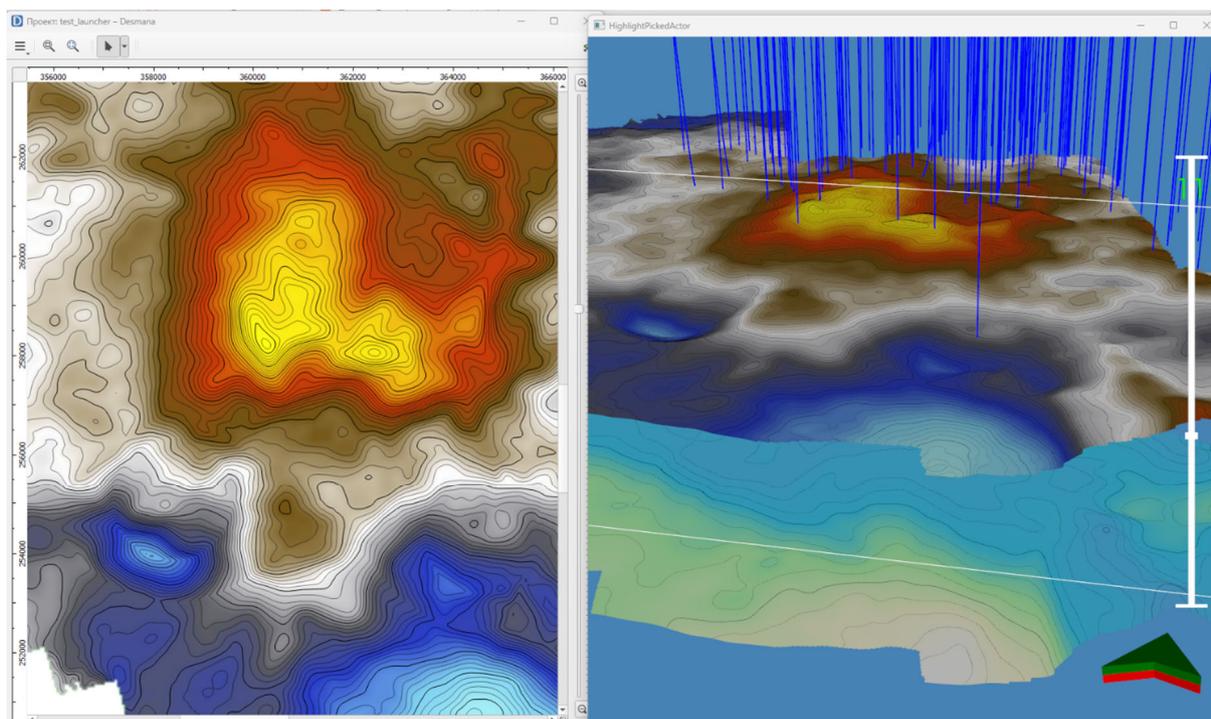


Рис. 1. 3D визуализация поверхностей и скважин в режиме синхронизации с 2D графикой

На рис. 1 показано, что 2D и 3D сцены синхронизированы по используемой палитре. При изменении расцветки на карте соответствующее изменение происходит на объемном рисунке. Такая синхронизация облегчает идентификацию объектов в разных окнах, то есть облегчает понимание того, какая точка одного изображения соответствует другому.

За загрузку данных и отображение скважин отвечают классы – WellReader, WellFabric соответственно. Данные из W-SEIS принимаются в виде массива точек траектории скважины, с различными характеристиками. Из этих точек в трёхмерной сцене создаются линии скважин. Отображение каротажных данных на трехмерных сценах достаточно нетривиальная задача. В Petrel Schlumberger, например, можно выводить залитые переменным цветом графики каротажных кривых рядом со скважинами. Но при одновременной визуализации нескольких типов каротажа, эти графики накладываются друг на друга, что затрудняет их восприятия – рис. 2. На данном рисунке показаны три вида каротажных кривых – гамма-гамма плотностной каротаж, нейтронный каротаж на тепловых нейтронах и гамма-каротаж.

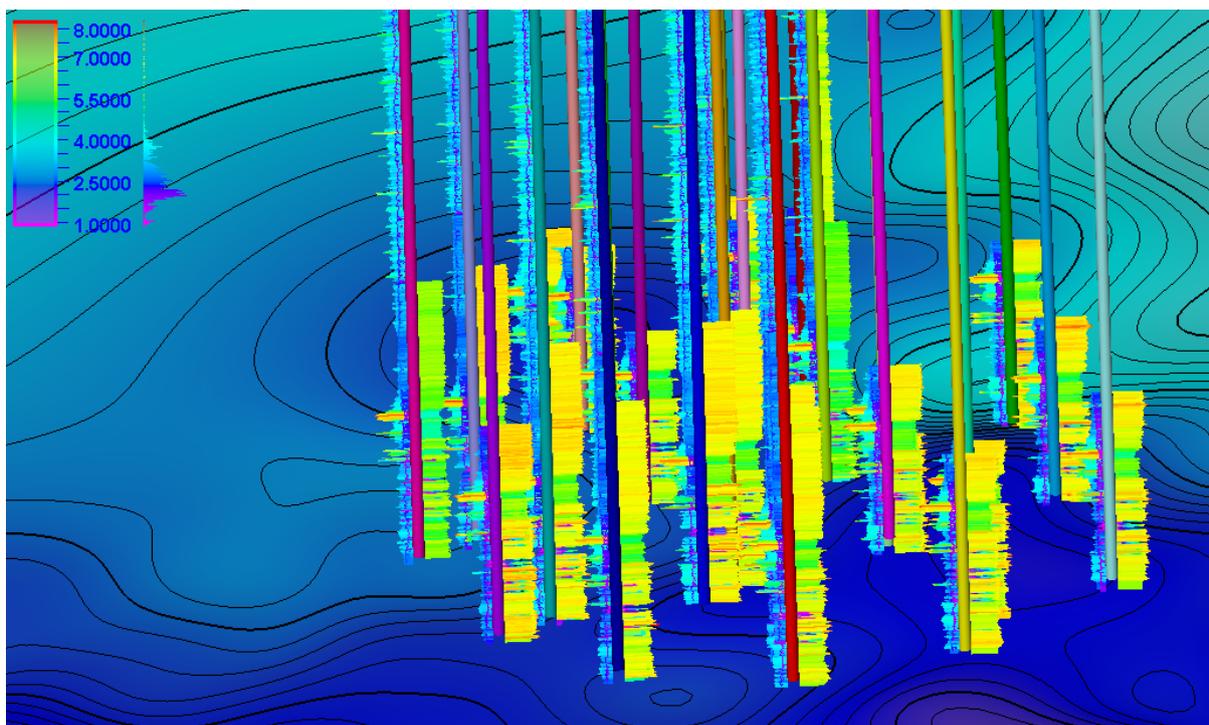


Рис. 2. 3D визуализация скважин и их каротажных данных в Petrel

Мы решили использовать иную технологию совместного представления каротажных кривых скважин. В сейсморазведке успешно применяется метод RGB смешивания для представления результатов спектральной декомпозиции в разных частотных областях, который позволяет диагностировать неочевидные особенности волнового поля, такие как наличие русловых фаций или рифовых построек. Этот подход мы использовали для одновременного отображения до трех различных каротажных кривых. В приложении выбираются до трех видов каротажа, каждый из которых ассоциируется с одним из цветов кодировки RGB. Интенсивность каждого цвета зависит от значения каротажа на некоторой глубине в скважине. Слева на рис. 3 отображение каротажных кривых скважин в W-SEIS, справа – отображение их в 3D виде. Каждая кривая преобразуется в стандартную случайную величину со средним значением равным 0 и стандартным отклонением 1, затем для диапазона от -2 до +2 ей приписывается интенсивность цвета от 0 до 255 RGB кодировки. На рисунке хорошо видны (особенно при интерактивном увеличении деталей) особенности строения толщи осадков, и пространственное положение участков с аномальными свойствами. Баженовская свита проявляется горчичным цветом в верхней части изученного каротажем интервала разреза. Интенсивно красные тонкие черточки ниже соответствуют угольным пластам.

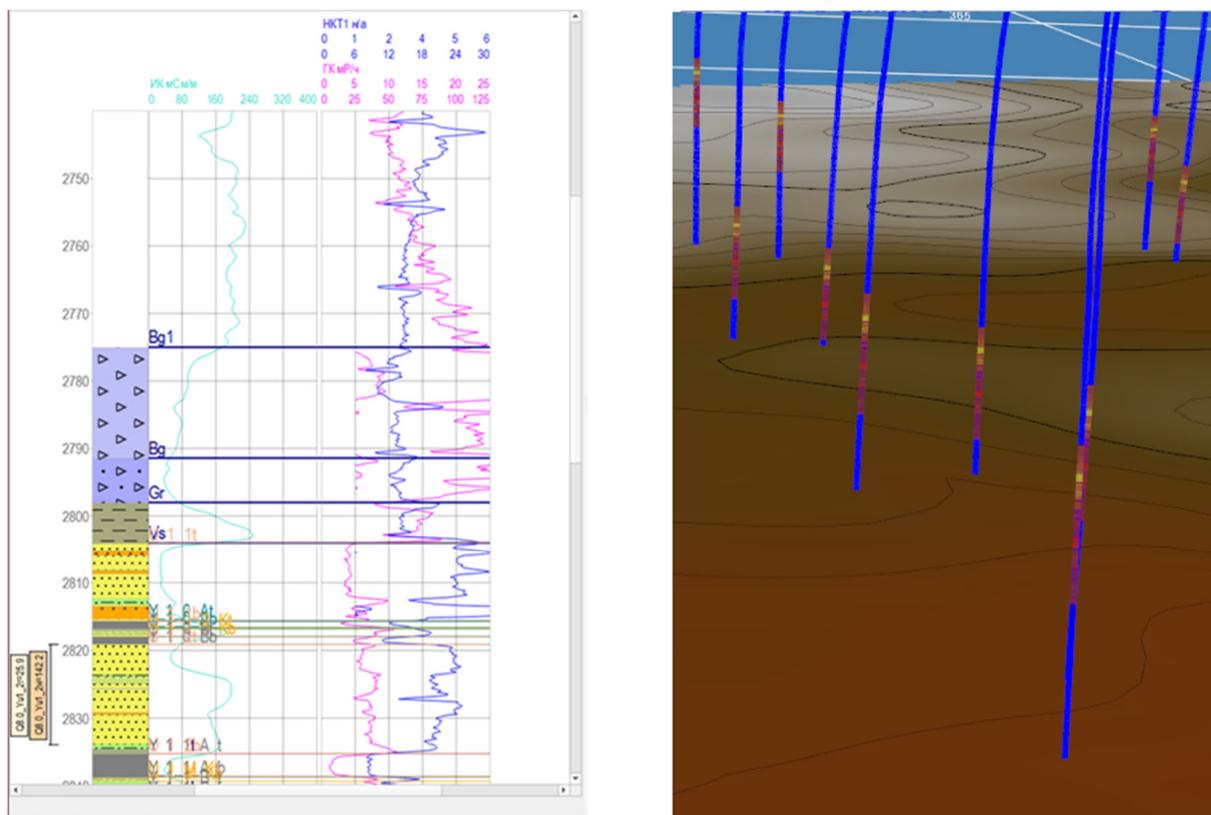


Рис. 3. 3D визуализация характеристик скважин с помощью цвета:  
GR – красная компонента, NKT1 – зелёная, IK – синяя компонента цвета

### *Заключение*

Благодаря трёхмерной визуализации, были расширены возможности визуальной интерпретации в среде W-SEIS. В ближайшие планы команды разработчиков входит построение изображений сейсмических разрезов и кубов, моделей разрывных нарушений и других объектов.

### *Благодарности*

Работа выполнена в рамках научной темы FWZZ-2022-0009 «Цифровые геолого-геофизические модели и оценка перспектив нефтегазоносности осадочных бассейнов Арктической зоны Сибири и республики Саха (Якутия); усовершенствование геолого-геофизических методов исследований» Государственной программы ФНИ.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Mohammed A. Khashman. 3D Geological Modeling with Petrel Software: Estimating Original Oil in Place of Lower Cretaceous Y- Formation: A Case Study in a Selected Oilfield // Research Square. – 2023.
2. Al-Baldawi B. A., Building a 3D geological model using petrel software for Asmari reservoir, south eastern Iraq // Iraqi Journal of Science. – 2015. – P. 1750-1762.
3. Kadhim N. A., Farman G. M. Advanced Geostatistical Techniques for Building 3D Geological Modeling: A Case Study from Cretaceous Reservoir in Bai Hassan Oil Field // The Iraqi Geological Journal. – 2023. – P. 214-227.

4. Электронный ресурс: Subsurface Imaging. Режим доступа: <https://www.cgg.com/geoscience/subsurface-imaging>.
5. Электронный ресурс: HampsonRussell. A comprehensive suite of reservoir characterization tools. Режим доступа: <https://www.cgg.com/sites/default/files/2020-12/Hampson-Russell%20Overview.pdf>.
6. Электронный ресурс: Rock Flow Dynamics. Режим доступа: <https://rfdyn.ru/modules/dizajner-geologii/>.
7. Li M., Han Y., Miao Z., Gao W. Alternative 3D modeling approaches based on complex multi-source geological data interpretation // Transactions of Tianjin University. – 2014. – Vol. 20. – P. 7-14.
8. Che D. et al. 3D urban geological modeling and its application in cbd beijing // Urban Planning and Development. – 2015. – P. 145-153.
9. Mao P. et al. 3-D Geological Modeling–Concept, Methods and Key Techniques // Acta Geologica Sinica – English Edition. – 2012. – Vol. 86. – № 4. – P. 1031-1036.
10. Che D., Jia G., Jia Q. Key technology of 3D geosciences modeling in coal mine engineering // Journal of Shanghai Jiaotong University (Science). – 2015. – Vol. 20. – P. 21-25.
11. Aswar D. S., Ullagaddi P. B. An Overview of 3-D Geological Modelling, Part III Software Applications in 3-D Geological Modelling // International Journal of Latest Engineering and Management Research. – 2017. – Vol. 2. – № 11. – P. 28-38.
12. Yan-lin S., Ai-ling Z., You-bin H., Ke-yan X. 3D Geological Modeling and Its Application under Complex Geological Conditions // Procedia Engineering. – 2011. – Vol. 12. – P. 41-46.
13. Yuan L., Yu Z., Luo W., Zhou L., Lü G. A 3D GIS spatial data model based on conformal geometric algebra // Science China Earth Sciences. – 2010. – Vol. 54. – P. 101-112.
14. Gong J., Cheng P., Wang Y. Three-dimensional modeling and application in geological exploration engineering // Computers & Geosciences. – 2012. – Vol. 96. – № 4. – P. 391-404.

© М. О. Мамыкин, В. В. Лапковский, 2024