

УДК 550.832

М.Б. Матушкин, А.Г. Черников

ПАКЕТНАЯ ОБРАБОТКА ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ГЕОЛОГО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Рассмотрена работа с ПХГ, как объектами, для которых характерен, длительный срок их функционирования, а также значительный фонд скважин различного технологического назначения. Авторы предлагают эффективный подход к работе с такими объектами — пакетную обработку. На основе принципов системного анализа разработан алгоритм пакетной обработки и интерпретации. Приведены процедуры нормализации, увязки «ГИС-Керн», построения петрофизической модели пласта-коллектора. Показаны примеры реализации этих алгоритмов.

Ключевые слова: геология, геофизика, каротаж, моделирование, автоматизация, пакетная обработка, ГИС, ФЕС, LAS-файлы, обработка, нормализация, методика, прогноз, пористость, проницаемость, ПХГ.

Решение проблем совершенствования системы геолого-геофизического и газодинамического контроля многолетней эксплуатации объекта газового комплекса, во многом определяется адекватностью создаваемых трехмерных геолого-технологических моделей, включающих и модели фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС). В свою очередь, для получения достоверной оценки ФЕС газонасыщенного коллектора немаловажной является задача совершенствования методик определения коллекторских свойств по данным ГИС. В статье рассматривается работа с объектами, для которых характерен, длительный срок их функционирования, а также значительный фонд скважин различного технологического назначения. Как следствие — растянутые во времени этапы строительства скважин и их исследований, а это, в свою очередь, определяет смену поколений исследователей, комплексов ГИС и аппаратуры, методик обработки и интерпретации данных

ГИС. К этому можно добавить неравноценное качество кривых и их эталонировки, неполный охват интервалов исследований, погрешности в увязке разновременных записей и массу других осложняющих обстоятельств. Совокупность упомянутых факторов приводит к тому, что при разработке моделей ФЕС практически для каждой скважины необходим индивидуальный подход к формированию интерпретационного комплекса. Однако, нетехнологичность подобного решения очевидна.

Одним из эффективных подходов к работе с такими объектами является пакетная обработка. Она заключается в том, что в обработку и интерпретацию, единовременно, включается весь объем специально подготовленной (стандартизированной) исходной геолого-геофизической информации. Пакетная обработка включает следующие операции:

- Формирование базы знаний по объекту и его аналогам (отчеты, геолого-геофизические классификации,

петрофизические связи, имеющиеся интерпретационные модели и прочая формализованная и неформализованная информация);

- Формализация исходных данных и формирование базы фактических данных моделируемого объекта, содержащей каротажные кривые (LAS-файлы), картографические материалы, геодезические привязки, стратиграфические разбивки, результаты кернового опробования и др.;

- Статистическая оценка геолого-геофизических данных, установление критериев их пригодности для дальнейшей обработки, отбраковка недостоверных и избыточных материалов, определение совокупности необходимых данных подлежащих восстановлению или корректировке;

- Выбор реперного стратиграфического интервала и нормирование (по отбивкам его границ) каротажных глубин по исследованным скважинам;

- Выбор оптимального, подлежащего интерпретации комплекса (из множества зарегистрированных на объекте методов ГИС), нормирование всех каротажных кривых этого комплекса по статистическим характеристикам (обладающим минимальным смещением), вычисленным в исследуемом стратиграфическом интервале;

- Восстановление изоморфно, т.е. с сохранением всех статистических характеристик, отсутствующих и забракованных интервалов геофизических кривых;

- Формирование пакета стандартизированных ГИС данных;

- Установление петрофизических связей типа керн – керн и ГИС – керн, как по репрезентативным, так и по нерепрезентативным выборкам, обеспечение робастности (достоверности на краях) установленных зависимостей;

- Прогноз петрофизических характеристик в исследуемом интервале

всех скважин расположенных на объекте и в его окрестностях;

- Прогноз петрофизических характеристик в межскважинном пространстве;

- Сопоставление прогнозных и имеющихся фактических и экспертных данных, оценка точности и достоверности прогноза;

- Корректировка полученного прогноза и подготовка модели объекта для ввода в систему геологического и гидродинамического моделирования.

В основу разработанной методики положены принципы системного анализа, а конкретнее раздел «автоматизация системных задач». Для выполнения перечисленных операций помимо традиционных статистических методов обработки данных (регрессионный и кластерный анализ, метод Монте-Карло), используются система распознавания и экспертная система, базирующаяся на математическом аппарате нелинейной марковской статистики, система N-мерного моделирования на марковских процессах с нечеткими каналами, бутстреп-метод и другие оригинальные методы обработки [2, 3].

Алгоритм пакетной обработки и интерпретации представлен на следующей схеме (рис. 1):

Вначале выполняется полный анализ материалов ГИС. Целью анализа служит оптимизация комплекса ГИС на предмет его пригодности для пакетной обработки. В качестве данных могут использоваться файлы форматов LAS версий 1.2 и 2.0, подобранные по списку или все подряд из указанной папки (со всеми подпапками), дополненные затем отбивками реперного интервала (рис. 2).

После загрузки данных необходимо выполнить статистический анализ — для контроля качества.

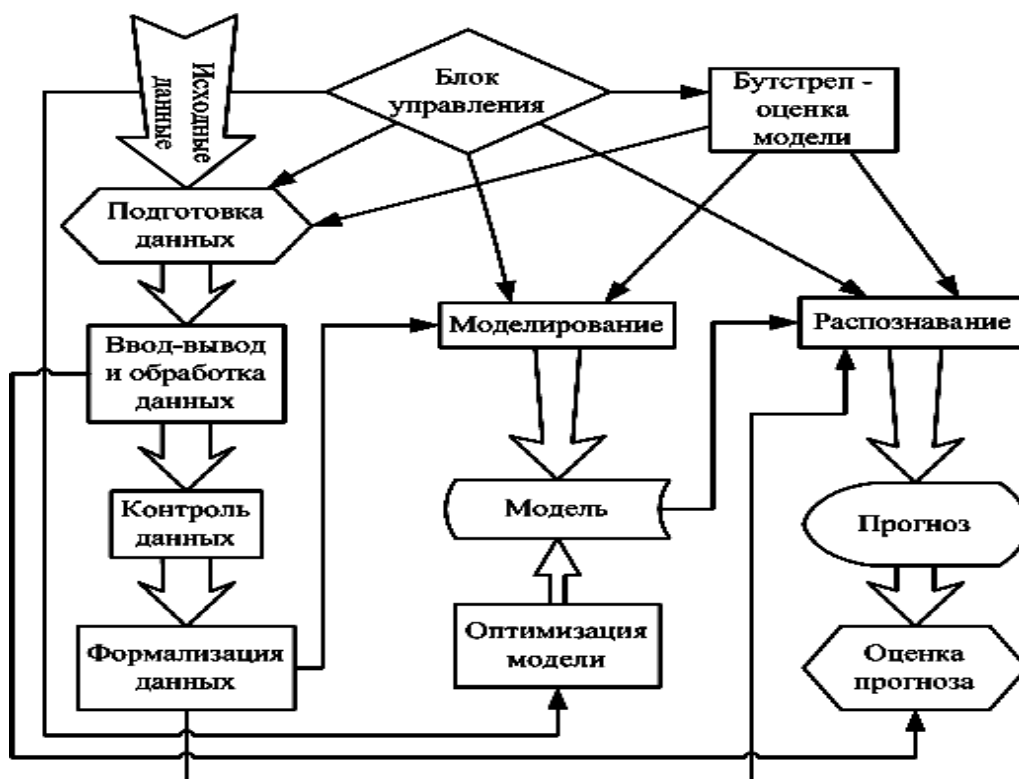


Рис. 1. Блок-схема формирования и обработки пакетных петрофизических моделей

После этого могут быть выполнены следующие процедуры обработки:

- очистка данных от технологических помех, вызванных, как правило, процедурами оцифровки (регистрации) геофизических диаграмм;
- понижение степени влияния осложняющих геолого-геофизических факторов и подготовка к пакетному режиму обработки:
 - расчет нормированных глубин;
 - нормализация по всей каротажной диаграмме и по участку;
 - нормализация с отсечением и по границам;
 - нормализация по эталонам;
 - сглаживание в скользящем окне (обычное), медианное и перечислимого типа;

- расчет регрессионной кривой и снятие тренда;
- инвертирование минимума и максимума диаграмм;
- для последующей пакетной обработки данные могут быть сохранены в различных вариантах:
 - одним DAT файлом;
 - отдельные DAT файлы в папке;
 - отдельные LAS файлы в папке;
 - осредненных кривых;

Критериями выбора методов являются:

- Наличие устойчивой корреляционной связи показаний методов с ФЕС исследуемого разреза;
- Наличие зарегистрированных кривых в большинстве скважин на ПХГ;

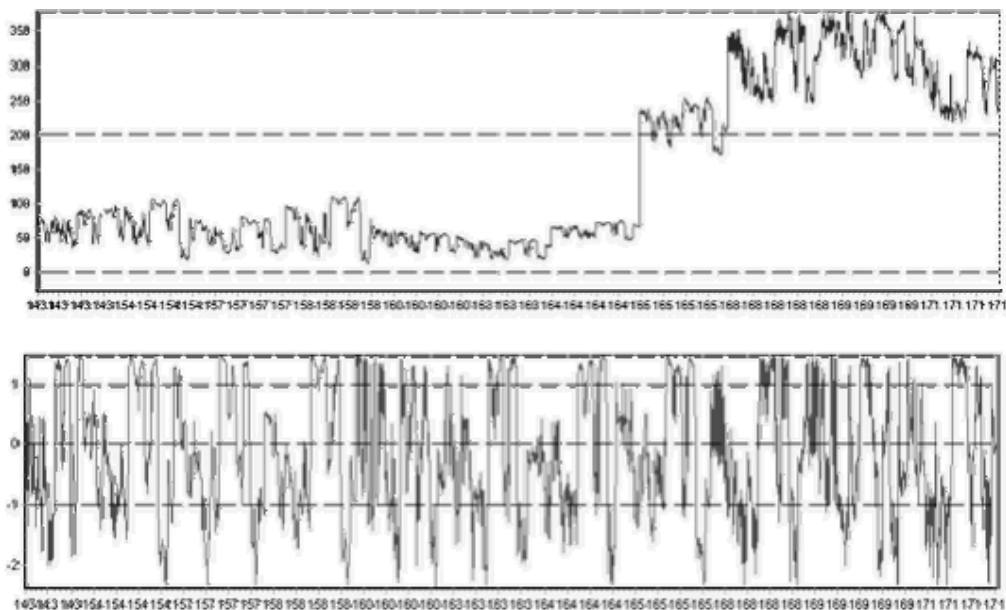


Рис. 3. Пример нормировки. Исходные (вверху) и нормированные (внизу) кривые ПС по пласту-коллектору. На X – координате проставлены номера скважин

$$\Delta X_i = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}},$$

где ΔX_i – нормированное значение глубины, X_i – текущее значение глубины; X_{\min} и X_{\max} – соответственно глубины подошвы интервала и его кровли. Преобразованные таким образом глубины, позволяют проводить детальное сопоставление диаграмм ГИС зарегистрированных в различных скважинах в интервалах пластов с общей синонимикой, но различных по мощности, а также проводить с ними различные математические преобразования.

По амплитуде диаграммы в интервале нормируются в соответствии с выражением:

$$P_{\text{norm}} = \frac{P_i - P_{\text{aver}}}{\sigma},$$

где P_{norm} – нормированное значение параметра, P_i – текущее значение па-

раметра, P_{aver} – среднее значение параметра, σ – стандартное отклонение от среднего значения.

Преимущество операции нормирования на стандарт и среднее заключается в том, что эти статистические характеристики обладают минимальным смещением и рассчитанные с их помощью значения изоморфны исходным.

На рис. 3 приводятся, в качестве примера, диаграммы ПС из пакета, зарегистрированные на пласте-коллекторе в скважинах 143 - 171 до обработки (верхнее окно) и пронормированные по амплитуде и глубине (нижнее окно).

Как видно на верхнем рисунке, собранные в пакет исходные диаграммы ПС существенно различаются по величине зарегистрированного сигнала. Пронормированные диаграммы, обладают близкими статистическими характеристиками и могут

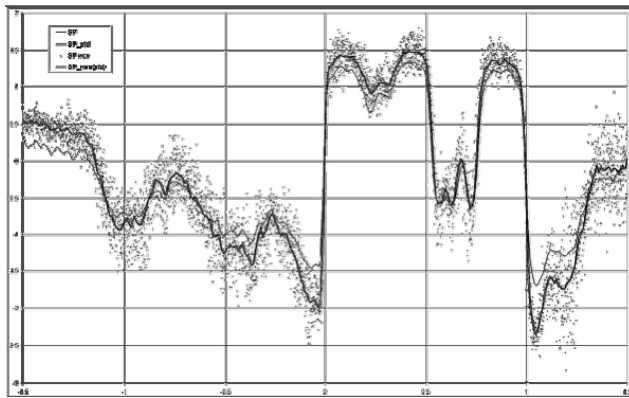


Рис. 4. Нормальная кривая ПС в интервале залегания коллектора, полученная путем интегрирования диаграмм ПС, зарегистрированных в различных скважинах

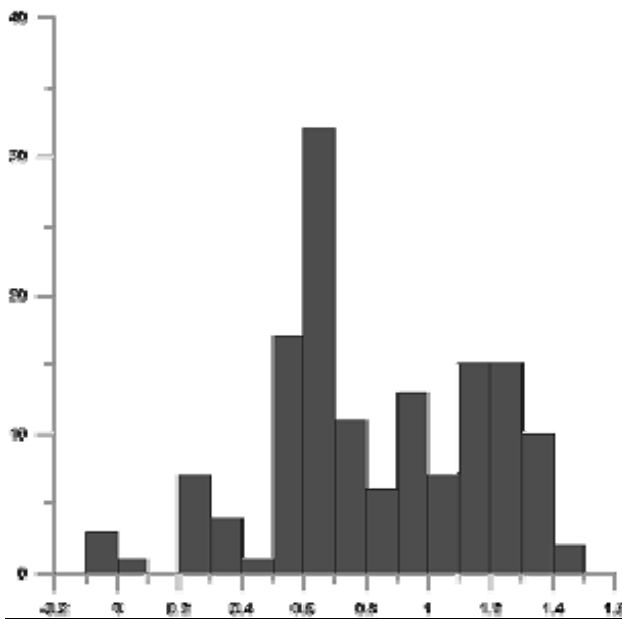


Рис. 5. Гистограмма распределения мест отбора проб в районе пласта коллектора из 20 скважин, выраженного в виде значений глубины, нормированных на отметки кровли-подошвы пласта

быть подвергнуты обработке и интерпретации в пакетном режиме.

Осуществив суммирование и фильтрацию всех пронормированных по

глубине и амплитуде кривых ПС, зарегистрированных в скважинах на ПХГ, мы получаем нормальную кривую (обобщенный образ) пласта-коллектора (рис. 4).

Рассчитанная нормальная кривая ПС используется в качестве основы для увязки кривых ГИС и керновых данных, а так же для построения интерпретационных петрофизических моделей.

Благодаря этим процедурам методика позволяет сравнивать разрезы скважин наклонных, вертикальных, горизонтальных, с разным углом встречи с пластом, что актуально при кустовом способе бурения.

Типичная ситуация возникающая при разработке петрофизических моделей: в обработку включено 114 образцов керна, отобранных в 20 разведочных скважинах. Таким образом, средний объем выборки, приходящейся на одну скважину составил менее 6 образцов. Неравномерность отбора образцов и низкая представительность параметров, обуславливают значительный разброс данных в поле корреляции, что в свою очередь не позволяет использовать традиционные способы нахождения уравнений регрессии.

На рис. 5 приведена суммарная гистограмма распределения образцов, сведенных на шкале нормированной глубины упомянутых 20 скважин.

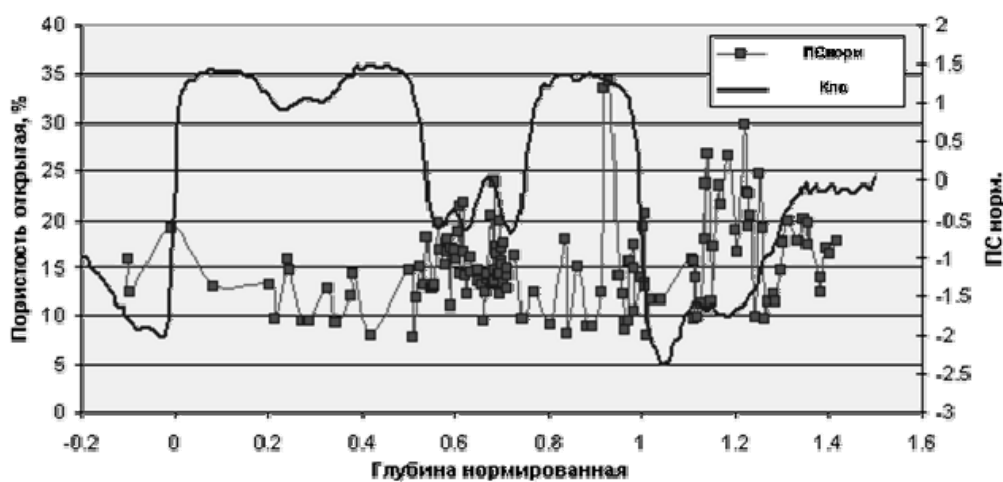


Рис. 6. Предварительная привязка мест отбора образцов зерна к нормальной кривой ПС

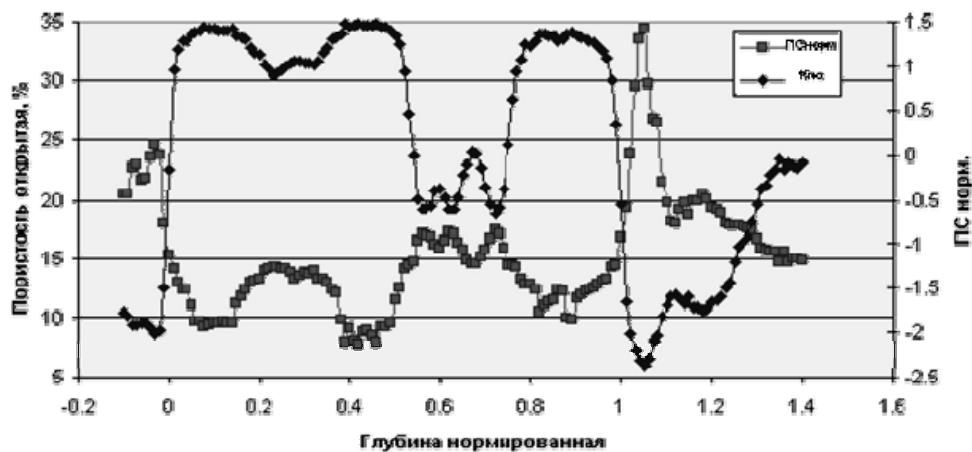


Рис. 7. Использование способа ранжированной регрессии для установления нормальной петрофизической модели пласта при слабо коррелируемых параметрах

Выполненный анализ статистик и гистограмм показал, что места отбора образцов смещены к подошве пласта коллектора и характеризуются существенной неравномерностью (избирательностью) отбора, а распределения свойств - удовлетворительной представительностью (рис. 6).

В связи с этим, для установления связей типа «ГИС-кern» был применен способ ранжированной регрессии.

Суть примененного способа заключается в том, что оцениваются не попарные значения, привязанные к образцу или к глубине, а значения параметров, привязанные к точкам с равными величинами накопленной вероятности в ранжированных последовательностях. При ранжировании обязательно учитывается характер связи между анализируемыми параметрами – прямая или обратная (рис. 7).

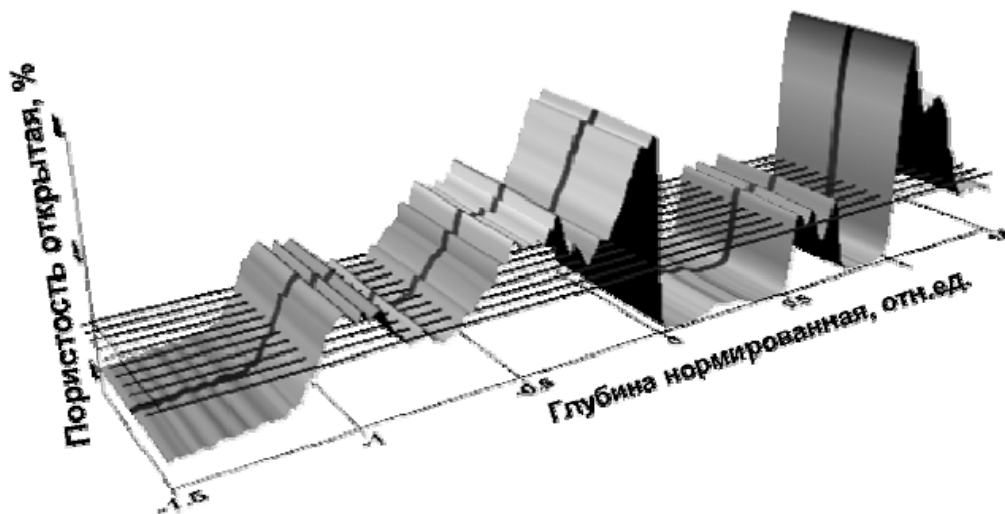


Рис. 8. Сетчатая номограмма для расчета открытой пористости горизонта по диаграммам ПС

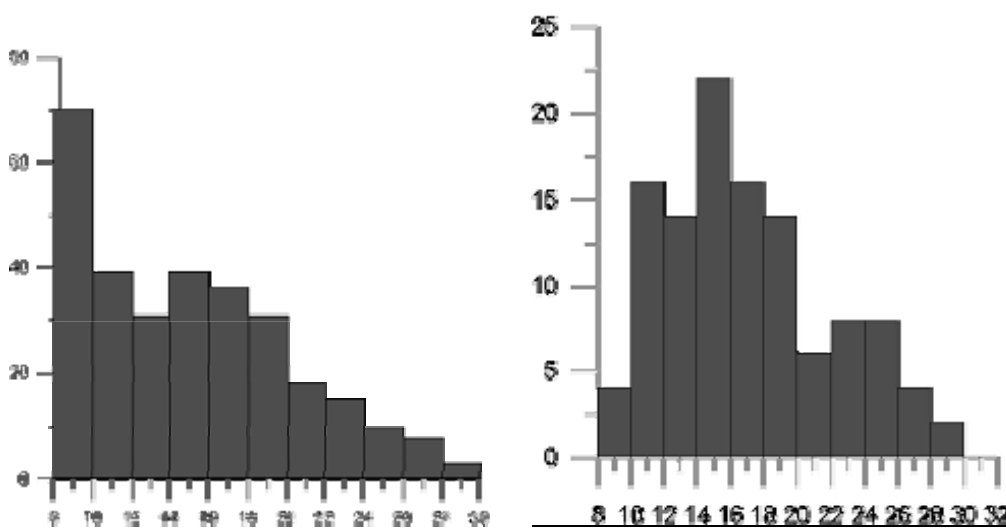


Рис. 9. Сопоставление гистограмм значений распределения свойств, построенными по данным кернового опробования скважины и нормальной модели

Для определения петрофизических характеристик коллектора и его ближайшего окружения, на основе нормальных разрезов были рассчитаны сетчатые модели (палетки), пример одной из которых представлен в виде 3-х мерного графика, представленного на рис. 8. Плоскость, обозначен-

ная линиями, проведенная параллельно оси нормированных глубин и секущая графики, соответствует граничным значениям ФЕС, разделяющим пласт на слои, относящиеся к коллекторам и неколлекторам. Граничные значения соответствуют: 15% для открытой пористости, 10 мДа для

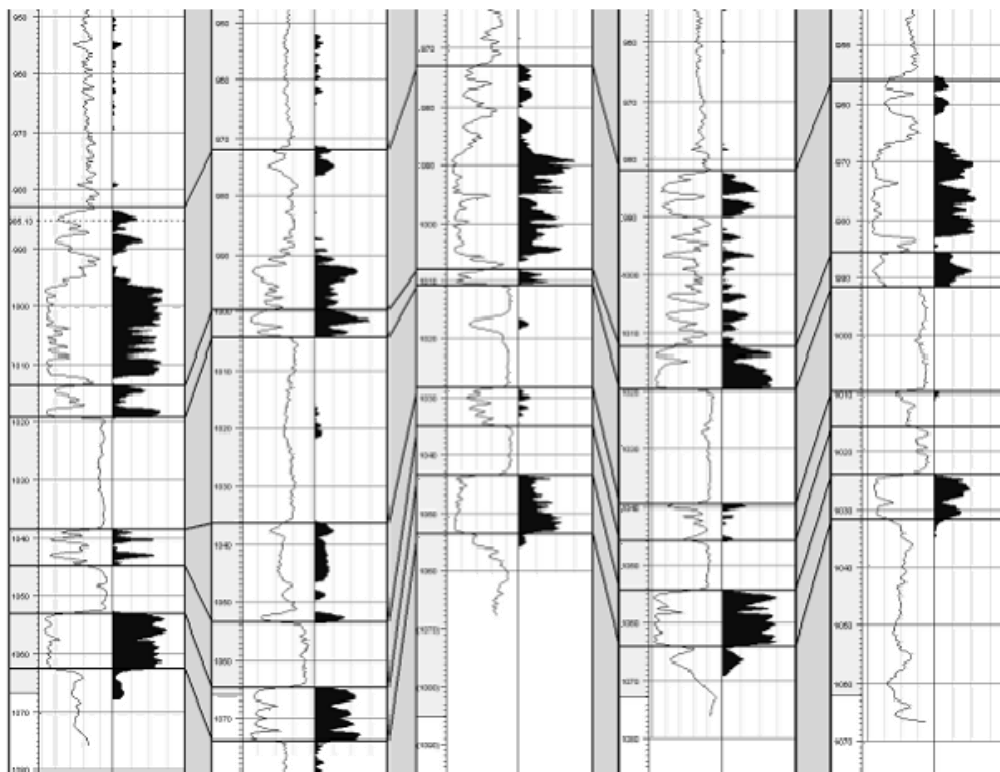


Рис. 10. Выделение коллекторов и результаты прогноза их пористости по данным ГИС

проницаемости и 50 % остаточной водонасыщенности.

Сопоставление гистограмм значений распределения свойств, построенными по данным кернового опробования скважины и нормальной модели (рис. 9) демонстрируют расхождения, вызванные некачественно проведенным керновым опробованием.

Переход от обобщенной петрофизической модели к каждому уникальному по строению подсечению пласта-коллектора, осуществляется в пакете следующим образом. Модельные значения прогнозируемого параметра с палеток (рис. 8) переносятся на нормированный интервал глубин каждой скважины. Потом производится операция взаимно независимого ран-

жирования замеренного геофизического параметра, со всеми его атрибутами (номер скважины, глубина относительная и нормированная, другие методы комплекса ГИС и т.п.), и прогнозируемого петрофизического показателя не связанного ни с какими другими показателями, кроме номера скважины. Затем, полученные, взаимно скореллированные последовательности ГИС и прогнозируемого показателя, перестраиваются в соответствии со шкалой глубин в порядке ее возрастания. Результатом выполненных операций является восстановленная изоморфно (т.е. с сохранением всех математических свойств) кривая ГИС, принятая в качестве ведущего параметра и, адекватная изменчивости ее значений, прогнозная кривая пет-

рофизической характеристики соответствующей модели. Получаемый разброс значений прогнозных свойств по разрезу определяется изменчивостью внутреннего строения обрабатываемого пласта-коллектора в скважинах.

Результаты определения ФЭС пластов совместно с кривыми ГИС внесены в базу данных для трехмерного моделирования свойств коллекторов. Пример корреляционного планшета пластов-коллекторов приводится на рис. 10.

Описанная методика имеет следующие преимущества:

позволяет организовать обработку в ограниченные сроки, но при этом возрастает требования по стандартизации исходных материалов,

позволяет включать в работу разновременные данные различных методов, относящиеся к областям одних и тех же задач, применяется для включения в интерпретацию дополнительных данных, тем самым, исключив потери информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Справочник по математическим методам в геологии.* /Д.А. Родионов, Р.И.Коган, В.А. Голубева и др. – М.: Недра, 1987.
2. *Вистелиус А.Б.* Основы математической геологии. – Л.: Наука, 1980.
3. *Харбух Дж., Бонэм-Картер Г.* Моделирование на ЭВМ в геологии. – М.: Мир, 1974.
4. *Элланский М.М.* Петрофизические связи и комплексная интерпретация данных промысловой геофизики. – М.: Недра, 1978. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Матушкин Михаил Борисович – M_Matushkin@vniigaz.gazprom.ru,
Черников Александр Георгиевич – кандидат геолого-минералогических наук, gchemikov@mail.ru.
 Газпром ВНИИГАЗ.



ДИССЕРТАЦИИ ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ			
КОШЕЛЬ Екатерина Алексеевна	Повышение извлечения золота из упорного сырья на основе применения магнитно-импульсной обработки	25.00.13	к.т.н.