

ИНФОРМАТИВНОСТЬ АДАПТИВНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ГИС ПРИ ГЕОМОДЕЛИРОВАНИИ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ ЭФФЕКТИВНОГО ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА

Кожневников Д.А. (РГУ НГ им. И.М. Губкина), Коваленко К.В. (РГУ НГ им. И.М. Губкина), Дешененков И.С. (РГУ НГ им. И.М. Губкина)*

Введение

Опыт применения и практика геологического моделирования свидетельствуют о возникновении **проблемы адекватности 3D флюидодинамических моделей реальным геологическим объектам**. Проявилась ненадежность эмпирических методик и алгоритмов интерпретации данных ГИС.

Сказанное справедливо не только для методов ГИС. Широкое распространение 3D компьютерного моделирования, практика разработки месторождений нефти и газа привели к выявлению ряда некорректностей в методологии нефтегазовых исследований. В результате была обоснована необходимость перехода от традиционной концепции «абсолютного порового пространства» к концепции **«эффективного порового пространства»** [1,2]. Базисными параметрами в этой концепции являются эффективная пористость и эффективная проницаемость (проницаемость по нефти/газу при остаточной водонасыщенности).

Качество интерпретации данных ГИС определяется степенью использования физических законов, привлекаемых для решения прямых и обратных задач, построения интерпретационных моделей и алгоритмов. Точность и полнота извлекаемой количественной информации определяются степенью учета закономерностей физических полей в системе скважина-пласт, а также петрофизических законов, управляющих свойствами пород в условиях их естественного залегания.

В докладе представлена адаптивная технология интерпретации данных ГИС, которая является альтернативой традиционной эмпирической поправочной («палеточной») технологии. В основе адаптивной технологии лежат **новые методологические принципы** — **принцип** моделирования коллекторов на основе **петрофизической инвариантности и принцип адаптивности**, обеспечивающие резкое повышение точности и надежности благодаря подавлению разнообразных источников шумов и погрешностей. Результаты петрофизического моделирования способствуют выявлению и обобщению закономерностей, обнаруживающихся в многообразии накопленных эмпирических данных. В первую очередь, такие закономерности установлены для гранулярных коллекторов [3].

Применение **традиционных** петрофизических моделей методов ГИС для практической интерпретации осложняется тем, что свойства компонент коллектора априори неизвестны и не являются постоянными (константами) на каждом кванте глубины исследования. **Именно для преодоления этих трудностей нами разработана адаптивная интерпретация ГИС.**

Петрофизическое обеспечение адаптивной интерпретации

В адаптивной технологии интерпретационным и одновременно петрофизическим параметром методов ГИС является петрофизический инвариант Ψ (нормированные эффективная или динамическая пористости):

$$\Psi = \frac{K_{n.эф.}}{K_{n.эф.}^{max}} = \frac{K_{n.дин.}}{K_{n.дин.}^{max}}$$

Петрофизические модели, аналитически описывающие основные свойства гранулярного коллектора, сужают число управляющих параметров до трех синтетических: μ_0 (водоудерживающая способность матрицы), $\Delta\mu$ (то же для мономинерального глинистого цемента), M (пористость матрицы). При этом не происходит потери информации, и полнота описания многообразия ФЕС коллектора сохраняется. Петрофизическое моделирование актуально для перехода к количественному определению эффективной (динамической) пористости как **однозначному признаку коллектора**.

На основе моделирования устанавливаются закономерности петрофизических взаимосвязей, которые допускают обобщение многопараметрических зависимостей в виде существенного снижения числа аргументов, что позволяет вывести интерпретацию данных ГИС на алгоритмический уровень.

Структура адаптивной интерпретации данных комплекса ГИС

На эмпирическом уровне интерпретации данных ГИС петрофизические и интерпретационные зависимости строятся по статистическим сопоставлениям типа «кern-кern» и «кern-ГИС». Алгоритмы интерпретации имеют вид полиномиальных трендов с эмпирическими коэффициентами.

Для перехода от эмпирического уровня интерпретации на адаптивный алгоритмический уровень необходимо иметь петрофизические модели, позволяющие *предсказывать* результат по ограниченной априорной информации.

Это «интерактивная петрофизика» и «интерактивная интерпретация»: в процессе моделирования выявляются характеристические параметры коллектора, для которых определяются соответствующие показания методов ГИС, на которые (вместо «опорных» пластов) настраиваются алгоритмы адаптивной интерпретации. Петрофизическое моделирование проводится по данным керновых исследований или привлечением априорной петрофизической информации по объекту моделирования - при дефиците или отсутствии керновых данных.

Затем осуществляется однометодная интерпретация: переход от показания прибора к петрофизическим параметрам, например, от скоростей счета зондов ГГМ к объемной плотности породы, от показаний ГМ к урановому эквиваленту, и т.д. После чего происходит определение «характеристических параметров» коллекторов, но уже по данным ГИС (парные сопоставления петрофизических параметров каждого метода). На последнем этапе определяются фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС) неоднородных полиминеральных коллекторов. Полученные значения ФЕС передаются в геологическую модель.

Характеристические значения петрофизических параметров методов ГИС

Определение петрофизического инварианта по данным ГИС основано на соответствии характеристическим параметрам петрофизической модели коллектора характеристических значений физических свойств породы, отражающихся на показаниях методов ГИС. Петрофизическая модель коллектора (модель эффективной пористости) позволяет разделять коллекторы по величине водоудерживающей способности. Изменение эффективной пористости коллектора обусловлено изменением количества и состава цемента, что одновременно проявляется и в изменении объемной плотности, удельного электрического сопротивления, диффузионно-адсорбционной активности и т.д. Физические свойства коллекторов с высокой водоудерживающей способностью отличаются от тех, в которых цементация происходит за счет минералов с низкой водоудерживающей способностью.

Для обоснования практической реализации адаптивных алгоритмов на реальных скважинных данных построены теоретические модели, иллюстрирующие зависимость петрофизических параметров методов ГИС от свойств коллектора (в данном случае такими свойствами является эффективная пористости).

Анализ результатов моделирования свидетельствует: *«характеристическим» параметрам модели коллектора соответствуют «характеристические» значения физических свойств, определяемые по данным ГИС.*

На рис. 1А в качестве примера модельных связей петрофизических параметров методов комплекса ГИС (ГГМ, АМ, ННМ, ГМ и СП) с эффективной пористостью для трех значений водоудерживающей способности коллектора представлена связь $\delta_n(K_{пэф})$. На рис. 1Б — сопоставления «кern-ГИС», а также огибающие, соответствующие минимальной и максимальной водоудерживающей способности. Неопределенность знаний о минеральном составе пелитовой фракции вызывает дополнительные погрешности стандартного подхода к интерпретации данных ГИС. Адаптивная интерпретация лишена этого недостатка. Она позволяет получать достоверный результат в условиях ограниченной априорной информации о минеральном составе цемента. Требуется лишь определить

«характеристические» параметры. Это дает возможность существенно повысить точность и надежность решения обратной задачи.

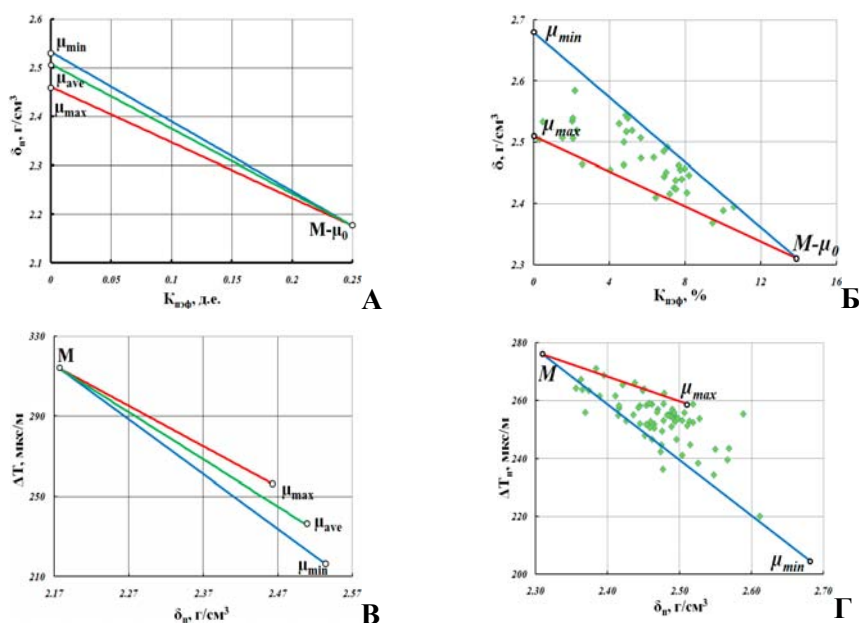


Рисунок 1. Определение характеристических параметров методов ГИС.

Сравнение априорных и адаптивных настроек интерпретационных моделей методов ГИС

Для сравнения априорных и адаптивных настроек для каждого из перечисленных пяти методов построены сопоставления пар результатов измерений (метод-метод) и рассчитаны огибающие для минимальной и максимальной водоудерживающих способностей. Пример априорной настройки сопоставлений методов АМ и ГГМ показан на рис.1В. На рис. 1Г приведен пример адаптивной настройки для этой же пары методов. Очевидно несовпадение априорной и адаптивной настроек, как по абсолютным значениям показаний, так и по диапазонам разброса точек, соответствующих реальному коллектору.

Приведенные примеры (рис.1Б,Г) в принципе отражают закономерности изменений показаний методов ГИС, в соответствии с моделью коллектора. При максимальной пористости (отсутствии глинизации) зависимости сходятся, а для различных значений μ расходятся, тем заметнее, чем больше неоднородность коллектора. Анализ этих сопоставлений свидетельствует о различии чувствительностей методов ГИС к изменениям эффективной пористости, что проявляется на расположениях модельных огибающих.

Распределение коллекторских свойств в трехмерном пространстве

Эффективная пористость для каждого метода ГИС вычисляется через величину петрофизического инварианта при соответствующей адаптивной настройке характеристических параметров. Значения результирующей эффективной пористости вычисляются как средневзвешенные по обратным дисперсиям результатов однометодной интерпретации. На рис. 2А представлено сопоставление эффективной пористости по керну с полученной эффективной пористостью по ГИС в интервале пласта ЮС одного из месторождений Западной Сибири. Общая относительная погрешность расчета менее 8 %.

Для интерполяции ФЕС в пространстве трехмерных структурных каркасов используются методы геостатистического моделирования. На рис.2Б показана трехмерная сетка по пласту БВ с распределением по ячейкам коллекторов (выделены светло-желтым) и неколлекторов (выделены зеленым). Оранжевой линией в пространстве куба отмечена поверхность профиля, по которой отображены сечения кубов эффективной пористости и проницаемости.

Пространственное моделирование распределения эффективной пористости и проницаемости, по сравнению с кубом общей пористости, повышает надежность прогноза ФЕС, что согласуется с концепцией **эффективного порового пространства**, которая предопределяет необходимость достоверного подсчета геологических запасов нефти и газа, на основе более углубленных исследований пластов и создания реалистичных 3D геологических и 3D гидродинамических моделей продуктивных пластов.

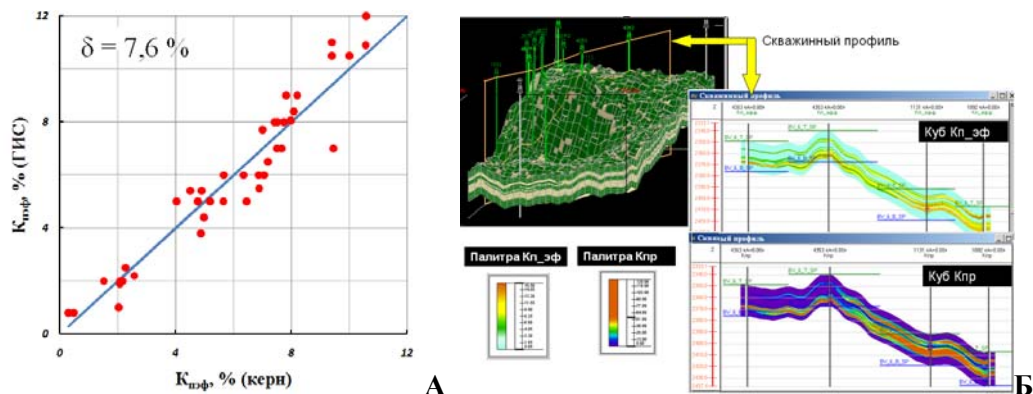


Рисунок 2. А - сопоставление эффективной пористости по керну с полученной эффективной пористостью по ГИС, пласт ЮС; Б - трехмерная сетка по пласту БВ и сечения кубов эффективной пористости и проницаемости

Результаты и выводы

Для сложных коллекторов в качестве основного интерпретационного параметра методов ГИС целесообразно рассматривать эффективную пористость (петрофизический инвариант). Адаптивная методика основана на петрофизической модели гранулярного коллектора и настраивает интерпретационные алгоритмы по показаниям, зарегистрированным в условиях естественного залегания.

Использование адаптивной методики в технологиях геологического моделирования повышает достоверность прогноза ФЕС коллекторов. При этом радикально упрощается проблема стандартизации данных ГИС и исключаются погрешности, возникающие при обработке данных, полученных в разное время по большому числу скважин с помощью аппаратуры с различными метрологическими характеристиками.

Применение адаптивной интерпретации данных ГИС в программных комплексах геомоделирования представляет **инновационное** направление развития геоинформационных технологий, ориентированное на развитие **геологического интеллекта** интерпретирующих систем (методического, петрофизического и интерпретационно-алгоритмического обеспечения ГИС).

Литература

1. Закиров С.Н., Закиров Э.С., Индрупский И.М. [2006] Новые представления в 3D геологическом и гидродинамическом моделировании. *Нефтяное хозяйство*, 1.
2. Закиров С.Н., Индрупский И.М., Закиров Э.С. и др. [2009] Новые принципы и технологии разработки месторождений нефти и газа. Часть 2. – Ин-т компьютерных исследований. *НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика»*.
3. Кожевников Д.А. [2001] Петрофизическая инвариантность гранулярных коллекторов. *Геофизика*, 4.
4. Кожевников Д.А., Коваленко К.В. [2007] Моделирование гранулярных коллекторов на основе петрофизической инвариантности. *Картажский*, 161
5. Д.А.Кожевников, К.В.Коваленко, Н.Е.Лазуткина, З.Н.Жемжурова, М.А.Сафронов . [2010] Адаптивная интерпретация данных ГИС в моделировании месторождений нефти и газа. *Нефтяное хозяйство*, (в печати).