

СЕКВЕНТНАЯ СТРАТИГРАФИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НЕСТРУКТУРНЫХ ЛОВУШЕК НА ОСНОВЕ КОРРЕЛЯЦИИ ФРАКТАЛЬНЫХ ОБРАЗОВ ГИС-ДИАГРАММ

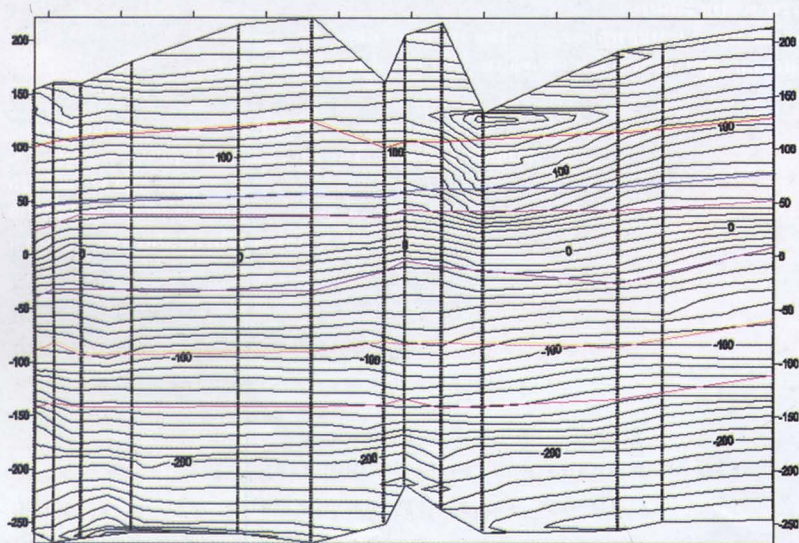
В данной работе представлены некоторые элементы новой технологии выявления зон, перспективных на обнаружение залежей углеводородов (неструктурных ловушек) на основе анализа данных ГИС. В качестве примера рассматривается разрез пермских отложений на одном из участков зоны сочленения западного склона Южно-Татарского свода и восточного борта Мелекесской впадины.

На сегодняшний день достигнута довольно высокая степень изученности верхнепермских битумовмещающих комплексов РТ. Однако следует заметить, что поиск и разведка битумовмещающих объектов, подсчет запа-

чему значение фациального анализа для подобных комплексов столь велико.

Основой большинства геологических реконструкций, используемых для изучения строения битумовмещающих

природных резервуаров, является, если так можно выразиться, технологическая корреляция, то есть корреляция сходных по литологии единиц. Однако такая корреляция не учитывает сложный характер осадконакопления в бассейне, определяемый взаимодействием множества аутоциклических и аллоциклических факторов, контролирующих распространение фаций: тектоники, климата, характера поступления осадочного материала, нелинейности седиментационных процессов, колебаний уровня моря, химии и биологии вод и т.д.



Границы стратиграфических подразделений по данным бурения

- P2kz1
- "Лингуловые глины"
- P2uf2
- P1a
- P1ass
- C3

Рис. 1. Схема корреляции разрезов скважин по ГК. Положение классических стратиграфических границ отмечено по данным ядра.

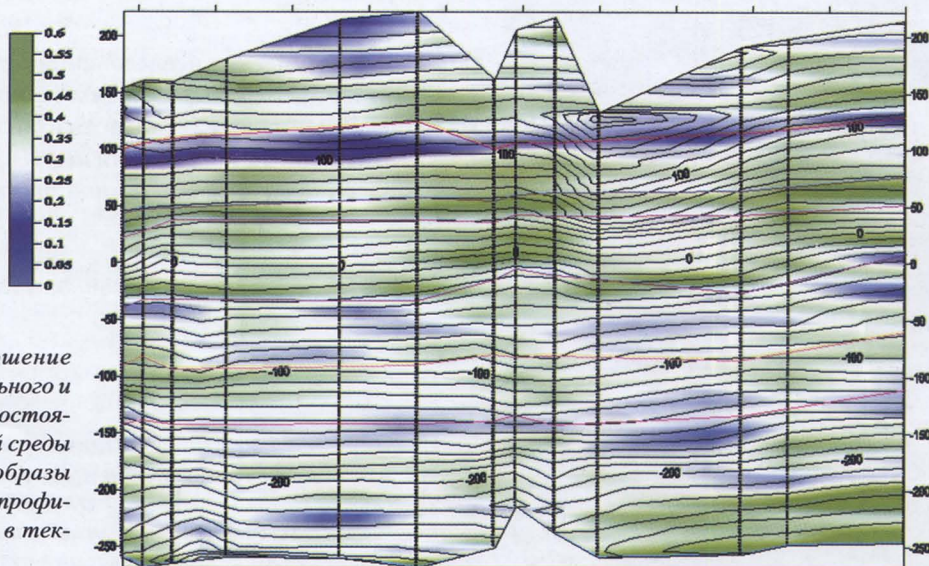
сов битумных концентраций, выделение эксплуатационных объектов на битумных залежах и месторождениях имеют свою специфику, отличную от нефтяных залежей и месторождений.

Эта специфика обусловлена неравномерным дифференцированным характером распределения битумных концентраций, определяющимся не только структурно-тектоническими факторами, но в большей степени неструктурными седиментационными и постседиментационными факторами (Nourgalieva, 2000). Вот по-

чему значение фациального анализа для подобных комплексов столь велико.

Границы стратиграфических подразделений по данным бурения

Рис. 2. Соотношение участков стабильного и возбужденного состояния окружающей среды (фрактальные образы диаграмм ГК) по профилю. Обозначения в тексте.



Таким образом, при корреляции геологических разрезов важно использовать более объективные стратиграфические критерии корреляции, позволяющие создавать более реальные геологические модели, и на их основе делать прогнозы палеогеографии и зон распространения коллекторов.

Одним из таких методов, а точнее сказать, направлений в геологической науке, является секвентная стратиграфия. Современная секвентная стратиграфия началась с достижений сейсмостратиграфии и скважинной геофизики. Сейсмические записи позволили обнаружить крупномасштабную архитектуру осадочных бассейнов и геометрию индивидуальных осадочных тел в двумерном и трехмерном пространстве. Эти записи позволили проследживать несогласия и нарушения в осадочных слоях на большие расстояния.

Работами группы EXXON Production Research Company под руководством Р. Vail (1987) было установлено, что относительные изменения уровня моря в истории Земли обусловили осадконакопление в зонах взаимодействия суши и моря, в мелководных и даже глубоководных морях. Разработка этих идей привела к более глубокому пониманию процессов формирования осадочных тел, коллекторов и природных резервуаров и позволила распознавать неструктурные литолого-стратиграфические ловушки углеводородов (дополнительно к структурным ловушкам). Прогнозные определения и планирование поисково-разведочных работ стали более достоверными и удешевили многие работы в области освоения углеводородного сырья.

В основе секвентной стратиграфии лежит изучение относительных колебаний уровня моря. По кривым относительных колебаний уровня моря можно стратифицировать и коррелировать геологические разрезы, находить низкие палеоуровни, являющиеся поисковыми признаками обнаружения неантиклинальных ловушек углеводородов.

В целом, относительные изменения уровня моря определяются эвстатическими колебаниями, вертикальными тектоническими движениями, поступлением осадоч-

ного материала, наклонением блоков земной коры, изостатической нагрузкой осадочных масс на земную кору (Обстановки осадконакопления..., 1990).

Объектами секвентной стратиграфии являются разрезы, которые формируются в области палеошельфа и зон сопряжения палеошельфа и палеосуши. При стабильной обстановке на шельфе существует равновесие между процессами аккумуляции и эрозии. При нарушении характера взаимодействия поступления осадочного материала, локальных тектонических движений и эвстазии равновесие смещается либо в сторону аккумуляции, либо в сторону эрозии, что отражается в перемещении береговой линии.

Объективным критерием обнаружения относительных колебаний уровня моря является нахождение угловой поверхности несогласия подошвенного (прибрежного) налегания (Vail, 1987; Miall, 1997). При подъеме уровня моря эта поверхность перемещается в сторону суши, и выделяют трансгрессивное подошвенное налегание. При падении уровня моря эта поверхность перемещается в сторону бассейна, и выделяют регрессивное подошвенное налегание.

Угловая поверхность несогласия, выявляемая секвентной стратиграфией, формируется при изменениях уровня моря, когда вырабатываются новые уровни палеошельфа, срезающие поверхностные осадочные слои, при этом поверхность несогласия протягивается параллельно береговой линии до бровки палеошельфа.

Единицей секвентной стратиграфии является седиментационный комплекс, ограниченный поверхностями несогласия или согласия, связанными с относительными колебаниями уровня моря. Данный седиментационный комплекс включает в себя так называемые системные (или фациальные) тракты: тракт низкого уровня моря, тракт трансгрессии, тракт высокого уровня моря (Miall, 1997). Тракт низкого уровня моря состоит из отложений конуса выноса дна котловины, конуса выноса континентального склона, клиноформ, осадков, заполняющих каналы и каньоны. Тракт трансгрессии включает конденсированные тонкозернистые осадки. Тракт высокого уровня моря

включает осадки проградационно-агградационных серий клиноформ. Каждая из систем отвечает определенным фазам относительных колебаний уровня моря.

Отложения конуса выноса дна котловины отвечает фазе падения уровня моря, отложения конусов выноса континентального склона и клиноформы тракта низкого уровня моря соответствуют позднему подъему, тракт трансгрессии соответствует быстрому подъему уровня моря, тракт вы-

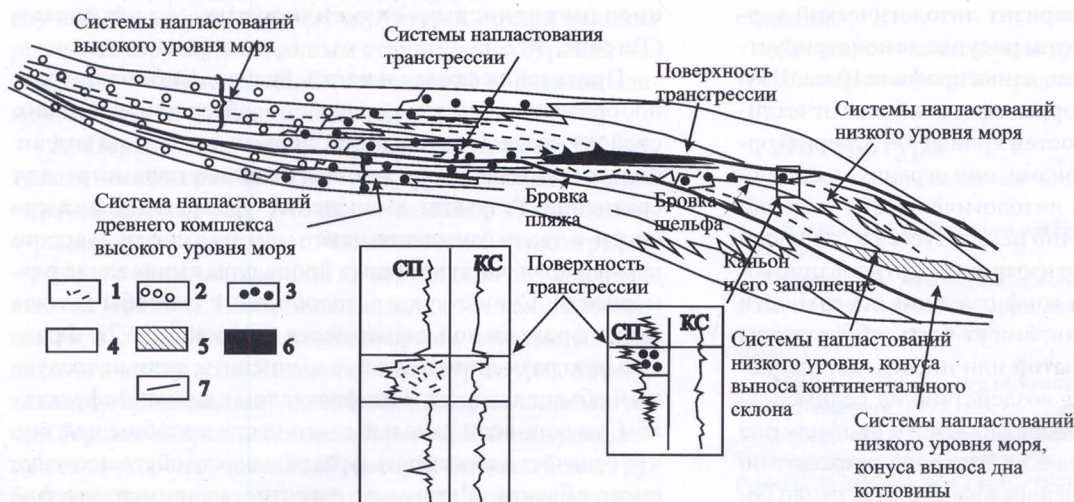


Рис. 3. Принципиальный разрез седиментационного комплекса по (Шлезингер, 1998). 1 – песчаники русел и эстуариев врезанных долин; 2 – песчаники и аргиллиты прибрежной равнины; 3 – мелководные песчаники; 4 – шельфовые склоновые слои песчаников; 5 – песчаники подводных конусов; 6 – конденсированные отложения; 7 – границы седиментационного комплекса. КС – кривая ГИС кажущегося сопротивления, СП – кривая ГИС самопроизвольной поляризации.

сокого уровня моря соответствует позднему подъему, равновесию и началу падения уровня моря.

По характеру подошвы седиментационного комплекса различают секвенсы двух типов. Первый тип включает охарактеризованные выше системные тракты и ограничивается снизу поверхностью субаэральной эрозии (захороненный палеорельеф). Второй тип секвенсы ограничивается снизу поверхностью подводной эрозии и вместо тракта низкого уровня моря включает напластования палеошельфа (Miall, 1997; Шлезингер, 1998).

Тракты низкого уровня моря содержат в себе прекрасные коллекторы для углеводородов и являются предметом особенно пристального внимания геологов-нефтяников за рубежом.

Низкие палеоуровни на разрезах можно обнаружить там, где существует достаточно плотная сеть наблюдений или квази-непрерывная запись геологического пространства (трехмерная сейсмика).

На пермских объектах нет сейсмических записей, но есть плотная сеть скважин с комплексом ГИС, которые позволяют рассмотреть разрезы пермской битумовмещающей толщи с позиции секвентной стратиграфии. Для демонстрации сложности объекта и приложения секвентной стратиграфии в качестве примера предлагается фрагмент профиля с 13 скважинами, охарактеризованными ГК – диаграммами. Интенсивность естественного гамма-излучения пород в основном зависит от содержания глинистой компоненты, что для обломочных (терригенных) и хемогенных (карбонатных) пород отражает относительные расстояния от палеоберега. Поэтому диаграммы ГК представляются информативными для решения поставленной задачи.

Если мы используем сами кривые ГК для корреляции скважин, то мы получаем вариант литологической корреляции толщи (Рис. 1). На этом рисунке демонстрируется профиль по линии скважин, длина профиля 10 км. Изолиниями показаны линии корреляции наиболее отчетливо коррелируемых особенностей кривых ГК. Линии корреляции не являются изохронами, они ограничивают или проходят по однородным в литологическом отношении пластам. Такой подход обычно используется в стандартной стратиграфии. Реальные изохроны, картирование которых дает информацию о конфигурации поверхности дна бассейна седиментации, могут быть обнаружены только при корреляции событий или последовательностей событий, оказывающих воздействие на седиментацию осадков вдоль всего прослеживаемого профиля дна бассейна седиментации. Реально изохрона проходит по породам различного литологического состава: около берега это пески, далее – глины.

В качестве событий и последовательностей событий, по которым могут быть выявлены изохроны, мы предлагаем использовать режим изменчивости окружающей среды (климат, тектоника, биосфера, а также колебания, выз-

ванные взаимодействием этих факторов). Предполагается наличие двух состояний изменчивости окружающей среды: **стабильное** и **возбужденное**. Такая дифференциация является условной, она критична со многих точек зрения (турбидиты, вторичные преобразования пород, перерывы осадконакопления и многое другое), но позволяет упростить регистрацию характера влияния окружающей среды на седиментацию.

Стабильное и возбужденное состояния окружающей среды являются условными еще по другой причине. Возбуждение окружающей среды по-разному отражается в различных фациальных условиях, различные типы осцилляций окружающей среды по-разному отражаются в показаниях различных методов ГИС и т.д. Т.е. мы должны провести нормировку осцилляций, учитывающую амплитуду сигнала, на фоне которого происходят осцилляции (учет влияния фациальной зависимости показаний ГК). Такая процедура осуществляется нами путем под-



Рис. 4. Реконструкция шешминского седиментационного комплекса на основе сопоставления кривых ГК скважин Западного склона Южно-Татарского свода. Условные обозначения показаны на рис. 3.

счета локальной фрактальной размерности диаграмм ГК. Введение понятия фрактальной размерности при решении задач геофизики позволяет придать количественную характеристику некоторым интуитивно воспринимаемым в геофизике терминам, как, например, «неустойчивость», «неоднородность», «изменчивость», «сложность» (Turcotte, 1992).

Проявления фрактальности, будучи необычайно разнообразными, могут указать способ сравнения таких свойств систем, которые, на первый взгляд, не имеют никакого конкретного количественного параметра для сравнения. Результат вычисления фрактальной размерности в таком контексте ценен сам по себе, и здесь на первый план выступает роль процедуры вычисления размерности. Существуют разнообразные способы вычисления фрактальной размерности (Turcotte, 1992). Фрактальную размерность можно вычислить, если исследуемый объект является монофракталом или мультифракталом, то есть если отдельные его части подобны целому, что означает целостность фрактальных свойств исследуемого объекта. Между тем известно, например, что физико-геологические свойства среды существенно меняются с глубиной, что должно отражаться на локальной фрактальной размерности физических параметров, и подобных примеров в природе можно найти достаточно.

Для исследования структуры геологических объектов

необходимо знать их локальные характеристики, и для этой задачи применение традиционных методов теории фракталов ограничено. Таким образом, мы подходим к понятию фрактальных множеств, имеющих пространственное распределение локальных фрактальных свойств, это – нестационарные фрактальные множества (Утёмов, 1998). Мы не будем здесь останавливаться на математических подробностях вычисления локальной фрактальной размерности (Утёмов, 1998). На рис. 2 демонстрируется характер изменения и корреляции зон высокой (синим цветом) и низкой (зеленым цветом) фрактальной размерности кривых ГК. Таким образом, на рис. 2 выделяются последовательности возбужденного (синим цветом) и стабильного (зеленым цветом) состояний окружающей среды, белым цветом обозначены промежуточные состояния. Выделение промежуточных состояний обусловлено непрерывностью природных процессов и некоторым осреднением данных в процессе математической обработки. На этом же рисунке изолиниями обозначены линии корреляции, выделенные по данным ГК (Рис. 1). Отметим поразительные основные особенности данного отображения:

1. Очень хорошая, протягивающаяся по всей длине профиля **корреляция состояний окружающей среды на региональных поверхностях размыва**, которые не всегда согласуются с классическими стратиграфическими границами. Последние всегда основаны на вещественном составе пород, как правило, это известняки. Путаница возникает из-за наличия дополнительных пачек известняков (расщепление пачки) вблизи береговой линии и сложного характера делювирования на границах размыва. Этим могут быть объяснены многие случаи наличия “структур” и “смещения” структурных планов по данным структурного бурения.

2. Отчетливое выделение элементарных седиментационных единиц типа секвентной “чечевицы” (Рис. 1), (Vail, 1987; Miall, 1997; Шлезингер, 1998), обусловленного строением дна бассейна осадконакопления. Такие структуры не могут быть прослежены по данным корреляции литологических параметров. В некоторых случаях выделение ложных структур и потеря наличия реальных структур по данным структурного бурения может быть объяснена такой (естественной) формой элементарных седиментационных единиц.

3. Пересечение линий корреляции кривых ГК (литологических границ) и линий корреляции состояний окружающей среды. Это является самой яркой демонстрацией несостоятельности классической стратиграфии – стратиграфии, основанной на корреляции литологических тел (границ). Изохронными являются зоны с одинаковым состоянием окружающей среды, а не одинаковые литологические тела. Литологическая структура седиментационной “чечевицы” показывает направление миграции береговой линии. Ближе к береговой линии располагается та сторона “чечевицы”, которая сложена более грубозернистыми образованиями. Корреляция литологических границ в принципе не может дать нам подобную информацию. Это положение и является основным при прогнозе зон коллекторов в разрезах. Коллекторы, естественно, располагаются в береговой зоне, хорошие покрышки над ними, а ловушки формируются при последующем

подъеме уровня моря и отложении глинистых толщ над песчаниками. Возможны также и другие схемы формирования ловушек.

Общая принципиальная схема такого анализа системных трактов низкого уровня моря показана на рис. 3. Пример схематического анализа отложений шешминского горизонта (уфимский ярус) показан на рис. 4. На данном рисунке выделяется тракт низкого уровня моря, ограниченный снизу поверхностью субаэральной эрозии, а сверху трансгрессивной поверхностью. Этот тракт представлен отложениями заполнения каналов и клиноформными образованиями. В песчаных клиноформных образованиях и сосредоточены битумные концентрации.

Таким образом, применение секвентной стратиграфии является перспективным для пермских битумовмещающих объектов, а картирование систем напластований низкого уровня моря позволяет выявлять более реальную палеогеографию, а значит позволяет реальнее прогнозировать зоны коллекторов и ловушек углеводородов.

Перспективы предлагаемого нами подхода могут оказаться наиболее впечатляющими для отложений девона и карбона при прогнозировании зон распространения коллекторов и покрышек в пространствах между скважинами. Другое применение данной методики может быть осуществлено при совместном анализе данных сейсмоки и ГИС. В частности, многие случаи неподтверждения бурением структур, выделенных по данным сейсмоки, могут найти объяснение в рамках предлагаемого подхода. С другой стороны, становятся очевидными многие ошибки анализа данных структурного бурения, проводившегося на территории РТ много десятков лет. Эти данные при необходимости могут быть подвергнуты переинтерпретации.

Предлагаемая методика не требует проведения дорогостоящих полевых исследований и может быть использована для переработки имеющихся материалов. Особенно большой эффект может быть достигнут при детальном анализе старых залежей для составления их моделей и прогноза соотношения коллекторов и покрышек при наличии достаточно плотной (через 0.5 – 1 км) сетки скважин.

Данная работа выполнена при поддержке гранта E00-9.0-114 Минобразования РФ, гранта 00-05-64653 РФФИ.

Литература

- Обстановки осадконакопления и фракции. Под ред. Х. Рединга. М. Мир. Т.1, 1990. 352.
- Шлезингер А.Е. Региональная сейсмостратиграфия. М. Научный мир. 1998. 143.
- Утёмов Э.В. Некоторые аспекты использования анализа фрактальных свойств геофизических данных при их геологической интерпретации. Казан. ун-т. Казань. Деп. в ВИНТИ 18.09.98, № 2822-В98. 1998. 11.
- Miall A.D. *The Geology of Stratigraphic Sequences*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 1997. 435.
- Nourgalieva N.G. The Upper Permian, Melekesskaya depression: the Sedimentology and Stratigraphy. *Proc. of International Symposium "Upper Permian Stratotypes of the Volga Region"*. Geos. 2000. 172-181.
- Nourgalieva N.G. The Ufimian Ashalchinskies Facies in Southern Tatarstan: Reservoir Characteristics. *Georesources*, № 2[2], 2000. 24-29.
- Turcotte D.L. *Fractals and chaos in geology and geophysics*. Cambridge University Press, New York, 1992. 221.
- Vail P.R. Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy interpretation procedure. *Atlas of Seismic Stratigraphy*. Amer. Assoc. Petrol. Geol., *Stud. Geol.*, V. 27. №1. 1987. 1-10.