

ОБОБЩЕННЫЙ ОБРАЗ И ОБОСНОВАНИЕ ГРАНИЦ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ ПО КАРОТАЖНЫМ ДАННЫМ ДЛЯ РАЗРЕЗОВ САЛЫМСКОГО ТИПА (Западная Сибирь)

В.В. Лапковский, В.А. Конторович, Н.Е. Шмелев

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия*

Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2, Россия

Предложена методика построения обобщенного образа стратиграфического тела по каротажным данным, которая выявляет устойчивые особенности и подавляет индивидуальные черты в группе разрезов скважин. Основу методики составляет взвешенное суммирование однотипных каротажных кривых с предварительным совмещением на разрезе участков, интерпретируемых на основе парных корреляционных моделей как стратиграфически эквивалентных. Создана обобщенная модель для трех видов каротажных кривых баженовской свиты Салымского района — гамма-каротажа, кажущегося сопротивления и самопроизвольной поляризации. Обнаруживается существенное пространственное несовпадение аномалий гамма-каротажа и кажущегося сопротивления, которые часто используются в качестве индикаторов положения границ баженовской свиты. В соответствии с результатами корреляции, объем свиты в каждой скважине определяется интервалом глубин, который соответствует ее гипостратотипу. Для района исследования построены карты толщин баженовской свиты и их стандартных отклонений, а также средних значений отдельных видов каротажа.

Баженовская свита, Салымский район, планшет Жековского, автоматическая корреляция скважин, метод обобщенного портрета Гальтона, обобщенная скважина.

A GENERALIZED IMAGE AND BOUNDARIES OF THE BAZHENOV FORMATION: CONSTRAINTS FROM WELL LOG DATA FOR SALYM-TYPE SECTIONS (West Siberia)

V.V. Lapkovsky, V.A. Kontorovich, and N.E. Shmelev

A technique akin to Galton's composite portraiture is suggested for creating a generalized image of a stratigraphic unit based on well log data from a group of well sections. The procedure begins with superimposing stratigraphically equivalent section points according to pairwise correlation models followed by weighted summation of similar logs. The superimposition highlights persistent common features of the sections while their minor individual details become suppressed. A generalized model of the Bazhenov Formation in the Salym area has been constructed from gamma-ray, apparent resistivity, and self-potential logs. Radioactivity and resistivity anomalies, which are often used as constraints on the Bazhenov Formation boundaries, show a significant spatial discrepancy. According to the correlation, the formation volume in each well depends on the depth interval corresponding to the hypostratotype. The results were used to map the Bazhenov Formation thickness and its standard deviation, as well as average values of different logs.

Bazhenov Formation, Salym area, Zhekovsky plot, automated well correlation, Galton's composite portraiture, generalized image, average well

ВВЕДЕНИЕ

Баженовская свита является уникальным геологическим объектом. Впервые эти отложения как пачка марьяновской свиты выделены и охарактеризованы Ф.Г. Гурари в 1959 году [1959]. Эта толща активно изучается уже более полувека и неослабный интерес вызван прежде всего тем, что органическое вещество, захороненное в породах баженовской свиты, обеспечило генерацию около 80 % нефти месторождений Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции (ЗСНП) [Конторович и др., 1999]. В настоящее время отложения свиты рассматриваются как основной источник восполнения ресурсной базы углеводородов за счет разработки трудно извлекаемых запасов нефти. Мнения о количестве нефти, которую может содержать баженовская свита, весьма разнятся. Специалисты ИНГГ СО РАН оценивают ее геологические запасы от 100 до 500 млрд т, а извлекаемые — от 18 до 60 млрд т [Конторович и др., 2014]. Приведенные S&P со ссылкой на Роснедра ожидаемые извлекаемые ресурсы нефти составляют от 25 до 50 млрд т [Rodova, 2012]. Департамент энергетики США прогнозирует геологические ресур-

сы нефти баженовской свиты в 1.243 триллиона баррелей (примерно, 170 млрд т) [Technically..., 2013]. Столь широкий разброс в оценке потенциала нефтеносности объясняется сложным составом и строением этих отложений, и недостаточной изученностью промысловых параметров свиты.

Породы баженовской свиты обладают необычными свойствами, которые возникли благодаря особым условиям их образования. При том, что для центральных районов ЗСНП стратиграфический объем свиты соответствует преимущественно региолярису [Шурыгин, Дзюба, 2015], длившемуся приблизительно 7 млн лет, ее мощность здесь редко превышает 35 м. Следовательно, средний темп осадконакопления составлял менее чем 0.5 см/тыс. л. (без учета уплотнения и преобразования органического вещества). Эти осадки накапливались при высокой биологической продуктивности баженовского моря в анаэробных условиях. Среднее содержание органического вещества в виде керогена и битумоидов в них составляет около 10 % и иногда достигает 17—20 %. В Салымском районе нефтематеринская баженовская свита в значительной степени реализовала свой генерационный потенциал при катагенезе, образовав колоссальные объемы нефти и углеводородных газов.

Важными физическими особенностями баженовской свиты являются: высокая радиоактивность (связанная в основном с ураном, содержащимся в ихтиодетрите — фосфатизированных остатках рыб и керогене) [Плунан, 1975; Зубков, 2015], высокое электрическое сопротивление (из-за отсутствия свободной минерализованной воды и большого содержания нефти), аномально низкая акустическая жесткость (медленное распространение упругих волн при низкой плотности среды) благодаря чему свита формирует реперный региональный отражающий горизонт и хорошо опознается на сейсмических разрезах.

Однако при том, что этот объект является по-настоящему уникальным, его точная идентификация в конкретных разрезах, даже в страторегии, встречает существенные затруднения. В практической работе геологи устанавливают границы свиты в отдельных скважинах, ориентируясь на положение аномалий физических свойств. Однако критерии проведения кровли и подошвы не формулируются явным образом. При использовании разных видов каротажа расхождения в положении границ аномалий могут достигать 10 м, что весьма много, учитывая небольшую мощность отложений. В качестве примера такой ситуации представим каротажные записи и экспертно выделенные по ним границы баженовской свиты одной из скважин Приразломной площади Салымского района (рис. 1).

Положение кровли свиты экспертно определено вблизи резкого возрастания значений гамма каротажа (ГК) на глубине 2943 м. Для кривой кажущегося сопротивления (КС) эта точка лежит в области малых значений, а положительная аномалия начинается на 7 м ниже нее. В ситуации, когда для интервала баженовской свиты отсутствует полный комплекс каротажных данных, интерпретатор вынужден ориентироваться на положение разных физических аномалий в скважинах. Использование разных критериев для выделения объекта приводит к тому, что сам он оказывается не строго определенным, его границы могут «разбегаться» на 5—10 м. Представляется, что погрешность оценки свойств баженовской свиты как геологического тела зависит как от объема и качества фактического скважинного материала, так и в значительной степени — от корректности определения ее границ.

В настоящей работе для скважин Салымской и Приразломной площадей на основе единообразного формального подхода проведена совместная интерпретация каротажных данных с определением границ и вычислением некоторых характеристик баженовской свиты.

ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

Нами использована следующая информация по скважинам Салымской и Приразломной площадей, содержащаяся в базе данных ИНГГ СО РАН:

1. Общие сведения о скважинах — координаты устья, альтитуда ротора, глубина забоя.
2. Границы баженовской свиты, которые экспертами института были внесены в базу данных стратиграфических разбивок.
3. Каротажные записи, относящиеся к интервалу, включающему баженовскую свиту и толщу пород на 50 м выше и ниже ее кровли и подошвы.

Некоторых пояснений требует использование данных о глубине кровли и подошвы свиты в скважинах в связи с тем, что цель работы — обосновать критерии проведения этих границ. Здесь нет противоречия, поскольку информацию из базы данных мы рассматриваем как весьма приблизительную, нуждающуюся в уточнении. Возможные погрешности в оценке положения границ свиты в данном районе могут достигать 10 м, в связи с тем, что разные эксперты могли ориентироваться на аномалии разных видов каротажа. А кроме того, полный комплекс каротажа имеется не во всех скважинах. Мы расширили область отбора каротажных данных на 50 м вверх и вниз, чтобы гарантировать попадание уточненного положения границ свиты в этот интервал глубин.

Анализ качества каротажных данных показал, что для большей части скважин имеются три вида каротажа, характеризующие весь интервал исследования: самопроизвольная поляризация (ПС), КС и

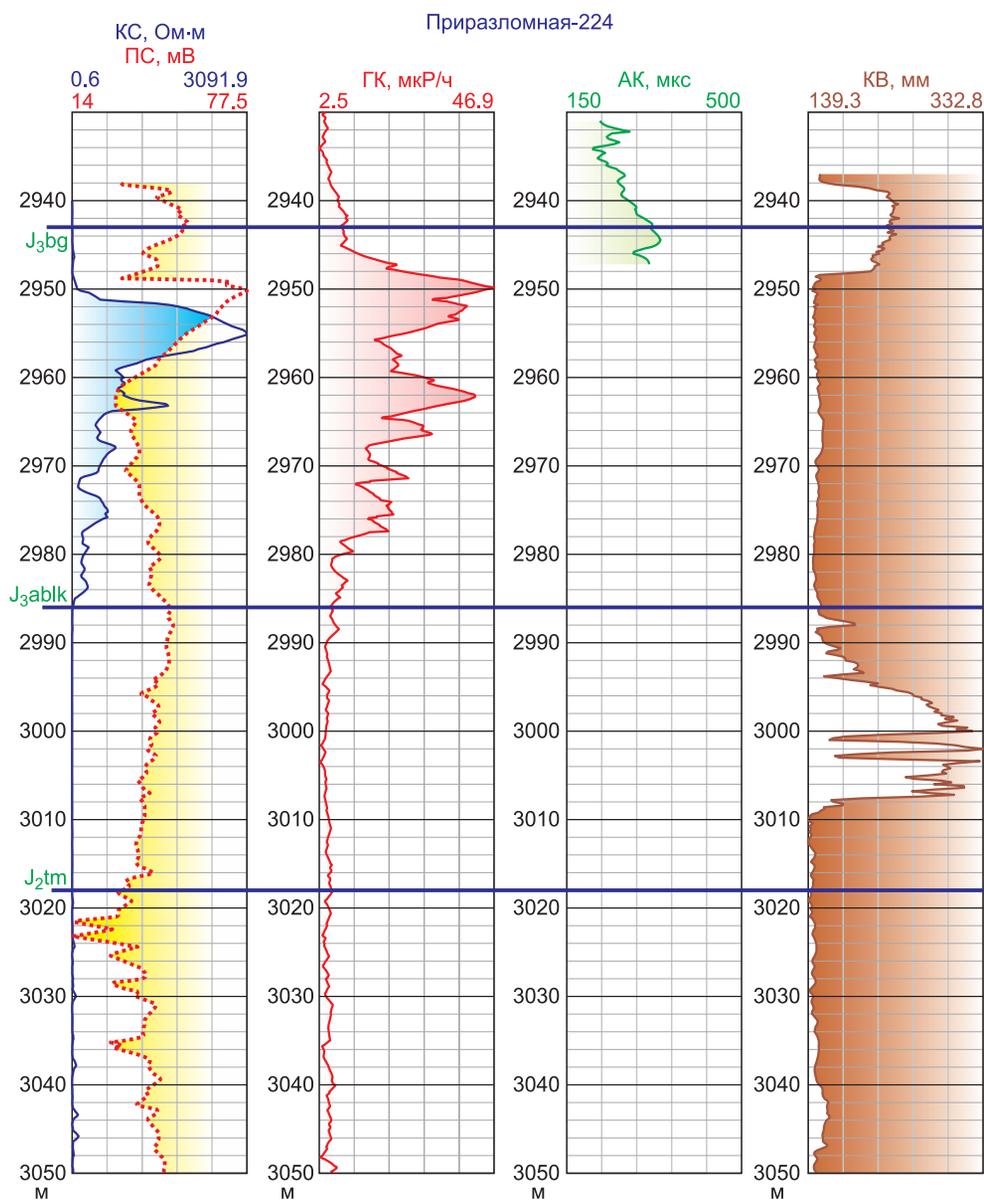


Рис. 1. Характеристика интервала баженовской и абалакской свит по каротажным данным.

ГК. Качественный каротаж других методов имеется для незначительного числа скважин (например, акустический каротаж доступен для трех скважин, а нейтронный гамма каротаж — для четырнадцати). Полученные модели учитывают информацию по 67 глубоким скважинам района.

ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ПОЗИЦИИ

Мы принимаем следующие положения, в рамках которых будем выделять границы баженовской свиты и вычислять значения ее свойств.

1. В соответствии со статьей V.9 Стратиграфического кодекса России, «свита — основная таксономическая единица местных стратиграфических подразделений...» [Стратиграфический кодекс..., с. 30]. Также, согласно Стратиграфическому кодексу, свита характеризуется определенным стратиграфическим объемом, который должен оцениваться по ее наиболее полному разрезу. Верхняя и нижняя границы свиты понимаются как множество точек в разных скважинах, каждая из которых стратиграфически эквивалентна соответствующей границе в ее стратотипе (гипостратотипе). Понятие «хронологическая эквивалентность» широко используется в теоретической стратиграфии [Мейен, 1989], «стратиграфическую эквивалентность» мы понимаем в определении, которое дано в книге [Стратиграфия..., 1974, с. 34].

2. Стратиграфическая эквивалентность устанавливается путем корреляции отдельных разрезов. «Стратиграфическая корреляция показывает эквивалентность стратиграфических подразделений. Коррелировать можно толщи пород, биостратиграфические и геохронологические серии. Поэтому эквивалентность может быть выражена в литологическом или биологическом составе или же в шкале геологического времени» [Стратиграфия..., 1974, с. 32]. Опять же, согласно кодексу, корреляция проводится «по геологическому возрасту и (или) по положению в разрезе» [Стратиграфический кодекс..., с. 15].

3. На Салымской площади находится гипостратотип баженовской свиты — скважина Салымская-170, интервал глубин 2844—2881 м [Брадучан и др., 1986]. Соответственно, чтобы установить границу свиты в остальных скважинах необходимо найти стратиграфические аналоги этого интервала в них, используя каротажные данные для построения корреляционной модели.

4. Положение пороговых значений каротажных кривых и/или особенности их формы, положение точек перегибов не являются маркерами границ свиты. На основании этих критериев могут быть выделены аномальные тела с характерными физическими свойствами. Границы этих тел, в общем случае, не совпадают как друг с другом, так и с баженовской свитой, которая понимается нами как стратиграфический объект со стратиграфическими границами.

МЕТОД

Используемый нами подход впервые был реализован Б. Жековским в 1963 г. Им для точек прямоугольной области, одной стороне которой соответствовал коррелируемый интервал глубины первой скважины, а другой — второй скважины, вычислялась мера различия по микропалеонтологическому комплексу. По области минимальных значений двумерного поля различия (топографическая трактовка — тальвег) строилась монотонная линия, точки на которой интерпретируются как стратиграфически эквивалентные глубины в сопоставляемых скважинах. Это оптимизационная задача, которая естественным образом переносится и для корреляционных построений по каротажным данным [Губерман, Овчинникова, 1972; Гришкевич, 1984]. Корреляция пары скважин рассматривается как построение оптимальной линии, на которой минимизируется заданная интегральная мера различия (обычно это интеграл от функции различия).

Важная проблема в области корреляции разрезов скважин — построение непротиворечивых моделей для большого числа скважин, расположенных на площади, а не на профиле, что приводит к необходимости взаимного согласования частных парных решений. Для этой задачи предлагаются различные варианты решения [Ковалевский и др., 2007; Гутман и др., 2010], и в частности, на основе методов динамического программирования с многомерной итерационной оптимизацией [Лапковский и др., 2015]. В настоящей работе опробован подход, использующий многократную парную корреляцию с итерационным сокращением размерности решаемой задачи. При этом принимаются следующие положения:

1. Экспертно (априорно) заданное положение границ свиты, занесенные в БД ИНГГ СО РАН, рассматривается как начальное приближение корреляционной модели, нуждающееся в уточнении.

2. Корреляция скважин выполняется в дискретном пространстве. Для чего область построения модели каждой скважины разбивается на 150 формальных слоев. По 50 слоев выше и ниже априорно заданного тела свиты мощностью по 1 м, и 50 слоев в теле свиты, где для любой скважины все слои имеют мощность, равную 1/50 от ее общей априорной мощности.

Основу решения составляет парная корреляция двух скважин. На рис. 2 показан планшет Жековского, построенный для двух скважин Салымской площади. На планшете по оси X отложены номера слоев скв. Салымская-104, а по оси Y — номера слоев скважины Салымская-130. Градациями цвета на карте показана мера различия пары слоев этих скважин, по комплексу каротажных данных (ПС, КС, ГК). Песочные и красные тона, означают, что соответствующие области двух скважин сильно различаются. Отметим, что сравниваются не строго два слоя (скажем, с номерами 117 и 108), а два интервала, включающих нечетное количество слоев, в центре которых находятся соответственно 117-й и 108-й слои. Для каждого i -го типа каротажа, который полностью характеризует исследуемый интервал в сравниваемых скважинах, мера различия находилась как:

$$f_i(x, y) = \frac{1 - R(g_i^1(x), g_i^2(y))}{2}, \quad (1)$$

где $R(g_i^1(x), g_i^2(y))$ — коэффициент корреляции между значениями каротажной кривой — g_i в первой и второй скважинах, взятых из интервалов глубин с центральными точками x и y . Общая мера различия по нескольким видам каротажа получается суммированием с весами значений, полученных по отдельным каротажным кривым, т. е., общая мера различия вычисляется как

$$f(x, y) = \sum f_i(x, y) w_i, \quad (2)$$

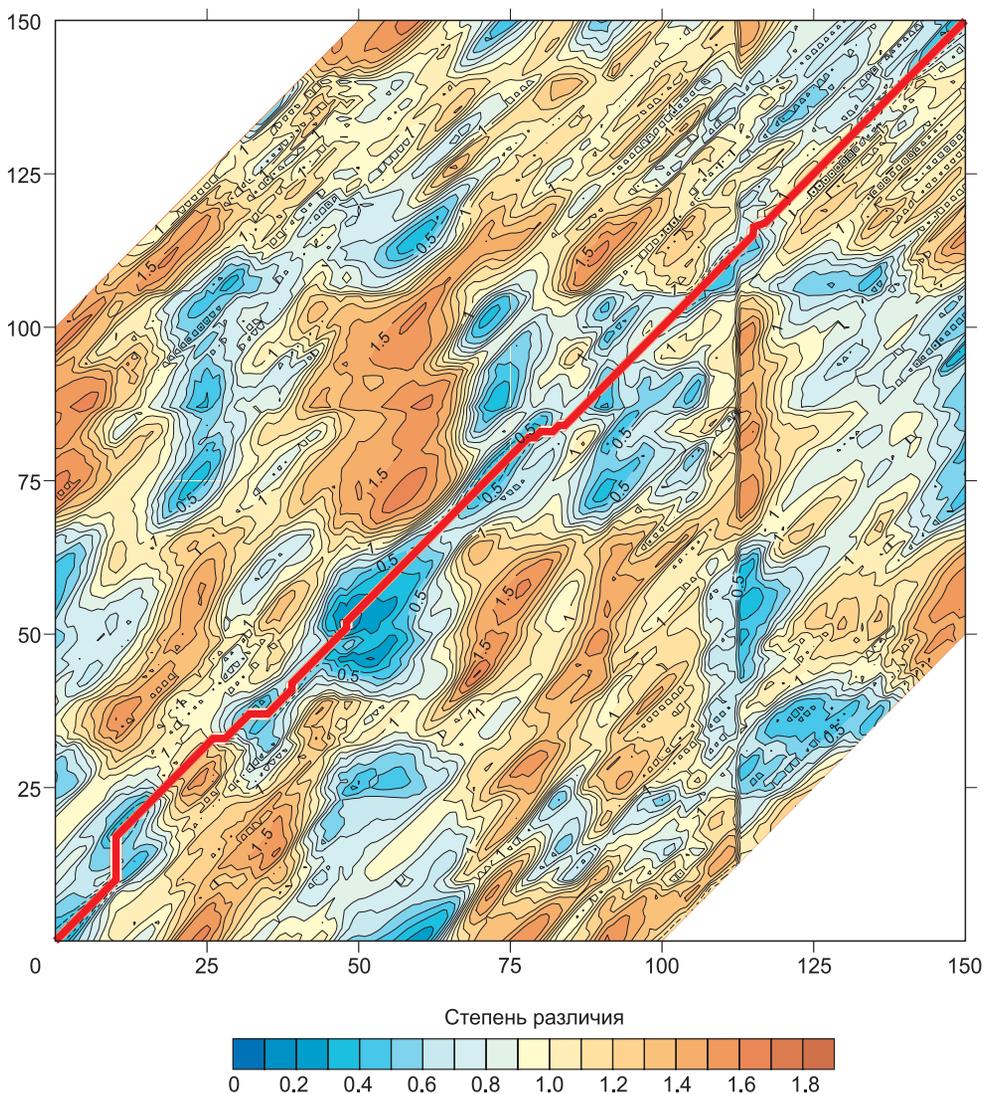


Рис. 2. Пример функции $f(x,y)$ (планшет Жековского) для скважин Салымская-104 и Салымская-130.

Пояснения см. в тексте.

где w_i — вес, приписанный i -му виду каротажа. Исходя из содержательных соображений (большая информативность каротажей сопротивления и радиоактивности для баженовской свиты), веса были установлены следующим образом — 0.2 для ПС, 1 для КС, 1 для ГК.

На карте с помощью волнового алгоритма Ли [Lee, 1961] строилась неубывающая линия L , соединяющая точки с координатами (0,0) и (150,150) минимизирующая функционал.

$$\left(\frac{\alpha}{P(L)} + 1 - \alpha \right) \int_L f(x,y) DL \rightarrow \min, \quad (3)$$

где α — параметр от 0 до 1, а $P(L)$ — длина линии L . При $\alpha = 0$ минимизируется интеграл функции $f(x,y)$ по линии L , а при $\alpha = 1$ минимизируется среднее значений этой функции по L . При промежуточных значениях α ищется линия, минимизирующая взвешенную смесь этих двух критериев. Для решений с $\alpha = 0$ характерны более спрямленные траектории, если $\alpha = 1$, то решением будет линия, более аккуратно проходящая по тальвегам. Но во всех случаях результатом будет монотонная (не в строгом смысле, возможны горизонтальные и вертикальные фрагменты) линия, подобная показанной на рис. 2 красным цветом. Эту линию можно также представить и как таблицу оптимального, с точки зрения критерия (3), взаимного соответствия формальных слоев. Все точки на красной линии (см. рис. 2) считаются стратиграфически эквивалентными в рамках полученной модели.

С учетом найденного лучшего соответствия слоев, т. е. с учетом парной модели корреляции двух скважин (назовем их «родительскими»), можно сконструировать одну обобщенную скважину. Для этого для каждой пары слоев из таблицы оптимального соответствия с учетом весов объединяемых скважин (вначале все веса равны) вычисляются средние значения всех каротажных кривых. Если какая-то каротажная кривая имеется только в одной из скважин, то она в неизменном виде передается в обобщенную скважину. Вес усредненной скважины принимается как сумма весов исходных скважин. Затем в множество обрабатываемых скважин добавляется обобщенная скважина, но из него удаляются две родительские. Таким образом, в этом множестве становится на одну скважину меньше. Это действие (обобщение каротажных кривых с учетом корреляционных отношений) повторяем до тех пор, пока не остается только одна скважина.

Процесс получения обобщенной скважины имеет прямую аналогию с антропологическим методом обобщенного фотопортрета Фрэнсиса Гальтона. Поскольку наша статья предназначена прежде всего для специалистов в области нефтегазовой геологии, мы позволим себе некоторые пояснения по сути этого метода.

После выхода в свет труда своего двоюродного брата Чарльза Дарвина «Происхождение видов», Ф. Гальтон увлекся вопросами изменчивости, отбора, наследования признаков биологическими видами и, в особенности, человеком. Он внес существенный вклад в развитие антропометрии, сформулировал ряд идей о селекции и наследовании способностей применительно к человеку, ему же принадлежит и термин «евгеника». В работе [Galton, 1878] (полный текст можно найти по ссылке <http://www.galton.org/essays/1870-1879/galton-1879-jaigi-composite-portraits.pdf>), Ф. Гальтон сформулировал метод составления обобщенного изображения человеческого лица по многочисленным фотографиям разных людей. Сейчас предложенный Гальтоном подход реализован в программах обработки изображений. Он широко используется антропологами для визуализации межгрупповых и внутригрупповых особенностей, а также морфологической изменчивости в группах. В интернете, в частности в статьях по антропологии, можно найти огромное количество таких изображений [Перевозчиков, Маурер, 2009].

В классической реализации (с использованием негативов и печатью на светочувствительных материалах) при получении обобщенного портрета присутствуют три шага:

1. Выбирают фотографии людей, сделанные в одном ракурсе, с приблизительно одинаковыми освещенностью и экспонированием.

2. Негативные изображения при печати совмещают по реперным точкам. Сам Ф. Гальтон использовал совмещение по двум осям: проходящая через зрачки, и ортогональная к первой оси, которая делит расстояние между зрачками пополам. В современных компьютерных реализациях возможно использование сотен и тысяч характерных точек лица.

3. Каждое изображение экспонируется одинаковое время и так, чтобы суммарное время экспозиции было бы оптимальным для печати.

По существу, те же шаги выполняли и мы, получая обобщенный «портрет» скважины Салымского района по каротажным данным.

1. В процессе используются только субвертикальные скважины, что аналогично использованию фотографий в одном ракурсе. Что касается требования одинаковой освещенности и экспонирования, то это означает одинаковые условия получения и обработки каротажных данных. К сожалению, гарантированно выполнить это условие для измерений разных лет не представляется возможным. В некоторых случаях утрачены и масштабные шкалы, в которых оцифровывался каротаж с бумажных носителей. Поэтому мы и использовали при вычислении функции различия каротажных кривых — коэффициент корреляции, поскольку он не зависит от масштаба данных, а показывает согласованность изменений.

2. Совмещение негативных изображений по реперным точкам до экспонирования в случае со скважинами аналогично построению парных корреляционных моделей. Для метода обобщенного фотопортрета совершенно очевидно, что если лица людей на индивидуальных фотографиях не будут точно совмещены по характерным точкам, то в силу разных пропорций лиц, результат получится размытым. Точно так же для получения выраженного и четкого образа обобщенной скважины перед суммированием индивидуальных вкладов каротажных кривых необходимо совместить их по стратиграфически эквивалентным точкам.

3. Вычисление обобщенных каротажных кривых на основе усреднения их значений в стратиграфически эквивалентных слоях.

В нашей реализации получаемый результат зависит от порядка, в котором выбирают пары скважин. Это случайный процесс с предпочтениями и окончательный вид обобщенной скважины зависит от порядка формирования объединяемых пар. Один из результатов этого процесса показан на рис. 3. Поскольку сам процесс стохастический, то можно получать множество его реализаций и оценивать их статистику.

На рис. 3 представлены обобщенные каротажные кривые для модели со 150 слоями и пластовые модели по каждому из видов каротажа — ступенчатые линии. В правой части показан фрагмент скв. Са-

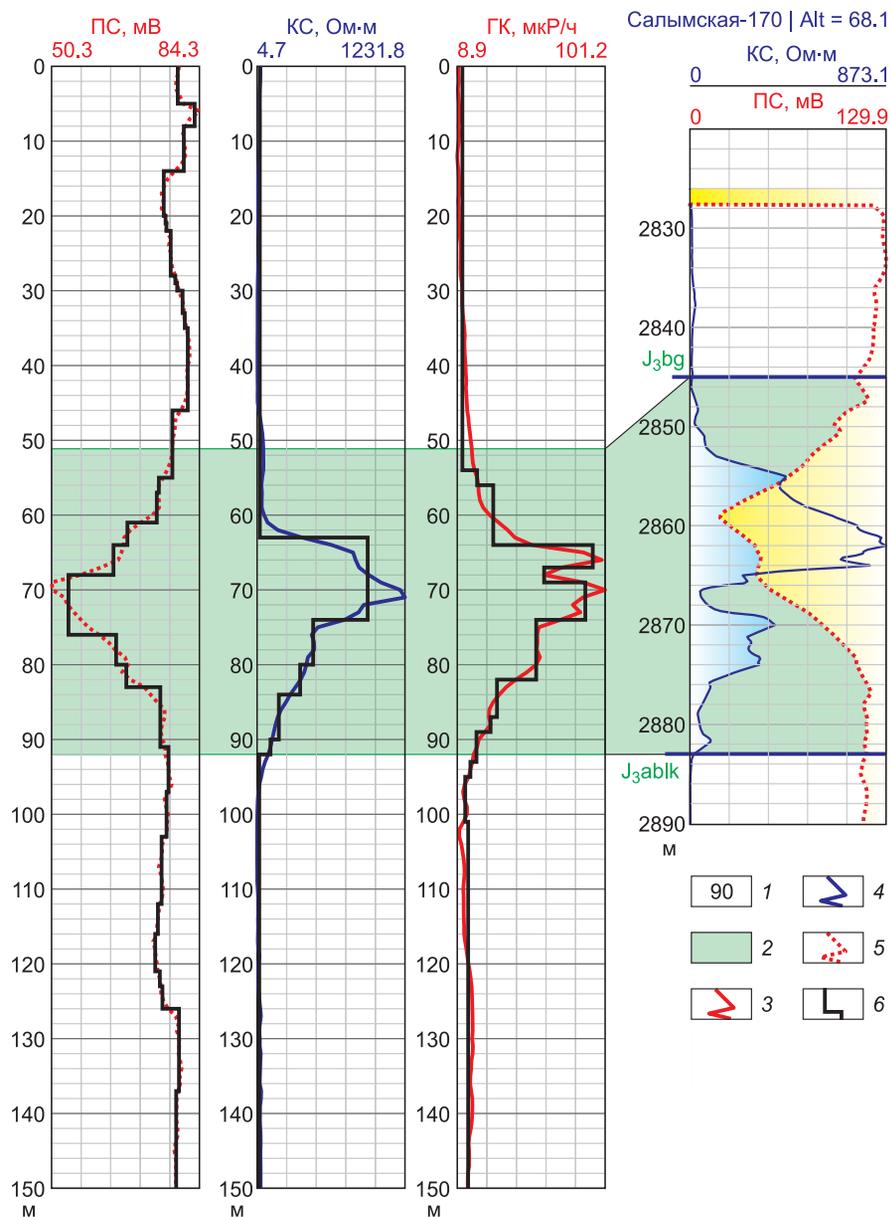


Рис. 3. Обобщенная скважина (слева) и ее соответствие разрезу гипостратотипа баженовской скиты (справа).

1 — номер слоя; 2 — интервал баженовской скиты в гипостратотипе (Салымская-170); 3—5 — кривые: ГК(3), КС (4), ПС (5); 6 — пластовая модель. Пояснения см. в тексте.

лымская-170 — гипостратотипа баженовской скиты. Светло-зеленая область соответствует телу баженовской скиты в гипостратотипе и тому интервалу слоев обобщенной скважины, который по набору парных корреляционных решений рассматривается как ее стратиграфический аналог.

Набор парных корреляционных решений позволяет для каждой исходной скважины определить стратиграфический аналог любого заданного фрагмента обобщенной скважины. Значит можно выделить область аномальных значений каротажа ГК или КС в обобщенной скважине, а затем определить стратиграфические аналоги этой области во всех исходных скважинах, что позволяет анализировать особенности этих тел и оценивать их свойства (толщина тела, средние, максимальные, минимальные значения соответствующего вида каротажа для него во всех скважинах).

Учитывая, что получаемые корреляционные модели и обобщенная скважина являются случайной реализацией стохастического процесса, в котором важна последовательность выбора пары скважин, можно получать разные равнозначные реализации, меняя параметр генератора случайных чисел.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Вычисленную обобщенную скважину (см. рис. 3) можно рассматривать как типичное проявление физических свойств и каротажных кривых для разреза баженовской свиты на Салымской и Приразломной площадях. Существенные отклонения каротажных данных конкретных скважин от нее показывают индивидуальную изменчивость.

Для кривой ПС интервал баженовской свиты характеризуется выраженной отрицательной аномалией, что, возможно, связано с улучшением емкостных свойств пород, которое обеспечивает здесь промышленную нефтеносность. Аномалия КС имеет очень резкую верхнюю границу. В слоистой модели она ступенчато изменяется от минимальных значений до максимальных по границе одного слоя. После единственного максимума в центральной части баженовской свиты значения КС плавно снижаются к подошве свиты. Снижение значений происходит по монотонной кривой вогнутой формы, которая аппроксимируется пятью ступенями. Аномалия ГК имеет плавные верхнюю и нижнюю границы. Выделяемая по пластовой модели верхняя граница аномалии ГК начинается существенно выше верхней границы аномалии КС. Кривая ГК, кроме того, имеет двухвершинную форму. Эта особенность часто проявляется на индивидуальных разрезах свиты (см., рис. 1).

Причины несовпадения аномалий ГК и КС для разрезов салымского типа баженовской свиты могут быть связаны с минералогическими особенностями этих отложений. Исследованиями М.Ю. Зубкова установлено, что для туглеймской свиты Красноленинского района, частично являющейся стратиграфическим аналогом баженовской свиты, выделяется верхняя пачка наиболее радиоактивных и в то же время низкоомных пород. Аномально низкие удельные электрические сопротивления этих отложений обусловлены присутствием значительного количества тонких субгоризонтальных прослоев пирита, весовые содержания которого в породе достигают 35—40 % [Зубков, 2008]. Для Салымского района можно предположить аналогичный механизм, приводящий к несовпадению аномалий ГК и КС.

Другая гипотетическая причина несоответствия аномалий ГК и КС, которая нуждается в проверке дополнительными исследованиями, может быть связана с процессами миграции углеводородов. Анома-

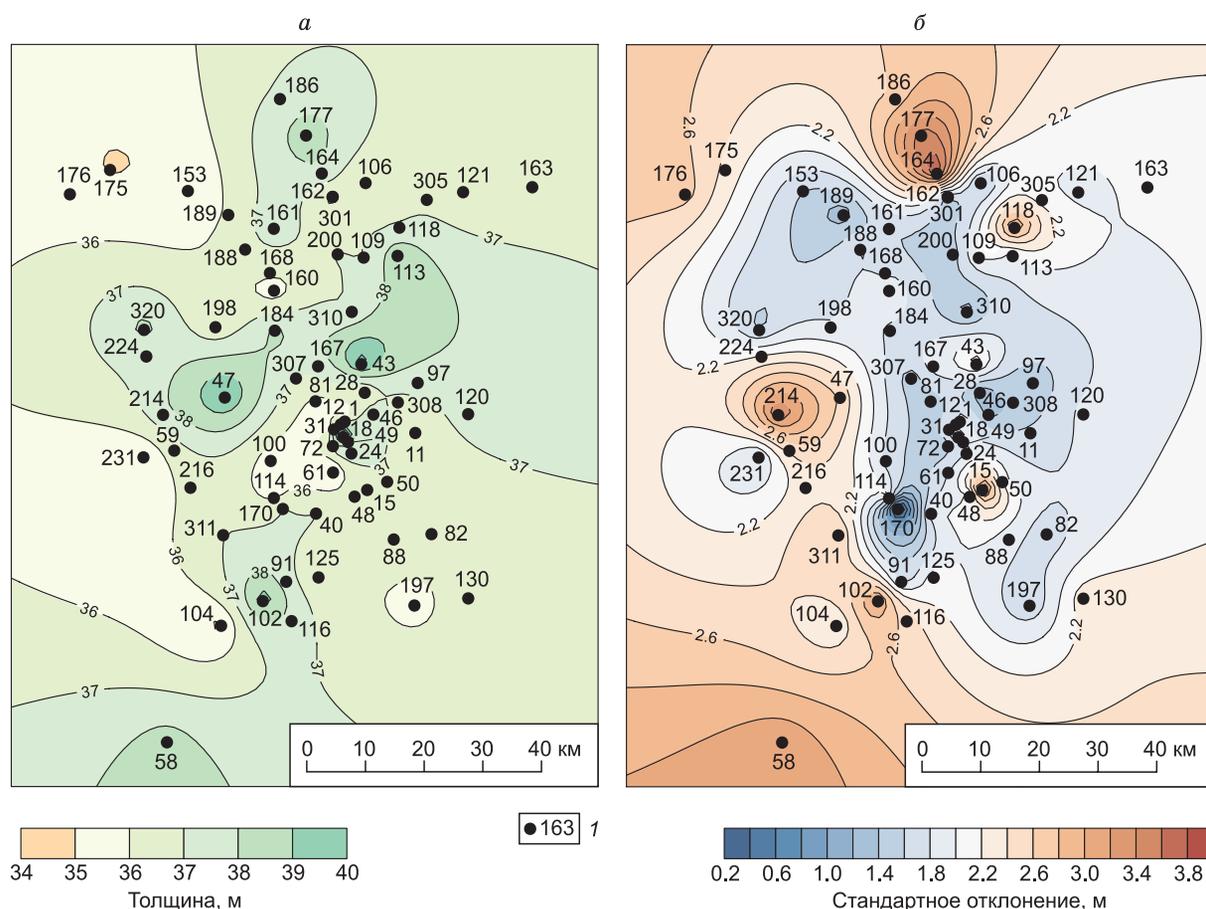


Рис. 4. Карты медианных значений толщины (а) и стандартных отклонений толщин (б) баженовской свиты по 21-й реализации.

l — скважина и ее номер.

лия ГК преимущественно обусловлена высоким содержанием урана в ихтиодетрите, нерастворимой части органического вещества и пиролюзите [Зубков, 2015], и эти компоненты малоподвижны. В то же время высокое сопротивление пород свиты может быть связано с присутствием жидких, соответственно, подвижных битумоидов.

Для оценки вариативности получаемых результатов были вычислены 21 случайная реализация обобщенной скважины, и для каждой реализации вычислялось положение баженовской свиты в скважинах района. Карта медианных значений толщины и карта их стандартных отклонений показаны на рис. 4. Минимальное значение толщины баженовской свиты составляет 35 м, максимальное — 41 м, а среднее по площади — 36.7 м. Значит, в обобщенной скважине мощность всей баженовской свиты составляет приблизительно 37 м и ей соответствует 41 пласт толщиной по 0.9 м.

Среднеквадратическое отклонение толщин свиты, полученное при расчете по 21 реализации, меняется от 1.28 до 3.84 при среднем значении 2.02 м. В целом для центральных областей района исследования, где имеется густая сеть скважин, среднеквадратическое отклонение редко превышает 2 м. С учетом того, что корреляционные построения выполнялись на дискретном множестве пластов с толщиной каждого до 1 м, такую точность (два дискрета) можно считать хорошей. В четырех скважинах района (Приразломная-214 и Салымские-15, -118 и -164) среднеквадратические отклонения оказались аномально высокими.

Отметим, что вариативность толщины свиты, получаемая нами в каждой из реализаций, существенно меньше той, которая имеется в экспертных оценках этого района. При построении карты толщин по отметкам границ свиты из БД ИНГГ СО РАН, получаемый диапазон значений менялся от 19 до 54 м, и такой разброс, по-видимому, обусловлен использованием различных критериев выделения свиты в разных скважинах.

Также для характеристики свойств баженовской свиты Салымского района были построены карты средних значений по ГК и КС. В большинстве скважин значения естественной радиоактивности в интервале тела баженовской свиты варьируются от 30 до 60 мкР/ч. Но есть несколько скважин с аномально высокими значениями. В скважинах Салымская-61 и Салымская-50 значения ГК составляют до 200 мкР/ч. В основном на территории исследования аномальное тело по КС имеет значения от 150 до 600 Ом·м, но в скважинах Салымская-116 и Салымская-163 значения аномалии превышает 1000 Ом·м.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представляется весьма интересным получить обобщенный «портрет» баженовской свиты не только для Салымского района, но и для других районов ЗСНП. Это может позволить количественно оценивать типичные характеристики свиты в разных местах и количественно анализировать индивидуальные отклонения, свойственные отдельным скважинам. Реализованный процесс создания обобщенной скважины имеет стохастическую природу, и его результат в некоторой степени зависит от порядка выбора родительских скважин и построения их корреляционных моделей. Это существенное отличие от взятого в качестве аналогии и методической основы процесса создания обобщенного портрета Фрэнсиса Гальтона. Принципиально возможно построение единственного и детерминированного решения. Однако сомнение вызывает целесообразность достижения такого результата. Однозначно и гарантированно правильно совместить слои обособленных скважин в принципе невозможно. Здесь предлагаются оптимальные, в некотором смысле, отображения одного образа на другой, и стохастичность в этом процессе позволяет проанализировать возможные погрешности оценок и получить облако допустимых решений. С другой стороны, представляется интересным сужать область неопределенности, порождаемую многовариантностью стратиграфических корреляций за счет совместного использования каротажных, палеонтологических и сейсмических данных.

Авторы выражают признательность старшему научному сотруднику ИНГГ СО РАН Александру Александровичу Власову за предоставленный программный код, реализующий волновой алгоритм.

ЛИТЕРАТУРА

Брадучан Ю.В., Гурари Ф.Г., Захаров В.А., Булыникова С.П., Климова И.Г., Месежников М.С., Вячкилева Н.П., Козлова Г.Э., Лебедев А.И., Нальняева Т.И., Турбина А.С. Баженовский горизонт Западной Сибири (стратиграфия, палеогеография, экосистема, нефтеносность). Новосибирск, Наука, 1986, 217 с.

Гришкевич В.Ф. Изложение задачи корреляции большого числа скважин в терминах теории расчлененных алгоритмов // Методы математического моделирования при решении прикладных задач нефтяной геологии (Тр. ЗапСибНИГНИ; Вып. 192). Тюмень, 1984, с. 15—19.

Губерман Ш.А., Овчинникова М.И. О машинной корреляции пластов в разрезе скважин по геофизическим данным // Изв. Академии наук СССР, сер. Физика Земли, 1972, № 3, с. 87—94.

Гурари Ф.Г. Геология и перспективы нефтегазоносности Обь-Иртышского междуречья. Л., Гостехиздат, 1959, 174 с.

Гутман И.С., Балабан И.Ю., Постнова О.В., Саакян М.И. Программный комплекс ACDV для изучения осадконакопления в залежах углеводородов сложного геологического строения // Геофизика, № 4, 2010, с. 17—25.

Зубков М.Ю. Кристаллографическое и литолого-петрофизическое обоснование электрических свойств минералов железа, глин и терригенных коллекторов (на примере пластов БВ₈ и ЮВ₁ Повховского месторождения. Часть 1). Особенности распределения урана в битуминозных отложениях баженовской свиты (Западная Сибирь) // Горные ведомости, 2008, № 11, с. 20—32.

Зубков М.Ю. Особенности распределения урана в битуминозных отложениях баженовской свиты (Западная Сибирь) // Каротажник, 2015, № 5, с. 3—32.

Ковалевский Е.В., Гогоненков Г.Н., Перепечкин М.В. Уточнение геологических моделей посредством использования автоматической корреляции скважин // Недропользование XXI век, 2007, № 4, с. 28—31.

Конторович А.Э., Данилова В.П., Костырева Е.А., Меленевский В.Н., Москвин В.И., Фомин А.Н., Махнева Е.Н. Нефтематеринские формации Западной Сибири: старое и новое видение проблемы // Органическая геохимия нефтепроизводящих пород Западной Сибири. Новосибирск, Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1999, с. 10—12.

Конторович А.Э., Бурштейн Л.М., Казаненков В.А., Конторович В.А., Костырева Е.А., Пономарева Е.В., Рыжкова С.В., Ян П.А. Баженовская свита — главный источник ресурсов нетрадиционной нефти в России [Электронный ресурс] // Георесурсы, геоэнергетика, геополитика: Электронный журнал, 2014, № 2 (10), с. 1—8.

Лапковский В.В., Истомина А.В., Конторович В.А., Бердов В.А. Корреляция разрезов скважин как многомерная оптимизационная задача // Геология и геофизика, 2015, т. 56 (3), с. 624—630.

Мейен С.В. Введение в теорию стратиграфии. М., Наука, 1989, 216 с.

Перевозчиков И.В., Маурер А.М. Обобщенный фотопортрет: история, методы, результаты // Вестник Моск. ун-та. Серия XXIII. Антропология 2009, № 1, с. 35—44.

Плуман И.И. Распространение урана, тория и калия в отложениях Западно-Сибирской плиты // Геохимия, 1975, № 5, с. 756—766.

Стратиграфический кодекс России. Издание третье. СПб., Изд-во ВСЕГЕИ, 2006, 96 с.

Стратиграфия и математика / Под редакцией Ю.А. Косыгин, Ю.С. Салин, В.А. Соловьев, Хабаровск, Хабаровское кн. изд-во, 1974, 208 с.

Шурыгин Б.Н., Дзюба О.С. Граница юры и мела на севере Сибири и бореально-тетическая корреляция приграничных толщ // Геология и геофизика, 2015, т. 56 (4), с. 830—844.

Galton Fr. Composite portraits // Nature, May 1878, v. XVIII, p. 97—100.

Lee C.Y. An algorithm for path connections and its applications // IRE Transactions on Electronic Computers EC-10 (2), 1961, p. 346—365

Rodova Nadia. Will Russia replicate US success in tight oil development? S&P Global Platts, 23 August 2012.

Technically recoverable shale oil and shale gas resources: An assessment of 137 shale formations in 41 countries outside the United States (PDF). U.S. Energy Information Administration (EIA) (June 2013).

*Рекомендована к печати 1 марта 2018 г.
А.Э. Конторовичем*

*Поступила в редакцию 23 июня 2017 г.,
после доработки — 12 января 2018 г.*