

## 2. ТЕХНОЛОГИИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

---

*В.П. Астафьев, А.А. Ступников*

*Тюменский Государственный Университет, г. Тюмень*

**УДК 004.942**

### **ПРОГРАММНАЯ ПОДДЕРЖКА ПРОВЕДЕНИЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ОСНОВЕ КВАЗИТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

**Аннотация.** В статье представлен вариант решения изучения гидрогеохимических условий путём построения трехмерных моделей гидрогеохимического компонента на базе квазитрехмерного моделирования.

**Ключевые слова.** автоматизация, квазитрехмерное моделирование, гидрогеологические исследования.

#### **Введение**

В данное время при проведении гидрогеологических исследований можно выделить ряд особенностей и недостатков, которые снижают эффективность этих исследований: при изучении пространственных закономерностей изменения гидрогеохимических условий приходится работать с большим объемом информации. Использование имеющихся программных средств, при пространственном анализе данных гидрогеологических компонентов, например, при помощи построения карт и разрезов (рисунок 1), осложняется не только значительной неравномерностью изученности подземных вод, фрагментарностью данных, невысокой их достоверностью, но и необходимостью учета структурно-литологического строения отложений, и других факторов. В

связи с этим актуально построение трехмерных моделей изменения гидрогеохимического компонента.

На текущий момент существует метод квазитрехмерного моделирования, в рамках которого моделируется изменение гидрогеохимического компонента по оси глубины в отдельных точках (профилях), путём построения двумерных радиальных профилей, на которые проецируются в заданном радиусе измерения моделируемого компонента, затем данные радиальных профилей преобразуются в регулярные сетки с помощью вариационно-сеточного метода геокартирования [1], что позволяет строить трехмерные регулярные сетки, в узлах которых находятся смоделированные гидрогеохимические компоненты, что представлено на рисунке 2.

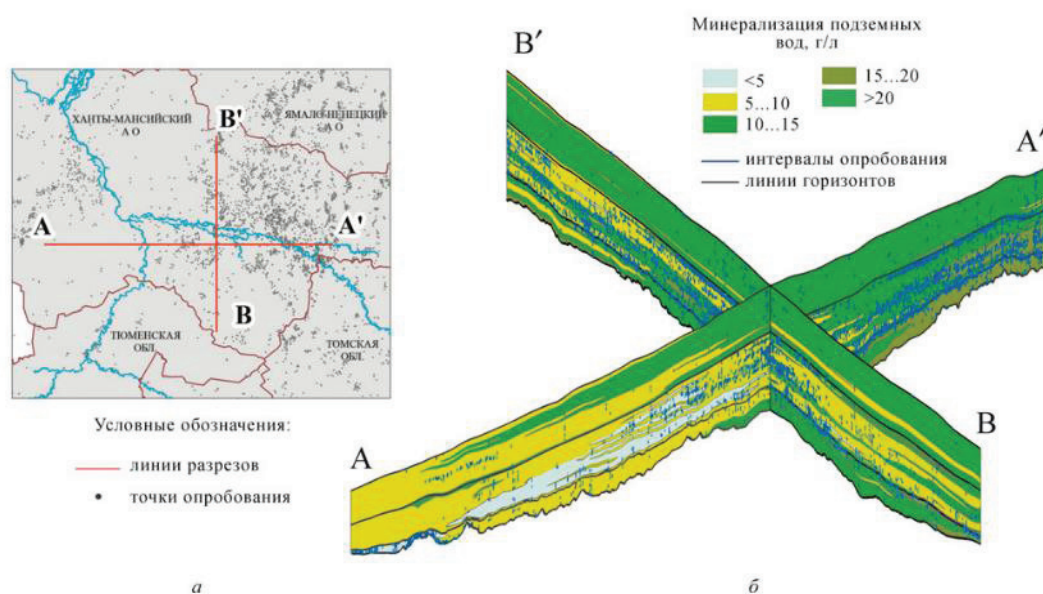


Рис. 1. Изменение минерализации подземных вод (а – обзорная карта линий разрезов, б – изменение минерализации по линиям разрезов) [2].

Для реализации трехмерной компонентной модели используется трехмерная сетка, построенная для отдельного компонента, и функция интерполяции (в рамках данной работы под моделью подразумевается систематизированный набор данных и функционал для интерполяции значения компонента).

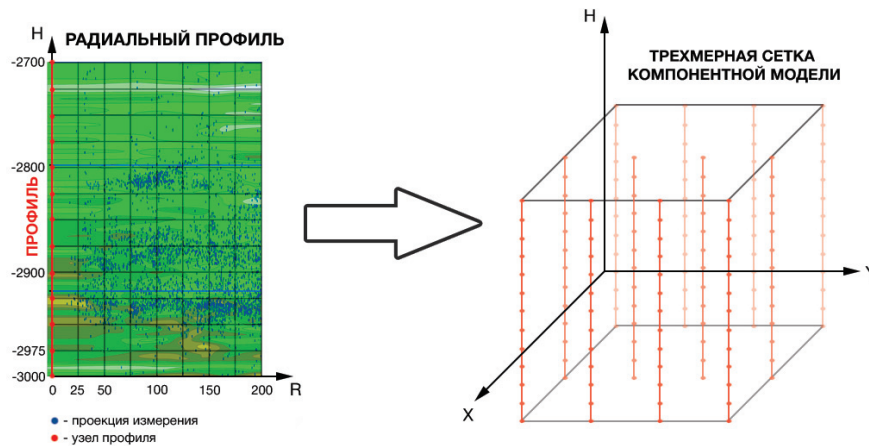


Рис. 2. Использование квазитрехмерного моделирования для построения трехмерной сетки компонентной модели.

В данных условиях актуальным является создание программной поддержки для автоматизации процесса создания трехмерной модели гидрогеохимического компонента, и использования этих моделей для изучения и описания гидрогеохимических условий.

### Формализация трехмерной модели

Гидрогеохимическая модель образуется из множества компонентных моделей:

$$\text{ГХМ} = \{\text{КМ}_k\}$$

В результате квазитрехмерного моделирования получаем множество профилей:  $\{P_0, P_1 \dots P_m\}$ , каждый профиль приурочен к некоторой двумерной координате  $(x, y)$  и имеет множество узлов, в которых содержится информации об абсолютной высоте (глубина относительно уровня моря) расположении узла, смоделированном значении, и коэффициенте устойчивости (показывает степень обеспеченности смоделированного значения фактическими данными):  $\{(h, v, s)\}$ . Таким образом трехмерную сетку модели можно представить как множество всех узлов всех профилей:  $\{(x, y, h, v, s)\}$ . Структура сетки представлена на рисунке 3.

Причём все абсолютные высоты трехмерной сетки образуют такое глобальное множество  $\{h_0, h_1, \dots, h_i\}$ , где  $h_i - h_{i-1} = const$ , при этом узлы профиля согласованы по абсолютной высоте, но не обязательно покрывают эквивалентные интервалы по абсолютной высоте:

$$\{h_0, h_1, \dots, h_j\} \in P_m, \quad h_j - h_{j-1} = const,$$

$$\{h_0, h_1, \dots, h_j\} \subseteq \{h_0, h_1, \dots, h_i\}$$

В свою очередь все  $x$  и  $y$  образуют такие глобальные множества  $\{x_0, x_1, \dots, x_n\}$  и  $\{y_0, y_1, \dots, y_m\}$ , где  $x_n - x_{n-1} = y_m - y_{m-1} = const$ , при этом множество точек выстроенных в линию как по оси X, так и по оси Y  $\{(x, y)\}$  не обязательно включает пограничные координаты:

$$\{x_0, x_1, \dots, x_k\} \in \{(x, y)\}, \quad x_k - x_{k-1} = const,$$

$$\{x_0, x_1, \dots, x_k\} \subseteq \{x_0, x_1, \dots, x_n\}$$

$$\{x_0, x_1, \dots, y_l\} \in \{(x, y)\}, \quad y_l - y_{l-1} = const,$$

$$\{y_0, y_1, \dots, y_l\} \subseteq \{y_0, y_1, \dots, y_m\}$$

Для интерполяции значения (компонента или коэффициента устойчивости) в любой точки области моделирования (не соответствующей какому-либо узлу) используется расчёт средневзвешенного значения (компонента или коэффициента устойчивости) ближайших узлов.

Пусть  $V$  – это искомое значение либо компонента  $v$ , либо коэффициента устойчивости  $s$ , в некоторой точке  $(x, y, h)$ . Тогда  $V = \sum(V_n * w_n) / wSum$ , где  $V_n \in \{V_0, V_1 \dots V_m\}$ ,  $\{V_0, V_1 \dots V_m\}$  – множество значений ближайших узлов трехмерной сетки:  
 $x_m - XYStep \leq x_m \leq x_m + XYStep$ ,  $y_m - XYStep \leq y_m \leq y_m + XYStep$ ,  
 $h_m - HStep \leq h_m \leq h_m + HStep$ , здесь  $(x_m, y_m, h_m)$  – трехмерные координаты узла со значением  $V_m$ ,  $XYStep$  – горизонтальный шаг,  $HStep$  – вертикальный шаг (по оси абсолютной высоте);

$w_n = \frac{1}{(x-x_n)^2 + (y-y_n)^2 + (h-h_n)^2}$  – это вес соответствующий  $V_n$ , который

равен единице деленной на квадрат расстояния между точками  $(x, y, h)$  и  $(x_n, y_n, h_n)$ ; а  $wSum = \sum\{w_0, w_1 \dots w_m\}$  – это сумма весов всех значений ближайших узлов. Схема интерполяции представлена на рисунке 3.

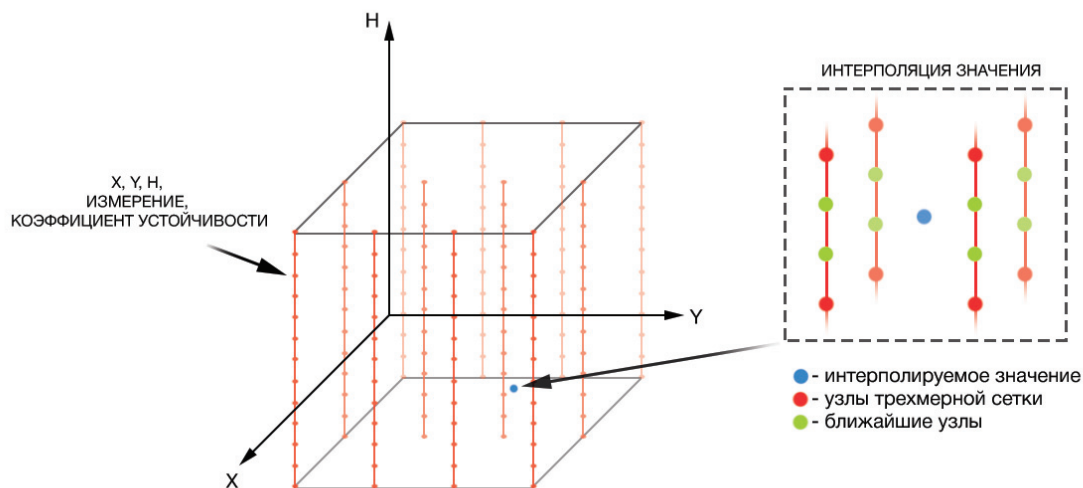


Рис. 3. Трехмерная компонентная модель.

### Оценка точности квазитрехмерного моделирования

На данный момент производилась только экспертная оценка трехмерных моделей (с позиции гидрогеологической достоверности полученных результатов) [2], в связи с чем актуально выполнение оценки точности самого метода квазитрехмерного моделирования. Оценка точности производится с помощью расчёта средней ошибки аппроксимации.

В процессе оценки произведённое несколько серий экспериментов, в рамках которых варьировались условия генерации входных данных. В рамках всех проведенных серий, ошибка не превышала 10%, что является удовлетворительным результатом.

### Реализация программной поддержки

Программная поддержка реализована как модуль, в составе программного комплекса Rack, использующий платформу .Net Core, и

язык программирования C#. На данный момент модуль имеет следующие основные функциональные возможности:

- серийное построение компонентных трехмерных моделей;
- подготовка данных для построения карт и разрезов;
- сохранения и загрузка компонентных моделей.

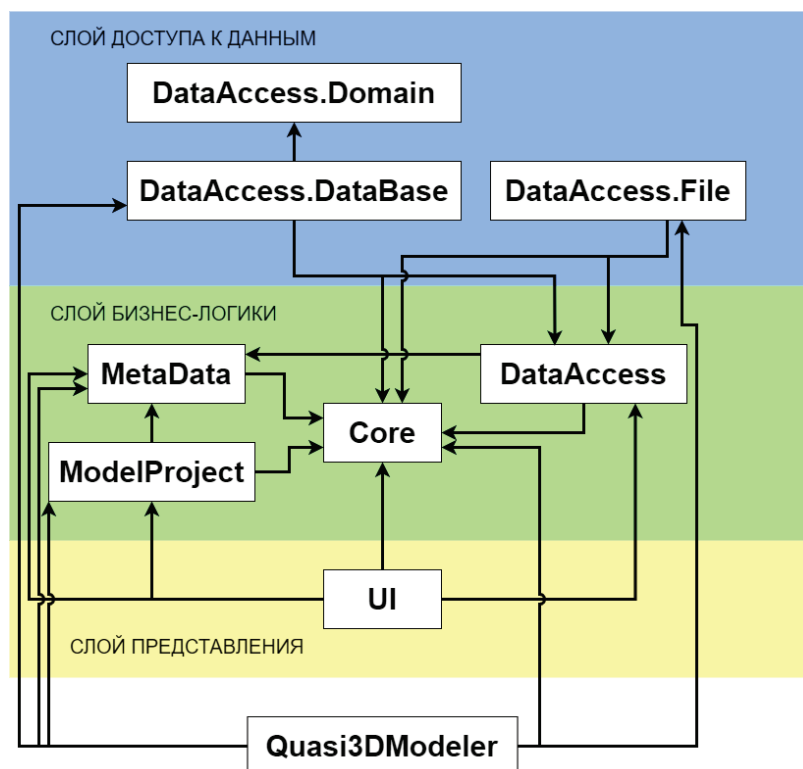


Рис. 4. Архитектура модуля.

Модуль имеет трехслойную архитектуру, каждый слой может включать несколько сборок, каждой сборке делегирован свой определенный круг задач (рисунок 4). Сборка `Quasi3DModeler` – является точкой входа в модуль, где происходят все необходимые настройки для работы модуля, и где реализуется интеграция модуля в комплекс. `Core` – включает в себя основную бизнес-логику. `ModelProject` – содержит сущности и логику для сохранения проекта трехмерной модели (трехмерная модель и история построения модели). `MetaData` – содержит сущности и логику по работу с метаданными входных данных, которые актуальны при чтении этих данных и сохранении проекта трехмерной

модели. DataAccess – определяет абстракции сервисов для чтения данных, которые реализуются в слое доступа к данным.

### **Заключение**

На данный момент модуль внедрен в программный комплекс Rack в лаборатории геологии нефти и газа (ЛГНиГ) Западно-Сибирского филиала Института Нефтегазовой Геологии и Геофизики им. А. А. Трофимука, и используется узким кругом пользователей в тестовом режиме.

Планируется активное развитие модуля: реализация подбора оптимальных параметров, модернизация системы сохранения трехмерных моделей, моделирование не только гидрогеохимических параметров, учёт геодинамических и литологических условий, создания модифицированного метода квазитрехмерного моделирования, использующий, при построении трехмерных моделей, другие трехмерные модели.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Плавник А.Г., Картирование свойств геологических объектов на основе сплайн-аппроксимационного подхода [Текст], / Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Новосибирск, 2013. – 248 с.

2. Ицкович М.В. Метод построения согласованной квазитрехмерной модели изменения гидрогеохимических условий глубоких горизонтов [Текст] / М.В. Ицкович, А.Г. Плавник // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – Москва, 2018. – Вып. 2. – С. 23-31.