

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Тюменский индустриальный университет»

На правах рукописи

Зундэ Дмитрий Алексеевич

**Разработка методики дифференциации континентальных
отложений с использованием сиквенс-стратиграфической модели на
примере пластов покурской свиты месторождений Западной Сибири**

25. 00. 12 - Геология, поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель
д. г.-м. н., профессор Попов И. П.

Тюмень - 2016

Содержание

Введение	3
Глава 1 Современные представления о стратиграфии, условиях осадконакопления и нефтегазоносности покурской свиты	10
1.1 Представление о стратиграфии покурской свиты	10
1.2 Анализ обстановок осадконакопления пластов покурской свиты	19
1.3 Данные о региональной нефтегазоносности покурской свиты.....	23
1.3.1 Анализ формирования нефтегазоматеринских пород	25
1.3.2 Характеристика геологических особенностей коллекторов	26
1.3.3 Характеристика геологических особенностей покрышек	27
1.3.4 Анализ формирования залежей	28
1.4 Существующие подходы к расчленению пластов покурской свиты	31
Глава 2. Разработка методики дифференциации отложений покурской свиты на основе сиквенс-стратиграфической модели	36
2.1 Концепция сиквенс-стратиграфии прибрежно-континентальных отложений	36
2.2 Разработка методики дифференциации покурской свиты	58
2.3 Сейсмостратиграфический анализ разреза покурской свиты	80
Глава 3. Применение методики дифференциации разреза покурской свиты на примере крупного нефтегазоконденсатного месторождения Западно-Сибирской НГП.....	89
3.1 Геологическая характеристика месторождения	89
3.1.1 Стратиграфия	89
3.1.2 Тектоника.....	92
3.1.3 Анализ изученности.....	92
3.1.4 Нефтегазоносность	92
3.2 Дифференциация разреза покурской свиты	93
3.3 Построение геологической модели пластов покурской свиты с использованием сиквенс-стратиграфической модели	116
Заключение.....	139
Список литературы	140

Введение

Актуальность темы

На современном этапе Западно-Сибирский нефтегазоносный бассейн остается главным регионом добычи углеводородов в России. В связи с выработкой основных запасов высокопродуктивных залежей, направление геологических исследований смещается в сторону месторождений, содержащих пласты с высокой степенью геологической неоднородности. Одними из наиболее перспективных объектов такого типа являются продуктивные пласты покурской свиты (ПК), приуроченные к апт-альб-сеноманскому нефтегазоносному комплексу. Залежи свиты относятся к резервуарам с высокой литологической и фациальной неоднородностью, которые представлены переслаивающимися песчаными и алевритоглинистыми пачками различной толщины, часто линзовидной формы. Формирование данных неоднородностей происходило за счет циклической седиментации отложений свиты [116] в часто меняющихся условиях аллювиальных и прибрежных равнин, поэтому корреляция продуктивных пластов ПК даже в пределах одной площади остается крайне трудоемкой задачей, нерешенной на многих месторождениях региона.

Первостепенным фактором корректного расчленения разреза является определение реперных горизонтов. Как показывает практика, для континентальных отложений в целом и для интервала покурской свиты в частности, использование существующих подходов прослеживания границ пластов дает множество неточностей и ошибок в корреляции, что приводит к построению недостоверных геологических моделей и, в результате, к погрешностям в распределении геологических запасов. Стратификация пластов является необходимой частью геологоразведочных работ, и в этой связи создание методики дифференциации толщи пород покурской свиты представляется крайне актуальной задачей.

Степень разработанности

При написании диссертационной работы в качестве источников справочного характера автором привлекались периодические издания и публикации по седиментологии [6], [8], [12], [24], сиквенс-стратиграфии [14], [77], [89] и геологическому моделированию [25], [51], [57], в том числе зарубежных авторов - Catuneanu O. [82]-[85], Embry A. F. [87], [88], Van Wagoner J. C. [109], [110] и др.

Изучению геологического строения пластов покурской свиты посвящены работы таких ученых как В. Н. Бородкин, А. М. Брехунцов, И. С. Гутман [27], Дюкалов С. В. [20], В. И. Ермаков [22], Ю. Н. Карагодин [30], [31], [99], Комардинкина Г. Н. [36], А. Э. Конторович [35], А. А. Нежданов [47], [115], Н. Н. Немченко, И. И. Нестеров [2], [48], М. В. Пороскун [53], [116], С. Г. Саркисян, Строганов Л. В. [63], Ф. И. Толмачев, Ф. З. Хафизов, А. А. Шаля [23], В. И. Шпильман, Ю. Г. Эрвье, Т. А. Ястребова и многих других. Результаты данных исследований сформировали общие представления о стратиграфической принадлежности, условиях образования и нефтегазоносности отложений свиты.

Несмотря на большое количество проведенных работ, вследствие сложного геологического строения, проводимая по существующим методикам дифференциация покурской свиты, как правило, носит субъективный характер и не используется на практике, поэтому проблема расчленения пластов ПК остается актуальной.

Цель работы

Совершенствование методики дифференциации континентальных отложений покурской свиты месторождений Западной Сибири для построения геологических моделей залежей при подсчете запасов и разработке.

Задачи исследований

1. Детальное изучение региональных особенностей стратиграфии, нефтегазоносности и условий осадконакопления пластов ПК, рассмотрение существующих подходов к стратификации отложений покурской свиты.
2. Изучение основных принципов сиквенс-стратиграфии, разработка методики расчленения пластов прибрежно-континентального генезиса и рекомендаций по ее применению.
3. Корреляция разрезов скважин в интервале пластов ПК с использованием предлагаемой методики.
4. Сейсмостратиграфический анализ интервала пластов покурской свиты, прослеживание границ стратиграфических несогласий в межскважинном пространстве по данным 3D сейсморазведки.
5. Построение трехмерной геологической модели пластов ПК на основе предложенной методики.

Методология и методы исследования

В процессе выполнения работы использовался фактический материал более 20 месторождений региона, в частности, материалы площадных сейсморазведочных работ МОГТ 2D и 3D разных лет, данные по поисково-разведочным и эксплуатационным скважинам (ГИС, РИГИС, результаты испытаний скважин и т. д.), результаты исследований кернового материала, производственные отчеты, а также корпоративная база данных.

Научная новизна

1. Проведен анализ влияния колебаний относительного уровня моря на седиментацию осадков речных систем, по результатам которого уточнены основные аспекты выделения границ сиквенсов в прибрежно-континентальных отложениях и построена концептуальная сиквенс-стратиграфическая модель осадконакопления.

2. Впервые создана методика прослеживания поверхностей стратиграфических несогласий по разрезам скважин с использованием приема суммирования каротажных диаграмм α ПС.

3. Доказана возможность трассирования стратиграфических несогласий покурской свиты в волновом поле по данным 3D сейсморазведки.

4. Выделенные поверхности несогласий использовались как реперные при расчленении разреза покурской свиты и построении структурного каркаса трехмерной геологической модели пластов ПК.

Защищаемые положения

1. Использование сиквенс-стратиграфической модели прибрежно-континентальных отложений позволяет корректно дифференцировать пласты покурской свиты, седиментация которых контролируется эвстатическими колебаниями.

2. Проведение комплексного анализа данных кернового материала, ГИС и 3D сейсморазведки совместно с графиком суммы каротажных диаграмм α ПС повышает достоверность определения поверхностей региональных стратиграфических несогласий в интервале покурской свиты.

3. Разработанный метод позволяет использовать поверхности несогласий при проведении детальной корреляции и построении геологических моделей пластов ПК для подсчета запасов и совершенствования разработки месторождений.

Теоретическая и практическая значимость работы

В рамках диссертационной работы изучено состояние проблемы по сиквенс-стратиграфии терригенных континентальных отложений, построена концептуальная сиквенс-стратиграфическая модель, показаны возможности ее практического применения. Исследования автора стали основой для разработки нового подхода к расчленению толщи покурской свиты. В результате, в интервале пластов ПК при помощи приема суммирования каротажных диаграмм α ПС были выделены несогласные границы,

дифференцирующие разрез свиты на седиментационные циклы. В ходе работы доказана корреляция идентифицированных поверхностей по нескольким месторождениям региона, а также проведен анализ их прослеживаемости в межскважинном пространстве. Предлагаемый подход может использоваться с целью повышения эффективности проведения работ по интерпретации разреза покурской свиты и других пластов с аналогичными условиями формирования отложений. По результатам проведенных исследований автором выполнена корреляция пластов ПК на крупном нефтегазоконденсатном месторождении, а также построена трехмерная цифровая геологическая модель, на основе которой произведена детальная оценка начальных геологических запасов.

Личный вклад

Сбор, анализ и интерпретация перечисленного фактического материала, представленного в диссертации, равно как и разработка основных положений работы, производились автором самостоятельно.

Автором создана и оптимизирована методика применения сиквенс-стратиграфического анализа к континентальным отложениям покурской свиты и сформирован алгоритм выполнения операции суммирования каротажных диаграмм. При помощи разработанного подхода по данным кернового материала, ГИС и 3D сейсморазведки автором проводились детальные исследования пластов ПК - выполнена интерпретация разреза свиты, создана концептуальная модель осадконакопления, построены палеогеографические карты, проведен атрибутный анализ. В результате практической апробации работы автором построена трехмерная геологическая модель и выполнен подсчет запасов продуктивных пластов покурской свиты крупного нефтегазоконденсатного месторождения.

Степень достоверности и апробация результатов работы.

Основные положения диссертации и результаты проведенных исследований докладывались автором на: региональных научно-технических

конференциях молодых специалистов ООО «ТННЦ» (Тюмень, 2014, 2015, 2016), научно - практическом семинаре «Актуальные вопросы геологии в подсчете запасов и оценке ресурсов углеводородов» (Тюмень, 2014), Тюменском международном инновационном форуме «НефтьГазТЭК» (Тюмень, 2014), международной конференции AAPG Imperial Barrel Awards (Прага, 2013), девятой международной научно-технической конференции «Геология и нефтегазоносность Западно-Сибирского мегабассейна (Тюмень, 2014), второй научно-практической конференции «Геология, геофизика и минеральное сырье Сибири» (Новосибирск, 2015), на VIII Кустовой научно-технической конференции молодых специалистов ОАО «НК «Роснефть» по блоку «Наука» (Томск, 2015) и на научно-практической конференции по вопросам геологоразведки и разработки месторождений нефти и газа «Геомодель 2016» (Геленджик).

По теме диссертации опубликовано 9 научных работ, из них 3 в журналах, рекомендуемых Высшей аттестационной комиссией РФ. Итоги выполненной работы подтверждаются результатами бурения новых скважин, промысловой информацией, данными ГИС и сейсморазведки.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Содержание работы изложено на 152 страницах. Работа иллюстрирована 58 рисунками. Список использованной литературы насчитывает 118 наименований.

Благодарности

Диссертационная работа выполнена под руководством доктора геолого-минералогических наук, профессора Попова И. П., которому автор искренне благодарен за всестороннюю поддержку и постоянное внимание к работе. За неоценимую помощь автор выражает особую признательность эксперту по геологии и сейсмической интерпретации, к. г.-м. н. Лебедеву М. В., благодаря которому выполнение данной работы стало возможным.

Хочется выразить слова благодарности коллегам из отдела по подсчету запасов месторождений Западной Сибири ООО «ТННЦ» в лице Алимчановой Л. Х., за всестороннее содействие при выполнении диссертационной работы. Автор также благодарит Светлова К. В., Смирнова Д. В., Соколова С. В., Вайсмана А. О., Грищенко М. А., Ушакова А. Е., Нассонову Н. В., Кузнецова А. Г., Скворцова А. А. за ценную помощь и консультации в процессе работы.

Глава 1 Современные представления о стратиграфии, условиях осадконакопления и нефтегазоносности покурской свиты

1.1 Представление о стратиграфии покурской свиты

В 1954 г. в разрезах мезозойских и кайнозойских отложений Западной Сибири Н. Н. Ростовцевым впервые были выделены ряды литолого-фациальных толщ, названные им слоями, которые затем были переведены в ранг свит, подсвит и пачек. Так, помимо уватской, ханты-мансийской, викуловской и кузнецовской, была выделена покурская свита, названная по поселку Покур на р. Обь, в Ханты-Мансийском автономном округе [65].

Изучению геологического строения пластов покурской свиты (ПК) посвящены работы таких ученых как А. М. Брехунцов, А. А. Булынникова, И. С. Гутман, Т. И. Гурова, В. И. Ермаков, Ю. Н. Карагодин, А. Э. Конторович, А. А. Нежданов, Н. Н. Немченко, И. И. Нестеров, М. В. Пороскун, С. Г. Саркисян, Ф. И. Толмачев, Ф. З. Хафизов, В. И. Шпильман, Ю. Г. Эрвье и многих других. Результаты данных исследований сформировали общие представления о стратиграфической принадлежности и условиях образования отложений свиты.

Пласты ПК включают в себя осадки аптского, альбского и сеноманского ярусов нижнего и верхнего отделов меловой системы. Возраст свиты определяется с использованием спорово-пыльцевых комплексов – в сеноманских отложениях верхней части свиты преобладает пыльца голосеменных растений.

В пределах Западной Сибири покурская свита распространена на значительной площади в северной, центральной и восточной частях (рисунок 1) - в Омско-Уренгойской структурно-фациальной зоне (Тазовско-Уренгойский и Омско-Ларьякский подрайоны) – от Карского моря на севере до г. Омска на юге [1]; местами свита также выделяется в южных районах Западно-Сибирской плиты и на восточном склоне Среднего Урала. Пласты покурской свиты залегают с постепенным переходом на киялинскую свиту, в юго-восточном направлении фациально замещаются породами

нижнесимоновской подсвиты и далее, со стороны Чулымо-Енисейской впадины, кийской свиты. В Кулундинско-Барабинском районе, южнее покурской, распространена леньковская свита.

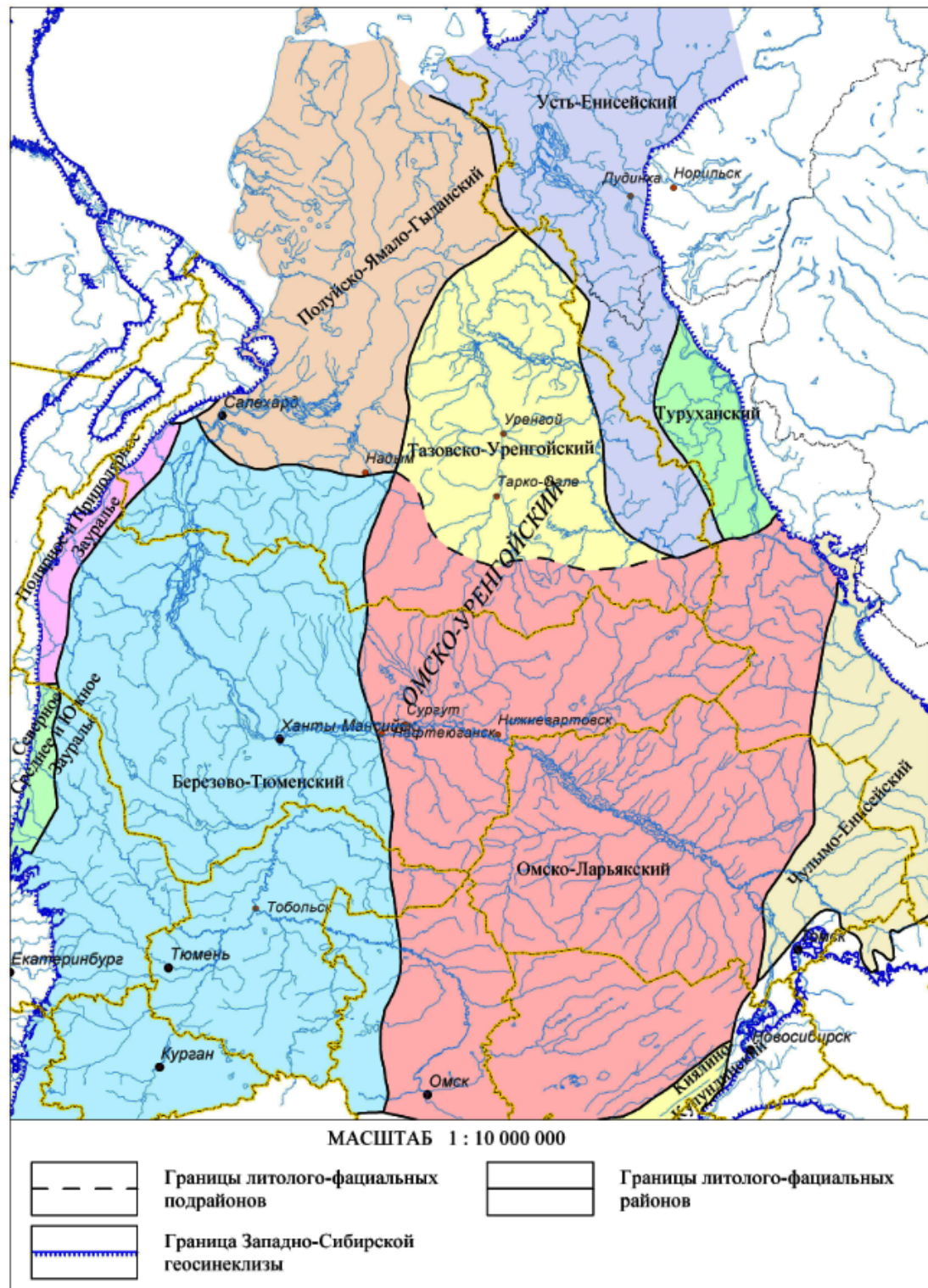


Рис.1. Схема фациального районирования отложений апт-альб-сеномана
(г. Новосибирск, СНИИГГиМС, 2004 г.).

Для расчленения свиты на более дробные стратиграфические подразделения используется стратотип – разрез Покурской опорной скважины, которая находится в 50 км от Самотлорского месторождения. Вынос керна по данной скважине в интервале свиты равен 387 м, что составляет 51.6 % от ее общей мощности. По материалам ВНИГРИ в данной скважине покурская свита подразделяется на две части: верхнюю – «янтареносную» и нижнюю – «угленосную» [19]. Граница между данными толщами проведена на глубине 1370 м. Возраст угленосной толщи датируется как апт-альбский, янтареносной – как сеноманский. Нижняя угленосная толща, является более глинистой, чем верхняя, янтареносная. Такое деление считается условным; на большей части территории Западной Сибири по биостратиграфическим признакам и особенностям слагаемых пород разрез покурской свиты, также с долей условности, делится на верхнюю, среднюю и нижнюю подсвиты сеноманского, альбского и аптского ярусов соответственно. Верхняя подсвита сопоставляется с уватской, средняя – с ханты-мансийской, нижняя – с викуловской свитой (рисунок 2).

На большей части Приобья отложения покурской свиты с размывом подстилает алымская свита нижнеаптского возраста. Она сложена преимущественно темно-серыми глинистыми породами толщинами от 70 до 110 м. Литологически, алымская свита представлена глинами темно-серыми, в нижней части почти черными, слабобитуминозными, с включениями обугленного растительного детрита, переходящими в переслаивание глин, алевролитов и песчаников с характерной линзовидно-прерывистой текстурой. В Уренгойском районе покурская свита залегает на отложениях тангаловской и ереямской свит, а на востоке Западной Сибири перекрывает отложения вартовской свиты. В пределах Томской и Новосибирской областей отложения покурской свиты залегают на осадках киялинской свиты, а в местах их выклинивания – на коре выветривания пород палеозойского фундамента [16].

Система	Отдел	Ярус	Подъярус	Надгоризонт	Горизонт	Омско-Уренгойский район		
						Тазовско-Уренгойский подрайон	Омско-Ларьякский подрайон	
М Е Л О В А Я	В Е Р Х Н И Й	С Е Н О М А Н С К И Й	В Е Р Х Н И Й	П О К У Р С К И Й	У В А Т С К И Й	Верхняя подсвита	Пески уплотненные, песчаники серые, зеленовато-серые, глины алевроитистые темно-серые до серых, нередко углистые. Отмечаются прослои ракушняков, гравелитов и конгломератов, содержащих иногда бобовины бокситов. Характерен растительный детрит, обрывки растений. Пласты ПК ₁ -ПК ₆ . СПК VII(2-4). Сейсмогоризонт Г приурочен к кровле	Пески уплотненные, песчаники, алевролиты серые, зеленовато-, буровато-серые с разнообразными типами слоистости, иногда известковистые, с подчиненными прослоями глин серых алевроитовых с разнообразными типами слоистости, с редкими трещинами усыхания. Встречаются прослои конгломератов, галька представлена глинистыми сидеритизованными окатышами. Характерен растительный детрит, фрагменты растений, янтарь, реже сидерит. На западе единичные раковины фораминифер и радиолярий неясного систематического положения. Пласты ПК ₁ -ПК ₆ . СПК VII(2-4), VII(5) Сейсмогоризонт Г приурочен к кровле
			СРЕДНИЙ		260-390 м		120-280 м	
			НИЖНИЙ					
	Н И Ж Н И Й	А Л Ь Б С К И Й	В Е Р Х Н И Й		Х А Н Т Ы - М А Н С К И Й	Средняя подсвита	Крупные пачки глин, глинистых алевролитов, иногда углистых темно-серых, в единичных прослоях с зеленоватым, буроватым оттенками, чередующиеся в сложном сочетании с песчаниками серыми и светло-серыми, иногда каолинизированными, с окатышами глин в основании отдельных пластов. Породы преимущественно горизонтально-слоистые, косая и волнистая слоистость редки. Характерен растительный детрит, остатки растений, сидерит, единичные пласты бурых углей. В Тазовском районе в основании отмечается глауконит (?), Ядра двустворок. Пласты ПК ₇ -ПК ₁₆ (условно). СПК VI(3), V-VI(3)	Крупные пачки глин серых до темно-серых, в отдельных прослоях с буроватым, реже зеленоватым оттенком от алевроитовых до отонкоотмученных, иногда углистых, чередующиеся в сложном сочетании с уплотненными песками, песчаниками, алевролитами серыми, реже буровато- или зеленовато-серыми. Породы с разнообразными типами слоистости, характерен растительный детрит, фрагменты растений, в том числе корневых систем, сидерит, в верхней половине - янтарь, в нижней - пласты бурых углей. В основании - ядра двустворок, биотурбированные прослои. Пласты ПК ₇ -ПК ₁₂ . КФ: <i>Ammobaculites fragmentarius</i> . Флористические комплексы альб-сеномана, апта-альба. СПК VI(4), VI(5), V-VI(5).
			СРЕДНИЙ		220-435 м		150-300 м	
			НИЖНИЙ					
А П Т С К И Й		В Е Р Х Н И Й	В И К У Л О В С К И Й		Нижняя подсвита	Песчаники светло-серые, серые, в прослоях с зеленоватым оттенком, чередуются с глинами, алевролитами темно-серыми, зеленовато-буровато-серыми. Породы с разнообразными типами слоистости. Характерен растительный детрит, фрагменты флоры. Пласты ПК ₁₇ -ПК ₃₀ (условно). СПК V(3)	Песчаники, алевролиты серые, грязно-серые, с буроватым, реже зеленоватым оттенком, с разнообразными типами слоистости, с окатышами глин в основании ряда пластов, с подчиненными прослоями глин серых, темно-серых, иногда углистых, с буроватым, реже зеленоватым оттенком. Характерен растительный детрит, фрагменты растений, в т.ч. корневых систем, сидерит, пласты бурых углей. Пласты ПК ₁₃ -ПК ₁₈ . Флористический комплекс апта-альба. СПК V(4), V(5), V(4)-VI(5)	
		СРЕДНИЙ			Ереямская свита (верхн. часть) Песчаники серые алевролиты с единичными прослоями серых алевроитовых глин. До 320 м до 200 м	Чернореченская толща. Глины серые алевроитовые с растительным детритом, прослоями алевроитов. СПК V(4). до 120 м	100-210 м	

Рис.2. Региональная стратиграфическая схема отложений покурской свиты (апт-альб-сеноман) Западной Сибири.

Нижняя подсвита

Отложения нижней подсвиты пластов ПК содержат СПК и флористический комплекс апт-альба и литологически представлены чередованием песчаников и алевролитов тёмно- и светло-серых, в отдельных прослоях с буроватым и, реже, с зеленоватым и голубоватым оттенком, часто каолинизированными, слюдистыми, известковистыми, которые неравномерно переслаиваются с прослоями глин серых и темно-коричневых до черных, плотных, углистых, хрупких и трещиноватых (рисунок 2). Песчаная часть нижней подсвиты представлена мелкозернистыми осадками, которые сцементированы карбонатно-глинистым цементом. Глины часто битуминозные, слюдистые, с прослоями и линзочками алевролита. В данной части свиты песчаные породы крепкосцементированные; алевролиты и глины также более плотные, чем вышележащие породы альба и сеномана. По разрезу встречаются породы с различными типами слоистости – горизонтальной, косой, нарушенной взмученной и др.

Для нижней части свиты характерным является наличие растительного детрита, остатков растений, корневых систем и стяжений сидерита, а также трещин, выполненных кальцитом. В подошвенной части свиты наблюдаются многочисленные углистые прослои различной толщины (скв.21С, Самотлорское м-ие - до 5 мм; скв. 58П, 62Р Верхнеколик-Еганское м-ие - от 3 см до 1.9 м), поэтому нижнюю толщу пластов ПК называют угленосной.

В основании нижней подсвиты в Сургутском и Салымском районах выделяется чернореченская пачка [35], представленная серыми и темно-серыми глинами и многочисленными линзами алевролитов и песчаников, обогащенных углистым детритом и органическими остатками (рисунок 2). Мощность пачки непостоянна, в среднем составляет 80-120 м; участками она включает кровельную часть нижележащих стратонов. Некоторые авторы относят чернореченскую толщу к инициально-регрессивной части регрессивных отложений алымской свиты [29]. В Уренгойском районе в основании нижней подсвиты залегает евояхинская толща (пласты ПК₂₁₋₂₂),

сложенная преимущественно песчаными породами. Ее мощность достигает 200 м, песчаные пласты имеют толщины, превышающие 50-70 м, прослойки глины составляют первые метры. Песчаники светло-серые и белесые, каолинизированные, слабо- и среднесцементированные, содержат углистый растительный детрит. Стратофациальные аналоги евояхинской толщи наблюдаются до Александровского межавала [67].

К отложениям нижней части покурской свиты приурочено различное количество песчаных пластов. В северной части Западной Сибири (Уренгойское, Береговое, Харампурское и др. м-ия) выделяются пласты ПК₁₇-ПК₂₂, южнее принятая индексация вариативна (Самотлорское - ПК₁₈-ПК₂₃; Тюменское - ПК₁₄-ПК₂₃; Лор-Еганское, З-У-Балыкское, Ачимовское - ПК₁₄-ПК₁₈; Верхнеколик-Еганское - ПК₁₃-ПК₂₂). Граница между аптским и альбским ярусом, как правило, проводится по подошве пласта ПК₁₆. Средняя мощность нижней подсвиты составляет 100–300 м (Ининское, В-Охтеурское и др. м-ия). В ее подошве на части территории выделяется регионально выдержанный отражающий горизонт М (рисунок 3).

Средняя подсвита

Для отложений средней части покурской свиты, условно выделяемой по палинологическим данным и содержащей флористический комплекс альбсеномана и апт-альба, характерно более частое чередование пород. Литологически, подсвита имеет преимущественно глинистый состав - на многих площадях отмечаются мощные прослои аргиллитов, серых, плотных, с разной степенью сцементированности пород (рисунок 2). Остальные литотипы - пески, песчаники и алевролиты - представлены серыми, в кровельной части - светло-коричневыми породами, сыпучими, мелкозернистыми, иногда каолинизированными. Отложения средней подсвиты преимущественно горизонтально-слоистые, что обусловлено частыми намывами углисто-слюдистого материала; косая и волнистая слоистость встречается реже.

Толща содержит обильный растительный детрит, в том числе остатки растений, включения сидерита, линзы, прожилки, а также тонкие прослои бурых углей. Вверх по разрезу углистые прослои исчезают, доля глинистой составляющей уменьшается, а роль алевролитов и песков увеличивается. В верхней части подсвиты встречается янтарь, бурые пятна ожелезнения, редкие гальки бурого цвета, в основании – ядра двустворок, биотурбированные прослои, в Тазовском районе отмечается глауконит.

Толщина отложений средней части покурской свиты достигает 400 м. Песчаные пласты, выделенные в интервале подсвиты, индексируются как ПК₇-ПК₁₃ (Малочерногорское, Лор-Еганское м-ия), ПК₇-ПК₁₂ (Ачимовское, Тюменское, 3-У-Балыкское, Ининское м-ия), ПК₉-ПК₁₇ (Самотлорское м-ие), ПК₇-ПК₁₆ (Харампурское, Береговое и др. м-ия).

Верхняя подсвита

Породы верхней части покурской свиты по литологическому составу сходны с нижней частью. Отличительными особенностями являются: содержание обломков янтаря, увеличение общей песчанистости пластов и преобладание слабоуплотненных и рыхлых разностей. Значительная доля осадков верхней подсвиты сформирована серыми слабосцементированными песчаниками и алевролитами, с подчиненными прослоями глин серых, алевролитовых, нередко углистых, с редкими трещинами усыхания [40]. В глинах отмечены зеркала скольжения, следы оползания осадка и ходы илоедов (рисунок 2). В среднем, на долю песчаников и глин в разрезе сеномана приходится по 40% от общей мощности, при 20% алевролитов.

Для данной части свиты характерны прослои ракушняков, гравелитов, угля и конгломератов, содержащих бобовины бокситов, намывы углисто-слиудистого материала, растительный детрит, обрывки растений, редкие стяжения пирита, янтарь и, реже, сидерит. В западной части региона отмечаются единичные раковины фораминифер и радиолярий.

К сеноманской части покурской свиты, как правило, относят пласты ПК₁-ПК₆ (Тюменское, Лор-Еганское, Узунское, Малочерногорское, Ачимовское,

Никольское, Аригольское и др. м-ия); в отдельных районах выделяют и большее количество пластов (ПК₁-ПК₈, Самотлорское м-ие). Мощность верхней подсвиты варьируется от 100 до 300 м. В кровле покурской свиты (пласт ПК₁) залегает отражающий горизонт Г, который на большей части территории Западной Сибири является одним из основных сейсмостратиграфических реперов (рисунок 3). В разрезе подсвиты выделяются эрозионные поверхности, формирующие врезы глубинами до 100 м [33]. В кровельной части свиты отмечаются стратиграфические несогласия, что описано в работах В. Ф. Никонова, Н. Х. Кулахметова, В. И. Кислухина, Ю. Н. Карогодина, В. Н. Сакса и других.

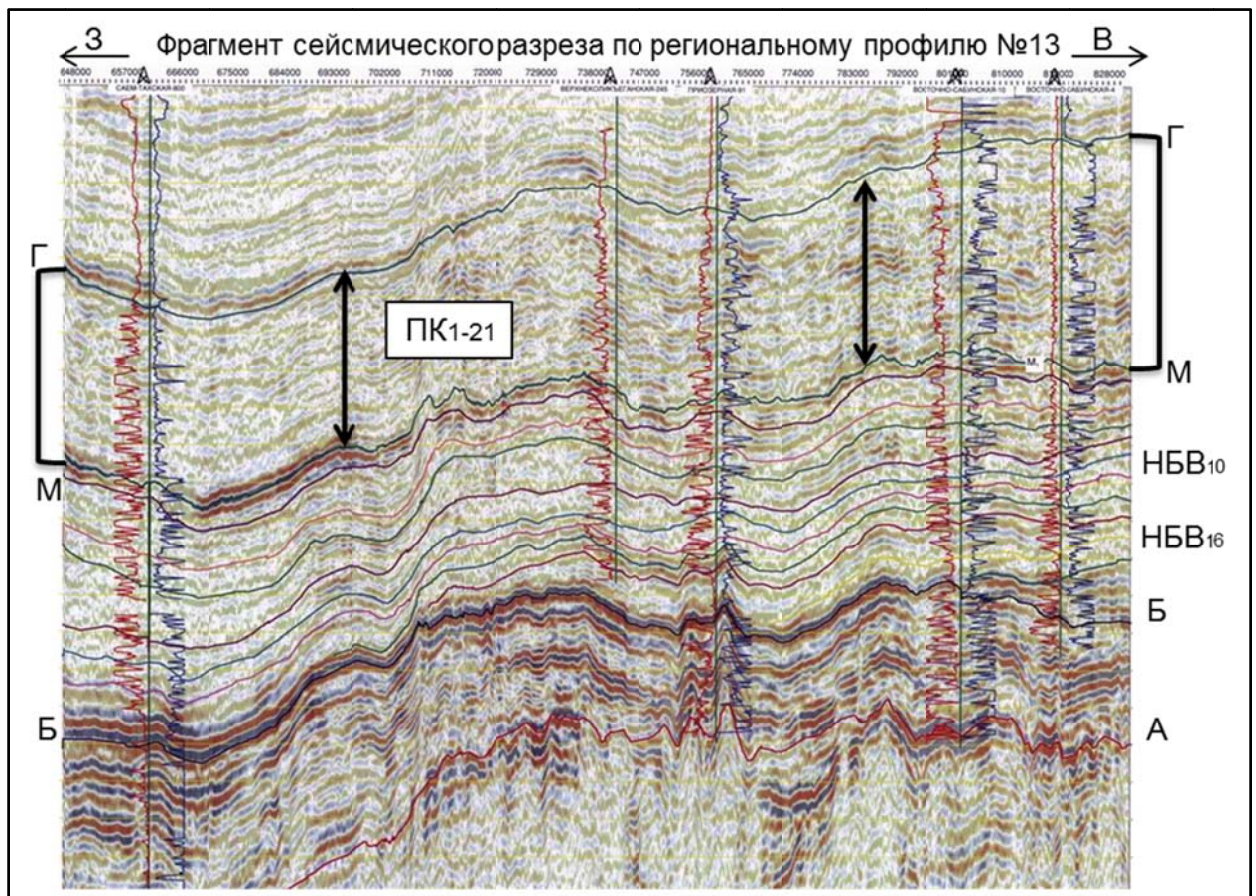


Рис.3. Фрагмент сейсмического разреза по региональному профилю №13.
(из атласа «Геология и нефтегазоносность ХМАО», Ханты-Мансийск, 2004,
с дополнениями автора).

Отложения верхнего отдела меловой системы, перекрывающие верхнюю часть покурской свиты, в различных районах представлены кузнецовской, ипатовской, березовской, ганькинской, часельской и танамской свитами [13]. На большей части территории Западной Сибири на осадках покурской свиты трансгрессивно залегает кузнецовская свита турон-раннеконьякского возраста, с которой начинается цикл морских осадков верхнего мела, продолжающийся вверх по разрезу до палеогена. Нижняя (глинистая) пачка представлена тёмно-серыми, почти чёрными слабобитуминозными тонкослоистыми гидрослюдистыми глинами, содержащими глауконит-пиритовые образования и растительные остатки. Средняя (алевроито-глинистая) пачка выражена переслаиванием серых глинистых пород и светло-серых слюдистых алевролитов и песчаников глауконит-кварцевого состава. В глинах отмечаются глауконит и пирит в виде скоплений мелких зерен округлой формы. Верхняя (глинистая) пачка представлена серыми и пепельно-серыми, слабоопоквидными линзами, в различной степени алевроитистыми, местами переходящими в алевролит, с редким включением глауконита. Толщина свиты варьируется в широких пределах от 15 до 120 м и более. В Пур-Тазовской области в нижней части свиты развита песчано-алевролитовая газ-салинская пачка мощностью до 50 метров.

В целом, для пород покурской свиты характерно присутствие по всему разрезу прослоев плотных песчаников и алевролитов с карбонатным цементом пойкилитовой структуры, которая указывает на вторичный характер цементации. Степень уплотнения пород сеномана слабая, заметно ниже, чем в нижележащих пластах, так как плотность во многом зависит от геодинамики бассейна осадконакопления. Помимо этого, вниз по наслоению для песчаных и крупноалевроитовых пород отмечается последовательное увеличение содержания глинистого цемента и, как следствие, уменьшение пористости. Другими особенностями строения свиты являются резкая литологическая изменчивость пород по разрезу, невыдержанность пластов по толщине, их замещение и слияние между собой. Вследствие высокой геологической неоднородности глинистые прослои между пластами не

выдержаны, часто опесчанены и поэтому не формируют четких прослеживаемых реперов, что создает значительные затруднения при корреляции пластов ПК.

1.2 Анализ обстановок осадконакопления пластов покурской свиты

Первые работы, рассматривающие генезис отложений апт-альб-сеноманского возраста в пределах Западно-Сибирского бассейна, были проведены в конце 1960-х годов. Условия осадконакопления пластов покурской свиты рассматривались многими исследователями – В. Н. Бородкиным, А. М. Брехунцовым, С. В. Дюкаловым, В. И. Ермаковым, Ю. Н. Карогодиным, Г. Н. Комардинкиной, А. Э. Конторовичем, И. И. Нестеровым, А. А. Плотниковым, С. Г. Саркисяном, А. А. Шаля, Т. А. Ястребовой и другими.

По принятым представлениям, аптский век на территории Западной Сибири охарактеризовался регрессией морского бассейна [2]. Формирование отложений покурской свиты проходило восточнее района опресненного бассейна в обстановках прибрежной равнины (рисунок 4).

В раннеальбское время территория, занимаемая морским бассейном, сократилась, за счет чего сформировалось мелководное море с развитой системой рек. Зону распространения пород свиты в это время занимала низменная аккумулятивная равнина, где накапливались преимущественно русловые отложения, периодически сменяемые осадками пойм.

Среднеальбский век был отмечен обширной трансгрессией юго-западного направления, на фоне которой происходили более мелкие локальные колебания уровня моря. Формирование пластов покурской свиты проходило вдоль восточного и южного берегов среднеальбского моря в условиях прибрежной и аллювиальной равнины.

В позднеальбский век трансгрессия сменилась регрессией, которая продолжалась до сеномана, вследствие чего произошло значительное обмеление и опреснение морского бассейна. Судя по палеонтологическим и

палинологическим данным, на большей части территории Омско-Уренгойской структурно-фациальной зоны продолжала существовать денудационная равнина аллювиально-дельтового генезиса, и только в юго-восточной ее части – низменная аккумулятивная равнина, где шло накопление озерно-аллювиальных образований (рисунок 4).

Для отложений сеноманской части разреза характерна трансгрессивно-регрессивная цикличность [116]. Сеноманский век на территории Западно-Сибирского бассейна охарактеризовался максимальной регрессией, в результате чего береговые линии бассейна испытали значительные перемещения. Седиментация отложений покурской свиты проходила вдоль восточного и южного побережий, где аккумуляровались толщи глинистых и песчаных осадков, с прослоями алевроитов, представленных комплексами фаций дельты, прибрежной аккумулятивной равнины и континентальных лагун (рисунок 4). В северных районах отмечается увеличение процентного содержания озерных и болотных осадков [13].

На заключительной стадии формирования сеноманской толщи седиментация отложений по большей части проходила в сильнообводненных прибрежно-дельтовых условиях, однако местами доминирующей обстановкой осадконакопления оставалась континентальная равнина, изрезанная реками с эстуариевыми окончаниями. В течение сеноманского времени мощные толщи песчаных отложений формировались в основном в центре бассейна седиментации из-за активизации тектонических процессов, которые способствовали поступлению значительных объемов осадков [79]. Увеличение доли крупнозернистых обломочных пород было вызвано также климатическими изменениями. Большая часть песчаных пород верхней части покурской свиты аккумуляровалась в распределительных каналах, барах и других фациях дельтового комплекса, а алевро-глинистых пород – в маршево-болотных и озерно-лагунных обстановках. На отдельных стратиграфических уровнях отмечено влияние волновой и приливно-

отливной деятельности - речные осадки свиты полностью переотлагаются течениями и волнами (Ван-Еганское, Верхнеколик-Еганское и др. м-ия).

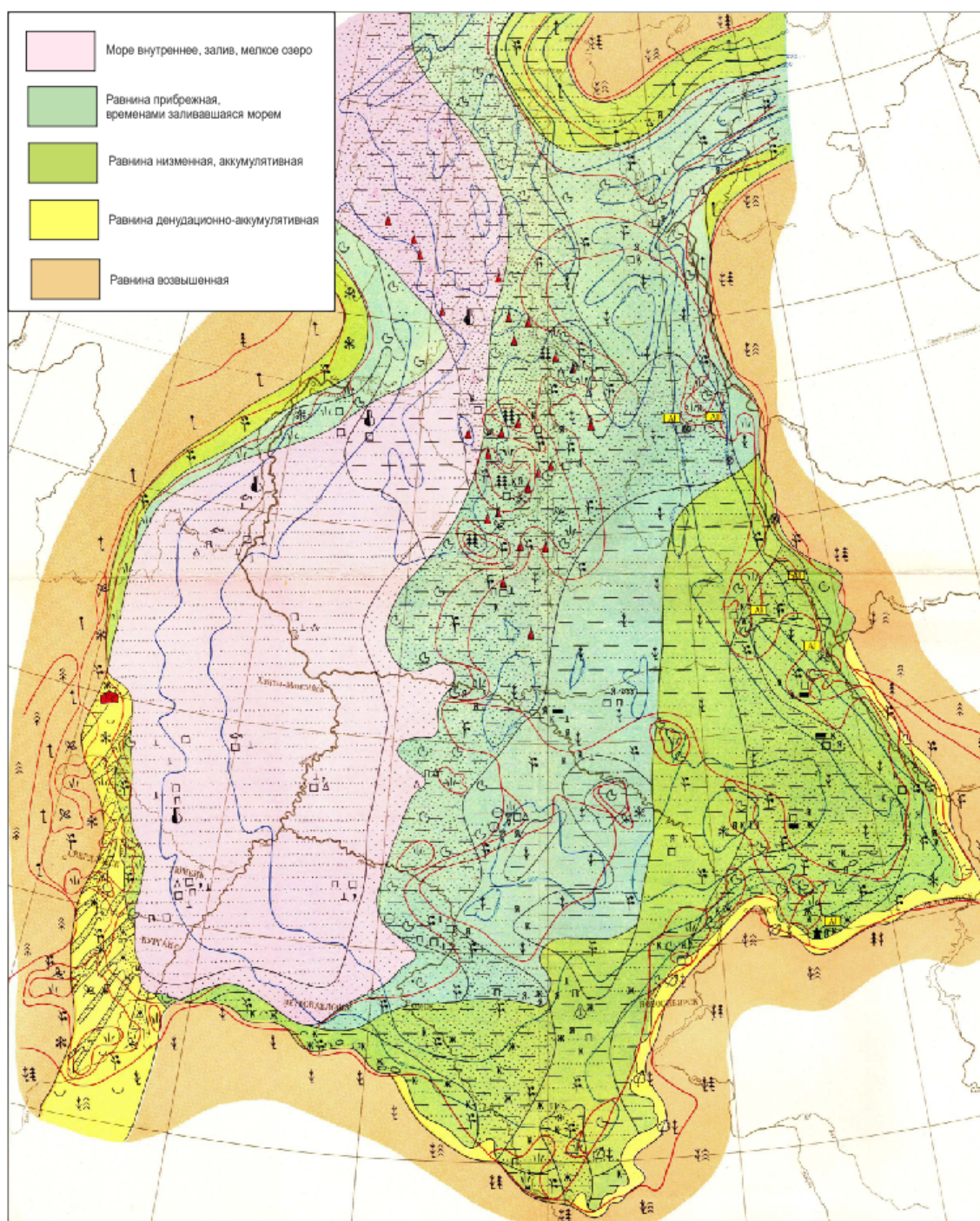


Рис.4. Палеогеографическая карта Западной Сибири (альбский/сеноманский век) [2].

Формирование отложений кузнецовской свиты туронского времени, перекрывающих покурскую, началось во время крупнейшей трансгрессии

мелового периода, которая охватила почти всю площадь Западно-Сибирского бассейна [26]. В результате данной трансгрессии установился морской режим, вследствие чего на территории региона проходила седиментация осадков фаций открытого морского бассейна.

Основными областями сноса осадочного материала в апт-альб-сеноманское время являлись прилегающие к бассейну обрамления северо-запада Сибирской платформы, а также складчатые сооружения Таймырского полуострова. Местоположение источника сноса осадочного материала предопределило направление изменения толщин покурской свиты. Так, в северо-восточной части Западно-Сибирского бассейна средняя мощность свиты составляет 900 м (Русско-Реченское - от 834 до 945 м, Береговое – 910 – 940 м, Русское – 810 - 1000 м, Уренгойское – 840 – 1034 м), однако максимальные значения могут быть и выше (например, на Восточно-Уренгойском м-ии – 549 - 1403 м, на Вэнгаяхинском – 900 - 1200 м). Отложения наибольшей мощности аккумуляровались в районе полуострова Ямал. Южнее, экстремумы толщин снижаются: на Харампурском м-ии мощность свиты составляет 774 – 880 м, на Верхнеколик-Еганском – 701 - 789 м; становясь еще меньше к юго-западу: Ван-Еганское м-ие - 689 - 780 м, Ачимовское – 799 – 824 м, Малочерногорское – 667 - 757 м, Самотлорское – 688 – 723 м, Узунское - 667 – 757 м, Урненское – 700 – 750 м. Средняя толщина свиты большинства месторождений ХМАО и ЯНАО равна 700 - 760 м (Кысомское м-ие – 730 м, Лор-Еганское – 720 м, Полуньяхское – 740 м, Аганское – 760 м, Тюменское, Ининское и Вынгапуровское – 750 м). Мощность осадков свиты резко уменьшается на границах бассейна в южном и восточном направлениях (253 м в Песочно-Дубровской скважине 1-р; 26 м (скв. 12) – 115 м (скв. 235Н) в северной части Обь-Томского междуречья) [16].

Таким образом, можно заключить, что отложения покурской свиты аккумуляровались в условиях сложного чередования прибрежно-морских и континентальных фаций. Преобладающими являются континентальные

обстановки осадконакопления; на большей части Западно-Сибирского бассейна только верхняя часть разреза свиты сформировалась в прибрежно-морских условиях. Прибрежно-континентальные фации идентифицируются по находкам многочисленных отпечатков листьев, стебельков, а также косо слоистости песчано-алевритовых пород. Морские фации в разрезе свиты встречаются крайне редко, их определяют по находкам фораменифер в угнетенной форме (Кысомское м-ие).

Длительное существование речных систем при постоянном погружении бассейна осадконакопления привело к седиментации мощной толщи аллювиальных отложений, которые были сформированы циклично залегающими песчано-алеврито-глинистыми осадками [24]. В этой связи для пластов ПК характерным является широкое распространение врезанных форм рельефа – речных русел и приливных каналов, а также наличие эрозионных поверхностей. Полифациальность и цикличное строение пород свиты контролируется в основном седиментационными процессами [23].

Для отложений свиты, седиментация которых проходила в пределах прибрежных равнин при часто меняющихся условиях осадконакопления, характерно сложное мозаичное строение песчаных тел в литологическом и фациальном отношении, как по разрезу, так и по латерали. Вследствие данных неоднородностей корреляция пластов ПК зачастую трудновыполнима даже в близко расположенных скважинах. Данная проблема присуща и другим пластам подобного генезиса, поэтому задача их расчленения при изучении осадочных разрезов является достаточно значимой.

1.3 Данные о региональной нефтегазоносности покурской свиты

Апт-альб-сеноманский НГК Западной Сибири включает в себя более 140 месторождений (из которых больше половины - в ЯНАО), в том числе уникальных – Уренгойское, Ямбургское, Медвежье, Бованенковское; гигантские залежи газа открыты на Ен-Яхинском, Песцовом,

Хадыряхинском, Южно-Русском и других месторождениях, нефтяные - на Находкинском, Ван-Еганском, Верхнеколик-Еганском, Тазовском, Северо-Часельском, Береговом и т. д. В пластах данного комплекса находится более 60% геологических запасов свободного газа Западной Сибири, объемы нефти и газоконденсата также значительны (рисунок 5) - начальные запасы НГК только континентальной части составляют более 30 трлн м³.

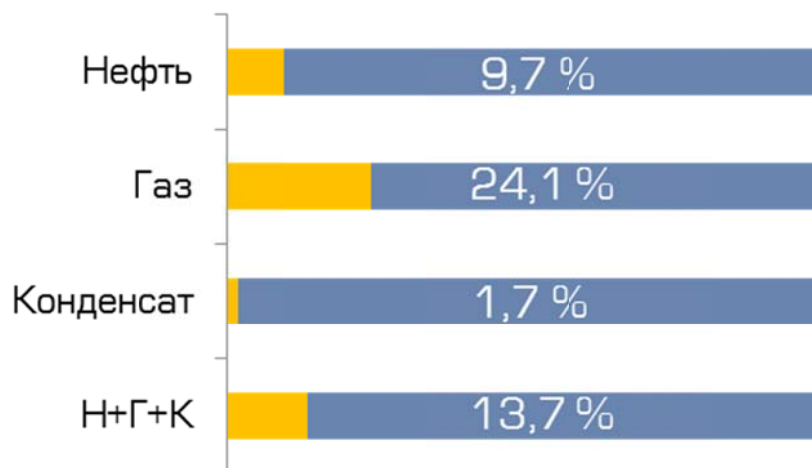


Рис. 5. Доля пластов ПК в общем объеме запасов углеводородов, (%).

Крупнейшей по запасам в России является сеноманская залежь Большого Уренгоя (более 7 трлн м³ при эффективной мощности пород - до 140 м) [61]. Существенная доля запасов промышленных категорий еще не введена в разработку [56] (рисунок 6).

Апт-альб-сеноманский комплекс часто рассматривается как единый резервуар [15]. Основными продуктивными пластами покурской свиты являются пласты сеноманской части, и, в частности, пласт ПК₁, газовая шапка которого в высоту может достигать 200 м и более. Первые залежи газа, уникальные по запасам, в отложениях пласта ПК₁ были открыты в период с 1967 по 1970 гг. на Медвежьем, Юбилейном и Ямсовейском месторождениях (залежи массивные сводовые, дебит газа до 10 млн м³/сут.).

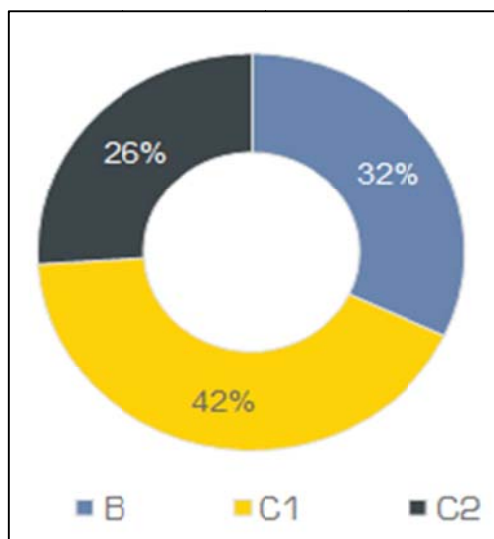


Рис. 6. Распределение начальных геологических запасов углеводородов пластов ПК по категориям, % (по классификации на 2015 г.).

1.3.1 Анализ формирования нефтегазоматеринских пород

Основными источниками углеводородов для залежей покурской свиты являются: концентрированное органическое вещество (ОВ) - пласты угля (толщинами более 0.3 м), рассеянное ОВ и мезо- и микроуглиستость [63]. Общая толщина прослоев угля по разрезу может достигать до 20 м и более.

Нефтегазоматеринские породы апт-альб-сеномана, по мнению части исследователей [48], формировались в основном в низах меловых отложений. Данные породы литологически представлены пластами углей и глин и, в основном, содержат гумусовый тип керогена. Считается, что основной объем углеводородов покурской свиты образовался в результате бактериального восстановления углекислого газа. Как показывают проведенные региональные исследования, после формирования пластов ПК из прослоев угля с высоким содержанием ОВ началась генерация больших объемов CH_4 , часть которых из-за отсутствия надежной крышки была потеряна [78]. Вторая стадия генерации началась в Туронское время, после того, как над отложениями сеномана сформировалась региональная крышка, что привело к аккумуляции залежей газа [30]. В результате в северных районах бассейна в отложениях альба и сеномана были сгенерированы огромные объемы УВ - 1490 трлн. м^3 газа и 132 млрд. т битумоидов [66]. Нижняя часть

глин кузнецовской свиты также была способна генерировать существенный объем углеводородов, который мигрировал вниз и способствовал аккумуляции метана в коллекторах покурской свиты. Другая группа исследователей [45] считает источником газа покурской свиты продукты деструкции углеводородов, которые мигрировали из юрских и нижнемеловых отложений вверх при разрушении залежей под воздействием катагенеза.

Газ пластов покурской свиты включает в себя в основном сухой метан (Харасавэйское м-ие – 94.2 % – 97.8 % CH_4 , Комсомольское м-ие – 97.6 % CH_4 , Юбилейное м-ие – 98.4 % CH_4) и небольшую долю конденсата (Уренгойское м-ие - 0.2 г/м³, Медвежье м-ие - 0.25 г/м³) [5], что заметно отличает его по составу от газа нижележащих отложений. Пласты свиты также включают значительную часть залежей высоковязкой нефти, например, на Русском и Ван-Еганском месторождениях, где вязкость составляет более 200 мПа*с.

1.3.2 Характеристика геологических особенностей коллекторов

Для пластов покурской свиты характерен типичный для обломочных терригенных пород поровый тип коллектора. Коллекторы трещиноватого типа, особенно в верхних частях разреза, встречаются значительно реже. Песчаные пласты сеноманской части разреза свиты представлены практически рыхлыми породами; породы апт-альбского возраста - более консолидированными разностями. Коллекторские свойства пород достаточно высокие. Открытая пористость песчаников может достигать 40 % (Западно-Таркосалинское м-ие) – 49 % (Губкинское м-ие) при проницаемости до 6 мкм² (Заполярное м-ие) и более; повышенные значения пористости, также отмечаются в районах Губкинского, Комсомольского, Заполярного, Самотлорского и Еты-Пуровского месторождений, где среднее значение K_p по большинству продуктивных пластов свиты составляет 0.3-0.4. На некоторых площадях наблюдаются аномально высокие фильтрационно-емкостные свойства – K_p - до 41 %, $K_{пр}$ - до 5.5 мкм² [34].

Эффективная толщина песчаных пластов ПК в среднем составляет 60 – 65 % от общей мощности. Суммарные эффективные толщины коллекторов свиты достигают значений 800 м. По площадям прослеживается тенденция увеличения ФЕС от крыльев поднятий до сводовых частей залежей (например, на Комсомольском м-ии пористость возрастает от 23 до 35 %, проницаемость – от 0.15 до 1.06 мкм², на Медвеьем м-ии - пористость от 24 до 35 %, проницаемость - от 0.48 до 0.95 мкм²). Тренды пористости и проницаемости часто располагаются вдоль направления течения палеопотоков. Для коэффициента песчаности характерен тренд увеличения с запада бассейна на восток, где значения достигают 0.6 - 0.8.

Для покурской свиты, вследствие частой смены условий осадконакопления, характерно фациальное разнообразие отложений. В пластах ПК основными коллекторами являются песчаные породы русловых фаций, речных баров, песчаных частей пойм, русловых отмелей, береговых валов, пляжей, барьерных островов и др. Мощность песчаных пластов изменчива (Русское м-ие – 10 - 30 м, Юбилейное м-ие – до 19 м, Ямсовейское м-ие - до 45 м). Наибольшие толщины песчаников характерны для тел меандровых кос, внутрирусловых баров и валов. Присутствие широкого спектра фаций в разрезе приводит к сильной неоднородности продуктивных пластов по эффективной мощности, параметрам пористости, нефтегазонасыщенности и проницаемости. Коллекторы также характеризуются резкой изменчивостью литологического состава, что влияет на их аккумулирующие свойства.

1.3.3 Характеристика геологических особенностей покрышек

Региональной покрышкой для залежей покурской свиты в целом и, в частности, для пласта ПК₁, является кузнецовская свита и перекрывающие ее глинистые отложения позднемелового и палеогенового возраста. Общая толщина покрышки в среднем составляет 550-600 м (Ван-Еганское, Юбилейное, Самотлорское, Ямбургское, Северо-Уренгойское и др. м-ия), а в некоторых районах доходит до километра (Комсомольское м-ие).

Внутри свиты формирование выдержанных пластов глин происходило, в основном, во время трансгрессий, поэтому межпластовыми флюидоупорами континентальной части свиты по большей части являются пойменные глины, залегающие линзовидно. Мощность глинистых пропластков даже на коротких расстояниях может сильно колебаться (от 0.5 до 25 м, Новопокурское м-ие). Пласты дельтовых комплексов верхней части свиты также включают небольшую долю глинистых прослоев, сформированных, как правило, в малоподвижных бассейнах заливо-лагунного типа [3], что объясняется регрессивным развитием бассейна седиментации [9].

Содержание глинистых пород значительно увеличивается в средней части свиты, где мощности пропластков варьируются от 10 - 20 до 50 - 60 м. Тенденция увеличения глинистости прослеживается в западном направлении, что объясняется идентичным вектором сноса осадочного материала и изменением условий осадконакопления.

В нижней части разреза верхнемеловых отложений региональной глинистой покрывкой являются породы кошайской пачки, которые подстилают песчаные пласты покурской свиты и контролируют залежи нефти и газа нижележащих продуктивных пластов алымской и ванденской свит.

1.3.4 Анализ формирования залежей

Структурный план покурской свиты сформировался, главным образом, в неоген-четвертичное время, в особенности во время олигоценового компрессионного события, когда образовалась большая часть крупных положительных структур - мегавалов, валов и куполовидных поднятий, разделенных впадинами и прогибами [28]. Однако формирование залежей углеводородов будет завершено только после окончания неотектонического этапа, поэтому процессы формирования залежей и их заполнение углеводородами продолжаются до сих пор [69].

Скопления нефти и газа в пластах ПК формируют большое количество пластово-массивных, сводовых залежей (Вынгапурское, Южно-Русское, Ямсовейское, Харасавэйское, Северо-Уренгойское, Западно-Геологическое м-ия), коэффициенты заполнения ловушек достигают значений 0.9 - 1.0. Данный коэффициент по большей части зависит от толщин и выдержанности глинистых пачек, отсутствие которых объясняет существенно меньшее количество залежей углеводородов нижней части свиты по отношению к верхней. По результатам анализа, выполненного по месторождениям региона [69], прослеживается четкая прямо пропорциональная зависимость между амплитудой поднятия по отражающему горизонту Г (кровле пласта ПК₁) и высотой залежей УВ (рисунок 7). В зонах впадин, прогибов и окраинных моноклиналей пласты покурской свиты по большей части непродуктивны, или же включают небольшие скопления УВ с эффективными интервалами до 30 - 50 м. Некоторыми исследователями [71] также отмечается прямая зависимость между размерами газоносных залежей и угленосностью отложений свиты.

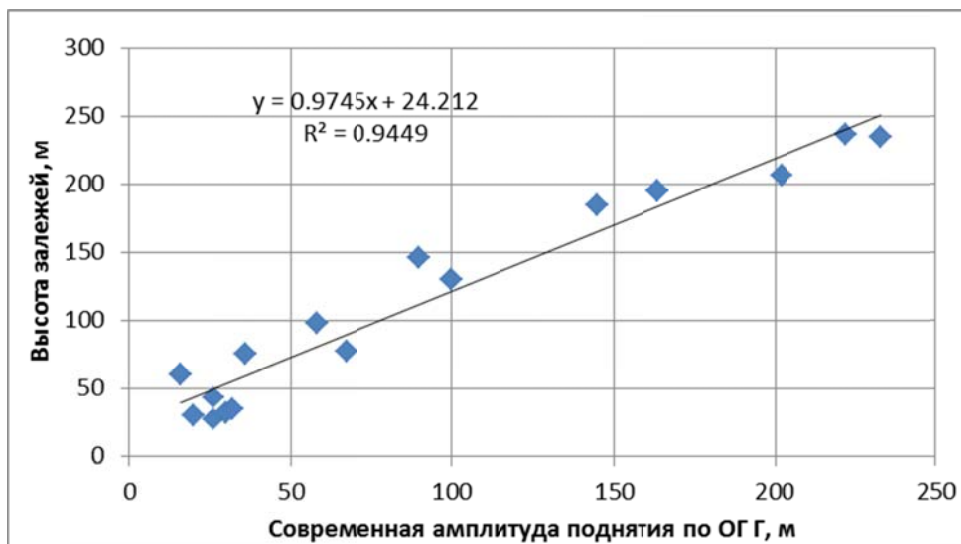


Рис. 7. График зависимости высоты залежей пласта ПК₁ от амплитуды поднятия по отражающему горизонту Г.

В связи с отсутствием выдержанных по площади песчаных и глинистых пластов, весь разрез покурской свиты часто рассматривается как единая гидродинамически взаимосвязанная толща. Объединение коллекторов в общие газогидродинамические системы часто происходит в результате размыва покрышек [53].

На многих площадях выявлены структурно-тектонические (тектонически экранированные) залежи, образовавшиеся в куполовидных поднятиях, валах и межструктурных зонах за счет инверсионных дизъюнктивных тектонических движений (ПК₁₋₄ на Русском и Тазовском, ПК₁ на Северо-Комсомольском, Еты-Пуровском и Парусовом месторождениях) [41]. Амплитуда разломов варьируется в широких пределах от 10 - 30 м до 150 - 250 м (Харампурское, Етыпуровское, Русское, Западно- и Восточно-Мессояхское, Новопортовское, Геофизическое, Семаковское и др. м-ия). Около 70% месторождений с тектоническими экранами находятся в пределах акваторий Обской и Тазовской губ и вблизи их берегов [58].

Сложное строение залежей, помимо структурно-тектонических факторов, в значительной степени обусловлено различием петрофизических свойств пластов [43]. Литологически экранированные залежи углеводородов покурской свиты связаны по большей части с русловыми песчаниками, морфология которых обусловлена в первую очередь седиментационными факторами. Стратиграфические ловушки чаще встречаются в апт-альбской части разреза свиты в местах замещения пластов песчаника глинами (ПК₁₅, Новоаганское м-ие). Такие ловушки чаще формируются отложениями меандрирующих и анастомотирующих речных систем; области накопления отложений ветвящихся рек из-за отсутствия хороших флюидоупоров предполагают наличие структурной ловушки для формирования залежи.

Наиболее значимыми факторами, оказавшими влияние на объем углеводородов в пластах покурской свиты, считаются [78]:

1. Высокое содержание гумусового керогена и наличие пропластков угля, за счет которых образовались значительные объемы нефтегазоматеринских пород;
2. Аккумуляция мощных песчаных пластов с высокими ФЕС;
3. Наличие региональной покрывки высокой мощности;
4. Формирование структурных ловушек в отдалении от краев бассейна;
5. Относительно молодой возраст формирования залежей и др.

В целом, залежи свиты имеют схожие особенности геологического строения, промыслово-геологические характеристики и ФЕС коллекторов [72]. Оптимальное соотношение резервуаров и покрывок характерно для аллювиального комплекса фаций, где песчаники русловых отложений формируются в парагенезе с пойменными глинами, выполняющими роль флюидоупоров [43].

Пласты покурской свиты имеют огромный потенциал для нефтегазодобычи и, безусловно, являются перспективным объектом для дальнейших геологических исследований. Наличие в разрезе свиты большого числа залежей с высокой геологической неоднородностью предполагает анализ всей имеющейся геолого-геофизической информации для их изучения. Исследование проблемы расчленения продуктивных пластов ПК повысит качество прогноза распространения коллекторов, покрывок и очагов генерации углеводородов, а также увеличит вероятность определения местоположения пропущенных залежей в разрезе свиты.

1.4 Существующие подходы к расчленению пластов покурской свиты

Для расчленения разреза покурской свиты применяются различные методики.

Наиболее точно эта задача решается при использовании методов биостратиграфии. Так, стратотип покурской свиты – Покурская опорная скважина - авторами отчета [19] разделен на несколько пачек. В нижней -

углистой толще были выделены четыре пачки: 1) песчаниковая (1620 м - 1650 м); 2) песчано-алевролитовая с прослоями углей (1530 м - 1620 м); 3) верхняя песчаниковая (1507 м - 1530 м); 4) песчано-алевролитоглинистая (1370 м - 1507 м). В верхней – янтарной части толщи (948 м - 1370 м) - выделено три пачки: нижняя, песчано-алевролитовая с прослоями глин (1217 м - 1370 м), средняя – алевритово-песчанистых пород ленточно-слоистого сложения (1090 м - 1217 м) и верхняя – алеврито-песчаниковая (948 м - 1090 м). Вышеперечисленные пачки, вследствие изменчивости разреза свиты, не прослеживаются даже на соседних площадях.

В работе по подсчету запасов С. Ф. Пановым (1986 г.) весь интервал разреза свиты был разбит на условные пачки (срезы) толщиной по 20 м, начиная с кровли покурской серии. В результате анализа физико-литологических характеристик данных срезов в пределах Тюменской области были выделены три группы месторождений: арктическая группа (Харасавэйское, Южно- и Северо-Тамбейское, Арктическое и др.), северная группа (Медвежье, Юбилейное, Большой Уренгой и др.) и южная группа (Комсомольское, Вынгапуровское, Северо-Комсомольское, Варь-Еганское, Ван-Еганское и др.).

Классический метод детальной корреляции, основанный на принципах похожести и направленности изменения свойств, уже доказал свою несостоятельность для пластов ПК, так как часто песчаники различных осадочных циклов объединяются в одно геологическое тело [24]. Корреляция пластов обычно выполняется при помощи изохронных маркирующих поверхностей – прослоев углей или глин, что приводит к многочисленным ошибкам и неточностям, так как ввиду сильной фациальной и литологической изменчивости разреза данные прослои не выдержаны по латерали. Песчаные части отложений свиты также распределены по площади и разрезу хаотично, поэтому использование кровель песчаников для дифференциации свиты затруднительно.

На данный момент для покурской свиты наиболее распространенным является циклостратиграфический (ритмостратиграфический, фациально-циклический) метод расчленения пород, основанный на выделении повторяющихся интервалов разреза, сопоставлению их по площади и анализе направленности изменения свойств пород. Под циклитом понимается последовательный ряд взаимосвязанных породных тел (слоев, их ассоциаций различного порядка), естественно выделяющихся по направлению структурных или вещественных изменений в геологических разрезах [31]. Циклическое строение пластов покурской свиты отмечали многие исследователи и выделяли различное количество ритмов или циклов по определенным признакам.

В частности, Неждановым А. А. в апт-сеноманской части разреза было выделено два региоциклита - алымско-викуловский, который помимо алымской, кошайской и викуловской свит, включает нижнюю часть покурской свиты, и хантымансийско-уватский региоциклит, включающий верхнюю половину разреза пластов ПК.

Подобный анализ положен в основу расчленения и корреляции сеноманских отложений Ямбургского [49], Уренгойского [36] и Северо-Каменномысского [18] месторождений, где в результате детальной корреляции разрезов скважин в разрезе сеноманских отложений была выделена серия циклитов. Выполненная в диссертационной работе [116] Пороскуном М. В. корреляция сеноманского комплекса месторождений северной части Западной Сибири показала, что в разрезе верхней подсвиты выделяются 4 пачки, которые хорошо коррелируются между собой. Циклический анализ также применялся Н. Ф. Береснёвым при подсчёте запасов Харасавейского месторождения, когда сеноманский резервуар был разделён на макро-, мезо- и микроритмы.

На Вэнгаяхинском, Муравленковском, Суторминском, Крайнем и Пограничном месторождениях для расчленения и корреляции разреза свиты использовался керновый материал в комплексе с замерами кривых ПС и КС,

в результате чего было выделено 6 пачек [60]. Также было проведено сопоставление литологических границ и сейсмических опорных горизонтов, за счет чего в толще свиты выделено 3 ОГ.

В диссертационной работе [114] стратиграфическое расчленение свиты на Ван-Еганском месторождении также проводилось с использованием метода циклостратиграфии, в результате чего было выделено 22 седиментационных циклита (C_1 - C_{22}), к аптским отложениям отнесены циклиты C_{22} - C_{17} , к альбским — C_{16} - C_3 , к сеноманским — C_2 - C_1 . Стратиграфическая граница между циклитами C_3 и C_2 , разделяющая альбский и сеноманский ярусы, была подтверждена палинологическими исследованиями. В другой работе по Ван-Еганскому месторождению [4] в качестве основных подходов для расчленения свиты использовались методы геохимии, цикло- и хемотратиграфии, с использованием которых была выполнена корреляция элементов геохимической неоднородности осадков разных частей разреза верхов покурской свиты.

Фациально-циклический анализ пластов ПК проводился на Медвежьем месторождении, где В. И. Ермаков, А. А. Шаля (1978 г.) [23] и Б. В. Топычканов (1980 г.) в изученной 200 метровой сеноманской части разреза выделили восемь циклов, в подошве каждого из которых залегают высокопроницаемые песчаники, а в кровле – алевроито-глинистые породы [22]. Авторами также было показано, что разрез свиты можно разбить на циклы первого порядка мощностью 15-30 м и циклы второго порядка – мезоциклы, толщинами 50-70 м, и выделить разделяющие их стратиграфические несогласия.

На Русском месторождении в результате работ по интерпретации разреза пластов ПК₁-ПК₇ [21] выделено три крупных цикла осадконакопления - SB₂-SB₁, SB₁-ПК₂ и ПК₂-ПК₁. На Уренгойском месторождении для изучения цикличности в работе [52] использован вертикальный тренд – обобщенная кривая геолого-статистического разреза (ГСР). По ГСР в сеноманской толще были выделены 11 циклов

осадконакопления средней мощностью 16-20 м. В других работах по Уренгойскому месторождению Т. А. Ястребовой в разрезе было выделено 5 литоритмов; С. В. Дюкаловым [20] стратификация выполнялась с использованием циклического метода и методов анализа временных рядов, в результате чего были выделены элементарные циклиты, объединённые в несколько циклов. По аналогии с Уренгойским на Ямбургском месторождении при анализе цикличности в продуктивной толще сеноманской части свиты выделено три цикла – ПК₁₋₂, ПК₃₋₅ и ПК₆.

Фациально-циклический анализ и анализ временных рядов в комплексе с ГСР также использовался в работе [17] для расчленения сеноманской толщи на месторождениях Медвежье, Вынгайхинское и Заполярное. Автором были выделены циклиты 20-40 м и группы циклитов – мезоциклиты мощностью до 60-70 м. Корреляция апт-сеноманских отложений также проводилась автоматизировано с помощью программы «Геокор-2» в ИПНЭ РГУ им. И. М. Губкина.

Таким образом, применение различных подходов к расчленению разреза доказывает цикличное строение свиты, которое подтверждается многочисленными исследованиями на многих площадях региона. Характерной закономерностью строения седиментационных циклитов свиты, которую отмечают многие авторы, является наличие в подошве циклитов коллекторов с улучшенными фильтрационно-емкостными свойствами, а в кровле – с ухудшенными [18]. Несмотря на большое количество проведенных исследований, вследствие сложного геологического строения покурской свиты, проводимая по существующим методикам дифференциация, как правило, носит субъективный характер, часто является условной и не используется на практике, поэтому проблема расчленения пластов ПК остается актуальной.

Глава 2. Разработка методики дифференциации отложений покурской свиты на основе сиквенс-стратиграфической модели

2.1 Концепция сиквенс-стратиграфии прибрежно-континентальных отложений

В 1949 году американским геологом Л. Слоссом (Larry Sloss) для описания регионально распространенных осадочных тел разделенных стратиграфическими несогласиями был предложен термин «sequence», что послужило началом развития нового раздела стратиграфии – сиквенс стратиграфии (Sequence Stratigraphy).

Данное направление представляет собой методологическую основу изучения строения осадочных комплексов, разделенных на сиквенсы («секвенции», «секвенсы») - толщи генетически взаимосвязанных пластов, ограниченные в кровле и подошве стратиграфическими несогласиями и коррелятивными с ними согласиями [Mitchum et al., 1977]. Каждый сиквенс образуется в течение одного полного эвстатического цикла, который начинается и заканчивается падением относительного уровня моря [70]. В российской геологии с понятием «сиквенс» по смыслу наиболее схож термин «циклит» [99].

Для использования методики сиквенс-стратиграфии необходим комплексный анализ всех имеющихся данных: сейсмических, петрофизических, биостратиграфических, литологических и др. Одной из важнейших задач данного анализа является определение основных закономерностей формирования и внутреннего строения геологических тел, связанных с изменением положения относительного уровня моря [14], с целью дифференциации разреза и последующей корреляции пластов. Целесообразность применения метода сиквенс-стратиграфии задокументирована во многих работах - она определяется необходимостью учета при корреляции осадочных комплексов условий осадконакопления, а также использованием хроностратиграфического подхода и детального анализа границ геологических тел.

Большинство сиквенс-стратиграфических моделей континентальных отложений, также как и модели прибрежно-морских и морских систем, базируются на том, что основным механизмом формирования сиквенсов являются аллогенные процессы, в частности, циклы колебаний относительного уровня моря [50]. Основными причинами проявления цикличности в аллювиальных отложениях считаются миграция русел рек, изменение мощности осадков и др. Период аллювиальных циклов зависит от зрелости речной системы (более зрелая система – более длительный цикл), которая определяется рельефом и гидродинамической активностью площади седиментации, а амплитуда циклов, как правило, увеличивается при уменьшении их частоты [17].

Концептуальные теоретические модели изменения профиля речной системы в зависимости от колебаний относительного уровня моря начали разрабатываться в середине прошлого века [Mackin, 1948; Lane, 1955]. Концепция континентальной сиквенс-стратиграфии была сформулирована в работе [Posamentier and Vail, 1988], где предложена модель, показывающая зависимость структуры речных систем от изменения относительного уровня моря. Следуя данной теории, все речные потоки стремятся к достижению баланса между пространством аккомодации (A) и поступлением осадочного материала (S), который описывается в виде отношения A/S [118].

Это отношение определяется профилем равновесия (base-level) - из-за его повышения происходит намыв отложений, а в результате сдвига профиля вниз – эрозия осадков. Профиль равновесия подстраивается к преобладающему расходу воды и объему поступающих осадков – река выравнивает уклон в продольном сечении таким образом, чтобы объем осадков мог перемещаться без обмеления или углубления ложа русла. Профиль равновесного потока контролируется базисом эрозии, а базис эрозии, в свою очередь, меняется при изменении относительного уровня моря.

Более поздние работы по изучению данной темы совпадают с описанной теорией, определяя изменения относительного уровня моря как основной фактор, контролирующей седиментацию речных систем [110]. Величина, с которой речная система реагирует на эвстатические изменения, контролируется рядом факторов, в том числе разницей углов наклона шельфа и речного склона, энергией реки, скоростью и амплитудой колебаний относительного уровня моря.

Морфология рек в значительной степени влияет на тип и геометрию осадочных отложений [55]. Изменения речной морфологии включают в себя вариации ширины, глубины и типа канала, наклона профиля реки, скорости седиментации и т. д. [75]. Структура речной системы определяется геометрией и взаимоотношением фаций каналов, береговых валов, пойм и других отложений и может рассматриваться как результат взаимодействия речных и продолжительных аллоциклических процессов. Степень влияния изменения относительного уровня моря на речные системы зависит от скорости, направления и величины данного изменения, типа реки и эрозионности области сноса. Тип речной системы зависит от скорости поступления осадков (которая, в свою очередь, зависит от близости источника поступления осадочного материала) относительно уровня моря: медленная скорость седиментации приводит к формированию эстуария, а высокая - к накоплению более мощных дельтовых и приливных отложений.

Величина изменения градиента уклона речного профиля и склона шельфа оказывает большое влияние на тип речных систем. Существует несколько типов реакции речных систем на падение относительного уровня моря в зависимости от данной величины [80]. В первом варианте (рисунок 8.1, а) градиент уклона шельфа круче, чем уклон аллювиального профиля, что приводит к эрозии и образованию речного вреза на границах осадочных циклов. Величина вреза, как правило, уменьшается вниз по течению реки. Во втором варианте (рисунок 8.1, б) градиент уклона поверхности шельфа такой же, как и речной системы, вследствие чего формируются устойчивые условия

осадконакопления, характеризующиеся отсутствием эрозии и седиментации [89]. В третьем варианте (рисунок 8.1, в) уклон шельфа более пологий, чем уклон аллювиального профиля, что приводит к намыву осадков и смене типа рек с ветвящихся до меандрирующих.

Данная концепция была развита в работе [Schumm, 1993], где предложено 5 вариантов зависимости типа речных систем от угла наклона речного профиля. Согласно данной модели при определенных условиях речные системы адаптируются к падению уровня моря путем изменения типа реки (рисунок 8.2 - 2, 3 и 4). Однако в некоторых случаях из-за падения уровня моря может наблюдаться намыв осадков (рисунок 8.2 - 1 и 5). Эта интерпретация позволяет сделать вывод, что угол наклона речного профиля выше в течение падения уровня моря, что приводит к снижению скорости осадконакопления (и, в итоге, к формированию канала), сужению поймы и последующему накоплению преимущественно русловых отложений. Подъем относительного уровня моря приводит к уменьшению угла наклона профиля и расширению поймы, так как намыв осадков ускоряется, что приводит к седиментации по большей части пойменных отложений [111].

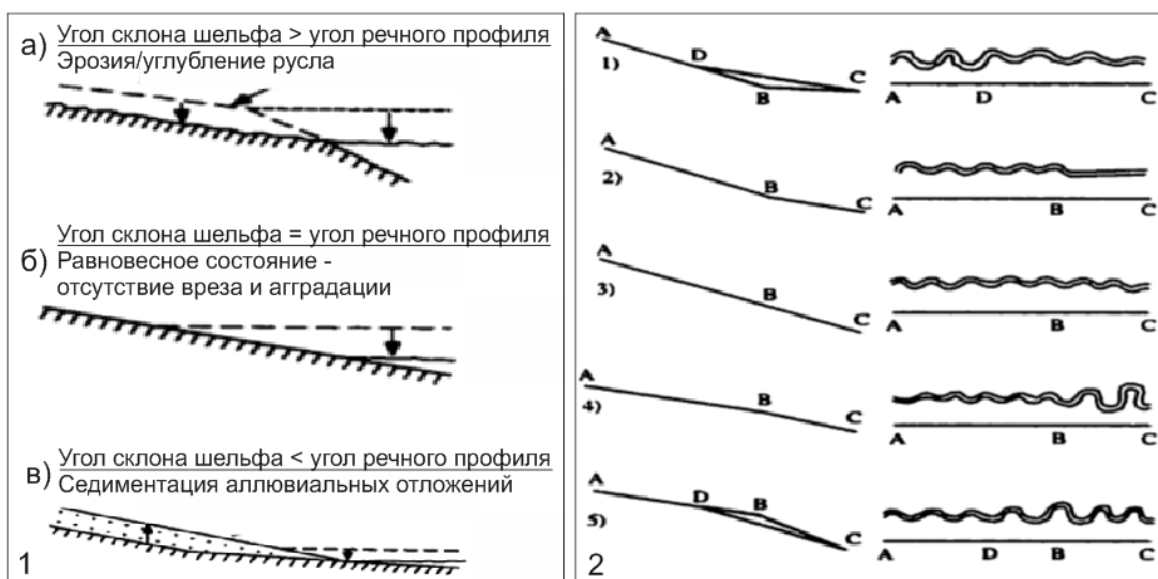


Рис. 8. 1) Связь между углом наклона шельфа и аллювиального профиля.

2) Зависимость типа реки от изменения угла наклона аллювиального профиля (по [Posamentier, 1992] и [Schumm, 1993], с дополнениями автора).

Результаты вышеописанных исследований используются для создания сиквенс-стратиграфических моделей континентальных отложений. Первые предложенные модели были построены при описании Верхнемелового разреза пластов аллювиального генезиса южной Юты, США.

Создание сиквенс-стратиграфической модели основано на выделении системных трактов (systems tract) - латеральных последовательностей одновозрастных осадочных пород, образовавшихся в течение одного цикла поднятия и опускания относительного уровня моря [32]. Каждый системный тракт определяется геометрией ограничивающих его поверхностей и положением внутри сиквенса. Системные тракты включают в себя несколько латерально коррелируемых систем осадконакопления (отсюда использование множественного числа: «systems»), поэтому также используется термин «тракт систем».

Применение концепции сиквенс-стратиграфии не зависит от шкалы. Фактически, это означает, что размеры циклов осадконакопления могут варьироваться от сантиметров до километров [103], то есть одна терминология может применяться для сиквенсов, системных трактов и разграничивающих их поверхностей, выделенных в различных временных и пространственных масштабах. Тем не менее, между сиквенсами разных масштабов делается различие, и этот вопрос рассматривается в рамках иерархии [84]. На данный момент существует два подхода к иерархии сиквенсов и их границ – это метод на основе модели - «model-driven method» и метод на основе данных (определяемый данными) - «data-driven method» [87].

Использование метода на основе модели предполагает, что для сиквенсов разного порядка существует иерархическая система разграничения [93]. Наиболее используемой является схема иерархии, предложенная Еххон, которая включает циклы пяти порядков: 1-го порядка (200 - 300 млн. лет), 2-го порядка (10 - 80 млн. лет), 3-го порядка (1 - 10 млн. лет), 4-го порядка (0.1 - 0.2 млн. лет) и 5-го порядка (0.01 - 0.02 млн. лет).

В данной модели каждому сиквенсу присваивается номер определенного порядка, основываясь на количестве времени, которое прошло между формированием двух ограничивающих его поверхностей. Так, самые большие изменения амплитуды, возникающие вследствие эвстатических колебаний (т. е. изменений объема океанических бассейнов), контролируемых тектоникой, редки и образуют границы сиквенсов первого и второго (низких) порядков. Границы сиквенсов более высоких порядков контролируются в основном климатическими изменениями.

Использование данного подхода на практике довольно затруднительно, так как данная иерархия связана с конкретными диапазонами времени, шкала которых зачастую неизвестна. В связи с этим главной проблемой метода на основе модели является определение частоты присутствия сиквенса какого-либо порядка (частота не является наблюдаемой характеристикой), так как вначале нужно эмпирическим путем определить границы данного сиквенса. Иными словами, частота встречаемости границ сиквенсов разных порядков может быть рассчитана, при условии, что данные границы объективно определены, а это крайне затруднительно без проведения биостратиграфического анализа. Так как любой геологический разрез включает в себя определенное количество поверхностей, разграничивающих сиквенсы – стратиграфических, фациальных несогласий и пр., для интерпретации может быть выбрана любая необходимая частота, такая, которая соответствует желаемому результату, что делает методику использования конкретных временных шкал крайне субъективной. Среди других минусов данной модели стоит отметить отсутствие учета границ распространения сиквенсов по латерали и изменения их мощности вдоль бассейна седиментации.

По методу на основе данных [Embry, 1995] иерархия устанавливается в результате интерпретации относительных значений (магнитуд), характеризующих величину колебаний относительного уровня моря, которые являются первоочередной причиной формирования границ сиквенсов. Так,

например, изменение относительного уровня моря в 100 м приведет к образованию большей по магнитуде границы, которая будет иметь характеристики, отличные от границы меньшей магнитуды, сформированной изменением уровня, к примеру, в 10 м. Таким образом, в каждом отдельно взятом бассейне осадконакопления границы с наибольшей магнитудой, то есть границы сиквенсов, сформированные самыми крупными колебаниями относительного уровня моря, в иерархии будут отнесены к категории 1-го порядка и, наоборот, наименьшие по магнитуде границы будут относиться к сиквенсам более высоких порядков. Определение границ циклов первых порядков является трудоемкой задачей, так как они должны быть прослежены вдоль всего бассейна, для чего требуется изучение разреза всего региона. Поэтому при доизучении области исследований граница низкого порядка может оказаться границей более высокого порядка и наоборот.

Подробное описание иерархических систем представлено в работах [88], [112], [85] и др. По мнению автора, для интерпретации разреза покурской свиты иерархия на основе данных выглядит более предпочтительной для использования.

Распространение системных трактов по латерали и по разрезу зависит от большого количества факторов, весомость которых зависит от условий седиментации. Для аллювиальных систем осадконакопления, помимо эвстатики, наиболее значимыми факторами являются климат и тектоника. На схеме (рисунок 9) показывается относительное влияние данных факторов, где заметно, что, хотя колебания относительного уровня моря оказывают существенное влияние на строение речных систем, с увеличением расстояния от береговой линии роль климатических изменений и тектоники становится более значительной. Мощность и состав отложений данной части бассейна седиментации контролируется величиной аккомодационного пространства, количеством поступающих осадков и климатическими изменениями [104]. Степень влияния данных факторов варьируется также в зависимости от типа аллювиальной системы и длины рек.

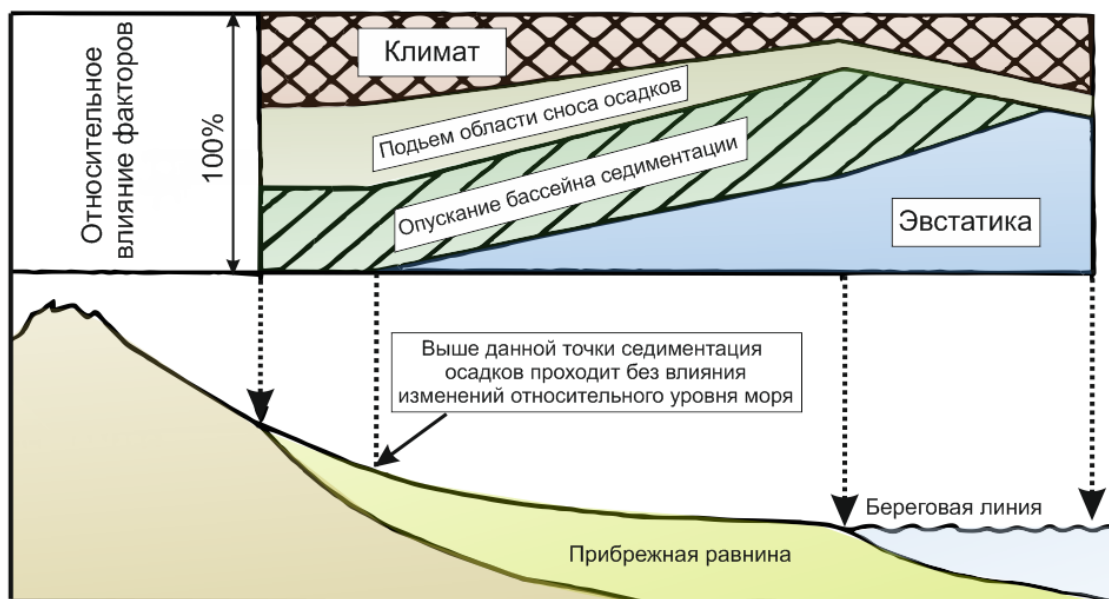


Рис. 9. Влияние факторов на седиментацию осадков в континентальных условиях осадконакопления (по [Shanley and McCabe, 1994], с дополнениями автора).

Доминирующее влияние тектонического фактора при формировании пространства аккомодации осадков в масштабе бассейна было отмечено многими исследователями [103], [95], [107]. Тектоника оказывает большое влияние на тип реки, скорость поступления осадочного материала и размеры отложений. На площадях, которые испытали значительный подъем рельефа, из-за большого угла наклона профиля могут генерироваться огромные объемы крупнозернистого материала, что благоприятствует развитию ветвящихся и слабоизогнутых рек. И наоборот, отсутствие тектонических подвижек в стабильных внутриконтинентальных условиях приводит к уменьшению угла наклона профиля и переносу более мелкозернистого материала, что способствует развитию меандрирующих и анастомозирующих рек [54]. Тектонические движения могут как увеличить, так и уменьшить или обратить эффекты от эвстатических изменений. Некоторыми авторами [7], [96] отмечается фундаментальная роль тектоники в формировании стратиграфических несогласий.

Климат (дожди, температура и др.) также имеет большое влияние на структуру речных отложений, на поступление осадков, и на их тип [83], что подробно описано во многих работах, в частности в исследовании [Sanabria *etc.*, 1999] на обнажениях нижней юры (Kayenta Formation) северной Аризоны, где показан случай, когда климат оказывает первоочередное воздействие на распространение аллювиальных отложений как по латерали, так и по разрезу. Седиментация озерных отложений также напрямую контролируется климатом - изменение климата в сторону засушливого приводит к уменьшению поступления воды и ее уровень в озере падает и, наоборот, более влажный климат способствует приносу реками больших объемов воды, за счет чего относительный уровень озера возрастает.

Выполненные исследования подчеркивают взаимоважность различных факторов, влияющих на седиментацию отложений в аллювиальных условиях осадконакопления. На сегодняшний день доподлинно не утверждено как далеко вглубь континента изменения относительного уровня моря могут влиять на осадконакопление речных систем. Некоторые авторы предполагают, что эта величина варьируется от 100 до 150 км [Shanley and McCabe, 1994; Emery and Myers, 1996; Miall, 1997]. В других работах [Blum and Tornqvist, 2000] приводятся цифры от 200 до 300 км для систем с небольшим углом наклона речного профиля и высоким уровнем поступлением осадков до первых десятков километров для систем с крутым углом и низким уровнем поступления осадочного материала. В работе [Aslan and Autin, 1999] показана связь между падением относительного уровня моря и образованием аллювиальных отложений долины Lower Mississippi Valley в 400 км от берега.

Влияние колебаний относительного уровня моря на седиментацию континентальных отложений подтверждено многочисленными исследованиями. Однако, существуют бассейны, где относительный уровень моря не действует в качестве фактора, контролирующего осадконакопление и концепция континентальной сиквенс-стратиграфии определенно не может

быть применена [105]. Во-первых, это так называемые бессточные бассейны или бассейны внутреннего стока, к которым, относятся гидрологически закрытые озера. Примерами таких бассейнов являются девонские бассейны Хорнелен в Норвегии и Оркадиан в Шотландии [106]. Во-вторых, это континентальные бассейны, где седиментация отложений проходила в сотнях километрах от моря (к примеру, Keuper Basin). Бассейны, не связанные с морем, составляют примерно 50% от общего числа континентальных бассейнов. Следует учитывать, что они были более распространены во времена континентального объединения. Современные примеры таких бассейнов – Лэйк Айри в Австралии, Лэйк Чад и Северная Ботсвана в Африке. При данных обстановках осадконакопления отложения речных систем не могут рассматриваться с точки зрения сиквенс-стратиграфии, в связи с отсутствием взаимосвязи между процессами седиментации осадков и сдвигами береговой линии. Построенные модели подобных бассейнов показывают случайный характер распространения песчаных тел [58].

Несмотря на широкое распространение континентальных отложений, относительная роль факторов, влияющих на их седиментацию, изучена недостаточно и остается предметом дискуссий [107], [93], [111]. Для разных условий осадконакопления и типов речных систем применяются различные модели формирования отложений [77]. Большинство авторов [Shanley, 1992; Van Vagoner, 1995; Yoshida et al., 1996; Currie, 1997; Legarreta and Uliana, 1998; Willis, 2000; Plint et al., 2001 и др.] выделяют иерархию из четырех системных трактов, базируясь на распространенных в них фациях: регрессивный системный тракт (falling stage system tract), тракт низкого стояния уровня моря («lowstand» или «basal» systems tract), переходный или трансгрессивный системный тракт (transitional systems tract) и тракт высокого стояния уровня моря (highstand systems tract) (рисунк 10):

1. Регрессивный системный тракт (FSST). На этапе формирования отложений данного системного тракта регрессией инициируется понижение базиса эрозии, за счет чего уменьшается пространство аккомодации, что, в

свою очередь, приводит к врезанию речного русла и формированию эрозионной поверхности. Как правило, осадки FSST либо отсутствуют в разрезе, либо (при невысокой степени эрозии) формируют маломощные песчаные тела анастомозирующих рек.

2. Тракт систем низкого стояния относительного уровня моря (LST). Отложения LST формируются на эрозионной поверхности при стабилизации падения относительного уровня моря и в начале его подъёма, заполняя образовавшиеся во время регрессии русла. Начало трансгрессии вызывает спад скорости течения реки, что приводит к вертикальной аградации русловых отложений и их латеральному смещению, в результате чего формируются мощные песчаные тела, залегающие с размывом на подстилающих отложениях [73].

Породы тракта низкого стояния уровня моря состоят по большей части из крупнозернистых фракций и образуют русловые песчаные тела, характеризующиеся высокой пространственной связностью, чаще всего представляющие собой фации разветвленных (заплетенных) рек и русловых отмелей [82]. Отложения LST, как правило, относительно мощные из-за большой скорости седиментации; высоким уровнем поступления осадков также объясняется отсутствие в разрезе данного системного тракта прослоев торфа и угля и небольшая доля пойменных отложений. Степень объединения русловых отложений тракта систем низкого стояния уровня моря зависит от продолжительности предшествующей регрессии.

Коэффициент песчанистости отложений LST часто имеет прямую зависимость от величины аллювиальных врезов. Поскольку глубина врезания русел различна, нижняя граница системного тракта имеет разнообразное строение, а осадки не обязательно сложены отложениями разветвленных рек, как это представлено во многих сиквенс-стратиграфических моделях, - в случае наличия врезанных меандрических кос, заполнение вреза начинается именно с отложений меандрирующего потока. Помимо этого, в большинстве работ предполагается, что заполнение речной долины осадками начинается

при низком стоянии уровня моря (LST), и не учитываются возможности сохранения отложений террас, образовавшихся в период FSST [100]. Доказательства наличия таких осадков показаны в работах [Blum & Tornqvist, 2000; Boyd et al., 2000; Strong & Paola, 2008; Holbrook, 2010].

3. Трансгрессивный системный тракт (TST) характеризуется сменой фациального строения отложений – увеличивается доля линзовидных песчаных отложений, тип рек резко изменяется с разветвленных до меандрирующих. При данных условиях осадконакопления формируются прослой угля и торфа (рисунок 10). Высокая скорость трансгрессии вызывает резкое увеличение площади аккомодации, что приводит к быстрой вертикальной агградации осадков. По мере повышения относительного уровня моря отмечается уменьшение размерности обломочных частиц, транспортируемых водным потоком [15], т. о. зернистость осадков системного тракта уменьшается вверх по разрезу. Изменение гранулометрии также может быть вызвано сменой русловых отложений пойменными и вновь русловыми [12] или миграцией русла в пределах речной долины. В том случае, если вследствие трансгрессивного налегания отложения LST отсутствуют в разрезе, аллювиальные отложения подошвенной части сиквенса относятся к трансгрессивному системному тракту.

Характерным для системного тракта TST является наличие отложений с влиянием приливно-отливных процессов [85], которые образуются в результате затопления речной долины, что связано с высокой скоростью подъема относительного уровня моря. Приливно-отливное воздействие наблюдается на расстоянии до 100 км вглубь континента от береговой линии в современных речных системах и, по меньшей мере, до 40 км в древних отложениях. В основном, трансгрессия в течение аккумуляции осадков TST ассоциируется только с более высокой частотой появления в разрезе пойменных отложений, однако она может способствовать также формированию фаций лагун и эстуария, причем для систем с врезанными долинами более характерно накопление отложений эстуария приливно-

отливного типа, а для систем с отсутствием значительных врезов – отложений лагун.

4. Тракт систем высокого стояния уровня моря (HST) представляет период роста скорости подъема относительного уровня моря, за счет чего увеличивается аккомодационное пространство [86]. Русловые отложения нижележащих системных трактов перекрываются узкими изолированными одиночными песчаными телами анастомозирующих и извилистых русел, прирусловых валов и отмелей, которые формируются среди мощных пойменных отложений (рисунок 10).

Отличить отложения тракта систем HST от подстилающего TST достаточно сложно, так как они представлены практически идентичными литотипами. Для системного тракта высокого стояния уровня моря характерно формирование преимущественно мелкозернистых осадков, поэтому вверх по разрезу сиквенса наблюдается уменьшение значений ФЕС. Фации извилистых речных систем являются доминирующими в связи с тем, что в начале накопления отложений HST уменьшается угол наклона речного профиля. В момент замедления скорости трансгрессии процент песчаных осадков увеличивается. Это происходит за счет того, что площадь аккомодации уменьшается, и снова начинают формироваться мощные русловые тела [97]. Данные отложения, однако, редко представлены в разрезе, так как они эродируются при последующем падении относительного уровня моря, когда формируется несогласная поверхность регрессивного системного тракта FSST.

Для речных систем смежных с озерными бассейнами характерна такая же зависимость от изменений уровня озера, как для прибрежных речных систем - от изменений уровня моря. По всей видимости это связано с тем, что изменение относительного уровня озера имеет прямой эффект на площадь аккомодации, формируемой озером [Scholz, 1990].

В большинстве используемых сиквенс-стратиграфических моделей континентальных отложений понижение относительного уровня моря

приводит к формированию врезанной долины, однако следует понимать, что ее наличие во многом зависит от величины регрессии и расстояния до береговой линии. Врезанные долины формируются только в том случае, если при падении уровня моря угол наклона шельфа намного круче угла наклона речного профиля. Если данные параметры равны, то глубина вреза минимальна и река не ограничена пределами врезанной долины. Такие речные системы - с отсутствием вреза (*non-incised valley*), называемые также системами обводных каналов (*bypass channels*), с отсутствием эрозии аллювиальными потоками или же с незначительной эрозией, имеют большее распространение, чем представлялось в начальных сиквенс-стратиграфических моделях. За счет невысокой степени эрозии, в пределах систем с отсутствием вреза границы сиквенсов труднее идентифицировать.

Важно различать данные речные системы, так как они влияют на распределение фаций и, соответственно, формируют ловушки разного типа. Так, удержание аллювиального потока в пределах врезанной долины имеет большое значение для объединения речных каналов между собой, за счет чего формируются мощные толщи связанных коллекторов с высокими ФЕС. Отсутствие же вреза предопределяет более линзовидное строение песчаных тел, поэтому залежи, сформированные в таких условиях, состоят из гидродинамически разобщенных блоков. В этой связи, правильный выбор концептуальной модели осадконакопления имеет первостепенное значение для изучения углеводородного потенциала речных систем, поэтому он должен проводиться отдельно по площадям для каждого седиментационного цикла с учетом анализа кернового материала и данных геофизики.

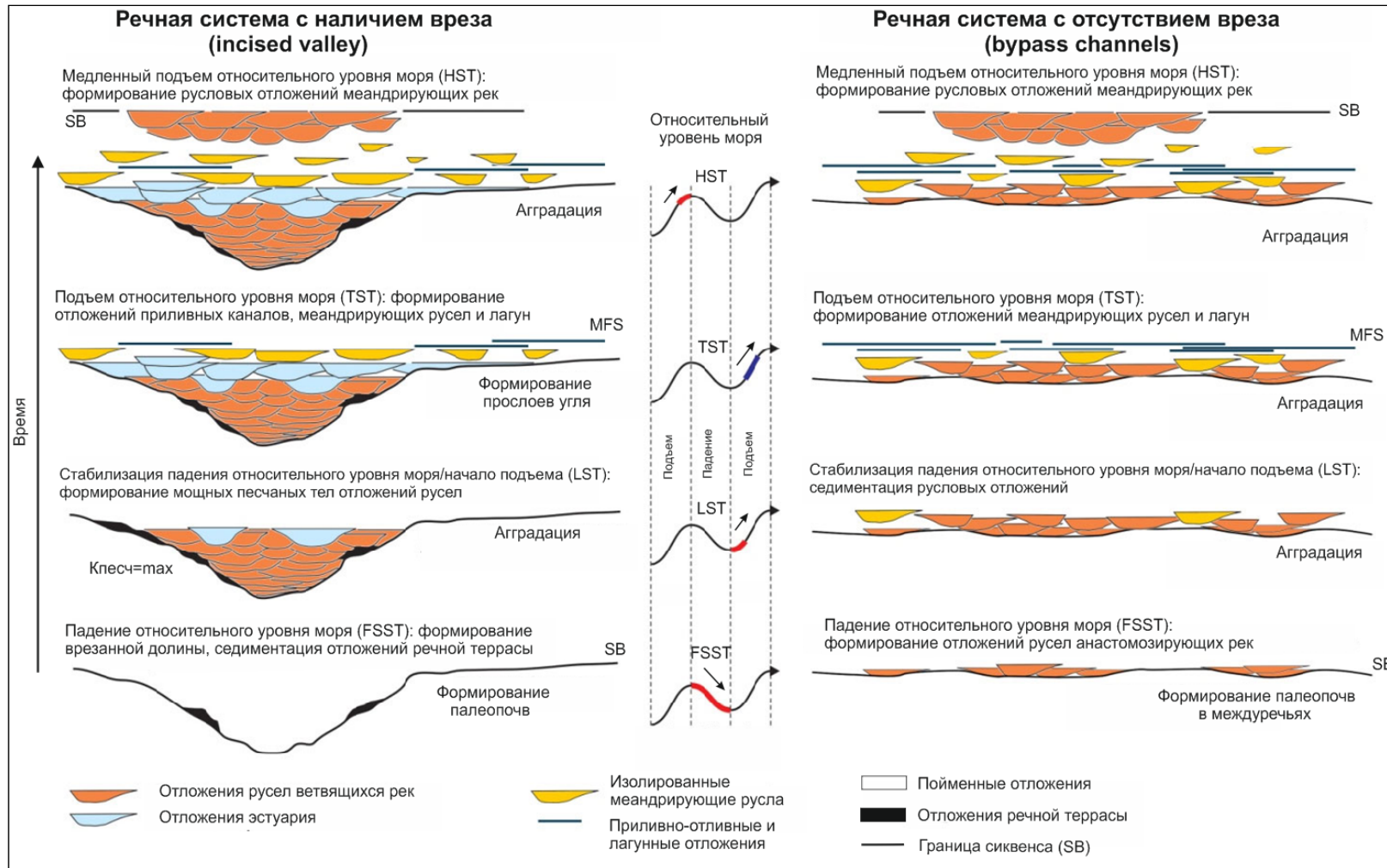


Рис. 10. Концептуальная сиквенс-стратиграфическая модель континентальных отложений аллювиального генезиса для речных систем с врезанной долиной (слева) и без нее (справа) (по [W.J.-van-Strien, 2010], [77], [108], с дополнениями автора).

Несмотря на сложное геологическое строение, в аллювиальных отложениях выделяются поверхности, разделяющие сиквенсы, которые регулируются изменениями относительного уровня моря, климата и тектоники - стратиграфические несогласия (стратиграфические размывы) [88].

Под несогласием понимается поверхность, отделяющая более молодые породы от более древних, которая образуется в результате эрозии или перерыва в осадконакоплении в условиях максимально ограниченного пространства аккомодации [109]. Границы стратиграфических несогласий используются при интерпретации как изохронные. Границы сиквенсов (sequence boundary, SB) определяются только вдоль тех поверхностей несогласия, которые имеют следующие критерии [110]:

1. Региональное распространение;
2. Несогласное залегание фаций по разрезу, эрозионное срезание или трансгрессивное налегание.
3. Значительный перерыв в осадконакоплении.

Выделение несогласных поверхностей позволяет дифференцировать разрез. Границы региональных стратиграфических несогласий чаще всего ассоциируются со значительным изменением состава пород [Zaitlin, 2002; Ratcliffe, 2004]. В аллювиальных системах осадконакопления выделяются следующие поверхности:

1. Граница субаэрального несогласия (в зарубежной литературе - subaerial unconformity; lowstand unconformity [Schlager, 1992]; regressive surface of fluvial erosion [Plint and Nummedal, 2000]; fluvial entrenchment/incision surface [Galloway and Sylvia, 2002]) – поверхность, сформированная эрозией более древних пород [82]. Для континентальных условий осадконакопления данная граница является основной для расчленения сиквенсов (рисунок 12). Чаще всего она формируется в подошве русловых отложений и представляет собой конечное положение поверхности эрозии. Граница субаэрального несогласия маркируется по резкому

контрасту фаций, вдоль контакта которых наблюдаются резкие изменения типа осадков.

Поверхность субаэрального несогласия при интерпретации геологического разреза принимается изохронной. Для терригенных пород данная граница может быть выявлена по некоторым характерным признакам. Первый - это наличие в разрезе палеопочв. В условиях аллювиальной равнины палеопочвы формируются, когда седиментация отложений проходит в субаэральных условиях длительное время и подвергается педогенезису. Почвообразование особенно характерно для междуречий, где скорость эрозии достаточно мала [98].

Палеопочвы указывают на перерыв в осадконакоплении, что делает их присутствие важным стратиграфическим маркером для континентальных отложений, как на локальном, так и на региональном уровнях. Для терригенных пород их идентификация выполняется путем определения на керновом материале специфичных текстур, минералов или типов пород, ассоциируемых с ними (брекчирование, иллювиации, включения сидерита и барита и др.). В зависимости от типа педогенезиса палеопочвы могут содержать плотные карбонатные породы, а также мощные прослои глин. По ГИС палеопочвы определяются с использованием каротажных диаграмм АК, НКТб, БК, УЭС и др., где их выделяют в высокоплотных или в высокоскоростных зонах. Значительная мощность палеопочв означает, что эрозионные процессы проявились несущественно и седиментация отложений проходила в относительно устойчивых условиях. Палеопочвы часто эродируются при трансгрессии, поэтому их не всегда можно определить даже с использованием кернавого материала [113]. Поверхность стратиграфического несогласия следует проводить по кровле палеопочв, так как именно кровля документирует начало перерыва в осадконакоплении.

Вторым признаком границы субаэрального несогласия является наличие эрозионной поверхности – т. е. поверхности, вдоль которой наблюдается значительный перерыв в осадконакоплении, сформировавшийся

благодаря процессам перемещения осадков [87]. Это могут быть как основания каналов речной системы, так и просто расчлененные поверхности, образованные промоинами. Эрозионная поверхность является индикатором начала процесса заполнения аккомодационного пространства осадками. Данная граница четко определяется по керновым данным, а также на каротажных диаграммах в подошве русловых отложений или в кровле мощных глинистых пропластков (пример на рисунке 11). На образование эрозионных поверхностей большое влияние имеет величина аллювиальных врезов [92]. Как правило, зависимость прямая – самые крупные эрозионные поверхности образуются в речных системах с мощными протяженными русловыми телами.

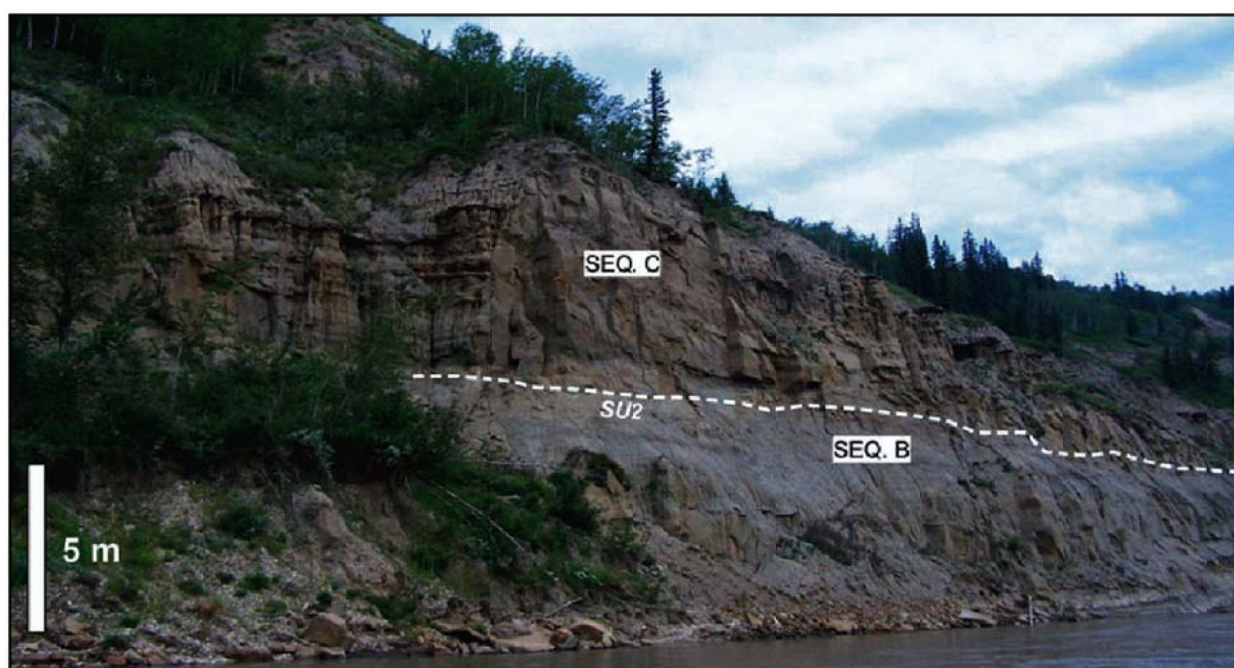


Рис. 11. Граница субэразального несогласия SU2 (пунктиром), разделяющая пойменные фации в кровле Seq. B и мощные русловые песчаники в подошве Seq. C. Долина Smoky River, Альберта, Канада.

Рисунок взят из статьи [90].

2. Поверхность коррелятивного согласия. Данная поверхность латерально коррелируется с поверхностью стратиграфического несогласия,

но формируется без перерыва в осадконакоплении. Коррелятивные согласия в континентальных отложениях эквивалентны поверхности максимальной регрессии (*maximum regressive surface*, MRS), выделяемой в прибрежно-морских отложениях, где она определяется как поверхность, которая формируется по направлению от береговой линии к бассейну осадконакопления и маркируется уменьшением зернистости вверх по разрезу [88].

На практике проследить границу коррелятивного согласия затруднительно [76]; предположительно, эта поверхность маркирует переход от регрессивной части сиквенса к трансгрессивной и может использоваться в качестве граничной при отсутствии эрозионных несогласий [112]. В прибрежно-континентальных обстановках осадконакопления поверхность максимальной регрессии выделяется вдоль границы между русловыми отложениями тракта низкого стояния уровня моря и перекрывающими их трансгрессивными отложениями системного тракта TST [74] (рисунок 12), т. е. по границе наибольшего перепада коэффициента песчаности, и соответственно, числа аллювиальных каналов, от высоких значений до низких. По направлению к континенту MRS может быть прослежена по подошве устьевых фаций [57]. Кроме того, если в разрезе свиты наблюдается отсутствие верхних регрессивных частей циклов (LST), вследствие образования русел и приливных каналов за счет продолжительных периодов выветривания и денудации [38], то MRS выделяется в подошве сиквенса. Поверхность коррелятивного согласия также может быть идентифицирована в разрезе озерных отложений ([Changsong et al., 2001], бассейн Эрлиан, северо-восточный Китай).

3. Поверхность максимального затопления (*maximum flooding surface*, MFS) – поверхность, вдоль которой наблюдаются признаки резкого увеличения глубины бассейна осадконакопления [112].

В сиквенс-стратиграфии прибрежно-морских отложений поверхность затопления определяется по резкому переходу от прибрежных песчаных

отложений к морским глинам [14]. В условиях же аллювиальной равнины MFS может выделяться в кровле регионально распространенных мощных и литологически выдержанных слоев торфа, угля, пойменных глин или континентальных известняков. Такие прослои трассируются на большой площади и свидетельствуют о значительном перерыве в седиментации осадков, поэтому поверхности максимального затопления считаются изохронными.

Так как формирование аллювиальных отложений проходит в основном в областях с незначительным уклоном поверхности, даже небольшое повышение уровня моря может вызвать затопление речной долины. Поэтому в прибрежно-континентальных условиях осадконакопления MFS также может быть представлена горизонтом, который характеризуется влиянием моря. Так, например, отложения с приливно-отливной активностью, относящиеся к трансгрессивному системному тракту (TST), могут интерпретироваться как континентальный эквивалент поверхности максимального затопления, так как они также отображают максимальную степень влияния морских процессов [81]. Данные отложения наблюдаются, в частности, в верхней части покурской свиты, для которой характерно наличие контрастных трансгрессивных осадочных серий.

В аллювиальных условиях поверхность максимального затопления может соответствовать резкому увеличению энергии потока, что выражается в смене типа речной системы с меандрирующего на ветвящийся. При отсутствии индикаторов влияния моря MFS может быть идентифицирована в интервале с наибольшим градиентом изменения зернистости от низких значений до высоких вверх по разрезу. Поверхности затопления характеризуются как небольшим изменением в литологии, так и резким литологическим контрастом.

В озерных условиях MFS также формируется в кровле трансгрессивного тракта TST [Bohacs et al., 2007]. В мелких озерах поверхность максимального затопления совпадает с поверхностью

субаэрального несогласия. В болотной обстановке осадконакопления MFS соответствует самому высокому уровню грунтовых вод и ассоциируется с пластами угля [Tibbert and Gibling, 1999]. Поверхности максимального затопления, как правило, проще определить по ГИС, чем границы субаэрального несогласия, но, из-за того, что прослеживаемость MFS сильно зависит от региональных изменений в поступлении осадочного материала и продолжительности седиментации, корреляция данных поверхностей на большие расстояния менее надежна.

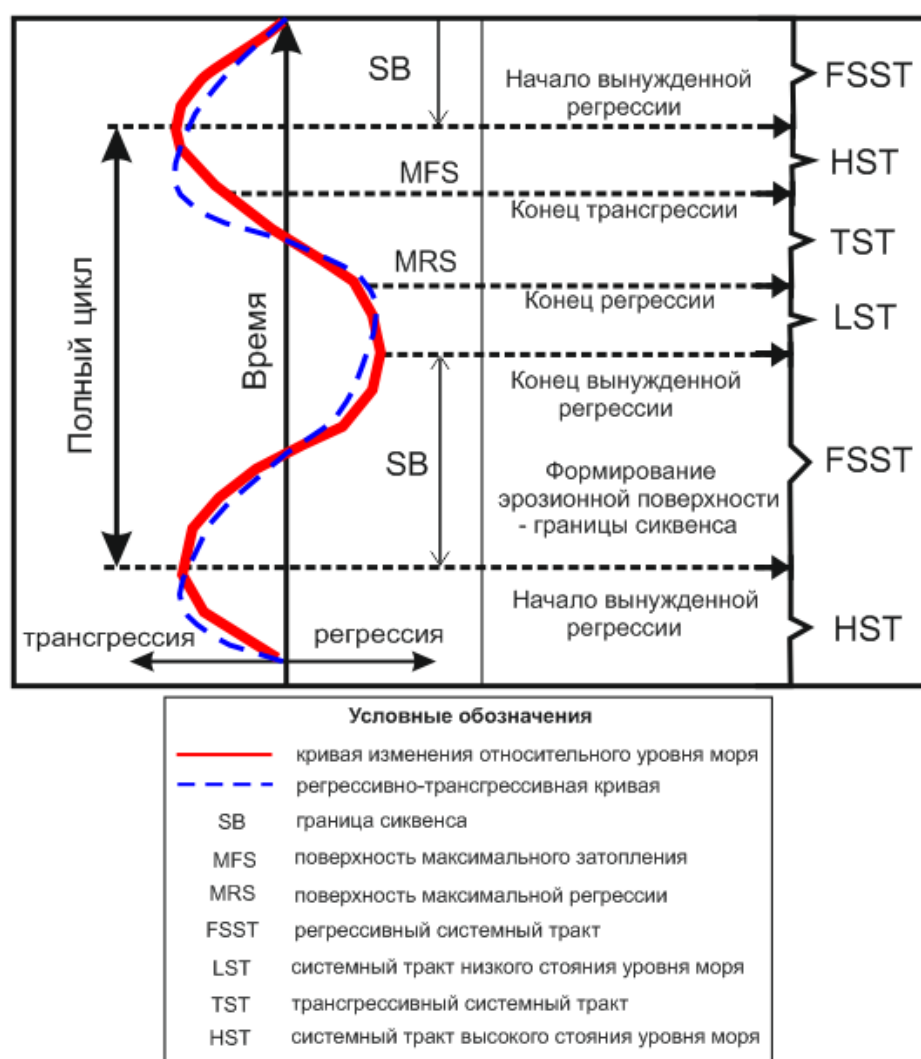


Рис. 12. Схема влияния колебаний относительного уровня моря на формирование поверхностей несогласия в прибрежно-континентальных обстановках осадконакопления.

Выделенные критерии определения поверхностей несогласия применимы только для регионально распространенных границ, находящихся на одном стратиграфическом уровне. Латерально протяженные эрозионные поверхности более вероятно будут формироваться в аллювиальных системах с мощными русловыми телами. Стоит отметить, что если анализируемый разрез включает в себя отложения не только континентальных, но и прибрежно-морских фаций, границы выделяемых сиквенсов на береговой линии необходимо интерпретировать как изохронные, так как они должны формировать одну физическую поверхность [84].

Более подробное расчленение разреза на парасиквенсы в аллювиальных условиях является достаточно трудоемкой задачей, так как их формирование не всегда предполагает наличие ограничивающей поверхности, регулируемой колебаниями относительного уровня моря [89]. Предположительно, эквиваленты парасиквенсов в континентальных отложениях могут выделяться по границам циклов речной авульсии (резкого изменения геометрии русла) или вдоль поверхностей максимального затопления по прослоям угля. Некоторыми авторами [Arbues et al., 2000; Bohacs, et al., 2000; Keighley et al., 2003] также описываются возможности выделения границ парасиквенсов в озерных отложениях.

Обобщая вышеизложенное, можно констатировать, что представленная концептуальная сиквенс-стратиграфическая модель является качественным инструментом для детального изучения особенностей геологического строения. Континентальные отложения формируются под влиянием большого числа факторов - эвстатики, климата, тектоники и других процессов, взаимодействующих между собой. Циклические изменения относительного уровня моря приводят к изменениям площади седиментации осадков; при этом стоит отметить, что возможность наличия площади аккомодации не является гарантией ее присутствия. Вопросы генерации аккомодационного пространства и применения сиквенс-стратиграфии в обстановках, где относительный уровень моря не является доминирующим

фактором, остаются открытыми. В результате продолжают разрабатываться сиквенс-стратиграфические модели для речных, эоловых, озерных и других отложений [Plint et al. 2001; Atchley et al. 2004; Amorosi and Colalongo 2005; Cleveland et al. 2007] и др. Выделяемым стратиграфическим подразделением во всех моделях является сиквенс, соответствующий одному трансгрессивно-регрессивному циклу осадконакопления.

Распознавание границ сиквенсов в пределах аллювиальных систем осложнено частой и резкой сменой фаций по латерали, отсутствием маркирующих горизонтов, а также затруднениями в определении расположения врезов рек. Дополнительным осложняющим фактором при выделении границ является наличие трансгрессивной эрозии, так как процессы эрозии могут частично или полностью деформировать поверхности несогласия и предыдущие осадочные комплексы [70]. Многими исследователями [26], [6] подчеркивается необходимость выработки приемов определения перерывов в седиментации и выделения границ циклов колебаний уровня моря в аллювиальных обстановках осадконакопления.

2.2 Разработка методики дифференциации покурской свиты

По поверхностям несогласий проводятся стратиграфические границы местных подразделений [64]. Значимость определения в разрезе перерывов в осадконакоплении при проведении стратиграфического анализа и выделении подсчетных объектов была отмечена многими авторами [53], [90], [73]; от корректности проведения данных поверхностей зависит правильность выполнения последующей детальной корреляции пластов. Задача выделения и прослеживания границ несогласий в интервале пластов ПК является достаточно трудновыполнимой, поэтому она должна решаться путем комплексного анализа всего спектра проведенных геолого-геофизических исследований и рассмотрением факторов, регулирующих осадконакопление.

Седиментацию отложений покурской свиты можно определить двумя группами факторов, которые различаются по области воздействия, –

регионально-глобальной и локальной. Регионально-глобальная группа факторов определяется колебаниями относительного уровня моря. Сильные эвстатические колебания обусловлены изменениями объема вод Мирового океана и вместимости океанских бассейнов, а также тектоническими движениями и изменениями климата [101]. Изменения относительного уровня моря играют значительную роль в формировании аллювиальных отложений покурской свиты вследствие отсутствия существенных климатических и тектонических влияний и относительно плоской топографии региона в апт-сеноманское время.

К локальной группе факторов относятся процессы развития аллювиальных систем различного типа, формирующих шнурковые песчаные геологические тела. Локальные изменения обстановки осадконакопления могут быть обусловлены проградацией дельты, латеральной миграцией меандрирующей реки или другими процессами.

При допущении, что седиментация осадков и тектоническое погружение происходили с одинаковой скоростью, представляется возможным смоделировать влияние описанных факторов на осадконакопление. Так как регионально-глобальная группа факторов (региональная компонента) представляет собой эвстатические колебания, графически, ее можно изобразить в виде синусоиды, период которой описывает полный цикл изменения относительного уровня моря, а вариации амплитуды обозначают его трансгрессивную и регрессивную части (рисунок 13). Влияние локальных факторов (локальных компонент) в целом бессистемно, поэтому их модель представляет собой ряды случайных чисел. При этом значения амплитуды локальных (случайных) компонент должны приниматься в несколько раз больше значений амплитуд региональной компоненты (рисунок 13), так как именно локальные факторы оказывают первоочередное влияние на литологический и фациальный состав отложений.

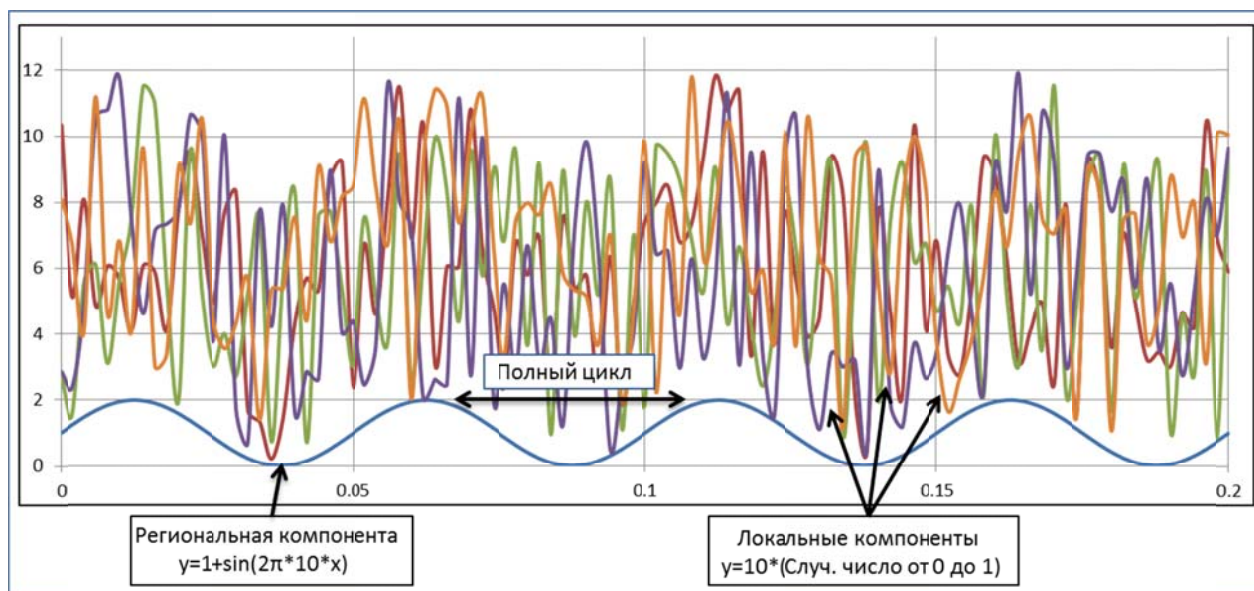


Рис. 13. График модельных компонент.

Итоговые модельные графики, характеризующие осадконакопление, таким образом, будут вычисляться путем сложения региональной компоненты с локальными (рисунок 14). Результат будет отображать только значения случайных составляющих, так как они практически полностью «затушевывают» региональную компоненту ввиду разницы в интенсивности амплитуд.

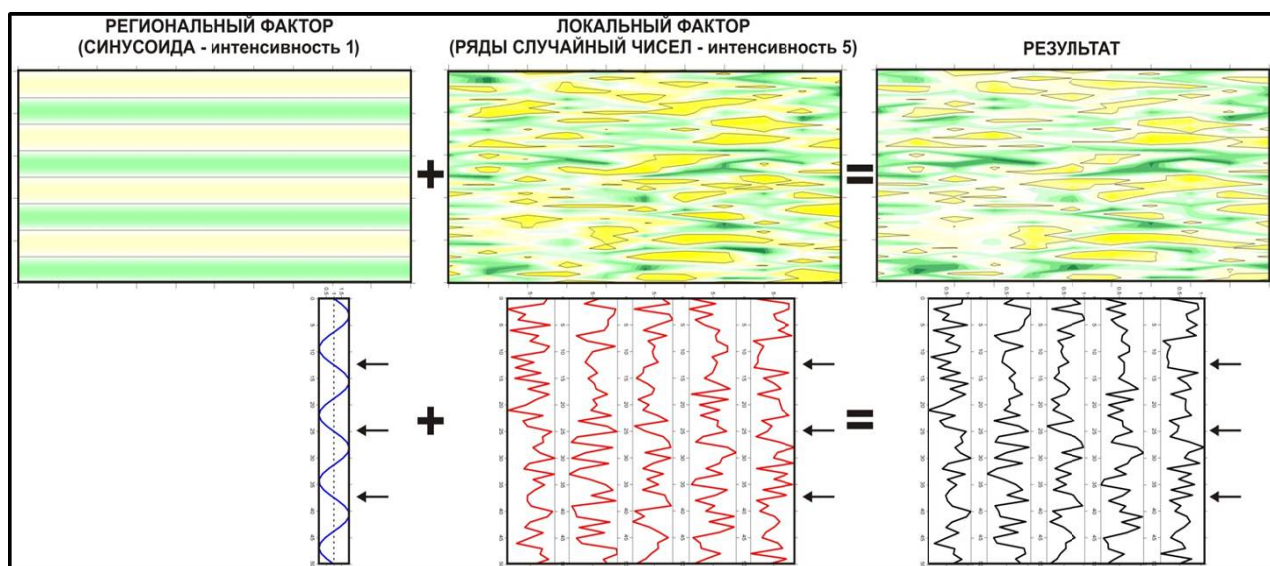


Рис. 14. Схема получения результирующих модельных графиков, описывающих осадконакопление.

Как было отмечено в предыдущем разделе, влияние региональной составляющей, т. е. эвстатических колебаний, является доминирующим механизмом формирования сиквенсов в аллювиальных системах. Это означает, что выделение значений региональной компоненты из результирующего графика (рисунок 14) даст возможность определить границы сиквенсов - поверхности стратиграфических несогласий, по аналогии с тем как это сделано на рисунке 12.

Подобная задача – выделение слабого сигнала в поле интенсивных помех - возникает при обработке сейсмических данных. Как известно, в сигнале, регистрируемом сейсмоприемником, плотность и интенсивность помех намного превышают плотность и интенсивность существенной информации. Такой сигнал практически невозможно интерпретировать, поэтому его подвергают предварительной обработке. В исходную сейсмограмму ОГТ вводят поправки, а затем суммируют полученные трассы, за счет чего сигнал усиливается, а помеха ослабевает, т. е. отношение сигнал/шум в разы возрастает (рисунок 15).

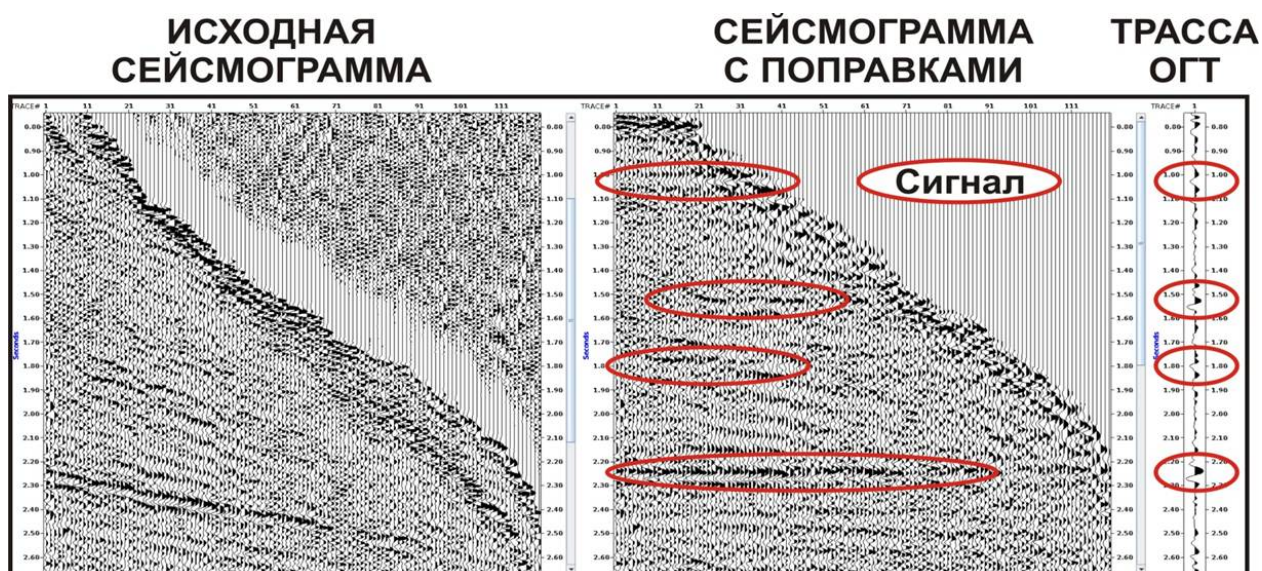


Рис. 15. Схема процедуры обработки данных МОГТ.

По аналогии с сейсморазведкой, методику суммирования предлагается применить к построенным модельным графикам. При суммировании

результатирующих диаграмм случайные величины, относящиеся к локальной компоненте (шум) нивелируются, а значения региональной компоненты (сигнал) - многократно увеличатся, так как присутствуют в каждой из рассчитанных модельных диаграмм. В итоге, рассчитанный суммарный график и исходная диаграмма региональной компоненты имеют высокую степень сходимости (рисунок 16).

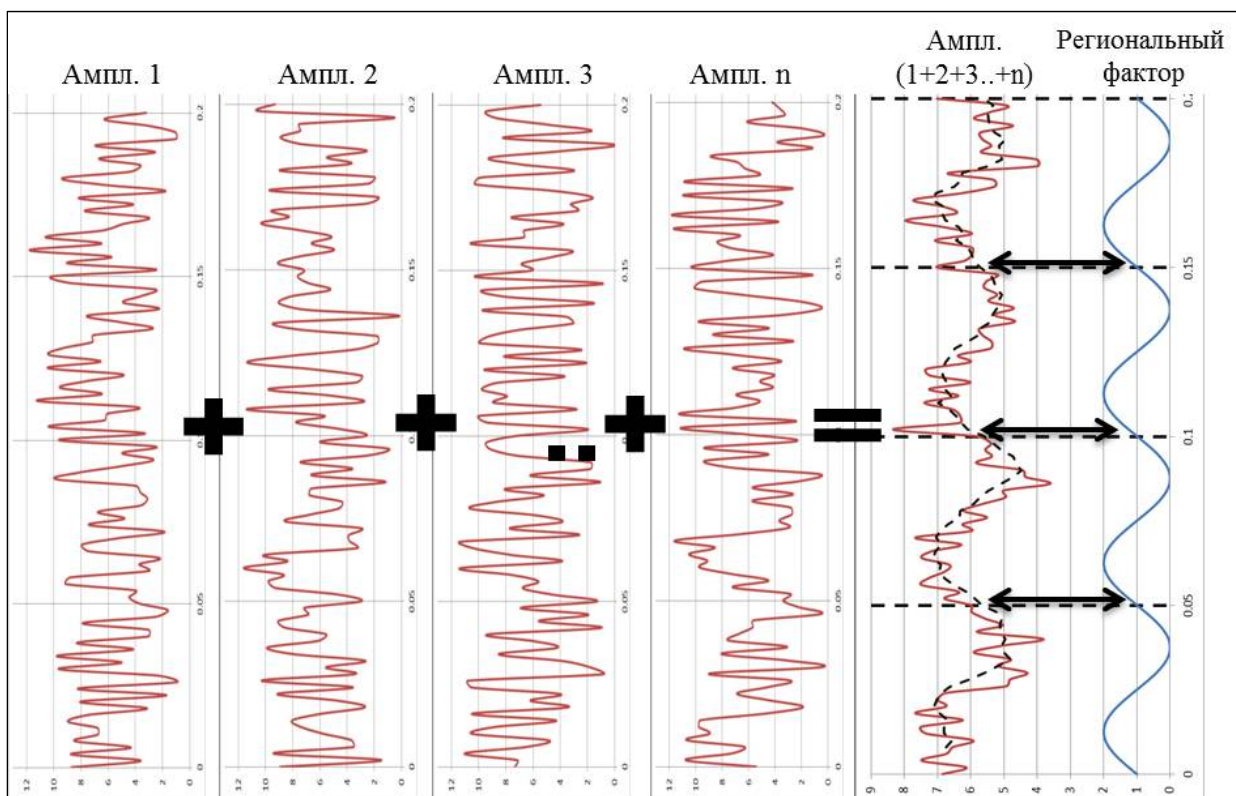


Рис. 16. Применение методики суммирования к модельным графикам.

Построенные модельные графики региональной и локальной компонент, описывающие осадконакопление (рисунок 14), имеют форму каротажной диаграммы ПС в интервале пластов покурской свиты. Так же как и для модельных графиков (рисунок 17 а), для диаграммы ПС характерна высокая степень изрезанности и частая смена положительных и отрицательных значений (рисунок 17 б). Данное заключение позволяет опробовать методику суммирования на данных ГИС, при этом исходные

каротажные диаграммы ПС будут являться аналогами сейсмотрасс, а аналогами сейсмограмм - каротажные кривые с введенными поправками.

В результате суммирования каротажных диаграмм появляется возможность получить график, который отражает изменения региональной компоненты, т. е. эвстатических колебаний, и на котором отчетливо прослеживается характерная для пластов ПК цикличность осадконакопления. Таким образом, перенос методики суммирования в область стратиграфии позволит с точностью до первых десятков метров по границам циклов определить в разрезе покурской свиты положение поверхностей региональных стратиграфических несогласий.

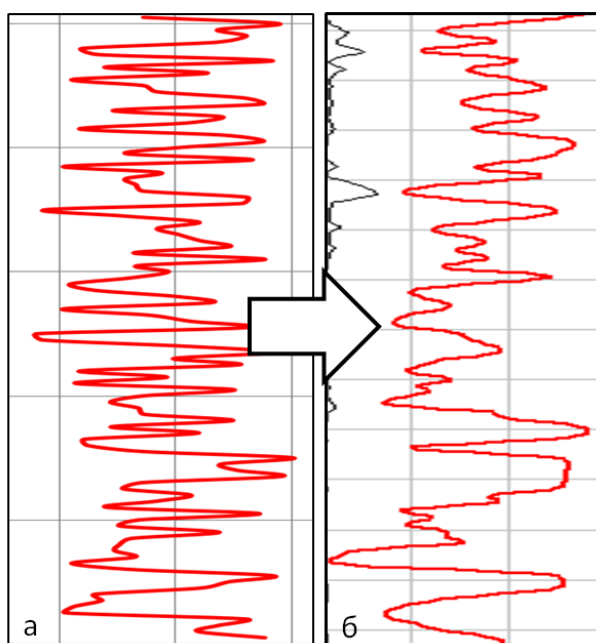


Рис. 17. Сравнение построенного модельного графика (а) и каротажной диаграммы α ПС в интервале пластов покурской свиты (б).

Для получения корректного результата необходимо выбрать скважины, которые будут использоваться для суммирования. Первым обязательным условием выборки скважин является наличие в них записи каротажной диаграммы ПС во всем интересующем глубинном интервале. Необходимо использовать относительные амплитуда ПС (α ПС), так как для корректного суммирования показания потенциала собственной поляризации в разных

скважинах должны быть приведены к единым условиям. Выборку скважин следует проводить среди вертикальных; рекомендуется использовать разведочные скважины, где на показаниях ГИС не сказывается влияние разработки. При этом не учитываются скважины, пробуренные на полимерном растворе, так как показания ПС в таких скважинах искажены. Также стоит исключить скважины, расположенные в зонах разрывной тектоники, так как в их разрезах возможно отсутствие или, наоборот, повторение одного или нескольких пластов. При наличии скважин с отбором керна в интересующем интервале следует включить их в расчет.

Выбранные скважины должны быть равноудалены друг от друга и равномерно распределены по площади исследования, чтобы исключить проявление одной и той же локальной компоненты в нескольких скважинах. Для получения более достоверного результата выборки возможно использование операции декластеризации – уменьшения влияния более плотно расположенных скважин на общее распределение, реализованной в современных программных продуктах геологического моделирования. Так, каждой скважине будет присваиваться вес, обратно пропорциональный плотности скважин в ее окрестности.

Прежде чем перейти непосредственно к операции суммирования, выбранные каротажные диаграммы необходимо скорректировать за влияние тектоники, т. е. нормировать по глубине. Другими словами, необходимо приравнять минимальные и максимальные глубины интересующего интервала каждой каротажной диаграммы к заданным значениям одной предварительно выбранной эталонной скважины (рисунок 18). Для выбора пороговых значений глубины следует использовать границы региональных реперов – например, кровлю покурской и кровлю алымской свит.

Кровля отложений покурской свиты четко фиксируется по ГИС по переходу к пониженным и сильно дифференцированным значениям ПС, а также по небольшому увеличению естественной радиоактивности по ГК по сравнению с перекрывающей толщей. Синхронно на каротажных

диаграммах, зарегистрированных методами сопротивления, наблюдаются существенное повышение уровня значений и степени изрезанности. Нижняя граница свиты также четко прослеживается по каротажным диаграммам ИК, ПС и ГК и характеризуются критическими значениями проводимости и минимальными значениями сопротивления. Если какая-либо поверхность внутри свиты уверенно трассируется, то ее также можно использовать как граничную при корректировке. Ввод поправки можно считать допустимым, только если в исследуемом интервале накопление осадков проходило унаследовано, что должно быть подтверждено результатами анализа палеоструктурных построений.

В выбранном диапазоне для каждой скважины поправка вводится с помощью следующего выражения:

$$\text{"Norm_log} = (\text{Log} - \text{Log_min_depth}) * (\text{max_depth} - \text{min_depth}) / (\text{Log_max_depth} - \text{Log_min_depth}) + \text{min_depth}"$$
, где

Norm_log – скорректированная каротажная диаграмма;

Log – исходная каротажная диаграмма;

Log_min_depth - исходное минимальное значение глубины (кровля покурской свиты для рассчитываемой скважины);

Log_max_depth – исходное максимальное значение глубины (подошва покурской свиты для рассчитываемой скважины);

min_depth – принятое минимальное значение глубины (кровля покурской свиты эталонной скважины);

max_depth – принятое максимальное значение глубины (подошва покурской свиты эталонной скважины).

Процесс уравнивания толщи пород в определенном глубинном интервале в автоматическом режиме реализован в современных программных продуктах, где выполняется с помощью команды «Flatten on multiple well tops».

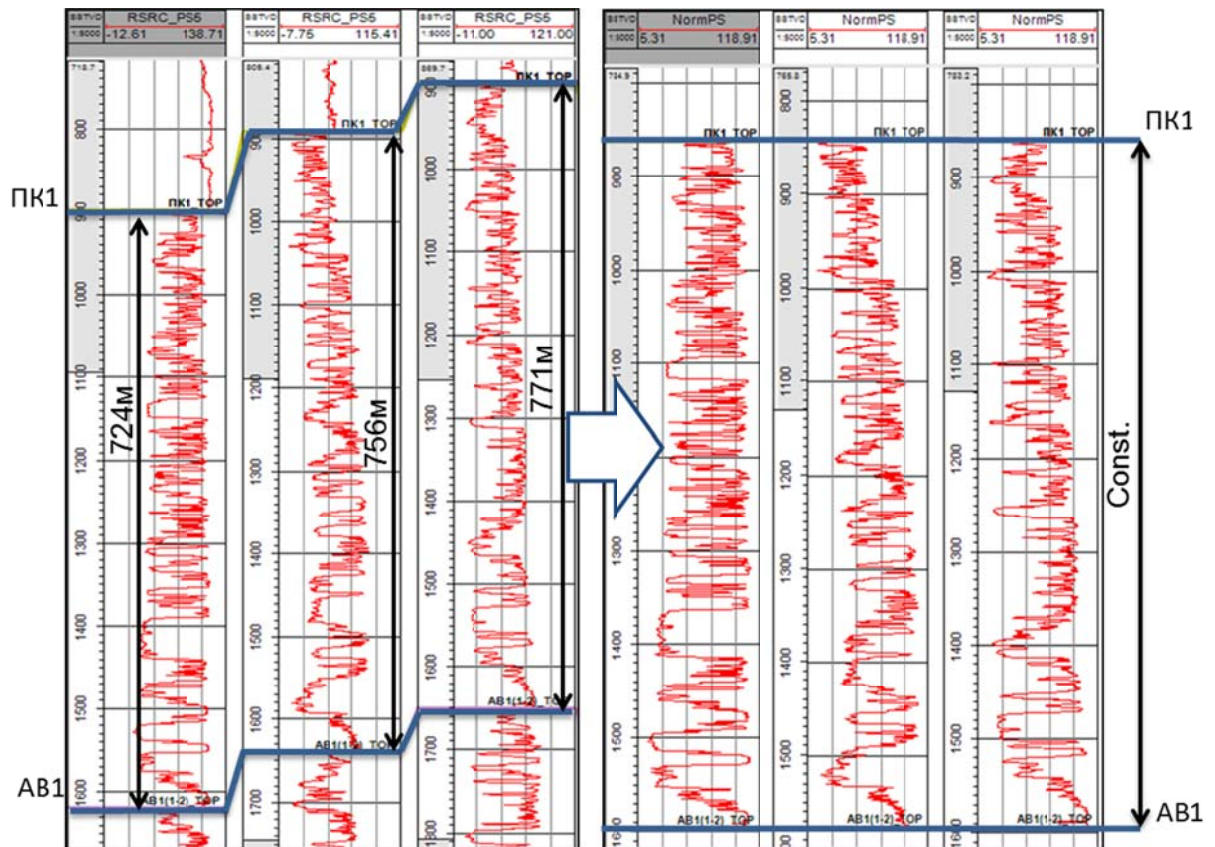


Рис. 18. Введение поправки для учета влияния тектоники.

Анализ разрезов скважин после введения поправки показал, что даже в скважинах, где общие толщины пластов ПК значительно разнятся, при приведении интервалов к одной мощности наблюдается их удовлетворительная сходимость. Поэтому, при правильной выборке скважин и детальном анализе обстановок осадконакопления, использование нормирования по глубинам в качестве поправки можно считать обоснованным. Возможные неточности компенсируются за счет увеличения числа суммируемых каротажных диаграмм (рисунок 20). Кроме того, если количество скважин на исследуемой площади велико, дополнительным условием выборки может являться равенство толщин свиты. На крупных разбуренных месторождениях определение скважин с записью каротажной диаграммы в нужном интервале может занять много времени, поэтому для автоматизации данного процесса в современных программных продуктах следует использовать специальный алгоритм.

На полученном в результате суммирования скважин графике Σ «ПС можно отчетливо проследить цикличность, слабо заметную в исходных данных (рисунок 19). Показания данного графика возрастают от нижней части циклов, относящихся, как правило, к песчаным отложениям русел, до пойменных отложений верхней части циклов. Границы сиквенсов маркируются по точкам наиболее резких перепадов значений суммарной диаграммы от высоких к низким вверх по разрезу (при использовании обратной шкалы, как на рисунке 19).

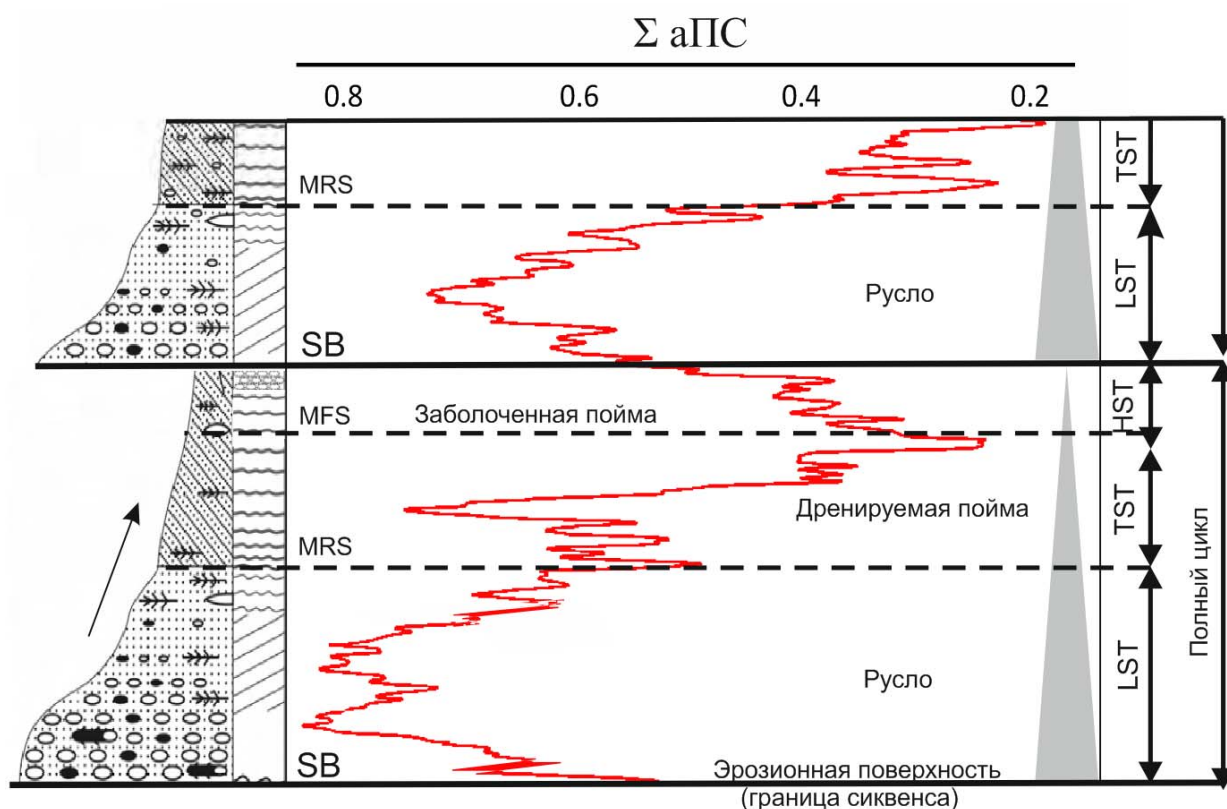


Рис. 19. График суммы каротажных диаграмм α ПС.

Число выбранных скважин оказывает существенное влияние на форму суммарного графика. Так, к примеру, на рисунке 20 изображены суммарные диаграммы α ПС, построенные по разному числу скважин с одного месторождения: график зеленого цвета построен по данным 9 скважин, синего цвета - по 17, красного – по 26. Как видно по рисунку, выборка большего количества скважин на равном расстоянии друг от друга позволит избежать проявления локальной компоненты в итоговой суммарной диаграмме.

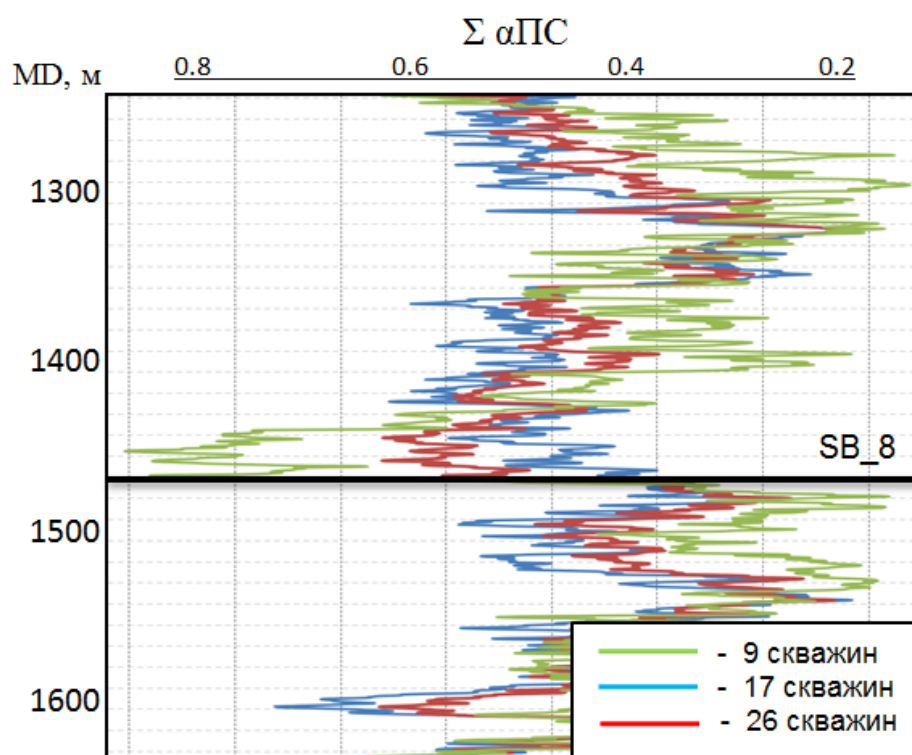


Рис. 20. Сравнение суммарных каротажных диаграмм α ПС одной площади, рассчитанных с использованием разного числа скважин.

При неопределенностях в интерпретации границ, а также для выделения наиболее крупных циклов осадконакопления, полученный суммарный график α ПС необходимо сгладить с использованием следующей формулы:

$$P_n^{i+1} = (2 P_n^i + P_{n-1}^i + P_{n+1}^i)/4,$$

где n – индекс точки суммарной каротажной диаграммы,

i – номер итерации.

При использовании данной формулы средняя точка между значениями (x_1, y_1) и (x_2, y_2) будет иметь координаты $X_{cp}=(x_1+x_2)/2$, $Y_{cp}=(y_1+y_2)/2$. Необходимое сглаживание вычисляется итерационным применением по всем точкам кривой до получения приемлемого результата. Сглаженная суммарная диаграмма повторяет график колебаний относительного уровня моря, что позволяет выделить на ней прослеживаемые поверхности несогласий, разграничивающие сиквенсы (рисунок 21). Для расчета сглаженных диаграмм в рамках диссертационной работы создана специальная программа.

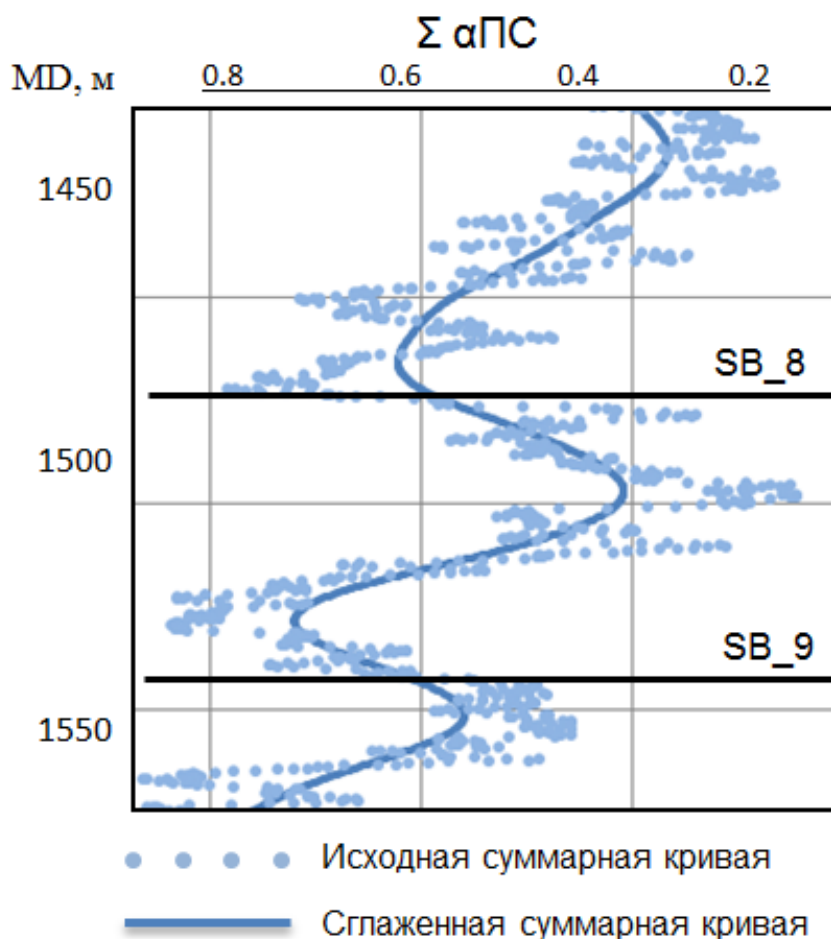


Рис. 21. Применение операции сглаживания для графика суммы каротажных диаграмм αПС.

Идентификация эрозионных поверхностей только по материалам ГИС трудновыполнима, поэтому определение границ сиквенсов должно проводиться с учетом кернового материала.

Границы несогласий определяются по резкому увеличению зернистости вверх по разрезу, изменению петрофизических характеристик и пропорций литофаций, а также биостратиграфическими методами. На границе циклов осадконакопления, как правило, наблюдается резкий контраст фаций. Так, например, представленные на рисунке 22 границы несогласий SB₆ и SB₈ выделяются по керну по переходу от темно-серых алевролитов и глин к светло-серым песчаникам и соотносятся с графиком суммы диаграмм α ПС и материалами ГИС (рисунок 22). Выделенные поверхности подтверждаются результатами анализа кернового материала и на других месторождениях региона. При высоком проценте выноса керна в интервалах сиквенсов возможно выделение слагающих их системных трактов и определение фациального состава отложений.

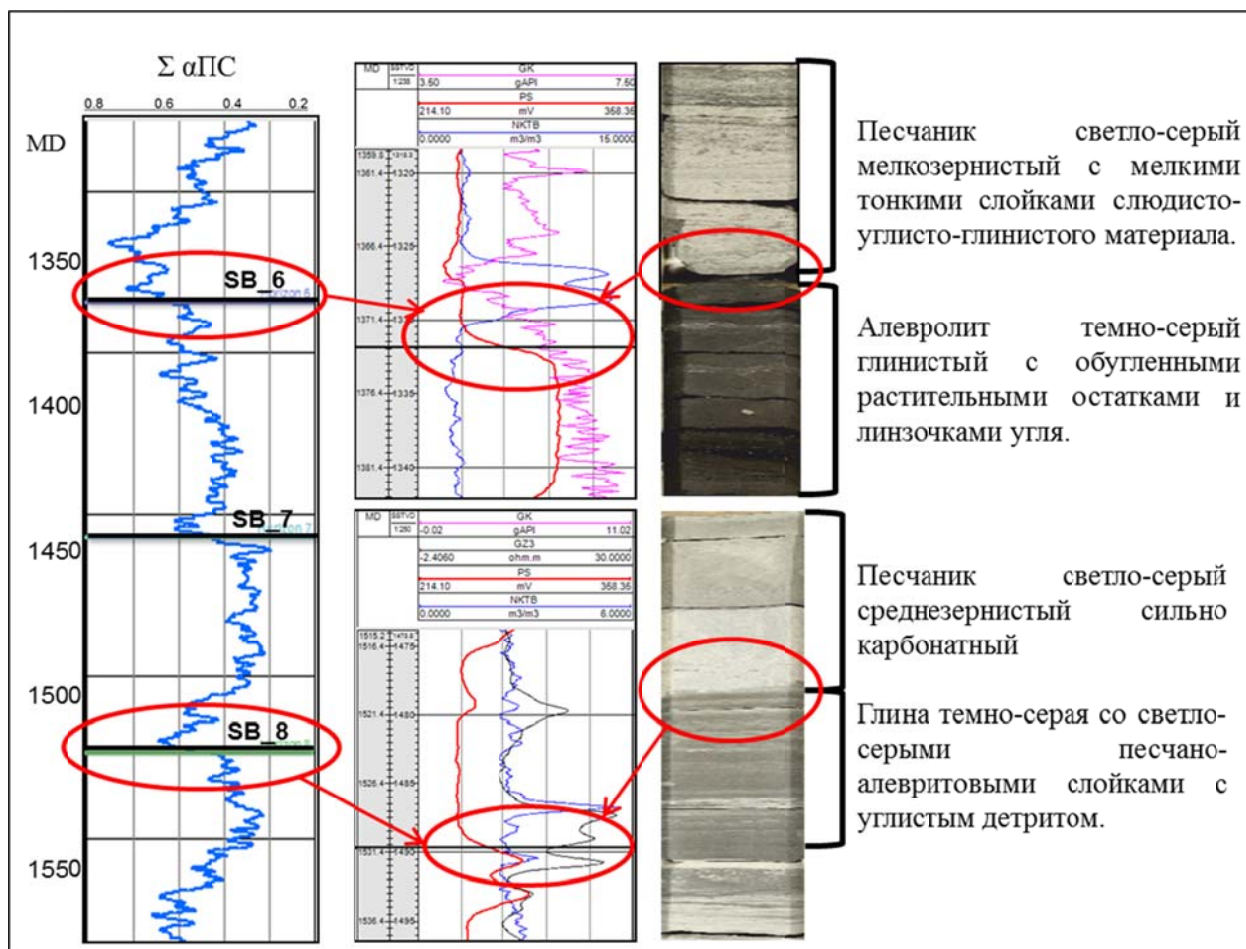


Рис. 22. Выделение границ сиквенсов с использованием материалов исследований керна.

Для увеличения достоверности выделения границ сиквенсов по $\Sigma \alpha\text{ПС}$ предлагается использовать расчет аналогичной суммарной диаграмме гамма-каротажа. Данные диаграмм ГК также необходимо предварительно преобразовать в относительные амплитуды, и ввести поправку, учитывающую тектонический фактор. На рассчитанном суммарном графике $\Sigma \text{ГК}$ (рисунок 23) можно различить интервалы с наиболее резкими перепадами значений, которые, при их сходимости с отметками, выделенными по $\Sigma \alpha\text{ПС}$, интерпретируются как границы сиквенсов. Из-за сильной изрезанности значений отдельное использование $\Sigma \text{ГК}$ может привести к ошибкам в интерпретации. Среди других методов ГИС, суммирование которых целесообразно, стоит отметить метод индукционного каротажа. Суммарный график ИК видится возможным использовать для выделения наиболее прослеживаемых по разрезу пропластков угля.

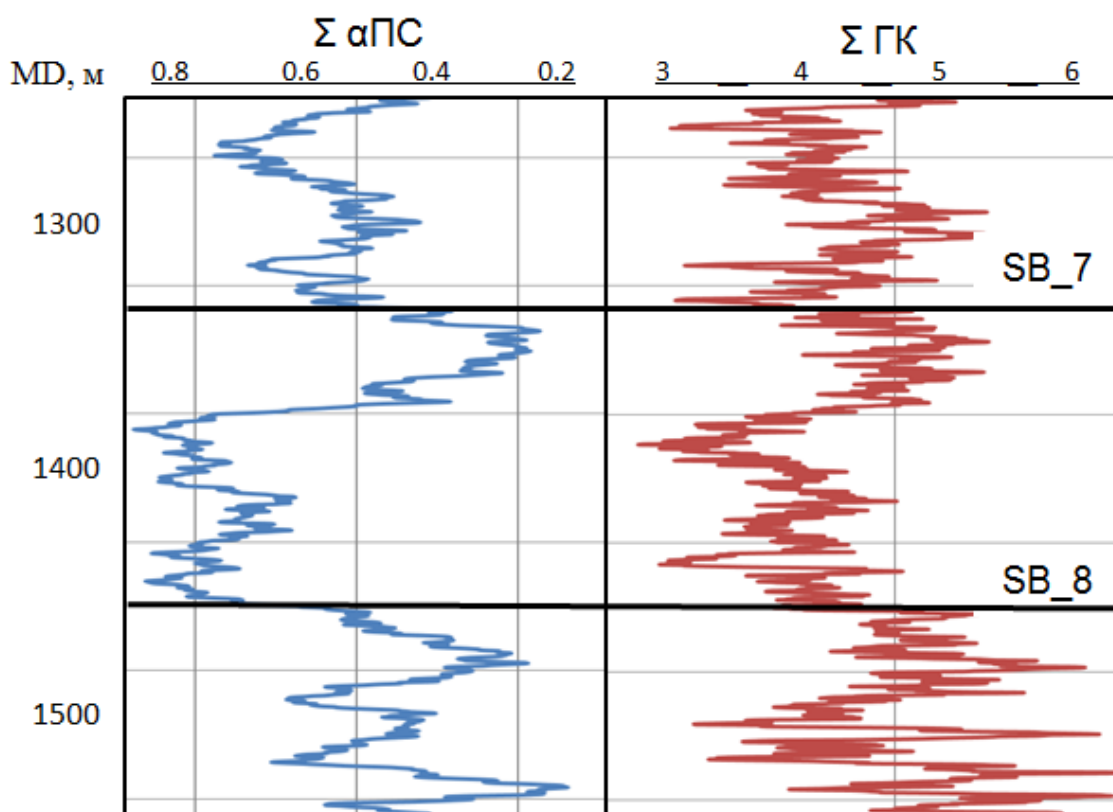


Рис. 23. Сравнение графиков суммы каротажных диаграмм $\alpha\text{ПС}$ (слева) и ГК (справа).

Использование поверхностей несогласия дает возможность разделения каждого выделенного сиквенса на песчаные фации русел и вышележащие пойменные фации. Работы по определению несогласных границ в континентальных отложениях, в частности, проводились по пластам Wapiti Formation (Western Interior foreland basin, Альберта, Канада), Кампан-Маастрихского возраста, которые являются аналогами пластов покурской свиты. Данные отложения, как и пласты ПК, литологически представлены переслаиванием песчаников, алевролитов, глин и углей аллювиального генезиса. В изучаемом интервале авторами [90] было выделено 5 сиквенсов, разделенных границами субаэрального несогласия (SU, рисунок 24). В данных интервалах русловые отложения в подошвах сиквенсов относятся к LST, пойменные отложения кровель – к HST. Поверхности несогласия проводились по резкому сдвигу фаций между подошвой аллювиальных каналов и нижележащими пойменными отложениями (рисунок 24).

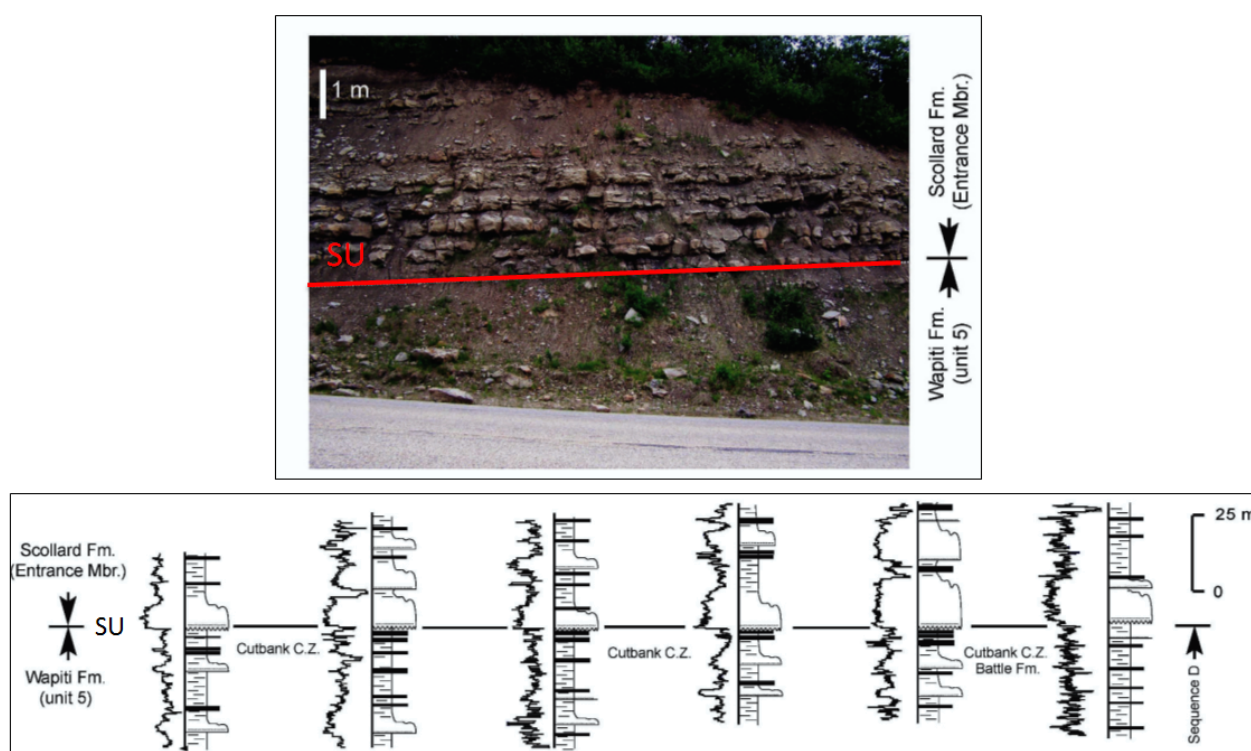


Рис. 24. Интерпретация поверхности несогласия по обнажениям и скважинным данным. Wapiti Formation, Альберта, Канада.

Рисунок взят из статьи [90].

Использование графика $\Sigma \alpha_{ПС}$ позволяет выполнить аналогичную интерпретацию разреза по пластам покурской свиты на месторождениях Западной Сибири. В первую очередь, границы несогласий на изучаемой площади прослеживаются по скважинам, которые использовались для построения суммарной диаграммы. Дальнейшая корреляция выполняется по данным керна и ГИС, на основе стандартных подходов: по схожести каротажных диаграмм и литологическому составу, маркирующим горизонтам и направленности изменений свойств, с учётом выдержанности толщин (рисунок 25). При выполнении работ по корреляции необходимо использовать региональный репер первой категории - подошву кузнецовской свиты (кровлю пласта ПК₁), а также другие прослеживаемые границы.

Корреляция, выполненная на основе интерпретации несогласных границ, позволяет определить приуроченность коллекторов и покрышек к определенной части цикла осадконакопления (рисунок 25). Для проверки качества выделения поверхностей несогласия необходимо выполнение анализа карт толщин сиквенсов с последующей корректировкой аномальных значений.

В разрезе пластов покурской свиты глубины врезов чаще всего небольшие, интервал значений варьируется от 3 - 5 до 50 м. В подошвенных частях сиквенсов значения ПС, как правило, характеризуются наибольшей отрицательной амплитудой и соответствуют мощным пластам песчаников системного тракта LST. В кровельных же частях переслаивание глин, песчаников и алевролитов соответствует участкам повышения амплитуды ПС (рисунок 25). Наличие поверхности несогласия имеет первостепенное влияние на строение пластов: в результате эрозии может произойти слияние коллекторов смежных седиментационных циклов и, следовательно, формирование гидродинамической связи между ними [116]; и, наоборот, при сохранении непроницаемых пород в зоне размыва, пласты будут гидродинамически разобщены.

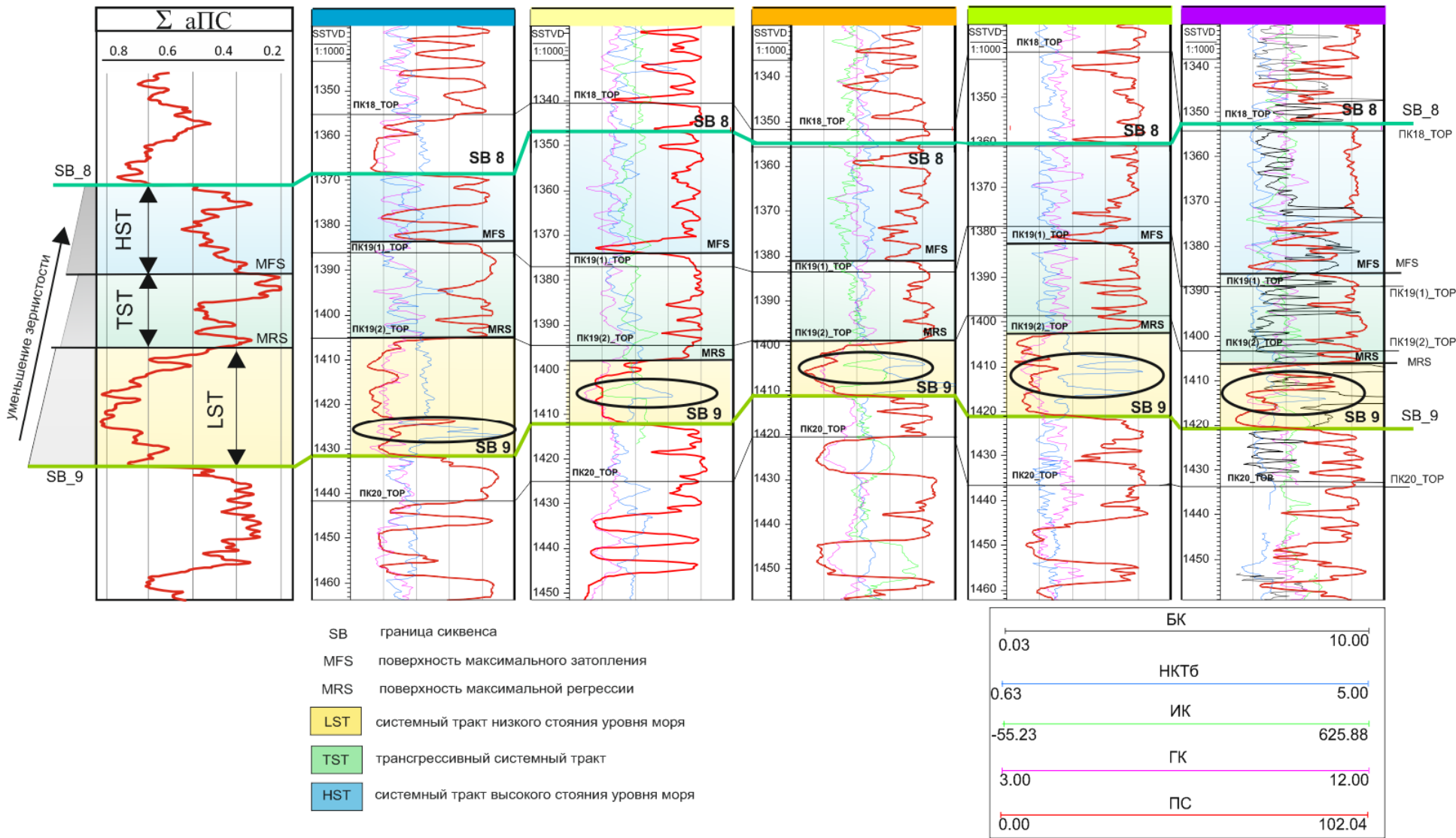


Рис. 25. Схема корреляции разреза покурской свиты в интервале пластов ПК₁₈-ПК₂₀ с использованием сиквенс-стратиграфического подхода.

В ходе работы выполнялось сравнение суммарных графиков α ПС, построенных по скважинам разных месторождений региона (рисунок 26).

Самый резкий перепад значений на суммарных графиках фиксируется в интервале залегания пластов ПК₆-ПК₇ (рисунок 26, SB₃), где по некоторому относительному увеличению песчанистости обычно проводится условная граница между средней и верхней подсвитами покурской свиты. В данном интервале в разрезах всех рассматриваемых месторождений четко прослеживается изохронная граница несогласия SB₃, поэтому, вероятно, именно по ней следует условно дифференцировать альбские и сеноманские осадки.

Всего на региональном уровне по площадям уверенно коррелируются 9 несогласных границ, которые могут служить основой для последующей детальной корреляции пластов покурской свиты (рисунки 26, 47). Подробный анализ данных границ рассмотрен в главе 3.

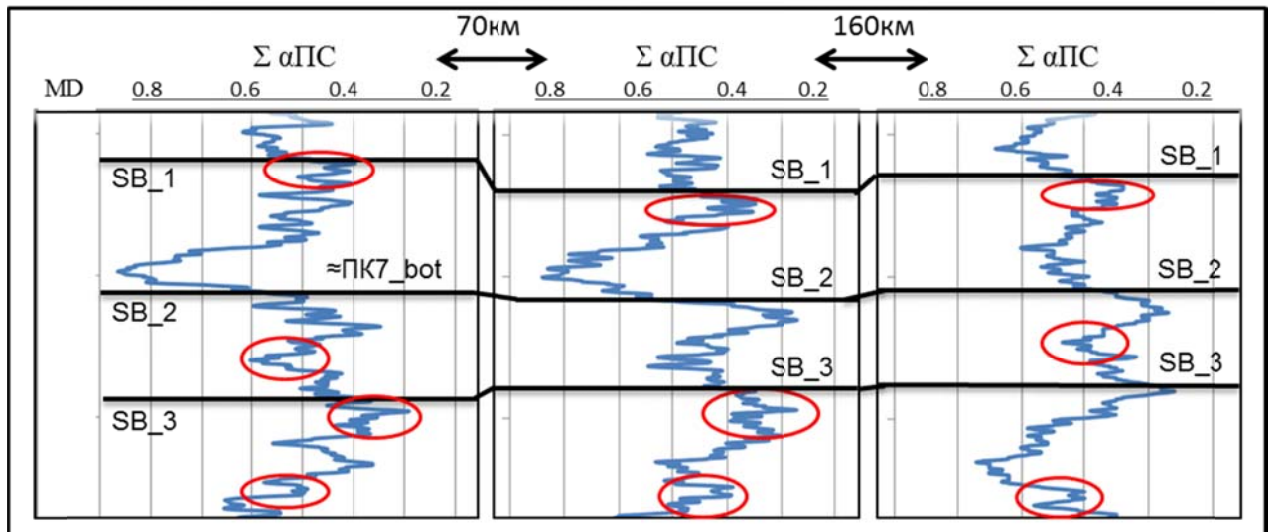


Рис. 26. Сравнение суммарных каротажных диаграмм α ПС, рассчитанных по скважинам соседних месторождений.

Выделенные поверхности несогласий соответствуют границам третьего порядка по классификациям А. Ф. Embry и Еххон. Помимо крупных несогласий регионального распространения, фиксирующих значительные

перерывы в осадконакоплении, в любом разрезе присутствует также большое количество перерывов более высокого порядка, выделение которых необходимо для определения внутренней структуры резервуаров и построения точной фациальной модели. Данные несогласные поверхности не маркируются столь заметными литологическими и петрографическими изменениями состава пород и предположительно относятся к границам 4-го и 5-го порядков по принятым иерархическим классификациям.

Как следует из представленных схем корреляции (рисунки 26, 47), границы несогласного залегания определяются в одних и тех же глубинных интервалах разреза на разных месторождениях и коррелируются между собой, что подтверждает достоверность применения предлагаемой методики. Наиболее точно границы определяются в верхней и нижней частях свиты. Отсутствие четких разделов между смежными сиквенсами наблюдается в основном в интервале средней подсвиты, что может объясняться активной динамикой русел, а также срезанием или отсутствием пойменных отложений в верхней части циклов осадконакопления данного глубинного диапазона.

В верхней части свиты определение границ сиквенсов зависит от района проводимых исследований, так как условия седиментации данных отложений могут варьироваться. На большей части территории Западно-Сибирского бассейна сеноманская часть пластов ПК формировалась в прибрежно-морских обстановках осадконакопления. Для интерпретации отложений, образовавшихся в данных условиях, необходимо использовать существующие сиквенс-стратиграфические модели прибрежно-морских условий седиментации, основанные на результатах изучения материалов керна и подробном фациальном анализе.

Предложенный метод интерпретации разреза применим для других труднокоррелируемых пластов континентального генезиса, например, для таких свит как тюменская, вартовская, наунакская, шеркалинская и др. Так как вдали от береговой линии применение методики сиквенс-стратиграфии геологически необоснованно, крайне важным является предварительный

детальный анализ условий осадконакопления изучаемых пластов. Для пластов морского и прибрежно-морского генезиса методика суммирования каротажных диаграмм, предположительно, также может быть применима, однако в таких отложениях, как правило, не возникает подобных затруднений при корреляции пластов.

Стоит отметить преимущество предлагаемой методики в сравнении с методом циклостратиграфии континентальных отложений, использование которого основано на представлениях об упорядоченности осадочных разрезов и о стационарном ходе седиментации, поэтому случайные события не рассматриваются, хотя в условиях аллювиальной равнины они в значительной степени влияют на осадконакопление. Возможности использования графиков суммарных каротажных диаграмм, их анализ и типизация требуют дальнейшего изучения. К примеру, путем сопоставления построенной суммарного графика с исходными каротажными диаграммами возможно определение величины локальной компоненты в отдельных скважинах. Значительная разница значений суммарной и исходной диаграмм на каком-либо интервале может означать преобладание локальной компоненты, то есть наличие определенных фаций, например, песчаного руслового вреза среди маршевых отложений системного тракта HST или же, наоборот, локального заглинизированного участка поймы в LST.

Расчленение разреза покурской свиты с использованием вышеописанного подхода видится возможным проводить с учетом других используемых методик изучения разрезов скважин, например, с методом электрофациального анализа, предложенного В. С. Муромцевым. Данный метод подразумевает изучение особенностей распределения гранулометрической неоднородности разреза по данным каротажной диаграммы ПС и последующее расчленение интервала на фации, где каждой фации соответствует своя характеристика каротажной кривой [8]. Так, к примеру, электрометрическая модель ветвящихся речных систем представляет собой отрицательную аномалию ПС, имеющую блоковую

форму [44], а меандрирующие речные системы характеризуются более нерегулярными и зазубренными формами каротажных диаграмм. Использование электрометрической модели совместно с построенными суммарными диаграммами аПС позволит корректировать границы циклов осадконакопления, с учетом выделенных в них комплексов электрофаций. Среди других используемых подходов стоит выделить применение «вейвлет» анализа и спектрального анализа форм каротажа. Данные методы основываются на представлении нормированной диаграммы ГИС в виде функции и разложении её в ряд Фурье для распознавания фаций.

Для комплексирования данных по скважинам также часто используются геолого-статистические разрезы, где на оси ординат откладывается ось глубин от кровли исследуемого горизонта, а на оси абсцисс – относительное число скважин, в которых по данной глубине от кровли пласт представлен коллектором или неколлектором. В результате вычисляется дифференцированная диаграмма распределения относительного содержания коллекторов по разрезу, по которой можно оценить особенности вертикальной неоднородности толщи пород [17]. Сопоставление статистических разрезов и суммарных каротажных диаграмм аПС показывает их визуальную сходимость (рисунок 27), что дает возможность использовать ГСР при интерпретации границ сиквенсов, в том числе с применением методов автоматизированного расчленения и корреляции разрезов. Однако следует понимать, что статистические разрезы дают лишь общую сводную картину распределения литотипов на разных глубинах, поэтому их стоит использовать только в качестве вспомогательного инструмента.

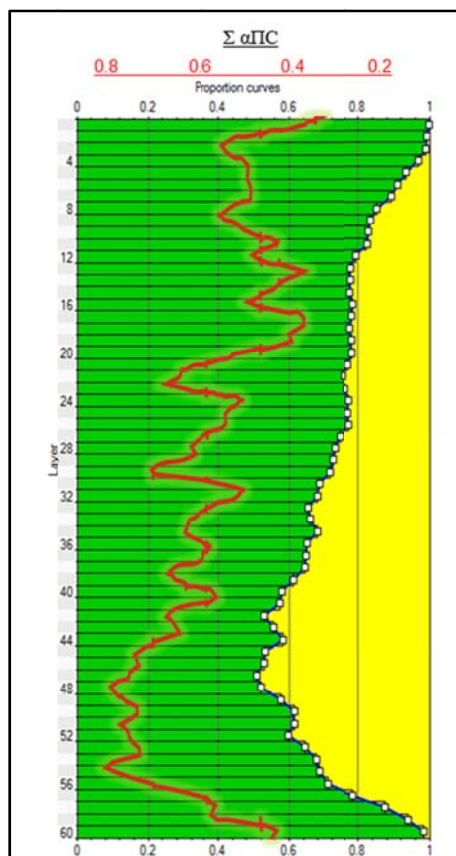


Рис. 27. Сравнение графика суммы каротажных диаграмм $\alpha_{ПС}$ с ГСП, интервал пласта ПК₁₇.

Сиквенсы, разделенные несогласными поверхностями, подразделяют толщу пород свиты на генетически связанные комплексы, по границам которых строится стратиграфический каркас. Достоверное определение границ сиквенсов в континентальной части разреза пластов покурской свиты крайне затруднительно, так как регионально распространенные поверхности стратиграфических несогласий тяжело отличить от обособленных русловых врезов и других границ, образованных локальными процессами [89]. Поэтому детальное изучение суммарных каротажных диаграмм необходимо для правильного определения положения региональных несогласных границ, которые расчленяют разрез на типовые интервалы. Выделенные поверхности следует использовать как реперные при выполнении работ по корреляции пластов покурской свиты (рисунок 28).

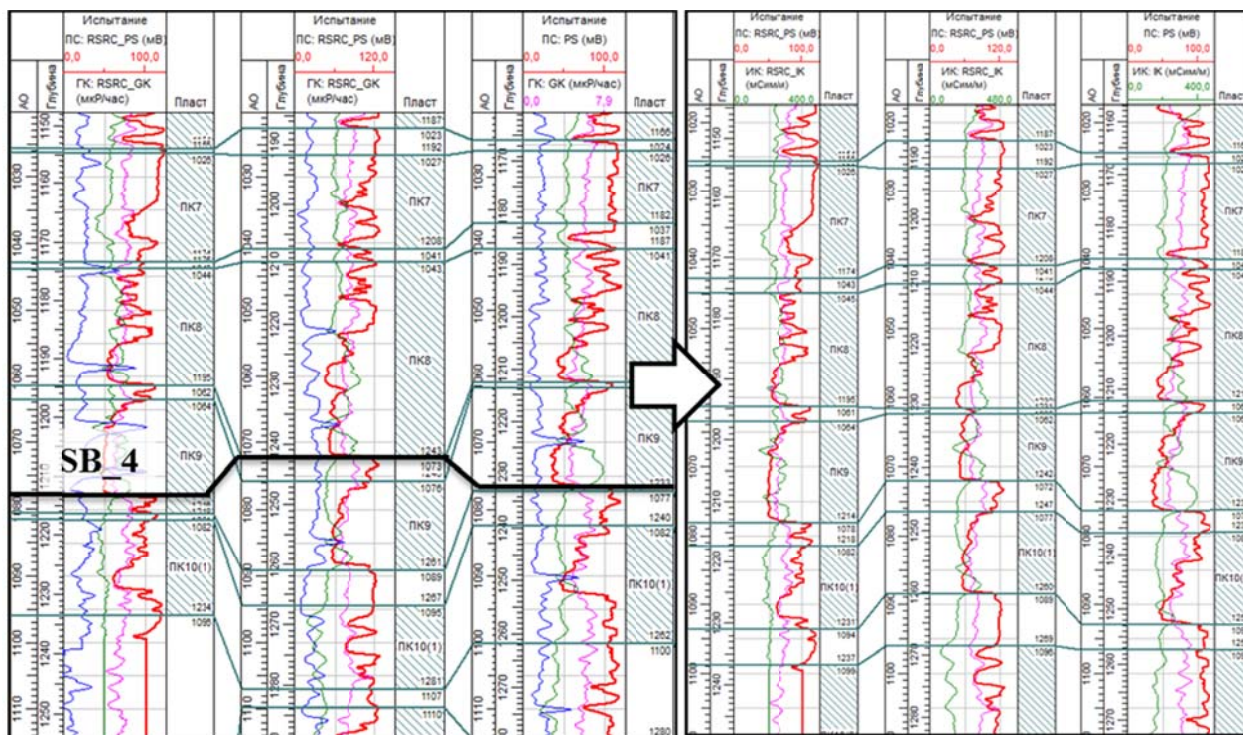


Рис. 28. Сравнение попластовой интерпретации покурской свиты, выполненной без учета эрозионной поверхности (слева) и с учетом (справа).

2.3 Сейсмостратиграфический анализ разреза покурской свиты

Выделенные несогласные поверхности могут быть прослежены не только по данным изучения обнажений, результатам анализа кернового материала и материалам ГИС, но и с помощью использования сейсмической стратиграфии. В данной главе рассматривается сейсмостратиграфия покурской свиты и ее использование с 3D атрибутным анализом для прогноза распространения границ несогласий в межскважинном пространстве.

Основные принципы сейсмостратиграфии впервые были представлены на ежегодной конференции AAPG в 1975 году [89]. В 1977 году Чарльз Пейтон опубликовал их в сборнике работ AAPG, а в 1980 г. в Бостоне была издана работа Роберта Шерифа “Seismic Stratigraphy”. Сейсмическая стратиграфия используется как инструмент анализа волнового поля с целью выделения структурных, стратиграфических и фациальных особенностей изучаемой толщи. Основой сейсмостратиграфического анализа является

расчленение волнового поля на комплексы, отличающиеся структурой волнового поля.

Основные этапы сеймостратиграфического анализа включают в себя: выделение и корреляцию сейсмических комплексов (сейсмоциклитов), определение их возраста и распознавание сейсмофаций [64]. Границы сейсмокомплексов относятся к стратиграфическим границам, к которым приурочены региональные изменения условий осадконакопления. Стоит отметить, что термин «сейсмокомплекс» следует использовать, только если выделение и описание сеймоподразделений выполняется без учета эвстатических колебаний и цикличности строения осадочных толщ [47]. В противном случае используется термин «сейсмоциклит». К сейсмоциклитам относят осадочные комплексы, выделяемые на сейсмических разрезах, представляющие собой «последовательности согласно залегающих генетически связанных пластов, ограниченных сверху и снизу поверхностями стратиграфических несогласий» [46]. Считается, что осям синфазности на сейсмических разрезах могут соответствовать хроностратиграфические границы, фиксирующие геологические события - перерывы в осадконакоплении, колебания относительного уровня моря, начало седиментации осадков и др., при этом не все ОГ являются отражениями от изохронных границ [29].

Геологическая неоднородность разреза покурской свиты является причиной сложного строения волнового поля интервала пластов ПК. Апт-сеноманский сеймостратиграфический комплекс состоит из непротяженных субпараллельных отражений различной интенсивности, что характерно для континентального и прибрежно-континентального режимов осадконакопления (рисунки 29, 44).

Региональные несогласия, ограничивающие разрез пластов покурской свиты, уверенно интерпретируются как хроностратиграфические поверхности. В кровле апт-альб-сеноманского сейсмокомплекса выделяется региональный отражающий горизонт «Г», который относится к кровле

пласта ПК₁ (рисунок 3). В подошвенной части свиты на части территории выделяются ОГ «М», приуроченный к нижнеаптским глинистым отложениям – кошайской пачке [115] и ОГ «М'», который трассируется в интервале пласта ПК₁₉ (рисунок 44).

Во внутренней части разреза покурской свиты прослеживание выдержанных сейсмических отражений достаточно затруднительно. Причиной является генезис отложений – русла рек постоянно переформируются и мигрируют по латерали, поэтому в волновом поле наблюдаются по большей части разноамплитудные, прерывистые отраженные волны с частой сменой полярности фаз [119]. Нижняя часть покурской свиты в волновом поле представлена относительно высокоамплитудными отражениями, в верхней же части свиты на большей части площадей возможно лишь условное трассирование отражающих горизонтов.

Однако, поскольку выделенные в разрезе свиты границы несогласий разделяют части осадочного бассейна с различным строением, с ними могут быть связаны сейсмические отражения. Фрагментарность осей синфазности, обусловленная литологическим и фациальным замещением отложений [42], подтверждает эрозионный тип поверхностей осадконакопления. Границы несогласий, выделенные по скважинным данным, характеризуются резким изменением ФЕС пород, поэтому на сейсмическом разрезе они могут ассоциироваться с большими перепадами значений акустического импеданса и появлением ярких отражений. Так, например, границе SB₉ на нескольких площадях соответствует уверенно прослеживаемое динамически яркое отражение положительной фазы (рисунок 29). На сейсмических разрезах вдоль границ сиквенсов часто происходит уменьшение интенсивности отражений при уменьшении их общей контрастности, что можно считать косвенным доказательством наличия несогласия.

Достоверность трассирования поверхностей несогласий в волновом поле во многом зависит от качества исходного сейсмокуба. Основными

факторами, которые могут снизить точность определения границ сиквенсов в толще покурской свиты, являются неоднородность волнового поля, наличие газовой шапки, системы разломов, различие скоростных характеристик песчаных тел и глин и т. д. Структурные построения по поверхностям, которые не прослеживаются в волновом поле, следует выполнять методом схождения от ближайших прослеживаемых границ.

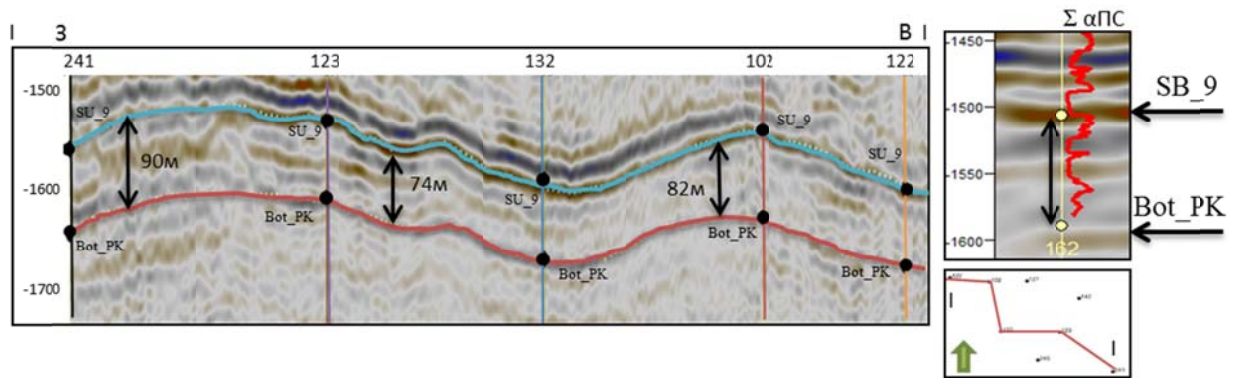


Рис. 29. Прослеживание границы SB₉ в межскважинном пространстве по данным 3D сейсморазведки.

Как и для морских и прибрежно-морских отложений, для выделения границ сиквенсов в континентальных отложениях по данным 3D сейсморазведки могут использоваться различные индикаторы, в основном, в местах прерывания и замещения пластов. Границы определяются по поверхностям срезания, подошвенного (downlap) и кровельного (onlap) налегания, которые являются несогласными [Changsong et al., 2001]. Наиболее различимой характеристикой аллювиальных отложений в волновом поле является несогласное трансгрессивное кровельное налегание (onlapping) [66] - сдвиг аградационной области внутри речной системы по направлению к континенту в течение подъема относительного уровня моря (при нормальной регрессии и трансгрессии) при трансгрессивном налегании речных отложений на поверхности субаэрального несогласия. Кровельное налегание маркирует линию латерального замещения пород и выделяется на линии выклинивания пластов с меньшим углом падения по кровле пластов с большим углом. Другим возможным признаком наличия границы несогласия

является эрозионный срез – латеральное выклинивание слоев под воздействием эрозионных процессов. Такой срез обычно фиксируется в кровле сиквенса и говорит о наличии эрозионного перерыва (рисунок 30). Отличить кровельное прилегание от эрозионного среза сложно; характерной чертой последнего является тенденция к сохранению параллельности слоев, так как они резко прерываются у верхней границы, а уменьшения мощности не наблюдается.

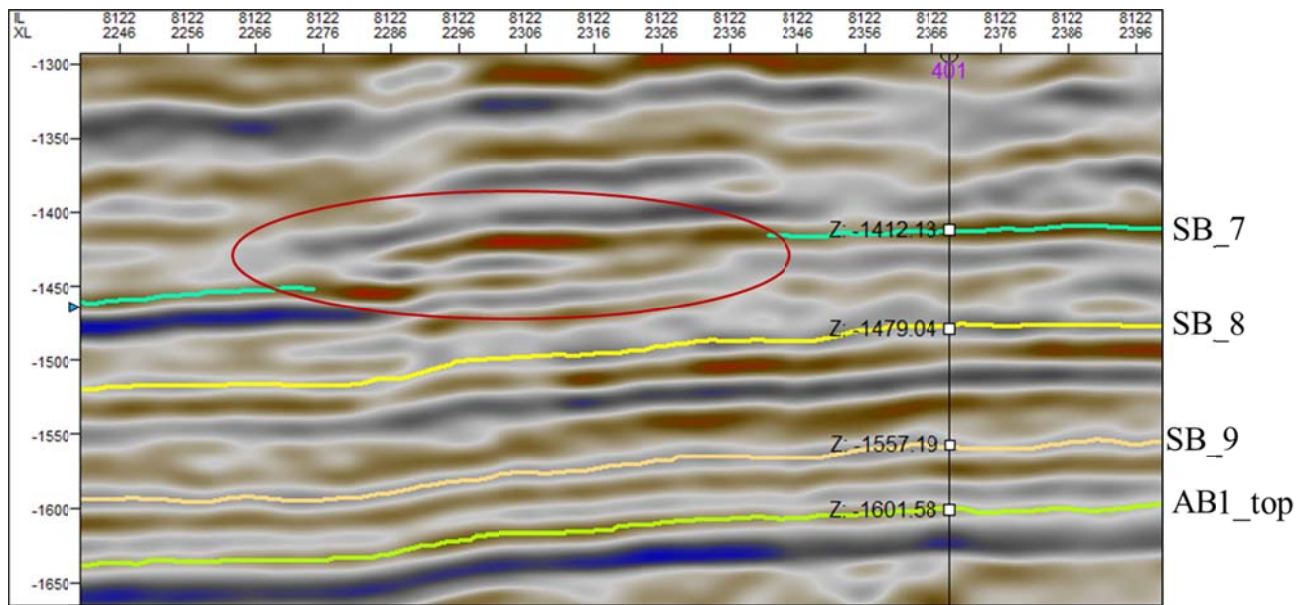


Рис. 30 Идентификация эрозионной границы по поверхности кровельного налегания в волновом поле интервала пластов ПК.

Морфология волнового поля зависит от литологического и фациального состава отложений, поэтому эффективным инструментом прогноза геологического строения является анализ сейсмических фаций, который подразумевает разделение сейсмических отражений по их конфигурации, непрерывности, амплитуде и другим параметрам. Сейсмофация представляет собой трехмерную группу однотипных сейсмических отражений, с использованием которой можно выполнить прогноз внутренней структуры резервуаров, характера напластования, условий осадконакопления и др. [37]. По закономерностям площадного изменения сейсмофаций прогнозируют фациальную зональность изучаемой

территории. Континентальный генезис формирования пластов ПК predetermined развитие большого числа речных систем, прослеживаемых на сейсмических разрезах. Поэтому для отложений покурской свиты наиболее четко выделяемой по внешним границам является сейсмофа́ция заполнения канала (channel fill) [39], по которой фиксируется начало нового седиментационного цикла (рисунок 31).

Таким образом, при хорошей разрешающей способности волнового поля, выделенные поверхности стратиграфических несогласий, разграничивающие седиментационные циклы, представляется возможным проследить в межскважинном пространстве по данным 3D сейсморазведки (рисунок 31).

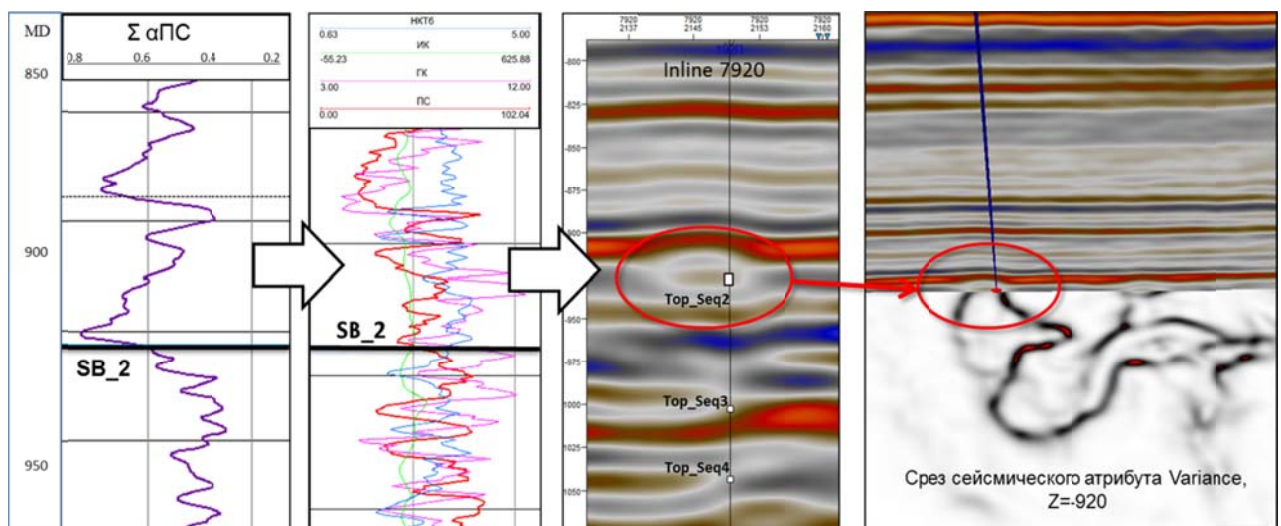


Рис. 31. Прослеживание границы сиквенса по графику суммы каротажных диаграмм $\alpha\PС$, материалам ГИС и данным 3D сейсморазведки.

Для картирования систем палеорусел и фаций, ассоциативных с ними, необходимо использование современных методов интерпретации данных 3D сейсморазведки, в частности, атрибутивного (динамического) анализа [94]. Вследствие резкой фациальной изменчивости, для покурской свиты, как правило, более эффективными являются амплитудные атрибуты (рисунок 32).

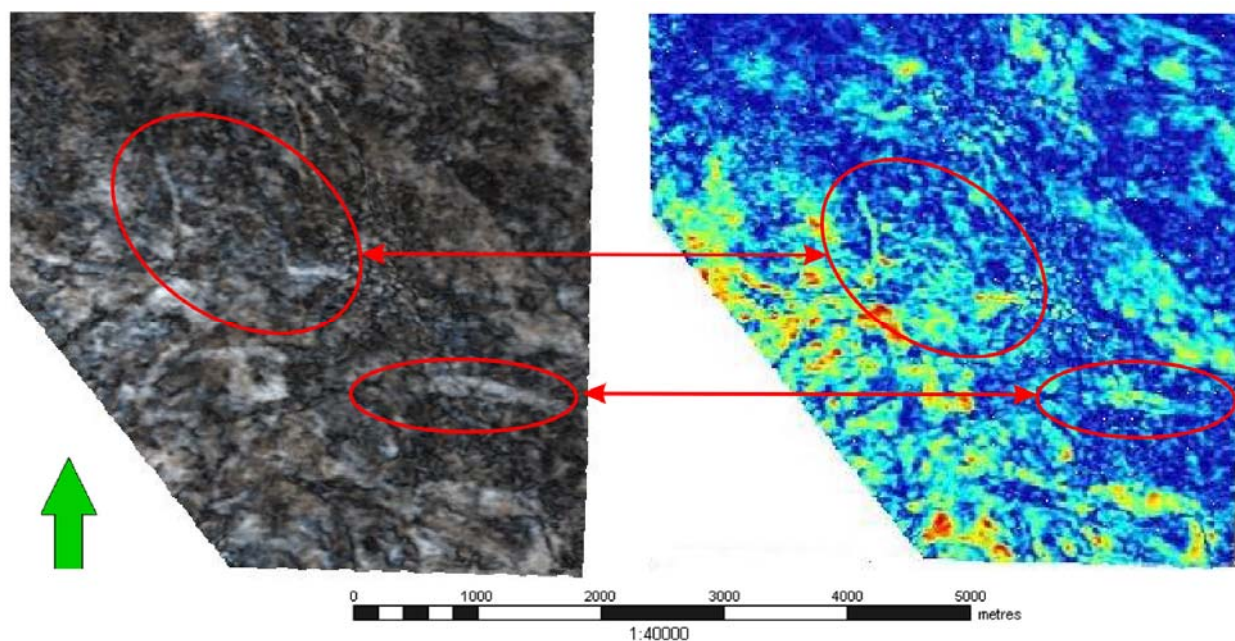


Рис. 32. Использование спектральной декомпозиции совместно с сейсмическим атрибутом AI в отложениях покурской свиты (на качественном уровне), срез по эрозионной поверхности SB₂.

Проследить фациальные изменения на сейсмических разрезах зачастую затруднительно, так как значения акустического импеданса для глин и песчаников аллювиального генезиса могут совпадать, поэтому, помимо атрибутивного анализа, для отложений свиты практически выполнение разложения сейсмических отражений по частотному составу - спектральной декомпозиции. По картам различных частот возможно выделение стратиграфических особенностей изучаемых отложений [62], определение и уточнение положения аллювиальных и дельтовых каналов и выделение границ речных врезов. Сейсмические срезы, проведенные по поверхностям несогласия, характеризуются вариациями амплитуд и частот, при этом в зонах палеорусел спектр наиболее однородный (рисунок 33).

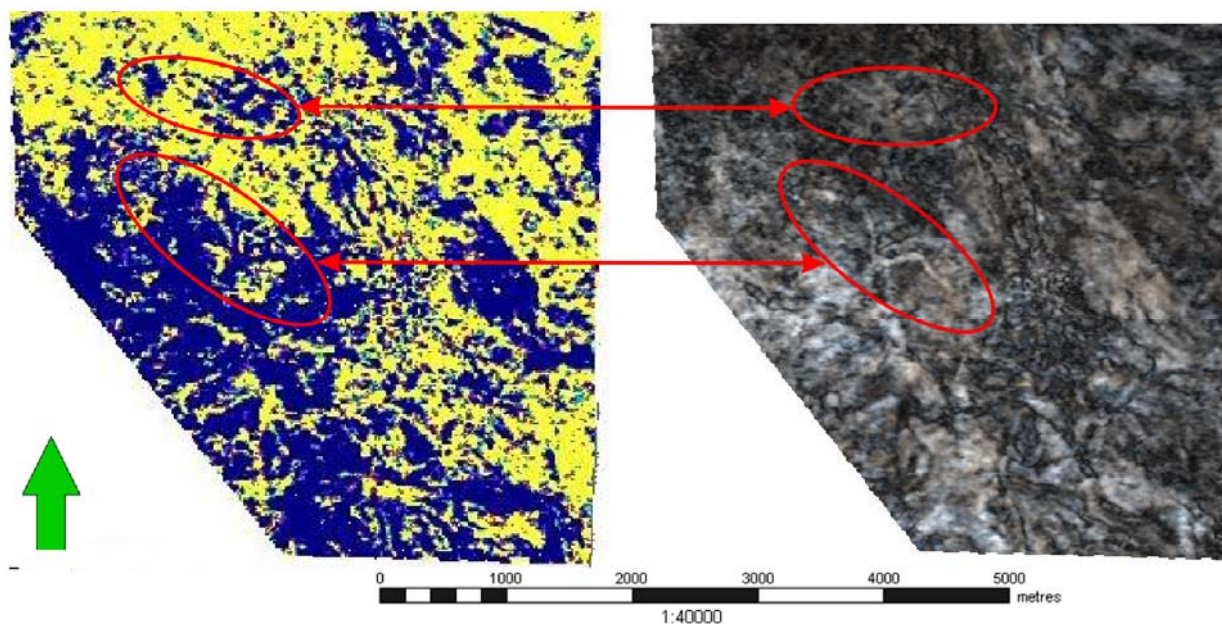


Рис. 33. Использование спектральной декомпозиции совместно с сейсмофациальным анализом в отложениях покурской свиты (на качественном уровне), срез по эрозионной поверхности SB₃.

Анализ сейсмических отражений, используемый в комплексе с данными ГИС и результатами исследований керна, позволяет корректно трассировать эрозионные поверхности, разделяющие циклы осадконакопления, и с высокой точностью расчленить разрез покурской свиты на типовые интервалы.

По результатам проведенных исследований для выделения границ сиквенсов в пределах прибрежно-континентальной части пластов ПК автором предлагается следующий алгоритм (рисунок 34).

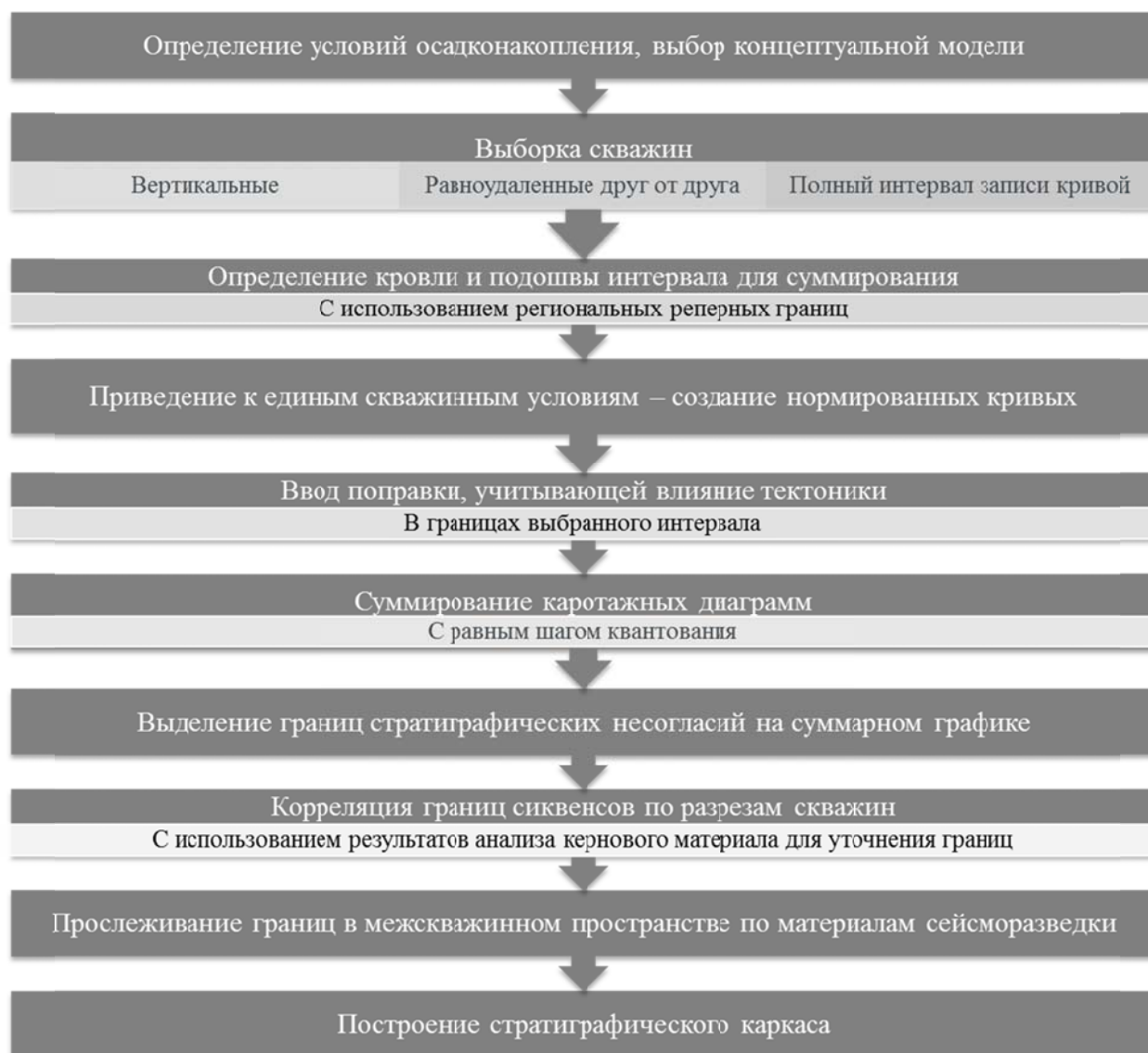


Рис. 34. Алгоритм выполнения работы по дифференциации отложений покурской свиты с использованием графика суммы каротажных диаграмм $\alpha_{ПС}$.

Глава 3. Применение методики дифференциации разреза покурской свиты на примере крупного нефтегазоконденсатного месторождения Западно-Сибирской НГП.

Предложенная методика дифференциации континентальных отложений покурской свиты имеет широкое применение. В данной главе рассмотрено ее использование в пределах крупного месторождения Пур-Тазовской нефтегазоносной области, где проблема расчленения пластов ПК и их корреляции по площади достаточно актуальна.

3.1 Геологическая характеристика месторождения

В административном отношении территория месторождения расположена в северо-восточной части Пуровского района ЯНАО Тюменской области.

3.1.1 Стратиграфия

Геологический разрез месторождения включает в себя терригенные отложения мезозойско-кайнозойского осадочного чехла, которые подстилаются метаморфизованными породами палеозойского складчатого фундамента [120]. Породы палеозойского фундамента на площади не вскрыты; предполагаемая глубина его залегания по данным геофизических исследований около 6000 м.

Триасовая система – Т

В основании ортоплатформенного чехла залегают терригенные осадки триасового возраста, выделяемые в красноселькупскую и тампейскую серии, которые с угловым несогласием перекрывают палеозой.

Юрская система – J

В пределах рассматриваемой территории юрские отложения делятся на два крупных фациальных комплекса: ниже-среднеюрский и среднеюрский.

Ниже-среднеюрские отложения залегают согласно на тампейской серии и характеризуются развитием преимущественно континентальных образований, объединенных в заводоуковскую серию, в составе которой

выделяются береговая, ягельная, котухтинская и тюменская свиты. Часть келловейских отложений рассматривается совместно с верхнеюрскими, так как они связаны формационно.

Верхнеюрские осадочные образования морского генезиса трансгрессивно перекрывают континентальные отложения тюменской свиты. За основу стратиграфического расчленения келловей и верхней юры принят Пурпейско-Васюганский тип разреза, который включает васюганскую, георгиевскую и баженовскую свиты.

Меловая система – К

Разрез нижнего отдела меловой системы на рассматриваемой площади представлен Тазовским типом разреза, который включает мегионскую, заполярную, ереямскую и покурскую свиты (Тазовско-Уренгойский подрайон).

Разрез покурской свиты на изучаемой площади по характеру слагающих ее отложений делится на три подсвиты: нижнюю, среднюю и верхнюю, границы между которыми проводятся условно. Пласты ПК₁₇-ПК₂₂ на месторождении условно относят к аптскому ярусу, ПК₇-ПК₁₆ - к альбскому, ПК₁-ПК₆ – к сеноманскому.

Нижняя подсвита сложена светло-серыми песчаниками, темно-серыми глинами и алевролитами. Породы имеют разнообразные типы слоистости, с включением растительного детрита, остатками растений, стяжений сидерита, углистых прослоев и пирита. В основании нижней подсвиты залегает евояхинская толща (пласты ПК₂₁₋₂₂), сложенная серыми, мелкозернистыми песчаниками и алевролитами с единичными прослоями серых алевроитовых глин.

Альбский интервал пластов ПК представлен пачками глин и глинистых алевролитов, темно-серого цвета, которые чередуются с серыми песчаниками. Породы в основном имеют горизонтальную слоистость, содержат растительный детрит, отмечаются единичные прослои бурых углей.

Пласты верхней подсвиты сложены серыми и зеленовато-серыми песчаниками, местами уплотненными песками. Песчано-алевритовые породы разделяются пачками серых глин, часто алевритистых, слюдистых, горизонтально-слоистых за счет тонких прослоев более светлого алевритистого материала и углефицированного растительного детрита, которые не выдержаны по латерали. Отмечаются прослои ракушняка, гравелитов и конгломератов.

Общая толщина покурской свиты на рассматриваемой территории варьируется в небольших пределах - от 894 м до 940 м, среднее значение составляет 920 м. За счет цикличности формирования, отложения свиты характеризуются значительной литолого-фациальной изменчивостью.

Верхнемеловые отложения (без пород сеномана) представлены глинистыми отложениями кузнецовской, березовской и ганькинской свит, являющихся региональной покрывкой для пород сеномана.

Палеогеновая система – P

Палеогеновая система в пределах рассматриваемой территории представлена осадочными образованиями верхней части ганькинской свиты, а также тибейсалинской, серовской, ирбитской, тавдинской, атлымской и новомихайловской свитами.

Неогеновая система – N

В неогене произошла активизация тектонических процессов, вызвавшая подъем значительной части территории севера Западной Сибири, в том числе и рассматриваемого района, в результате чего практически полностью прекратилась аккумуляция терригенного материала. При этом в большинстве северных районов процессы денудации стали преобладать над процессами седиментации, что обусловило размыв олигоценых отложений палеогена.

Четвертичная система – Q

Осадки четвертичной системы с несогласием залегают на размытой поверхности палеогеновых отложений.

3.1.2 Тектоника

Рассматриваемое месторождение находится в пределах Тазовского района и входит в состав Надым-Тазовской синеклизы. В вертикальном разрезе выделяются мегаэтажи: домезозойское гетерогенное основание и ортоплатформенный мезо-кайнозойский чехол.

Согласно региональной тектонической карте Хадыряхинская моноклираль осложнена Вэнтонским структурным носом, который, в свою очередь, осложнен положительной структурой III порядка – крупным куполом, контролирующим месторождение. Купол имеет вытянутую в субмеридиональном направлении форму и осложнён двумя структурами III и IV порядков. Частично на участок в восточной части заходит малый прогиб II порядка.

3.1.3 Анализ изученности

Проведение региональных работ на территории началось в 1958 г. Изучаемое нефтегазоконденсатное месторождение было открыто в 1982 году поисковой скважиной, где при испытании пласта ПК₁ был получен фонтан газа дебитом 552.3 тыс. м³/сут. По состоянию на начало 2015 г. на площади пробурено 58 поисковых и разведочных скважин.

В пределах месторождения в 2008 – 2010 годах была проведена сейсмическая съемка по методике МОГТ 3D. Общая площадь сейсмических материалов 3D без учёта перекрытия составляет 1122 км². Общий объем сейсмических материалов 2D составляет 2028.1 пог. км (69 профилей).

Керн на рассматриваемой площади отбирался в 41 скважине. Суммарная проходка с отбором керна составила 3580.9 м, вынос керна – 2392.3 м, процент выноса – 66.8 %.

3.1.4 Нефтегазоносность

В соответствии со схемой районирования территории Западной Сибири изучаемое месторождение расположено в юго-западной части Тазовского нефтегазоносного района Западно-Сибирской НГП.

По геологическим запасам месторождение относится к очень крупным. Диапазон нефтегазоносности установлен от сеноманских до нижне-среднеюрских отложений. Этаж нефтегазоносности фиксируется в интервале глубин от 1223 м до 3750 м. В пластах группы ПК сосредоточена значительная часть запасов УВ всего месторождения; по состоянию на 1.01.2014 г. в интервале покурской свиты открыты залежи в 15 пластах. Залежи преимущественно газовые и газоконденсатные, несколько - с нефтяными оторочками. Залежь сеноманского резервуара массивная, другие залежи пластов ПК пластовые сводовые, присутствуют литологически и тектонически экранированные.

3.2 Дифференциация разреза покурской свиты

Последний полный подсчет запасов по месторождению был выполнен в 2012 году. Результаты бурения новых скважин опровергли принятые представления о геологическом строении пластов ПК, в связи с чем была выполнена дифференциация разреза покурской свиты с применением рассматриваемого в диссертационной работе подхода.

По материалам исследований керна, данным региональных работ и соседних месторождений можно сделать вывод, что интервал пластов покурской свиты на исследуемой площади представлен преимущественно прибрежно-континентальными отложениями, за исключением верхней части разреза, сформировавшейся в прибрежно-морских условиях. Осадки континентальной генезиса представлены по большей части русловыми и пойменными фациями. Песчаная часть отложений сеномана представлена в основном дельтовыми фациями приливно-отливных каналов и устьевых баров. Угли и углистые алевролиты верхней части разреза сформировались в обстановках приморских озер и болот между приливно-отливными каналами.

Подтверждение прибрежно-континентального генезиса отложений покурской свиты позволяет апробировать предлагаемую методику дифференциации разреза. Суммирование каротажных диаграмм «ПС

выполнялось по всей площади месторождения по 32 скважинам, при общем числе скважин равном 155. Выборка скважин проводилась по методике, описанной в главе 2 - исключались скважины с неполным интервалом записи каротажной диаграммы α ПС в интервале свиты и скважины, расположенные на близком расстоянии друг от друга. В качестве граничных поверхностей использовались подошва толщи глин кузнецовской свиты (кровля ПК₁) и подошва покурской свиты.

На полученном графике $\Sigma \alpha$ ПС с учетом данных исследований керна были выделены границы сиквенсов, которые далее прослеживались по разрезам скважин. Корреляция несогласных границ проводилась с использованием комплекса данных ГИС, включающему такие методы как ПС, КС, БК, ИК, ГК, НТК и др.

Таким образом, в составе покурской свиты было выделено 9 поверхностей несогласия, разделяющих циклы осадконакопления:

1. bot_ПК – SB₉. Данный сиквенс включает в себя интервал пласта ПК₂₂ и глинистую перемычку, которая отделяет его от вышележащего пласта ПК₂₁ (рисунок 35). Нижняя граница сиквенса выделяется по подошве покурской свиты и уверенно прослеживается по всему району.

Подошвенная часть цикла имеет преимущественно песчаный состав с редкими невыдержанными по латерали глинистыми и карбонатизированными прослоями. Песчаные тела, предположительно, имеют русловый генезис и состоят из нескольких мощных пропластков, часто объединенных между собой. Данные отложения сформировались в условиях уменьшения аккомодационного пространства и относятся к системному тракту LST (рисунок 35). Верхняя часть цикла (системные тракты HST и TST) сформирована кровельной частью пласта и глинистой перемычкой мощностью до 20 м. В ее кровле примерно на 70 м выше подошвы покурской свиты выделяется верхняя граница сиквенса – SB₉, четко идентифицируемая по графику суммы каротажных диаграмм α ПС и разрезам скважин по значительному сдвигу соотношения пойменных и русловых

отложений в сторону последних. Локальные аномалии мощности сиквенса связаны по большей части с вариативностью толщин песчаников системного тракта низкого стояния уровня моря.

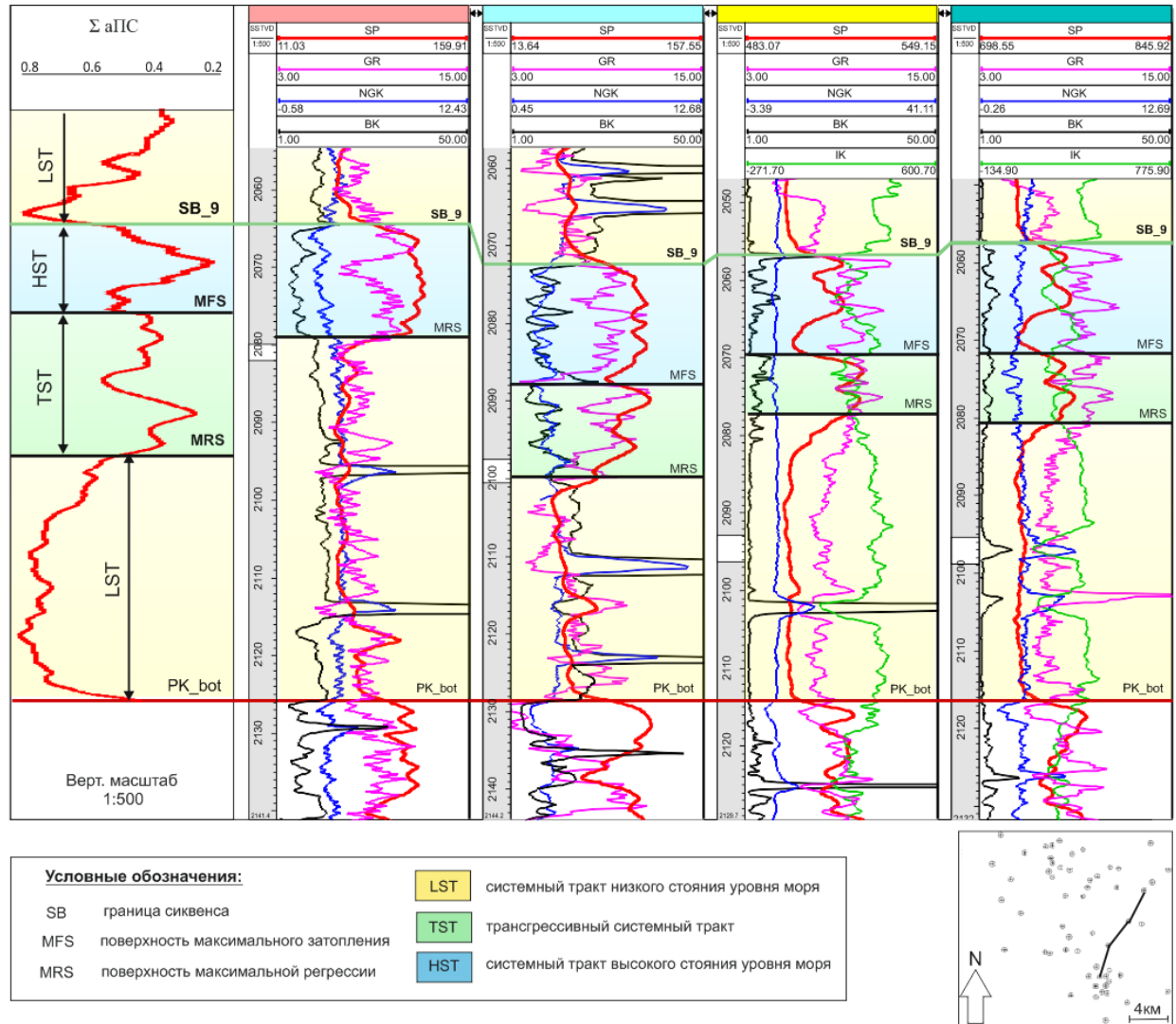


Рис. 35. Схема корреляции поверхности несогласия SB₉.

2. SB₉ - SB₈. На границе между сиквенсами наблюдается резкий перепад значений каротажных диаграмм и графика $\Sigma \alpha_{ПС}$ (рисунок 35). Второй сиквенс выделяется в более 100 м интервале пластов ПК₂₁-ПК₁₈. Его подошвенная часть (LST) представлена опесчаненными породами, с резко выраженной базой, выделяемой на каротажных диаграммах ГК и ПС. Песчаник по составу однородный, мелкозернистый, серого цвета с редкими нечеткими углистыми штришками, имеет полого-наклонную, местами

мульдообразную слоистость и относится к отложениям прирусловых валов и речных русел (рисунок 36, а). В породах также отмечается сильная карбонатность и горизонтальные глинисто-углистые намывы. Выше по разрезу в скважинах выделяется резкий контакт чистого, тонкозернистого песчаника и углистого (карбонатного) алевролита, который отмечает изменение скорости седиментации осадочного материала и переход к отложениям TST.

В средней части сиквенса литология крайне изменчива даже на коротких интервалах. По керну выделяются прослой серого, мелкозернистого песчаника, обогащенного углистым детритом, с небольшими линзами органического материала. Данные отложения интерпретируются как каналы русел и болота внутри проток. Глинистые алевролиты и алевритистые равномернослоистые глины относятся к отложениям озер и болот между рукавами рек. Песчаники с тонкими слоями углисто-глинистого материала относятся к отложениям прируслового вала (рисунок 36, б). Фации русел представлены прослоями биотурбированного, средне- и мелкозернистого песчаника преимущественно полого-наклонной слоистостью с мульдообразной слоистостью. Для данной части сиквенса характерно присутствие прослеживаемых пропластков угля различной мощности, вдоль которых выделяется изохронная поверхность MFS.

В кровельной части сиквенса (HST) за счет увеличения пространства аккомодации возрастает доля алевролитоглинистых отложений. Фиксируются в основном осадки пойменной части (рисунок 36, в): прослой алевролитов серых, крупнозернистых, с углистыми и глинистыми намывами, сильнокарбонатных, сидеритизированных, с горизонтальной, слойчатой линзовидной текстурой, а также слои темно-серых и черных углистых глин. По плоскостям наслоения наблюдаются обильные обугленные древесные обломки, следы биотурбации, ходы илоедов, остатки корневой системы. По разрезу отмечаются тонкие прослой черного угля, предположительно сформировавшиеся в заболоченной части континентальной равнины.

Песчаная часть отложений тракта систем высокого стояния уровня моря алевритистая, слабо карбонатная, обогащена взмученными глинистыми намывами и углистым детритом.

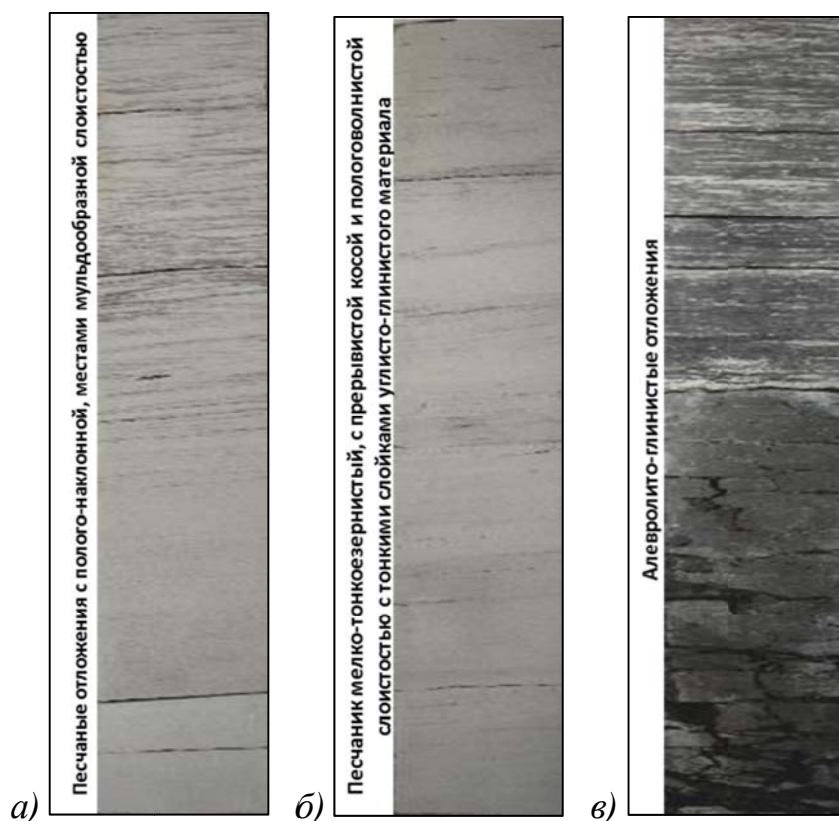


Рис. 36. Фотографии кернового материала пластов покурской свиты

а) отложения меандрирующего русла, б) отложения прируслового вала, в) пойменные отложения заболоченной части. Интервал глубин 1810 – 1880 м.

Разрез сиквенса завершается глинистым прослоем мощностью 3-20 м, по кровле которого выделяется поверхность несогласия SB_8 (рисунок 37). Надежные маркеры вблизи данной границы отсутствуют, поэтому SB_8 прослеживается не во всех скважинах.

4. SB_8 - SB_7 . В основании третьего сиквенса песчаные тела различной мощности залегают на эрозионной поверхности подстилающих пойменных отложений (рисунок 37). Отложения сиквенса выделяются в составе пластов $ПК_{17}$ - $ПК_{16}$ и характеризуются неоднородным строением, с увеличением литологической изменчивости вверх по разрезу.

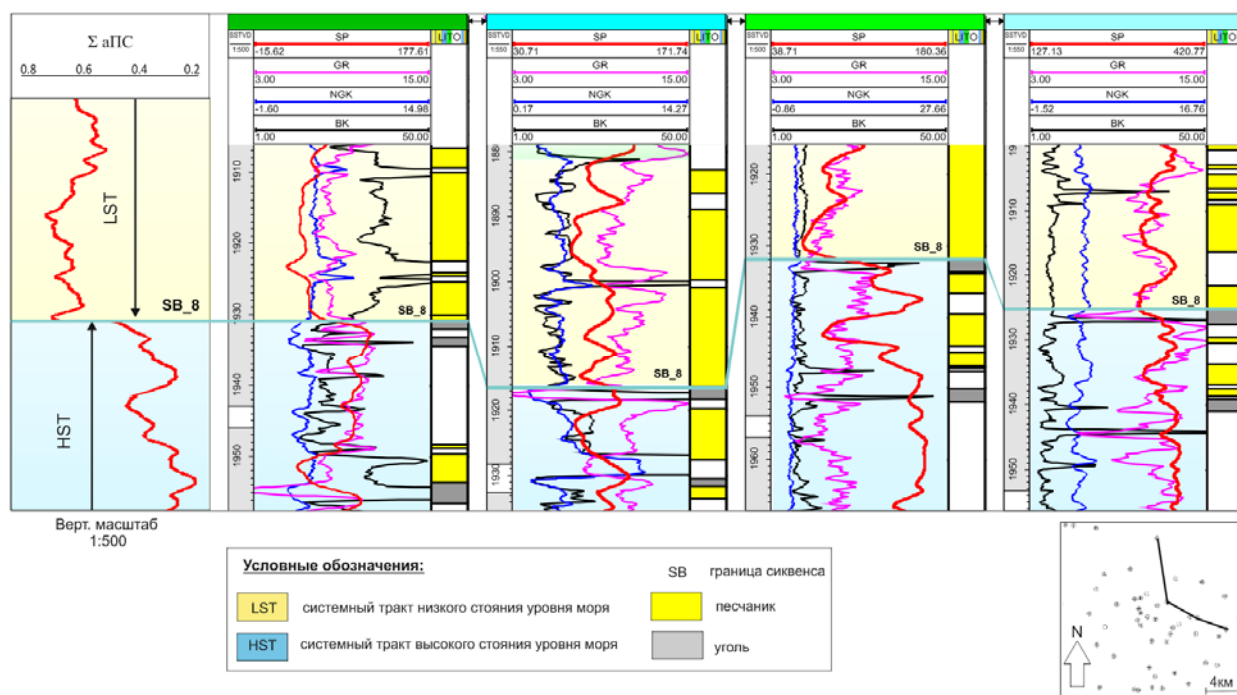


Рис. 37. Схема корреляции поверхности несогласия SB₈.

Подошвенная часть (LST) представлена массивными прослоями песчаника мелкозернистого, серого, слабо карбонатного, с прерывистыми тонкими намывами углисто-глинистого материала. Песчаные тела состоят из нескольких объединенных пропластков, которые соответствуют стадиям миграции русел по аллювиальной равнине. Выше по разрезу за счет латеральной аккреции сформировались прослой песчаников, изолированных пойменными фациями - фиксируются прослой плотного, серого, крупнозернистого алевролита, с горизонтальными углистыми намывами. В песчаниках отмечено повышение карбонатизации и появление горизонтальных буроватых полосок сидеритезированного угля, которые, вероятно, маркируют переход к отложениям трансгрессивного системного тракта. В верхней части сиквенса фиксируются неравномерные переслаивания серого песчано-алевритового материала и глины, обогащенной растительным детритом, которые интерпретируется как пойменные отложения, разделенные осадками меандрирующих русел. Аномалии каротажных диаграмм ПС и ГК здесь располагаются в основном зоне положительных отклонений. В кровле сиквенса залегают

преимущественно глинистые отложения, толщина которых достигает 15 м, при средней мощности сиквенса 120 м.

4. SB₇ - SB₆. Следующий цикл осадконакопления выделяется в интервале пластов ПК₁₆-ПК₁₅, средняя мощность отложений составляет 50 м. Нижняя граница (SB₇) отмечается по резкому эрозионному контакту пойменных отложений и массивных песчаников, предположительно руслового генезиса, мощностью до 20 м и более (рисунок 38). Изучаемый интервал не представлен керновым материалом, однако по данным ГИС сиквенс четко разделяется на части, представленные отложениями системных трактов LST, TST и HST.

Нижняя часть разреза сиквенса опесчанена, каротажные диаграммы ПС и ГК характеризуются отрицательной аномалией, часто колоколовидной формы. Заглинизированные прослои встречаются редко в виде маломощных отложений пойм или брошенных русел. На переходе к отложениям системных трактов TST и HST по резкому скачку каротажных диаграмм четко прослеживается поверхность максимальной регрессии, литологически маркируемая прослоем плотных пород. Вышележащие отложения пойменной части сиквенса состоят из частого переслаивания песчано-алевролитоглинистых тел, поэтому граница между TST и HST прослеживается нечетко. Немногочисленные песчаные тела системного тракта высокого стояния уровня моря на каротажных диаграммах ПС характеризуются отрицательной аномалией треугольной формы. Кровельная часть сиквенса, ограниченная SB₆, представлена заглинизированными прослоями и четко выделяется по ГИС и на суммарном графике каротажных диаграмм αПС (рисунок 38), поэтому может использоваться в качестве реперной при корреляции пластов.

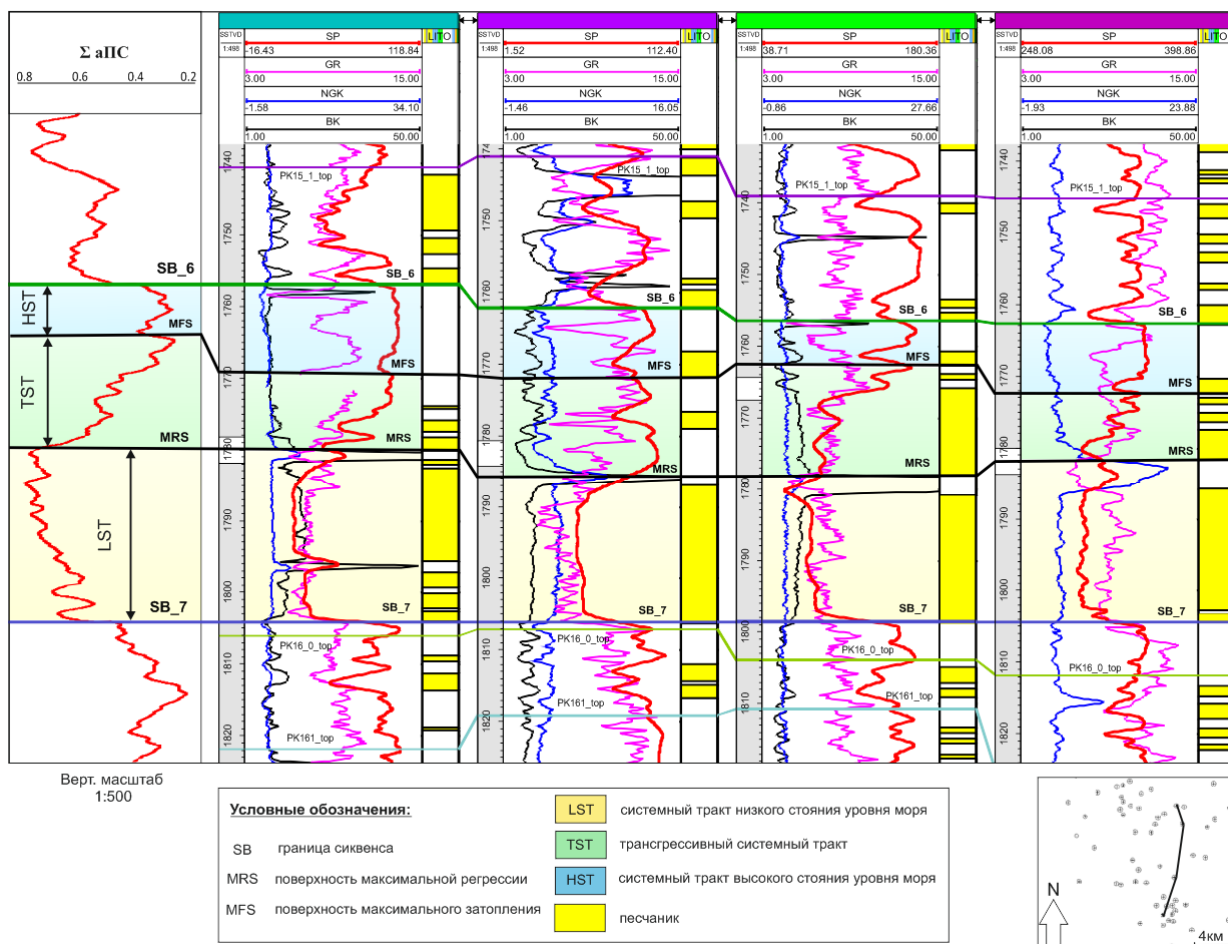


Рис. 38. Схема корреляции границ сиквенсов SB₇ и SB₆.

5. SB₆ - SB₅. Резкий эрозионный контакт, по которому отбивается граница SB₆, распознается по данным ГИС и суммарной каротажной диаграмме α ПС и характеризует переход от пойменных отложений нижележащего сиквенса к аллювиальным песчаникам вышележащего (рисунок 38). Интервал рассматриваемого сиквенса включает в себя песчаные пласты ПК₁₄-ПК₁₂ общей мощностью около 90 м. Текстура кернового материала данного глубинного диапазона характерна для континентальных отложений аллювиального генезиса. Нижний системный тракт (LST) характеризуется преимущественно отложениями песчаников серых, мелкозернистых, алевроитистых. Осадки карбонатные с углисто-глинистыми буроватыми намывами, встречается углистый детрит. Алевролиты серые, крупнозернистые, сильно обогащены слабо взмученным углисто-глинистым материалом.

Доля песчаников уменьшается к кровельной части сиквенса; в разрезе отмечаются в основном прослои алевролита серого, крупнозернистого, карбонатного, иногда с линзовидными песчаными прослоями. Седиментация данных отложений проходила в условиях пойменных озер и болот. Прослои песчаников приурочены к меандрирующим руслам рек, дренирующим прибрежную равнину. Песчаник серый, мелкозернистый глинисто-карбонатный, слабо сцементированный, с редкими включениями углистого детрита. В качестве вспомогательного репера для определения границ данного интервала используется глинистая перемиčka, которая уверенно отбивается выше пласта ПК₁₄. По кровле данной перемиčky выделяется изохронная поверхность затопления MFS (рисунок 39).

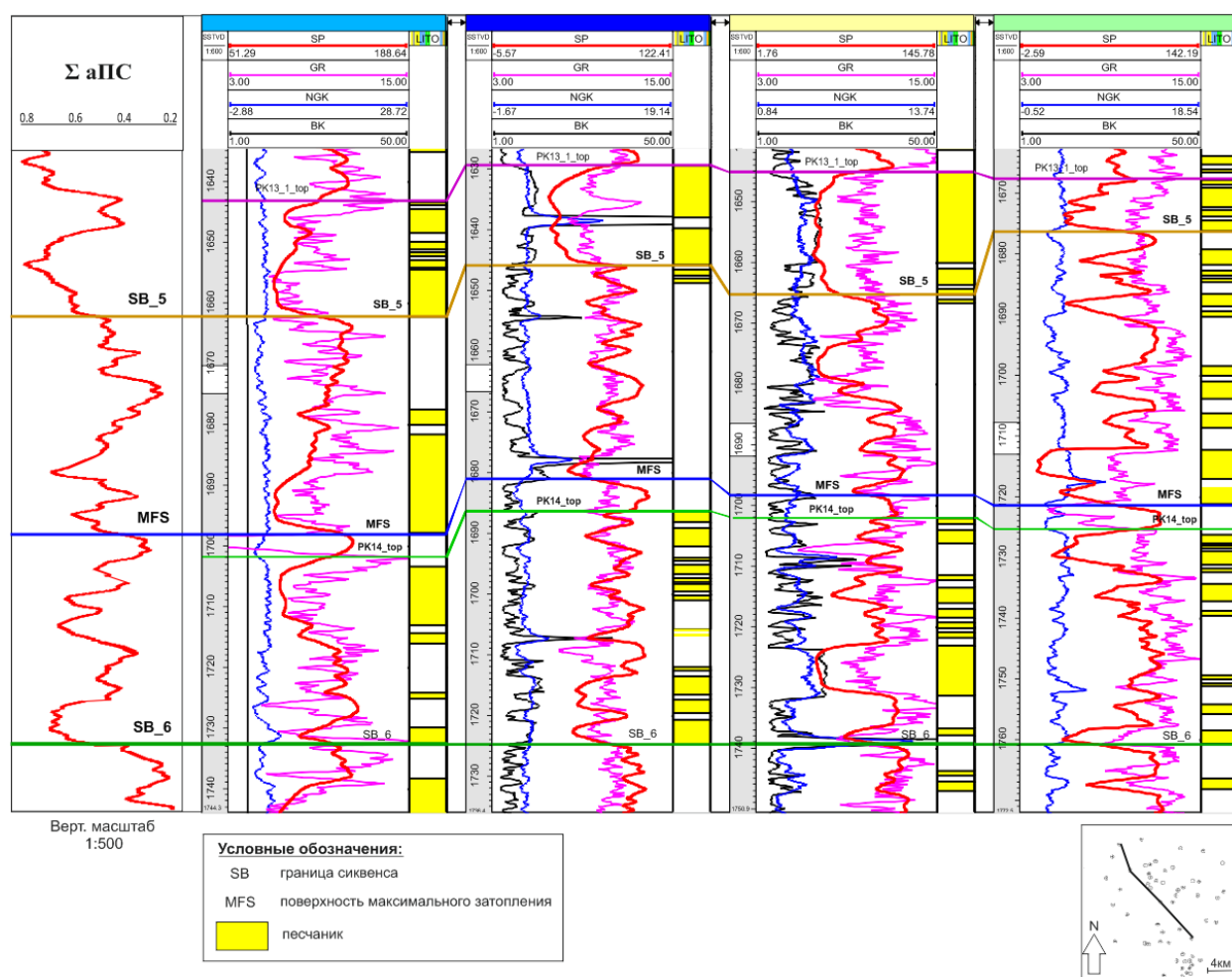


Рис. 39. Схема корреляции границ сиквенсов SB₆ и SB₅.

6. SB₅ - SB₄. Поверхность несогласия SB₅ маркирует контакт между отложениями нижележащего цикла, которые представлены глинами и маломощными речными каналами, и перекрывающими отложениями русловых песчаников толщинами от 5 до 20 м (рисунок 39). Выделенный между границами SB₅ и SB₄ сиквенс объединяет песчаные пласты ПК₁₂-ПК₉ общей мощностью около 130 м. Для него характерным является увеличение параметров глинистости и расчлененности вверх по разрезу.

Нижняя часть сиквенса характеризуется выдержанным, относительно однородным песчаным составом - в подошве залегают слои преимущественно однородного серого мелкозернистого песчаника, неравномерно обогащенного различными по мощности глинистыми линзами и углистым детритом. Встречаются прослои алевролитов серых, крупнозернистых, сильнокарбонатных, с глинистыми намывами, что характерно для фаций внутренней части поймы.

Вверх по разрезу отложения становятся более дифференцированными по составу – по керну фиксируются переслаивания алевроито-песчано-глинистого материала, с преобладанием последнего. Глины темно-серые, слабо карбонатные; алевролиты серые крупнозернистые; песчаники серые, мелкозернистые, с частыми намывами глинистого материала. Доминирующими фациями, предположительно, являются русловые и пойменные. В интервале сиквенса возможно выделение дополнительных несогласных границ более высокого порядка.

7. SB₄ - SB₃. Нижняя эрозионная граница следующего сиквенса (SB₄) четко выделяется на суммарном графике диаграмм αПС в пределах пласта ПК₉ (рисунок 40). Каротажные диаграммы ГК и ПС над данной поверхностью характеризуются колоколовидной формой с прямой подошвенной линией и слабонаклонной боковой линией. Интервал рассматриваемого сиквенса характеризуется высокой литологической неоднородностью, за счет линзовидного строения песчаных и глинистых пропластков. В его подошвенной части преобладают мелкозернистые

песчаные породы руслового генезиса, которые за счет изменения скорости аккомодации выше по разрезу сменяются пойменными, содержащими лишь небольшую долю песчаных отложений меандрирующих каналов и фаций, ассоциативных с ними. Гранулометрический состав осадков однонаправленно уменьшается от подошвы к кровле. В кровельной части сиквенса выделяется глинистая перемиčka мощностью до 14 м (рисунок 40). Отложения рассматриваемого сиквенса завершают разрез континентальной части покурской свиты. В пределах сиквенса и выше до пласта ПК₁ описание кернового материала отсутствует.

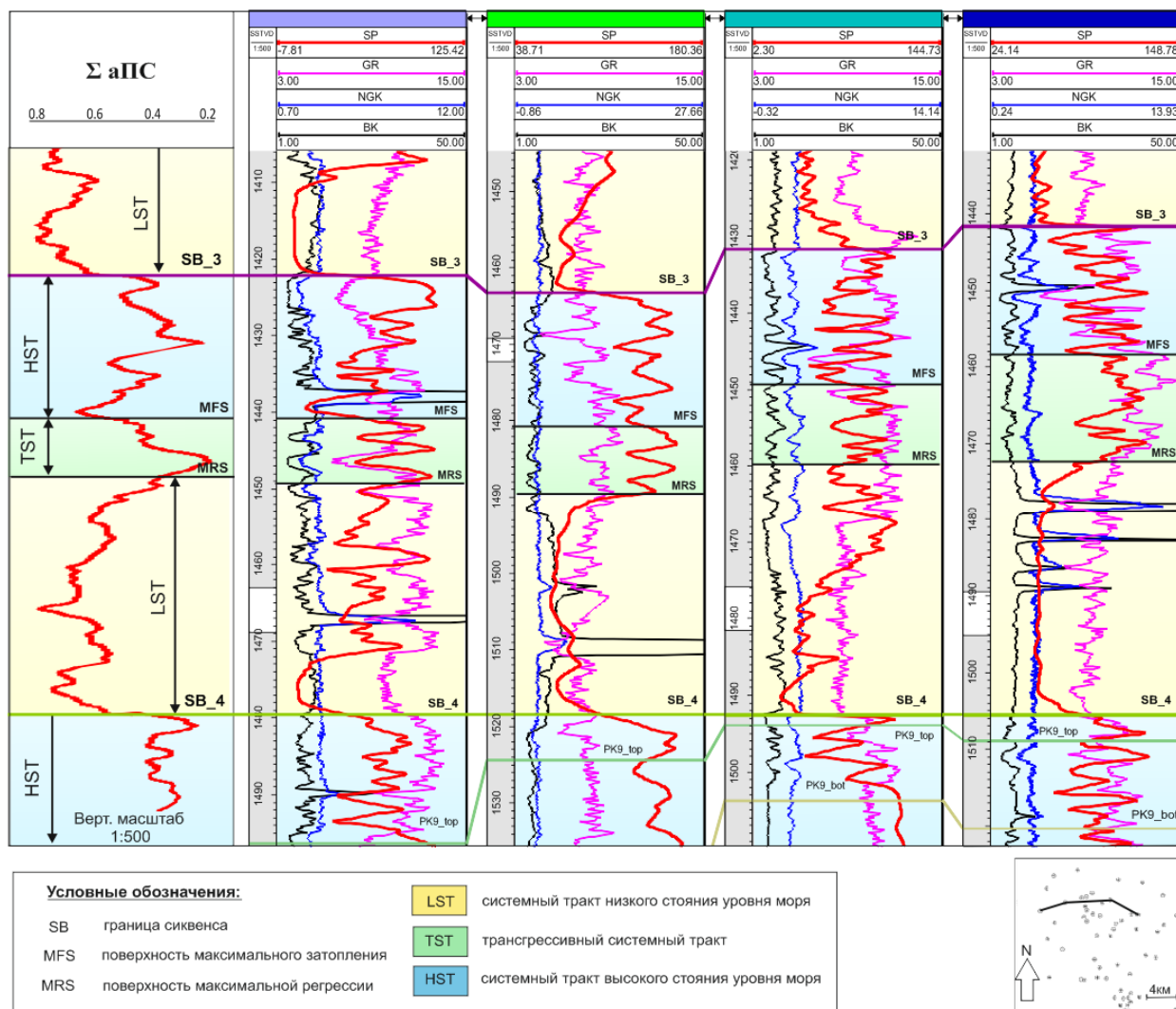


Рис. 40. Схема корреляции границ сиквенсов SB₄ и SB₃.

8. SB_3 - SB_2 . Переход от альбских отложений к сеноманским и сопутствующее изменение условий осадконакопления маркируется поверхностью несогласия SB_3 , которая на суммарных каротажных диаграммах четко прослеживается по всем месторождениям региона (рисунки 40, 41, 47). Данная граница выделяется в интервале пластов $ПК_6$ - $ПК_7$ примерно на 200 м ниже кровли покурской свиты по резкому переходу к блоковым низким значениям на каротажных диаграммах ГК, ПС и графике $\Sigma \alpha ПС$. Выделенная поверхность может использоваться в качестве реперной для корреляции пластов верхней части покурской свиты.

Осадки рассматриваемого интервала предположительно формировались в дельтовых условиях осадконакопления. Мощность отложений в среднем составляет 40 – 50 м (рисунок 41). Для данного сиквенса характерны те же особенности, что и для нижележащих седиментационных циклов – уменьшение песчанистости вверх по разрезу, разнородный литологический состав и наличие в кровле преимущественно глинистых отложений, формирующих перемычку до 15 м толщиной. В кровельной части сиквенса в некоторых скважинах отмечается постепенное уменьшение толщин глинистой перемычки, а местами и ее полное выклинивание, в результате чего происходит объединение коллекторов смежных седиментационных циклов.

9. SB_2 - SB_1 . Обоснование выделения стратиграфических несогласий сеноманской части разреза (SB_2 и SB_1) и анализ их региональной прослеживаемости были выполнены во многих работах, в частности, в 1979 году Берманом Л. Б. с соавторами на месторождениях Уренгойское и Медвежье [10], а также в работе Гутмана И. С. с соавторами на Русском месторождении [27]. Граница несогласия SB_2 на рассматриваемой площади плохо прослеживается по разрезам скважин и суммарной каротажной диаграмме $\alpha ПС$, так как вблизи данной поверхности отсутствуют литологические маркеры; на других месторождениях она выделяется достаточно четко (рисунок 47). Как правило, SB_2 выделяется по подошве

песчаных тел, имеющих цилиндрическую форму кривой ПС с резкими границами в основании и в кровле (рисунок 41).

Рассматриваемый глубинный диапазон включает пласты $ПК_6$ - $ПК_2$ общей мощностью до 120 м. В подошвенной части преобладают песчаные породы, верхняя же часть сильно дифференцирована и имеет более глинистый состав. В интервале сиквенса местами наблюдаются проявления аномальной карбонатизации, что вероятно объясняется снижением гидродинамической активности [11]. Зернистость отложений уменьшается вверх по разрезу.

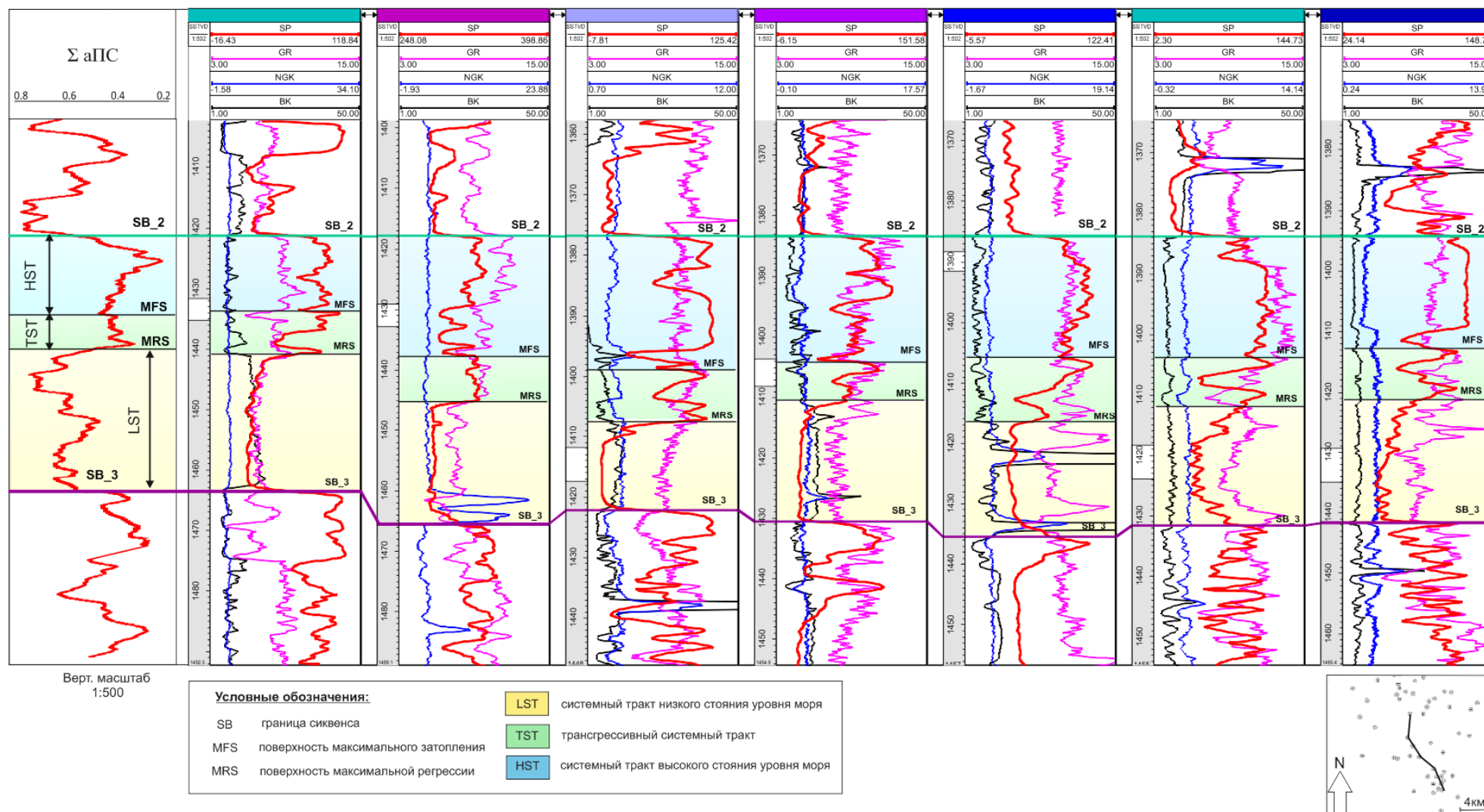


Рис. 41 Схема корреляции несогласных поверхностей SB_3 и SB_2 .

10. SB₁ - Тор_РК. Верхняя граница стратиграфического несогласия в пределах покурской свиты - SB₁ - выделяется в подошве пласта ПК₁. Отложения данного интервала перекрываются толщей морских глин кузнецовской свиты, подошва которых (кровля ПК₁) на площади прослежена в 112 скважинах и служит надёжным репером при корреляции поверхности SB₁ (рисунок 42). Характерной особенностью пласта ПК₁ является преимущественно песчаный состав отложений: в кровле наблюдаются однородные прослои песчаника серого, мелкозернистого, слабосцементированного, слабо карбонатного, нередко с глинистыми прослоями и обогащенного взмученным глинистым материалом. Ниже фиксируется переслаивание слабо сцементированных алевроито-песчаных серых пород, глинисто-карбонатных, обогащенных углисто-глинистыми намывами. Глинизированные прослои - темно-серые с многочисленными слабо взмученными песчано-алевритовыми линзами.

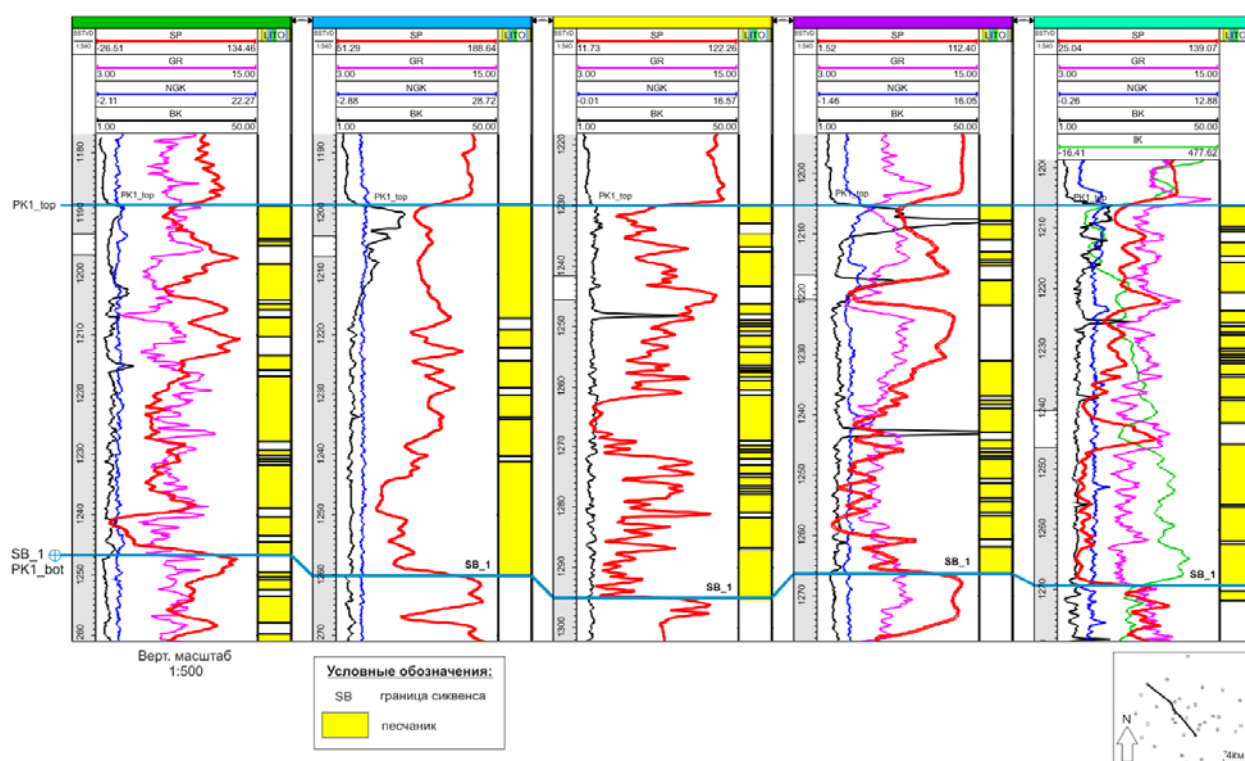


Рис.42 Схема корреляции пласта ПК₁.

Таким образом, в ходе проведенной интерпретации в интервале пластов ПК было выделено 9 регионально прослеживаемых границ несогласий, которые дифференцируют толщу пород свиты на циклические комплексы; в полученных интервалах возможно также выделение дополнительных поверхностей, характеризующихся меньшими глубинами вреза и более локальным распространением. Некоторые границы сиквенсов совпадают с границами пластов, так, например, подошва пласта ПК₂₁ проходит вдоль поверхности SB₉ (рисунок 35).

Средняя мощность сиквенсов колеблется от 60 до 120 метров. Системные тракты определяются на основе их расположения в интервале сиквенса, а также по характерному фациальному распределению и систематическому изменению литологического состава. Каждый сиквенс, сформированный в течение полного цикла изменения относительного уровня моря, включает в себя отложения системных трактов LST, TST и HST.

Регрессионные части циклов (FSST) соответствуют периодам отсутствию седиментации отложений. Падение относительного уровня моря приводит к формированию региональных эрозионных поверхностей, разграничивающих крупные седиментационные циклы. Данные поверхности, как правило, состоят из двух геоморфологических элементов – участков, образованных аллювиальными врезами и относительно плоских областей, где эрозионные процессы не повлияли на образование вреза аллювиальными потоками.

Несогласные поверхности маркируются литологическим контрастом, различимым в большей части скважин (рисунок 43), что позволяет четко фиксировать в разрезе свиты границы наиболее крупных циклов колебания относительного уровня моря. Они проводятся вдоль относительно мощных прослоев песчаников, подошва которых маркирует начало регрессивного этапа седиментационного цикла. В районах междуречий определение точного положения эрозионных поверхностей из-за отсутствия четких признаков затруднено, поэтому границы сиквенсов в скважинах, содержащих

такие интервалы, отбиваются на эквивалентном стратиграфическом уровне с соседними скважинами, с учетом графика суммы каротажных диаграмм α ПС.



Рис. 43. Выделение эрозионной поверхности в интервале пластов покурской свиты по данным кернового материала.

Границы сиквенсов перекрываются мощными русловыми песчаными отложениями системного тракта низкого стояния уровня моря, имеющими высокий процент связности. Начало подъема относительного уровня моря приводит к седиментации относительно мощных русловых отложений в первую очередь в пределах речных врезов, а затем и на всей аллювиальной равнине. Данные интервалы в разрезе свиты характеризуются отрицательными аномалиями значений и колоколовидной формой диаграмм ПС. Отложения LST ограничены эрозионной поверхностью несогласия – границей сиквенса - в подошве и поверхностью максимальной регрессии в кровле. Поверхность MRS в близко расположенных скважинах выделяется примерно на одинаковых стратиграфических интервалах, относящихся к кровле русловых песчаников, за исключением случаев их размытия эрозионными процессами.

Выделение в разрезе сиквенсов системного тракта TST, определяющего значительный подъем относительного уровня моря, на изучаемой площади трудновыполнимо из-за сходства слагающих его отложений с осадками тракта систем HST и невысоким процентом выноса кернового материала в интервале свиты. В интервале отложений TST за счет трансгрессии, независимо от степени влияния эрозионных процессов, формируется хроностратиграфическая поверхность затопления (MFS). При интерпретации разреза выделение данной поверхности значимо, так как она формирует границу между системными трактами, отделяя осадки TST от вышележащих преимущественно глинистых отложений HST.

Отложения системного тракта HST, как правило, образующие перемиčky между песчаными пластами ПК, ограничены MFS в подошве и границей сиквенса в кровле. Увеличение скорости подъема относительного уровня моря способствует росту доли пойменных отложений и уменьшению связности песчаных русловых тел. Такие вариации условий осадконакопления – переходы от преимущественно русловых отложений к пойменным - наблюдаются в большей части скважин и отмечаются, как правило, по увеличению значений каротажных диаграмм ПС и ГК к кровле сиквенсов. Отложения HST больше чем нижележащие подвержены размыву последующим циклом эрозии, формирующим кровельную границу сиквенса.

Оценка результатов корреляции границ несогласий проводилась путем анализа вариаций толщин сиквенсов. Локальные аномалии мощностей седиментационных циклов связаны по большей части с особенностями тектоники и седиментации осадков и компенсируются за счет изменения толщин смежных сиквенсов.

В связи с невысокой плотностью скважин на площади, в ходе работы проводился анализ прослеживаемости выделенных по скважинам несогласных границ в волновом поле по данным 3D сейсморазведки.

На изучаемом месторождении интервал пластов покурской свиты выделяется в один сейсмокомплекс. Его нижняя часть включает в себя

относительно высокоамплитудные отражения нижней части покурской свиты и сверху ограничена ОГ М' (рисунок 44). Верхняя часть сейсмокомплекса относится к интервалу альб-сеноманской части разреза и представлена по большей части слабоамплитудными отражениями. Протяженная фазовая корреляция горизонтов данного интервала затруднительна из-за резких изменений амплитуды отражений по латерали и повсеместного затухания волн. В кровле сейсмокомплекс ограничен ОГ Г, который ассоциируется с кровлей пласта ПК₁ (рисунок 44). Данный горизонт представлен интенсивной, динамически выраженной фазой, хорошо трассируется в пределах площади и является региональным сейсмогеологическим репером.

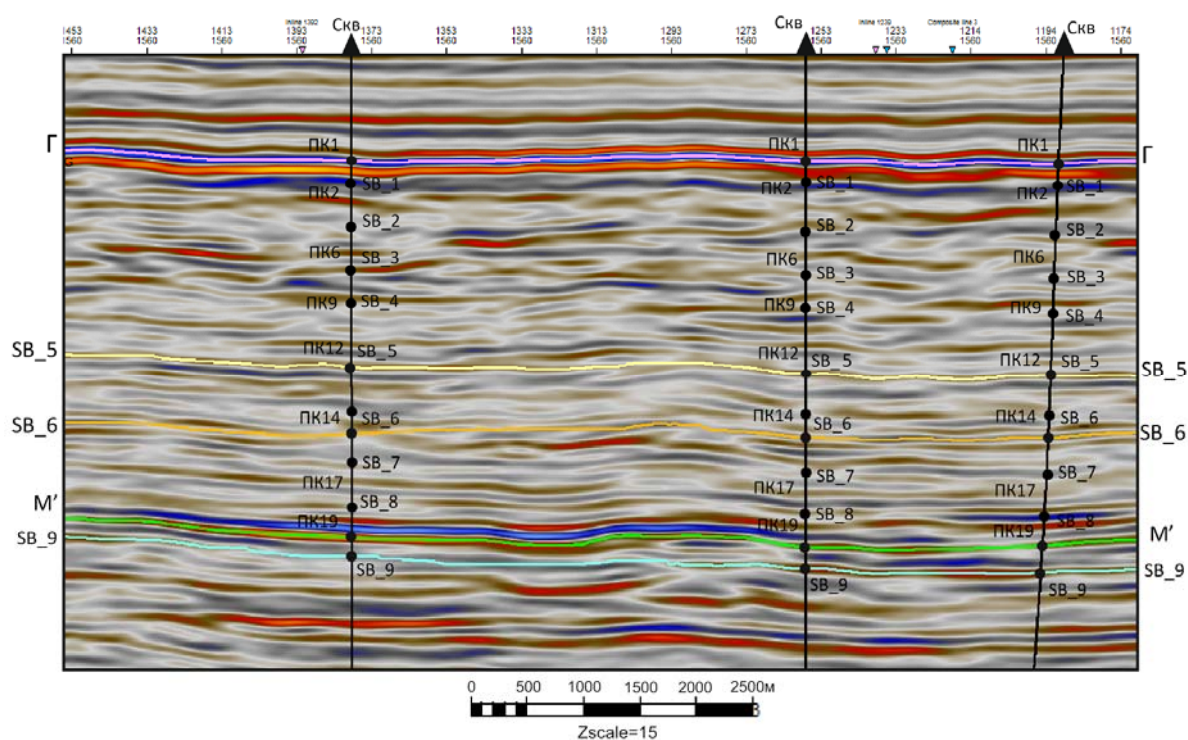


Рис. 44. Трассирование границ стратиграфических несогласий интервала пластов покурской свиты на сейсмическом профиле.

Помимо ОГ Г, наиболее прослеживаемым отражением на изучаемой площади является сейсмический горизонт М', который приурочен к кровле пласта ПК₁₉ и выделяется по яркой отрицательной фазе (рисунок 44). В ходе работы были построены зависимости скважинных отметок отражающего

горизонта М' от отметок кровли пласта ПК₁₉ и от эрозионных поверхностей, выделенных в этом же глубинном диапазоне. Сравнение получившихся уравнений регрессии показало, что несогласная поверхность имеет больший коэффициент корреляции с ОГ М' чем кровля пласта ПК₁₉ (рисунок 45). Это говорит о том, что данный отражающий горизонт является изохронным и ассоциируется скорее с выделенной границей несогласия. Выявленная зависимость также является подтверждением корректности выполненной интерпретации границ сиквенсов.

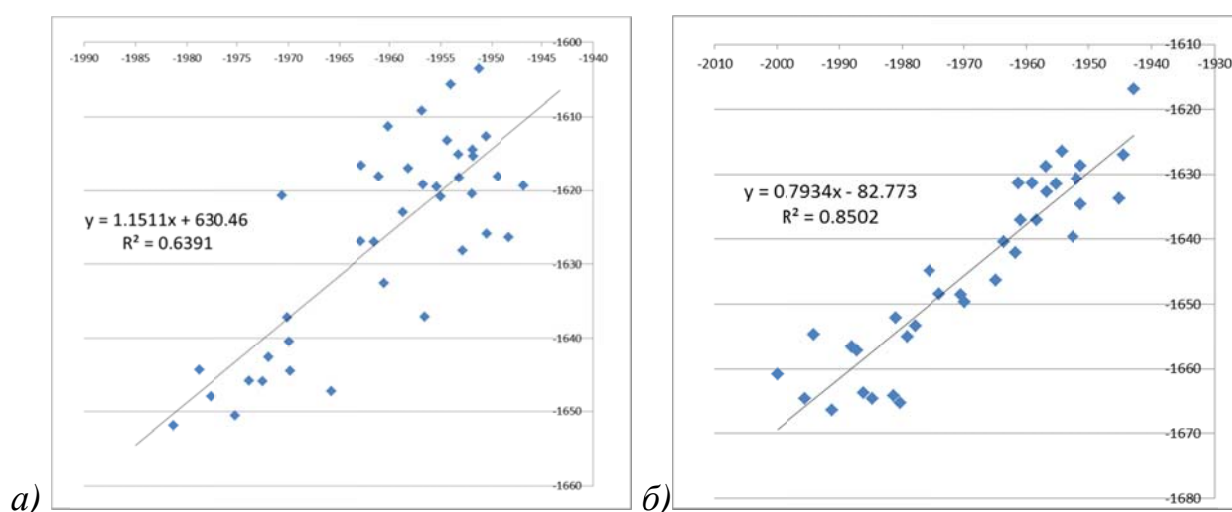


Рис. 45. Уравнение регрессии ОГ М' по кровле пласта ПК₁₉₋₁ (а) и по поверхности несогласия (б) в точках скважин.

В ходе работы также проведена попытка трассирования других выделенных границ несогласий по площади месторождения. Так, граница SB₉ отождествляется с положительной фазой сложной внутренней структуры и уверенно прослеживается по большей части площади. Граница SB₆ (интервал пласта ПК₁₄) выделяется по прослеживаемой отрицательной фазе с характерными локальными разрывами, которые вероятно сформировались вследствие аллювиальной активности (рисунок 44). Остальные границы из-за сложного строения свиты и невысокого качества сейсмокубка не привязаны к определенной фазе, что затрудняет их трассирование.

Интерпретация границ несогласий усложнена наличием в интервале покурской свиты большого числа палеорусел различной протяженности, которые формируют амплитудные аномалии в волновом поле (рисунок 46). Значительная кривизна наблюдаемых каналов свидетельствует об их формировании в условиях низменных аллювиальных равнин при небольшом наклоне речного профиля.

Стоит отметить, что в верхних частях сиквенсов, относящихся к системному тракту HST, количество палеорусел, по сравнению с нижними частями (LST), несколько уменьшается, что соответствует представлениям принятой концептуальной модели. Вверх по разрезу в интервалах сиквенсов наблюдается также постепенное искривление каналов и уменьшение их ширины.

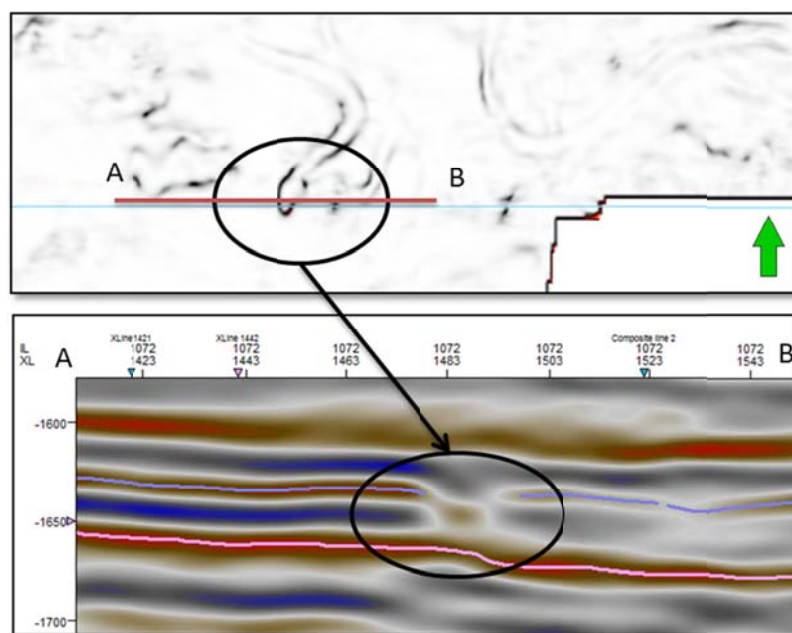


Рис. 46. Сейсмический образ палеорусла в плане и разрезе, срез по поверхности SB₈.

Таким образом, с учетом седиментологического описания кернового материала, скважинной корреляции и материалов 3D сейсморазведки были выявлены и прослежены по площади поверхности несогласий, разделяющие крупные циклы осадконакопления. В пределах сиквенсов возможно

проведение анализа выдержанности и изменчивости по толщине и составу отдельных прослоев коллекторов, а также выделение границ, относящихся к циклам более мелкого порядка, для чего необходимо выполнение детальных седиментологических исследований материалов керна с описанием фаций.

Выполненная интерпретация показала возможность идентификации расположения сиквенсов и слагающих их системных трактов в разрезе прибрежно-континентальной части отложений покурской свиты на основе подробного сиквенс-стратиграфического анализа. Выделенные поверхности несогласий удовлетворительно сопоставляются по мощности и с точностью до первых десятков метров прослеживаются по разрезам других месторождений региона (рисунок 47), что позволяет использовать их в качестве реперных границ при последующей корреляции пластов. Построение графиков суммы каротажных диаграмм α ПС на месторождениях региона позволит на вертикальном профиле определить регионально распространенные границы несогласного залегания, разделяющие седиментационные циклы, и провести однотипную индексацию пластов ПК.

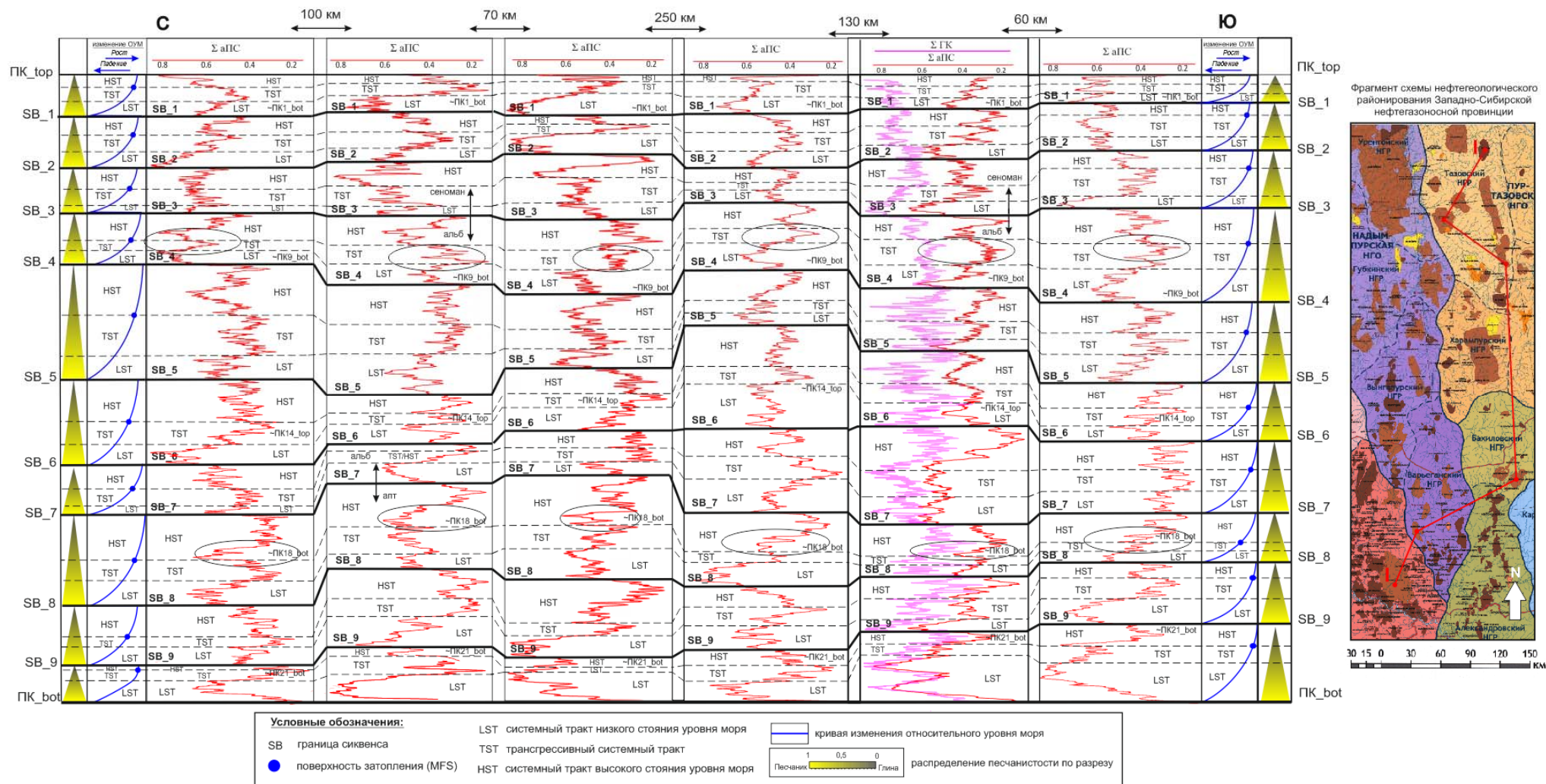


Рис. 47. Региональная схема корреляции несогласных поверхностей группы пластов ПК по 6 месторождениям Западной Сибири с использованием графика суммы коротажных диаграмм аПС.

3.3 Построение геологической модели пластов покурской свиты с использованием сиквенс-стратиграфической модели

Построенная сиквенс-стратиграфическая модель может использоваться как основа при создании геологической модели пластов покурской свиты. В работе [53] М. В. Пороскун отметил, что «при построении геологических и гидродинамических моделей следует обращать особое внимание на выделение стратиграфических несогласий, оказывающих существенное влияние на сообщаемость коллекторов в разрезе». Определенно, выполненная интерпретация разрезов скважин в интервале залегания пластов ПК в значительной мере влияет на геологическое моделирование и, соответственно, на размерность, геометрию и связность коллекторов и покрышек.

Пласты покурской свиты характеризуются высокой геологической неоднородностью, за счет которой формируется сложное, хаотичное распределение фаций в разрезе. Построение геологически точной модели таких пластов зачастую затруднительно, так как разрез свиты, помимо эрозионных поверхностей, содержит большое число отдельных маломощных и прерывистых геологических тел, некоррелируемых между собой. Такая изменчивость характера седиментации может быть оценена при помощи сиквенс-стратиграфического анализа - разрез свиты рассматривается в контексте хроностратиграфии с использованием поверхностей несогласия – границ сиквенсов, которые фиксируют значительные пробелы в осадконакоплении, обусловленные перерывами в поступлении осадков, изменениями источника сноса осадочного материала или колебаниями относительного уровня моря.

Идентификация границ циклов осадконакопления повышает корректность определения последовательностей залегания фаций и точность прогноза протяженности коллекторов, а также уменьшает процент ошибочной корреляции генетически не связанных песчаных тел,

залегающих по разные стороны от несогласной поверхности. В связи с этим, основной задачей моделирования пластов покурской свиты стало построение стратиграфического каркаса, содержащего основные элементы проведенного сиквенс-стратиграфического анализа, в пределах которого будет проводиться распределение параметров пластов при создании трехмерной геологической модели.

В рамках диссертационной работы построена геологическая модель интервала продуктивных пластов ПК₁₈-ПК₂₁, на которые ориентированно дальнейшее эксплуатационное бурение на месторождении. Данные пласты относятся к интервалу сиквенса между поверхностями несогласия SB₉-SB₈.

Опираясь на проведенную интерпретацию (глава № 3.2), по данным анализа керн и ГИС в комплексе с сейсмическими материалами и результатами атрибутивного анализа, была выбрана концептуальная модель осадконакопления выбранного интервала разреза (рисунок 48), на основе которой определены условия седиментации осадков, установлен характерный фациальный состав отложений и построены палеогеографические карты выделенных при интерпретации разреза свиты системных трактов. Для построения точной концептуальной модели были рассмотрены современные аналоги аллювиальных обстановок осадконакопления. По подобности условий седиментации, размера и формы русел в качестве наиболее точного аналога выбран бассейн реки Обь. Использование современных аналогов при создании концептуальной модели осадконакопления позволяет определить основные параметры геологических тел (размер, форму и др.) и точнее закартировать тренды их распространения по площади.

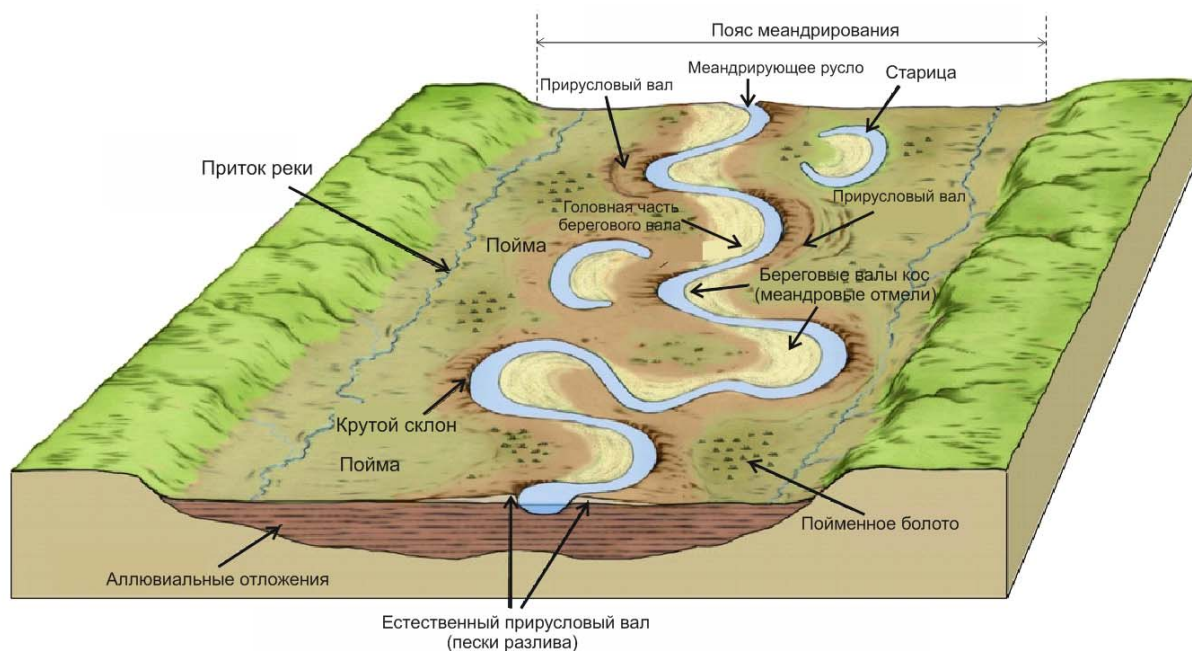


Рис. 48. Концептуальная модель меандрирующей речной системы (по [R. Christopherson, 2006], с дополнениями автора).

С учетом выполненной интерпретации в рамках работы был выполнен 3D атрибутный анализ изучаемого интервала с целью предсказания местоположения палеорусовых систем, выделенных по скважинным данным. Седиментационные особенности, наблюдаемые на рассчитанных картах атрибутов, характеризуются амплитудными и частотными аномалиями. Так, например, представленная на рисунке 46 амплитудная аномалия волнового поля интерпретируется как палеорусло меандрирующей реки, что подтверждается скважинными данными – на данном стратиграфическом уровне фиксируется отрицательная аномалия каротажной диаграммы ПС, имеющая колоколовидную форму, что свидетельствует о наличии мощных песчаных отложений.

Для оценки взаимосвязи между сейсмическими данными и пластовыми параметрами (Нэфф, Кп) проверялись ряды атрибутов. Основным отличием от традиционного анализа стало то, что интервал рассчитываемых параметров брался не по пластам, а по системным трактам. Коэффициент корреляции рассчитывался путем построения кросс-плотов параметров и сейсмических атрибутов по скважинам. Интеграция сейсмических и

каротажных данных показала отсутствие существенной корреляции между вычисленными атрибутами и параметрами скважин (рисунок 49); коэффициент корреляции недостаточен для количественной интерпретации, что вероятнее всего связано с невысоким разрешением сейсмических данных и с частым переслаиванием песчаных и глинистых пропластков в разрезе. Однако, так как трендовое направление все же прослеживается, автором в дальнейшем для определения коэффициента корреляции при проведении атрибутного анализа покурской свиты рекомендуется проверять зависимости сейсмических атрибутов от скважинных параметров в интервалах выделенных системных трактов.

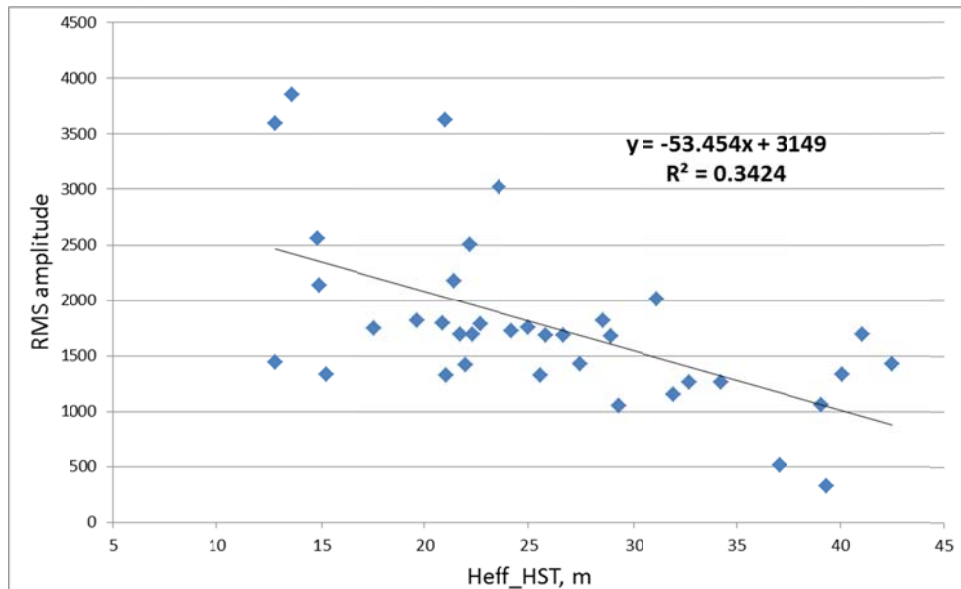


Рис. 49. График зависимости между сейсмическим атрибутом RMS amplitude и эффективной мощностью системного тракта HST по точкам скважин.

С целью уточнения положения палеорусловых систем и выделения особенностей осадконакопления в интервалах сиквенса в программе VisualVoxAt была выполнена спектральная декомпозиция. Для выделения границ палеорусел на качественном уровне использовались срезы спектральной декомпозиции разных частот. На рисунке 50 представлен срез атрибута «Sum of amplitudes» по поверхности SB₈, на котором наблюдаются

системы меандрирующих палеорусел, генезис которых подтверждается данными керна. Совместный анализ карт атрибутов и спектральной декомпозиции показал большую детальность спектрального подхода по сравнению со стандартным анализом сейсмических данных.

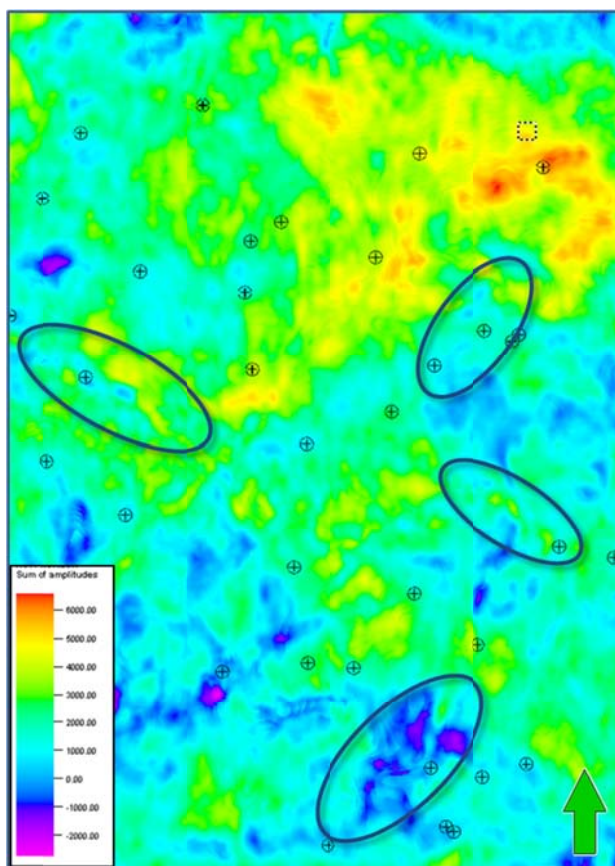


Рис. 50. Срез атрибута «Sum of amplitudes» по поверхности SB_8 .

Таким образом, по седиментологическим данным керна, конфигурации каротажных диаграмм, анализу срезов сейсмокуба и средней мощности отложений можно сделать вывод, что накопление осадочного материала в рассматриваемом интервале разреза проходило в обстановках дистальной части аллювиальной равнины. Отсутствие мощных объединенных пропластков говорит о том, что песчаные тела фациально относятся не к отложениям спрямлённых русел, а к каналам и прирусловым барам меандрирующих рек. В интервалах сиквенса по данным атрибутного анализа и спектральной декомпозиции выделяются перспективные для разработки

зоны палеорусловых систем, представленные коллекторами с наилучшими ФЕС.

Вариации морфологии русел в пределах сиквенса связаны с изменением отношения A/S – отложения меняются вверх по разрезу от осадков с высокой степенью связности до изолированных песчаных тел, расположенных между глинистыми осадками пойм. Определение размеров и формы палеорусел важно для описания свойств пласта, так как данные параметры сильно влияют на структуру и связность коллекторов.

Значения описанных параметров довольно трудно оценить. Для расчета геометрии палеорусел, как правило, используются такие методы как межскважинная корреляция, эмпирические уравнения, связывающие глубину канала и его ширину, и срезы 3D сейсморазведки. Наиболее распространенным методом является межскважинная корреляция. Пространственное разрешение данного метода определяется средним расстоянием между скважинами, следовательно, если оно составляет 500 м, то песчаные тела менее 500 м не могут быть точно прослежены. Так как русловые отложения прерывисты в латеральном отношении, на рассматриваемой территории расстояние между скважинами много больше размеров песчаных тел, поэтому разрешения корреляции недостаточно, чтобы прокоррелировать русловые отложения и количественно оценить их неоднородность.

Единственным методом для непосредственного измерения ширины, мощности палеорусел и идентификации их типа является анализ данных 3D сейсморазведки. Точность определения расположения палеоканалов зависит от отношения разрешения сейсморазведки к мощности отложений русел - в среднем, для отображения в волнового поле для пластов покурской свиты толщина слагающих русло песчаных тел должна быть не менее 10-15 м. Из-за прерывности отражений на рассматриваемой площади разрешения сейсмокуба хватает только для определения параметров наиболее крупных аллювиальных каналов. Средняя ширина палеорусел, выделенных по

результатам проведенного атрибутивного анализа и спектральной декомпозиции составляет 630 м.

Для расчета значений глубины и ширины палеорусел также используются эмпирические уравнения [117]. Данные уравнения, вследствие сложного строения аллювиальных систем, эрозионных процессов и разнообразия типов рек, не всегда дают надежный прогноз. Русла меандрической системы имеют небольшое соотношение мощности к ширине – диапазон значений, рассчитанный по различным эмпирическим уравнениям [Fielding, 1987; Davies, 1992 и др.], варьируется от 1 к 25 до 1 к 150. Для сравнения, для ветвящихся рек (в значительной мере из-за их большой ширины) такое соотношение составляет от 1 к 100 до 1 к 500.

Для получения точного отношения глубины и ширины каналов построением гистограммы было определено частотное распределение мощности русловых песчаников по данным ГИС. Толщины одиночных русел на изучаемой территории варьируются от 3 до 16 м (рисунок 51). Песчаные пласты более высокой мощности представлены несколькими объединенными русловыми телами, часто разделенными тонкими глинистыми или плотными прослоями, суммарными толщинами до 50 м (рисунки 37, 53). Относительная маломощность русловых песчаников, вероятно, обусловлена латеральной миграцией рек, которая характерна для сильно извилистых аллювиальных систем. Интервал толщин 4 - 5 м имеет наиболее высокую частоту распространения, поэтому он использовался для расчета ширины каналов.

Существует несколько эмпирических уравнений, по которым можно рассчитать примерную ширину русел через их среднюю мощность. В данной работе использовалось уравнение [Bridge, 2003] для меандрических систем осадконакопления, которое связывает мощность русел с шириной через зависимость $w \approx 21.3 \cdot d^{1.45}$, где

w – ширина русел,

d – средняя глубина русел.

Таким образом, средняя ширина палеорусел рассматриваемой части разреза изменяется от 450 до 700 м, что подтверждается срезами 3D куба сейсморазведки. Вычисленные параметры в дальнейшем использовались при построении карт распространения фаций.

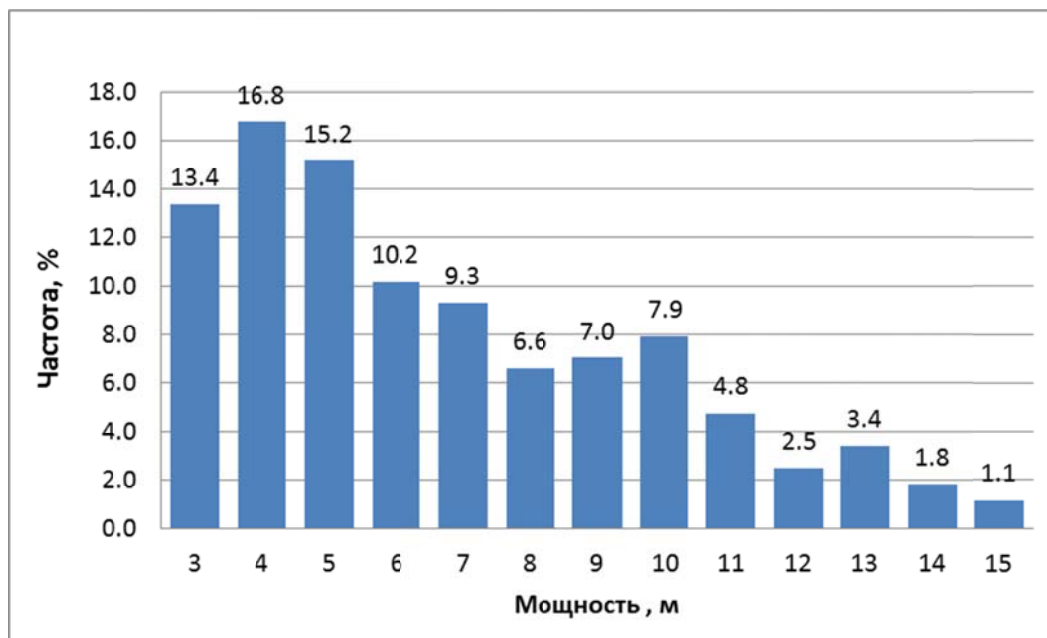


Рис. 51. Гистограмма частотного распределения мощности русел.

Выделение в интервале сиквенса системных трактов с предсказуемым строением позволяет использовать концептуальную сиквенс-стратиграфическую модель для прогноза распределения фаций и построения карт их распространения по площади.

Для анализа фациального состава исследуемого интервала пластов использовались результаты исследований кернового материала по 17 скважинам. Аллювиальные системы меандрического типа ассоциируются с обширным спектром фаций - русла, прирусловые валы, головные части берегового вала, ленточные гряды, пески разлива, отложения поймы, озера, болота, старицы и др. (рисунок 48). Как правило, в данных условиях осадконакопления отложения русел и пески разливов являются лучшими коллекторами, а пойменные глины - покрышками.

Для определения фациального распределения в пределах системных трактов были построены палеогеографические карты (рисунок 52). Заполнение аккомодационного пространства рассматриваемого сиквенса осадками началось в условиях начала трансгрессии системного тракта низкого стояния уровня моря, что привело к образованию латерально протяженных русловых песчаников. Пойменные осадки в разрезе данного интервала также широко распространены. Коллекторы системного тракта LST имеют относительно однородный состав и хорошие фильтрационно-емкостные свойства за счет низкого процента глин. Распределение мощности и песчаности отложений отражает широтный тренд направления палеорусел; средняя величина $K_{\text{песч}}$ составляет 0.61.

На представленной карте (рисунок 52, а) выделены фации, характерные для принятой седиментационной модели, на момент формирования системного тракта LST - русла, прирусловые валы, поймы и др. Зоны развития мощных песчаных пропластков по большей части соответствует направлению выделенных палеорусел. По площади наблюдается постепенное уменьшение песчаности по мере удаления от каналов. Наиболее мощные толщи песчаных фаций соответствуют зонам накопления отложений меандрирующих русел.

По направлению палеорусел и наблюдаемым по картам трендам изменения толщин, можно заключить, что транспортировка осадочного материала проходила в широтном направлении. Выделенные зоны русловых систем подтверждаются данными скважин, и, как правило, включают интервалы песчаников с хорошими ФЕС, поэтому могут расцениваться как наиболее перспективные для бурения.

Песчаные отложения перекрывает поверхность максимальной регрессии, которая выделяется в большинстве скважин. Над MRS залегают преимущественно глинистые прослои системных трактов TST и HST, в кровле подстилающие границу сиквенса SB_8. В пределах HST степень объединения русел снижается, а доля пойменных отложений увеличивается,

что объясняется более высоким по сравнению с LST отношением A/S, и четко наблюдается на картах песчаности. Песчаные тела, в основном, представлены маломощными отложениями, изолированными глинистыми осадками пойм. В некоторых скважинах часть отложений HST сэродирована за счет формирования вышележащей несогласной поверхности SB_8, что объясняет изменения мощности системного тракта. По результатам выполненной интерпретации построена карта распространения фаций на момент формирования системного тракта HST (рисунок 52, б). Данная карта отображает выделенные на основании скважинных данных и срезов 3D сейсморазведки зоны развития пойменных фаций, где системный тракт представлен преимущественно глинистыми осадками. Тренд распространения максимальных эффективных толщин, в соответствии с выделенной зоной меандрирующих русел, имеет широтное направление.

Построенные карты отражают представления автора об условиях седиментации данной части разреза свиты на рассматриваемой территории. Сочетание седиментологического и сиквенс-стратиграфического анализа дает качественную оценку геометрии резервуара и его внутреннего строения, основанную на учете распределения русловых и пойменных фаций в разрезе. Выполненные построения позволяют оценить распространение фаций и соотношение литотипов в изучаемом интервале, а также корректно распределить ФЕС коллекторов по латерали и разрезу [25]. Карты распространения фаций могут использоваться при определении наиболее перспективных неразбуренных участков.

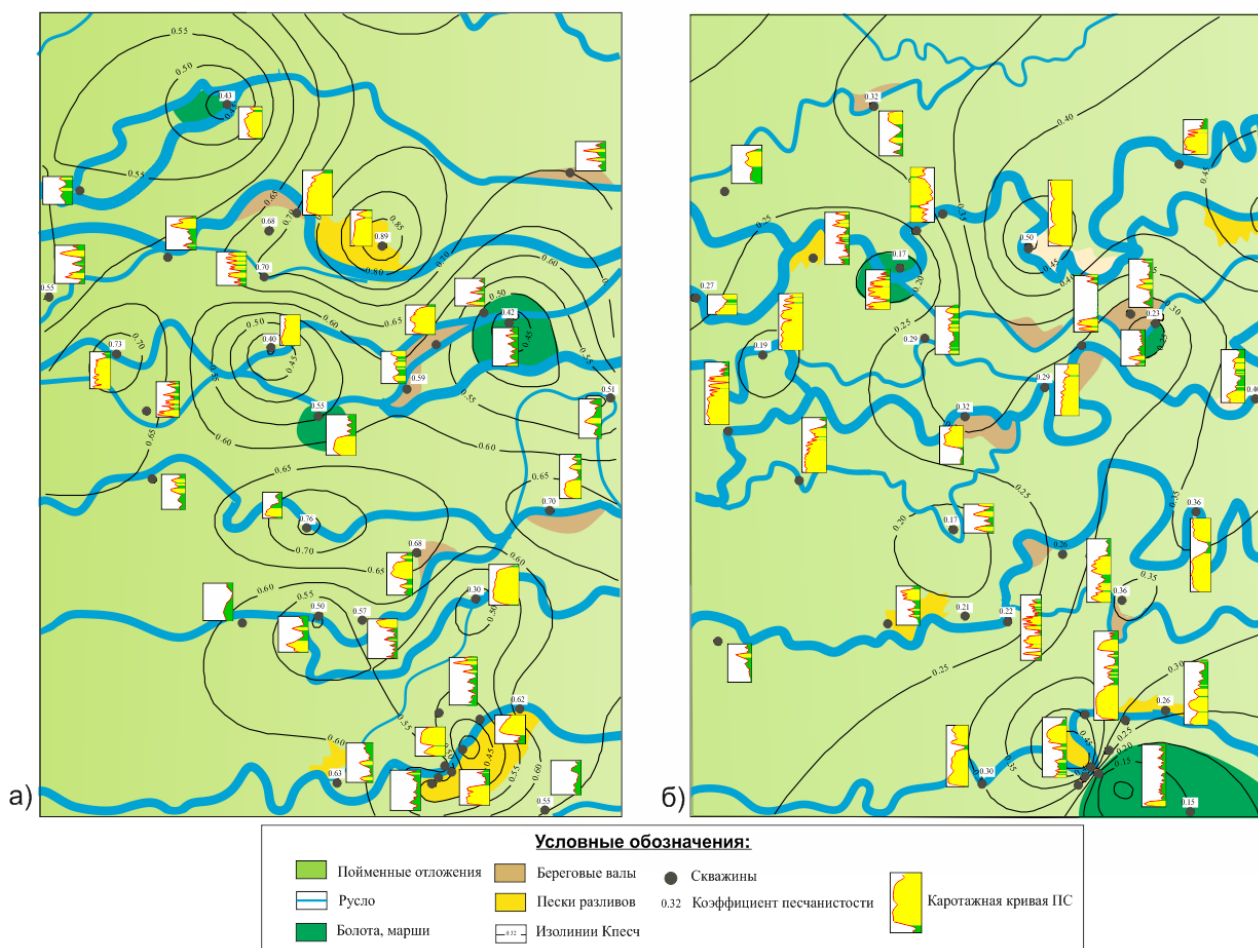


Рис. 52. Палеогеографическая реконструкция фациального распределения в системных трактах: а) LST б) HST.

Новая интерпретация позволила пересмотреть строение продуктивных пластов ПК. Принятая концепция геологического строения рассматриваемого интервала была сформирована в рамках подсчета запасов 2012 года. Результаты бурения новых скважин опровергли существующие представления о строении пластов, поэтому был создан авторский вариант корреляции с использованием проведенного сиквенс-стратиграфического анализа.

Выделенные в результате интерпретации границы несогласия использовались как реперные при детальной корреляции продуктивного интервала пластов ПК₁₈-ПК₂₁. При расчленении пластов учитывались также такие факторы как характер насыщения коллекторов, выдержанность пластов по мощности и наличие маркерных слоев.

Стратиграфические несогласия оказывают значительное влияние на строение пластов. Эрозионные процессы способствуют значительному сокращению мощности части отложений, поэтому линейная интерполяция границ продуктивных пластов при выполнении работ по межскважинной корреляции может привести к некорректному распределению флюидов по пластам и в результате к построению недостоверной геологической модели. На рисунке 53 приведено сопоставление принятой корреляции с авторской, где заметны изменения геологического строения изучаемых пластов – в принятом варианте коллекторы разных этапов цикла осадконакопления соединены между собой, в предлагаемом же варианте они относятся к разным пластам и являются гидродинамически разобщенными.

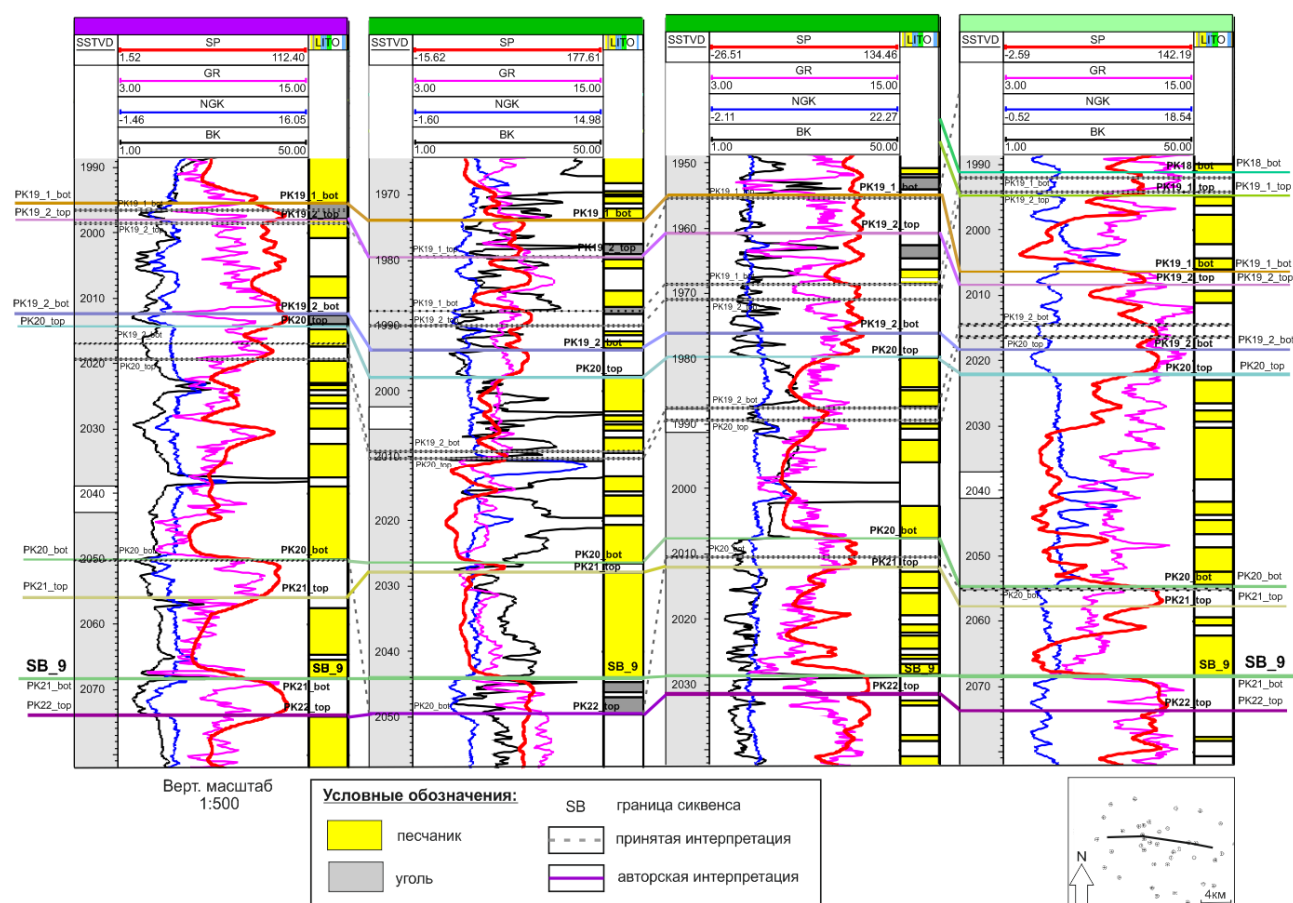


Рис. 53. Сравнение попластовых корреляций нижней части разреза покурской свиты.

В рамках работы выполнена детальная корреляция пластов по 68 скважинам. По результатам выполненной корреляции методом схождения от ближайшего ОГ - М' построены структурные карты пластов ПК₁₈-ПК₂₁, а также карты эффективных нефтенасыщенных и газонасыщенных толщин. В результате пересмотра корреляции строение залежей значительно изменилось и в дальнейшем подтвердилось результатами бурения новых скважин. Выполненная корреляция позволила уточнить расчлененность пластов, прояснить распределение, форму и связность песчаных тел по латерали и по разрезу, а также определить интервалы, потенциальные для последующего изучения.

Неоднородность строения покурской свиты способствует формированию как залежей, включающих несколько песчаных пластов без разделяющих их глинистых перемычек, так и маломощных залежей линзовидного строения. В этой связи анализ внутренней структуры пластов ПК является достаточно значимой задачей. Использование подхода сиквенс-стратиграфии исключает возможность ошибочной корреляции пластов через поверхности несогласия, которые являются границами циклов седиментации.

Для эффективной разработки любого месторождения необходимо создание детальных 3D геологических моделей, которые прогнозируют форму и размеры коллекторов, латеральную протяженность и степень связности песчаных тел. В данной работе в программном комплексе Petrel 2014 выполнено построение 3D геологической модели изучаемого интервала разреза свиты. В качестве исходных данных использованы данные по 45 разведочным и 23 эксплуатационным скважинам (ГИС, РИГИС, результаты детальной корреляции стратиграфических подразделений), выполненная структурная интерпретация, атрибутивный анализ данных 3D сейсморазведки, а также результаты палеогеографических построений.

Поскольку трехмерная сетка является основой последующего литологического и петрофизического моделирования, точность ее строения является важным аспектом построения геологической модели. Для

корректного распределения литотипов в межскважинном пространстве строение трехмерной сетки должно соответствовать концептуальной модели осадконакопления и отражать морфологию моделируемых отложений. Поэтому при построении структурного каркаса трехмерных моделей пластов группы ПК необходимо учитывать выделенные границы несогласий. В частности, для данной модели тип нарезки слоев следует задавать пропорциональный границам сиквенса со срезанием ячеек в его кровле эрозионной поверхностью SB_8 (рисунок 54). Такая нарезка слоев модели сходится с предложенными представлениями о геологическом строении пластов.

Построенный каркас модели включает в себя интервал продуктивных пластов $ПК_{18}$ - $ПК_{21}$. Для определения в границах модели выделенных системных трактов в модуле Geometrical modeling был создан дискретный куб индексов, где LST присвоено значение 1, TST – 2, HST - 3. Таким образом, после построения трехмерной сетки, каждой ячейке в 3D гриде задан индекс, соответствующий одному из выделенных пластов и определенному системному тракту.

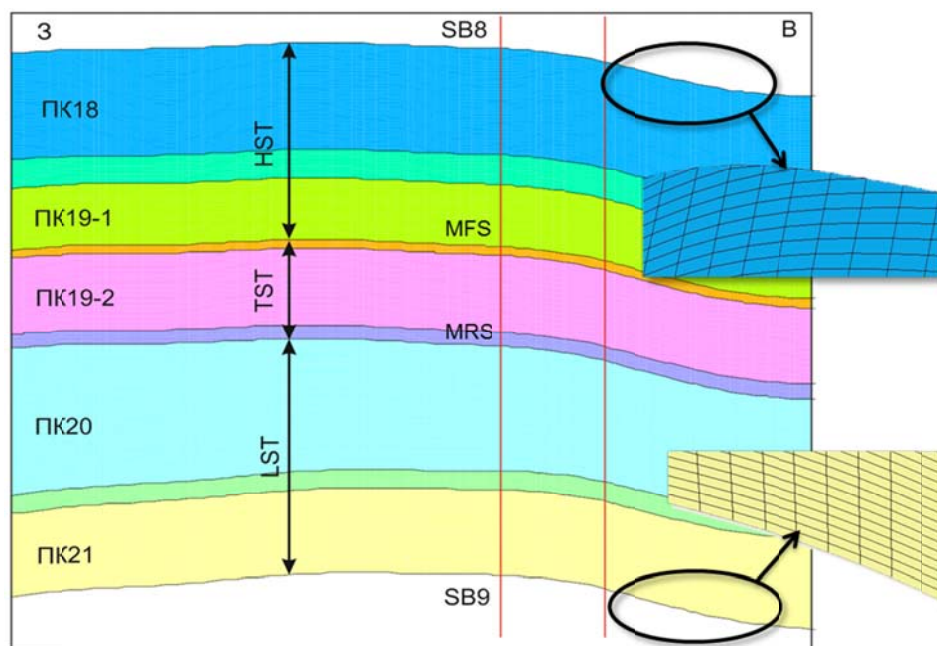


Рис. 54. Учет эрозионных поверхностей при нарезке слоев
3D геологической модели пластов $ПК_{18}$ - $ПК_{21}$.

Для всех пластов был выбран тип сетки Corner point, позволяющий варьировать размер ячеек и встраивать модель разломов. Размеры модели составили 442x612x251 при общем количестве ячеек равном 68 млн.

На начальном этапе 3D моделирования выполнялось осреднение скважинных значений пластовых параметров на данные сетки (Blocked wells), а также геостатистический анализ, который включает в себя расчет вариограмм и ГСР.

Вариограммы используются в трехмерном моделировании как мера пространственной изменчивости параметров пласта. Они характеризуют неоднородность изучаемого интервала разреза и описывают уменьшение величины пространственной корреляции между значениями выборки по мере увеличения расстояния между ними. Вне радиуса корреляции данные не коррелируются.

В случае недостаточно однородного фациального распределения, характерного для пластов ПК, вариограммный анализ часто оказывается непредставительным. Выделение в моделируемом интервале системных трактов дает возможность установить для них разные ранги при построении вариограмм, что увеличивает вероятность получения корректного результата. Так, рассчитанные для системного тракта низкого стояния уровня моря вариограммы показывают геометрическую анизотропию с наибольшим радиусом в направлении главной оси, что объясняется преимущественно широтным направлением основных палеорусел рассматриваемой площади. Кроме того, по результатам детальной корреляции скважин можно отметить, что отложения LST имеют более высокую связность. Поэтому, для моделирования относительно мощных прослоев песчаника тракта систем LST необходимо задавать высокие горизонтальные ранги вариограмм, в особенности для главного (параллельного азимуту) направления (рисунок 55, а). Для системного тракта HST характерно более линзовидное строение геологических тел с высокой долей пойменных фаций, соответственно, ранги вариограмм необходимо задавать меньше, чем для LST (рисунок 55, б).

Таким образом, перенесенные на 3D сетку данные скважин геостатистически распределяются отдельно для каждого литотипа путем построения вертикальных и горизонтальных вариограмм, описывающих пространственное соотношение моделируемых параметров. Выполненный вариограммный анализ позволил достоверно описать пространственную зависимость между значениями в ячейках модели. Использование полученного распределения при построении 3D модели способствует воспроизведению концептуальной модели осадконакопления и корректному распределению пластовых параметров на неразбуренных участках площади.

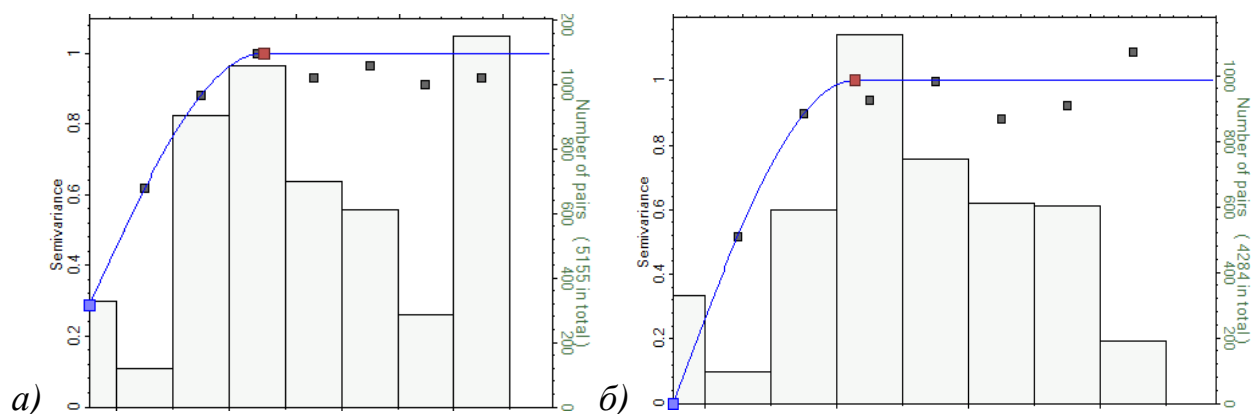


Рис. 55. Вариограммы по главному направлению (parallel to azimuth), рассчитанные для системных трактов а) LST б) HST.

Для оценки распределения литотипов построен геолого-статистический разрез. В рассматриваемом интервале ГСР рассчитан по всем скважинам, используемым в модели. Неоднородность строения сиквенса подтверждается относительным содержанием литотипов на различных стратиграфических интервалах. На полученном разрезе заметно чередование преимущественно песчаных интервалов с пиками пойменных глин, что дает возможность предсказать вертикальную связность между песчаными пластами на каждом стратиграфическом уровне (рисунок 56).

Построенный геолого-статистический разрез подтверждает проведенную интерпретацию; его использование в качестве 1D тренда при

расчете параметра литологии позволяет количественно распределить литотипы в пределах моделируемых пластов.

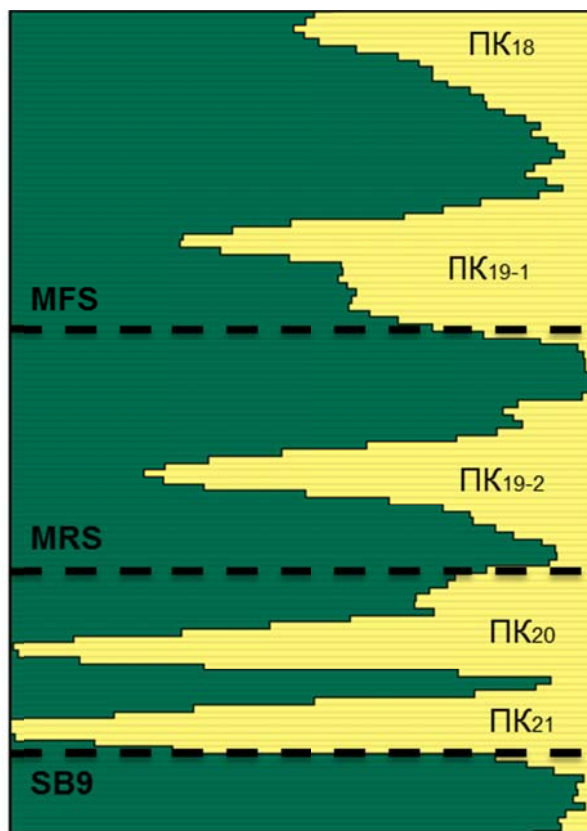


Рис. 56. Геолого-статистический разрез, используемый при построении куба литологии 3D геологической модели. Желтым цветом изображена доля песчаных прослоев, зеленым – заглинизированных.

Заполнение ячеек геологической модели значениями проходило в 2 шага - стохастическое моделирование литотипов на основе скважинных данных и петрофизическое моделирование параметров пластов.

Первый шаг является наиболее значимым, так как полученный куб литологии представляет распределение коллекторов в продуктивных пластах. Детерминистические методы моделирования параметра литологии не учитывают форму песчаных тел [102], поэтому для трехмерного распределения литотипов в отложениях аллювиального генезиса используются стохастические подходы – пиксельное, объектное моделирование или метод многоточечной статистики (MPS) [51]. Выбор

надлежащей техники моделирования зависит от полноты исходных данных. Стохастические методы дают равновероятные реализации распределения литологической неоднородности пластов, а также позволяют задавать реалистичные параметры для моделирования таких геологических тел как шнурковые русла и сделать прогноз их пространственного распространения. Форма и связность коллекторов в объеме модели задается с помощью трендов, построенных на основе палеогеографических карт для каждого системного тракта.

Ввод дополнительных границ позволил использовать сиквенс-стратиграфический подход при построении модели, а также расширить возможности применения стохастических методов. В данной работе, расчеты параметра литологии выполнены с использованием метода Sequential indicator simulation (SIS), который позволяет получить равновероятные реализации геологической неоднородности в продуктивных пластах. В модели ячейкам, включающим интервалы коллекторов, присваивалось значение 1, неколекторов - 0. Построение выполнено отдельно по выделенным зонам, с использованием скважинных данных, вертикального (1D) тренда – ГСР и вариограмм. Для учета концептуальной модели при распределении эффективных толщин в качестве горизонтального (2D) тренда использовались карты песчанистости.

Для распределения коллекторских свойств была выбрана модель замещения, которая, как правило, используется для пластов континентального генезиса с прерывистыми коллекторами [59] - на линии замещения эффективные толщины интерполируются без изменения значений, а параметрам пористости и насыщенности присваиваются граничные значения.

Контроль качества созданных параметров литологии осуществлялся путем сопоставления статистических данных распределения литологии по скважинам, осредненным ячейкам и результирующему кубу литологии. Кроме этого, проводилось сопоставление ГСР по осредненным на ячейки

скважинным данным и по слоям куба литологии, а также оценивалась степень воспроизведения закладываемых трендов при помощи кросс-плотов. Итоговый разрез куба литологии представлен на рисунке 57.

Использование предложенного подхода при выполнении трехмерных построений дало возможность воспроизвести концептуальную модель осадконакопления, что, в результате, повысило качество прогнозных возможностей и надежность геологической модели. Построенный 3D параметр литологии характеризует распределение коллекторов и покрышек – проведенный анализ показал преимущественное уменьшение мощности и связности коллекторов вверх по разрезу. Неопределенности построенной геологической модели были учтены путем создания нескольких равновероятных реализаций. Полученные реализации могут использоваться для оценки влияния различного распределения коллекторов на гидродинамическое моделирование, которое помогает оптимизировать разработку месторождения.

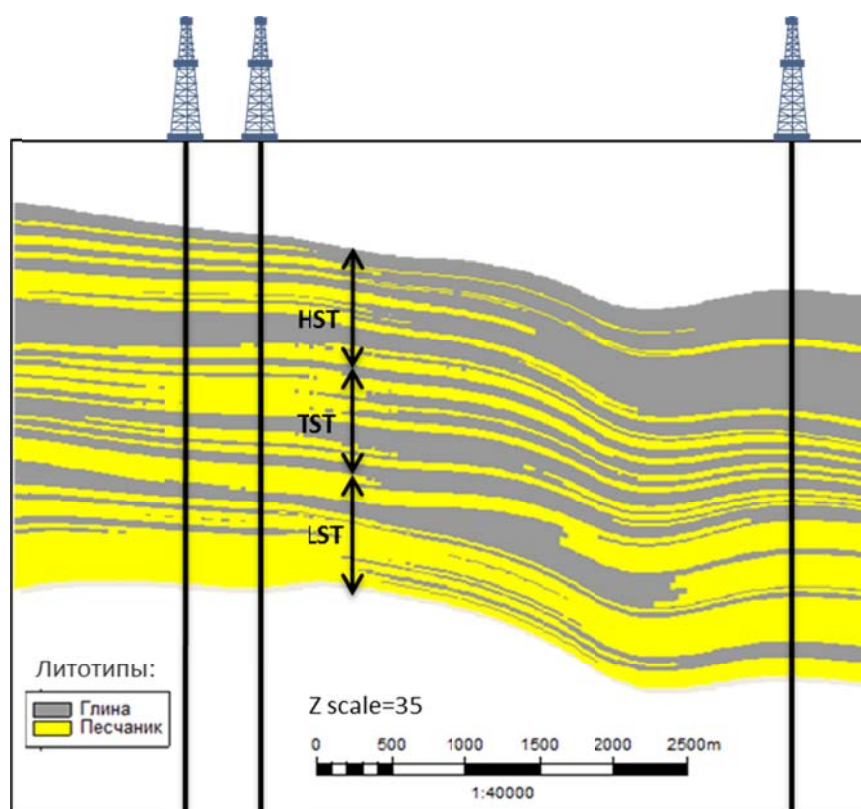


Рис. 57. Разрез куба литологии 3D геологической модели покурской свиты, ограниченной эрозионными поверхностями.

На следующей стадии создания трехмерной геологической модели, после расчета куба литологии, было выполнено построение кубов петрофизических свойств. Пространственное распределение пластовых параметров также проводилось с использованием геостатистического моделирования с учетом принятой концептуальной модели осадконакопления.

Петрофизические свойства одной и той же фации изменяются в зависимости от того, на каком этапе формирования сиквенса проходила аккумуляция отложений, что объясняется разной скоростью седиментации и степенью сохранности осадков. Поэтому параметры пористости и проницаемости в пределах цикла осадконакопления сильно различаются; в основном, наблюдается тренд уменьшения петрофизических свойств вверх по разрезу, который задается вертикальными рангами вариограмм и ГСР.

При построении трехмерного параметра пористости использовался метод Sequential Gaussian Simulation (SGS). Распределение пористости осуществлялось отдельно для каждой зоны с применением трансформации пористости к нормальному распределению (Normal Score). При распределении параметра пористости использовались вариограммы; величины вертикальных и горизонтальных значений их рангов задавались сопоставимые со значениями, использовавшимися при построении куба литологии. Выявленная высокая дисперсия петрофизических значений является следствием наличия в моделируемых пластах различных фаций - коллекторы с наилучшими ФЕС сосредоточены в интервале системного тракта LST. Контроль качества построения куба пористости выполнялся путем сравнения минимальных, максимальных и средних значений исходных скважинных данных, полученных при интерпретации ГИС с величинами, полученными по 3D модели.

Куб проницаемости строился по петрофизическим зависимостям от коэффициента пористости k_p , полученным по данным исследований керна:

$$k_{np} = 0,17 * e^{(0,347 * (1,223 k_n - 15,56))}.$$

Для определения коэффициента нефтегазонасыщенности использовалась зависимость параметра насыщения от коэффициента водонасыщенности $P_n = f(K_g)$. Построение куба нефтегазонасыщенности аналогично пористости производилось с использованием стохастического метода последовательного Гауссового моделирования (SGS) отдельно для каждой зоны. В итоге были построены кубы, учитывающие скважинные данные и полученные тренды, которые анализировались на соответствие критическим значениям в области залежей и ниже уровня контактов. Контроль качества построения осуществлялся путем сравнения минимальных, максимальных и средних значений по скважинным данным и по построенным кубам.

Подсчет геологических запасов на основе трёхмерной геологической модели проводился объёмным методом отдельно для каждого пласта в пределах ячеек, являющихся коллекторами. В расчете геометрического объема использовались ячейки, центр которых расположен гипсометрически выше поверхностей принятых контактов. За счет пересмотра строения продуктивных пластов ПК начальные геологические запасы газа увеличились на 3.1 %, нефти - на 7.2 %. О достоверности полученных результатов говорит то, что по моделируемым пластам величины запасов и подсчетные параметры, полученные при 3D геологическом моделировании, отличаются менее чем на 5% при их сопоставлении с запасами, рассчитанными по 2D моделям.

Таким образом, исследование было завершено построением геологической модели пластов покурской свиты, основанной на концепциях сиквенс-стратиграфии и геостатистики. Сложность геологического и фациального строения аллювиальных отложений делает затруднительным детальный прогноз структуры продуктивных пластов покурской свиты, который необходим для построения надежных геологических моделей. Использование подхода сиквенс-стратиграфии помогает решить эту проблему путем выделения в разрезе несогласных поверхностей,

дифференцирующих толщу пород на сиквенсы. Выполненная интерпретация и построенная 3D модель в дальнейшем будут использованы при проведении работ по подсчету запасов. Разработки данного исследования способствуют доизучению покурской свиты и выполнению однотипной индексации пластов ПК и могут быть использованы для изучения разреза свиты на других месторождениях с аналогичными условиями осадконакопления.

Основанное на выполненной интерпретации геологическое моделирование имеет ряд преимуществ. Во-первых, выделение эрозионных поверхностей помогает определить принадлежность геологических тел к определенному циклу осадконакопления, за счет чего можно избежать ошибочной корреляции пластов вразрез с несогласными границами. Во-вторых, разделение толщи пород свиты на сиквенсы и слагающие их системные тракты при построении геологической модели дает возможность сделать прогноз распределения фаций, что позволяет использовать концептуальную модель, точно отражающую строение аллювиальной системы, не только на качественном, но и на количественном уровне, и определить какие части разреза представлены коллекторами с наилучшими ФЕС [57]. И, в-третьих, определение распределения пластовых параметров формирует критерии для применения геостатистического моделирования, предполагающего статистическую однородность моделируемой области, что позволяет задать статистические зависимости отдельно для каждого выделенного интервала.

Построенная геологическая модель является основой для создания надежной гидродинамической модели. Качественно построенная фильтрационная модель дает возможность достоверно оценить влияние геологической неоднородности на продвижение флюидов и выработку запасов, а также снизить риски при бурении и определить потенциальные для разработки пласты [21]. Различия в подходах к построению 3D геологических моделей оказывают существенное влияние на гидродинамическое моделирование и, следовательно, на планирование

системы разработки, выбора расположения скважин, интервалов перфорации и расчет показателей добычи [37]. Поэтому, для учета вышеперечисленных факторов, построение геологических моделей пластов покурской свиты необходимо выполнять с использованием предложенной методики дифференциации разреза (рисунок 58).

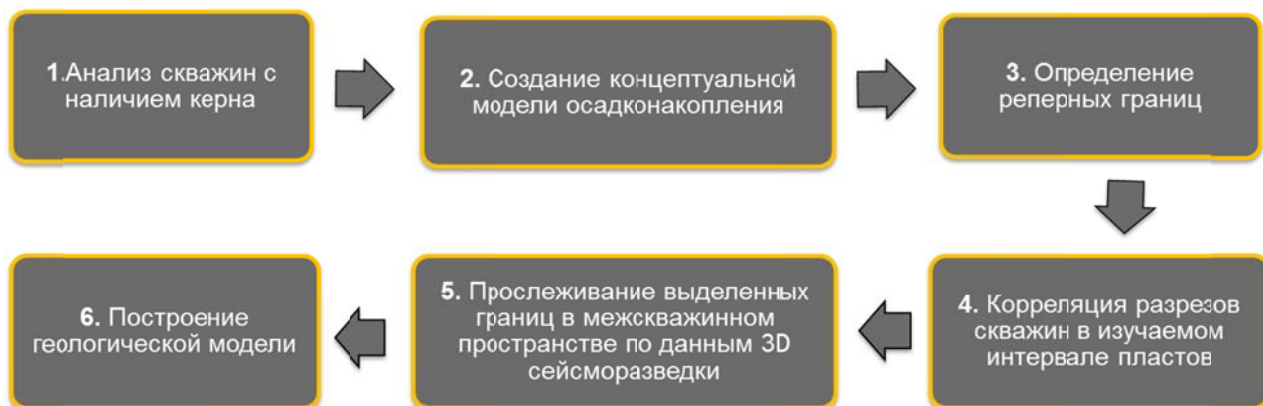


Рис. 58. Схема выполнения работы.

Заключение

По результатам выполненной работы сделаны следующие выводы.

1. В рамках диссертационной работы построена концептуальная сиквенс-стратиграфическая модель терригенных континентальных отложений. Сформированы основные критерии и возможности применения метода суммирования каротажных диаграмм, создан и оптимизирован алгоритм выполнения данной операции (рисунок 34).

2. Использование предлагаемого подхода позволяет увеличить достоверность корреляции скважин и выявить закономерности чередования пород по разрезу за счет построения подробного стратиграфического каркаса.

3. Прослеживание поверхностей несогласий в волновом поле по данным 3D сейсморазведки уточняет структурные построения и прогноз наличия и протяженности коллекторов и покрышек в межскважинном пространстве и за пределами разработки.

4. Представленная методика апробирована на месторождениях Западной Сибири, что дало возможность проследить выделенные границы региональных стратиграфических несогласий по региону (рисунки 26, 47).

5. Выполненная интерпретация использовалась на этапе построения трехмерной геологической модели, что позволило построить трехмерную сетку с учетом эрозионных поверхностей несогласия, точнее отразить распределение коллекторов и получить достоверные данные по сообщаемости и протяженности песчаных тел, которые важны при планировании разработки.

Список литературы

Опубликованная литература

1. Александрова Г. Н., Космынин В. А., Постников А. В. Стратиграфия и условия седиментации меловых отложений южной части Варьеганского мегавала (Западная Сибирь) // Стратиграфия. Геологическая корреляция, том 18. - 2010. - № 4. - С. 65–91.
2. Атлас литолого-палеогеографических карт юрского и мелового периодов Западно-Сибирской равнины. / Под ред. И.И. Нестерова – Тюмень. ЗапСибНИГНИ. - 1976. – 86 с.
3. Афонин И. В. Строение и гидрогеохимические условия формирования покурской свиты на примере одного из месторождений Нижневартовского свода (Западная Сибирь). // Сборник материалов. Томск: ТГУ. - С. 352-354.
4. Афонин И. В., Тишин П. А., Татьянин Г. М. и др. Петрогеохимическая неоднородность и расчленение верхнесеноманских отложений Ван-Еганского месторождения (Западная Сибирь). // Вестник Томского государственного университета. - 2014. - № 387. - С. 217–224.
5. Багаутдинов А. К., Барков С. Л., Белевич Г. К. и др. / Геология и разработка крупнейших и уникальных нефтяных и нефтегазовых месторождений России. - М.: ВНИИОЭНГ. - 1996. - Т. 2.- 352 с.
6. Барабошкин Е. Ю. Практическая седиментология (терригенные коллетора) / Томск. Изд-во ЦППС НД. - 2010. - 154 с.
7. Бейзель А. Л. Инверсионная модель циклогенеза в категориях секвентной стратиграфии. // VII Всероссийское литологическое совещание 28-31 октября 2013. - С. 74-77.
8. Белозёров В. Б. Роль седиментационных моделей в электрофациальном анализе терригенных отложений. // Геология нефти и газа. - Томский Политехнический Университет. - 2001. – С. 116-123.
9. Беробнев М. О., Мятчин О. М. Условия формирования и углеводородная продуктивность покурских отложений Русско-Часельского

мегавала. // Российская конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Планета Земля: актуальные вопросы геологии глазами молодых ученых и студентов». – М. - 2009. – С. 7-11.

10. Берман Л. Б., Давыдова Т. В., Жабров И. П. Выделение эксплуатационных горизонтов в пределах сеноманской залежи месторождения Уренгой // Геология нефти и газа. – 1979. - №1. – С. 27-32.

11. Бетхер О. В., Афонин И. В., Ивлев Д. А. Литофациальный анализ и палеогеографические реконструкции верхнесеноманских отложений горизонта ПК1-2 (Покурская свита, Ван-Еганское месторождение, Западная Сибирь). // Вестник Томского государственного университета. - 2014. - № 386. - С. 201–208.

12. Ботвинкина Л. Н., Алексеев В. П. Цикличность осадочных пород и методика ее изучения. – Свердловск: Изд-во Урал. Ун-та, 1991. –336 с.

13. Виноградов А. П. Палеогеография СССР. Объяснительная записка к Атласу литолого-палеогеографических карт СССР (в четырех томах). Том 3. М.: Недра. 1975. – 200 с.

14. Габдуллин Р. Р., Копаевич Л. Ф., Иванов А. В. Секвентная стратиграфия: Учебное пособие. – М.: МАКС Пресс, 2008. – 113 с.

15. Гайдукова А. А. Геологическое строение и состояние разработки сеноманской залежи Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения. // Известия ВУЗов, Нефть и газ № 4. - 2009. - С. 13-19.

16. Горюхин Е. Я., Колпаков В. Я., Сильвестров В. Н. Новые данные по стратиграфии меловых и палеогеновых отложений северной части Обь-томского междуречья. / Стратиграфия и палеонтология Сибири и Урала. / Под ред. А. Р. Ананьева. - Томск: Издательство Томского Университета, 1978. – С. 56-57.

17. Гребенников С. Е. Анализ строения сеноманских отложений Надым-Пур-Тазовского региона. // Газовая промышленность, №3. - 2007. – С. 32-36.

18. Дорошенко А. А., Романов А. В., Новоженин М. А. и др. Многовариантное трехмерное геологическое моделирование сеноманской залежи Северо-Каменномысского месторождения. // Проблемы развития газовой промышленности Сибири: Сборник тезисов докладов XVII науч.-практич. конф. молодых ученых и специалистов ТюменНИИгипрогаза. – Тюмень: ООО «ТюменНИИгипрогаз». - 2012. – С. 13-15.

19. Дряхлова Е. А. Опорные скважины СССР. Покурская опорная скважина (Тюменская область): труды / Е. А. Дряхлова, А. А. Розин. - 1961. - 112 с.

20. Дюкалов С. В. Опыт расчленения и корреляции сеноманских разрезов газовых месторождений Западной Сибири / С. В. Дюкалов, А. Н. Кирсанов // Геологическое моделирование газовых месторождений: сб. науч. тр. – М.: ВНИИГАЗ, 1986. – С. 43-53.

21. Ендалова Ю. В., Шарапова Е. С., Иванцов Н. Н. Реализация подхода сиквенс-стратиграфии в 3D геологической модели Русского месторождения. // Нефтяное хозяйство. - № XX. - 2010. - С. 2-6.

22. Ермаков В. И., Миронова С. В., Шаля А. А. Циклический анализ сеноманской продуктивной толщи месторождения Медвежье. // Геология нефти и газа, 1978. - С. 17-22.

23. Ермаков В. И., Шаля А. А. Условия образования продуктивной толщи сеномана на севере Тюменской области // Геология нефти и газа. - 1982. - №1. – С. 40-45.

24. Жемчугова В. А. Резервуарная седиментология. - 2012. - 383 с.

25. Закревский К.Е. Геологическое 3D моделирование М.: ООО «ИПЦ „Маска“», 2009 — 376 с.

26. Зорина С. О. О влиянии глобальной эвстазии и региональной эпейрогении на формирование нижнемеловых отложений на востоке Русской плиты // Меловая система России и ближнего зарубежья: проблемы стратиграфии и палеогеографии: Мат-лы Четвертого Всерос. Совещания. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. - С.87-90.

27. Иванова М. М., Гутман И. С., Титунин Е. П. Промыслово-геологические особенности Русского газонефтяного месторождения // Геология нефти и газа. – 1989. - №3. – С. 15-19.
28. Карнаухов С. М., Скоробогатов В. А., Кананыхина О. Г. Эра сеноманского газа: «От рассвета до заката». // Вести газовой науки. - № 3 (8). - 2011. - С. 15-25.
29. Карогодин Ю. Н. Системная модель стратиграфии нефтегазоносных бассейнов Евразии. В 2 т. Т. 1: Мел Западной Сибири. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2006. – 166 с.
30. Карогодин Ю. Н. Закономерности локализации гигантских скоплений газа Западной Сибири. // Геология и геофизика т. 45, №1. - 2004. - С. 49-54.
31. Карагодин Ю.Н. Седиментологическая цикличность. М.: Недра, 1980. 242 с.
32. Кислицын Е. Н, Корольков А. Т. Секвентная стратиграфия в нефтегазовой отрасли. // Вестник Иркутского университета: ежегод. науч.-теорет. конф. аспирантов и студентов: материалы. – Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2010. – 598 с.
33. Кислухин В. И., Кислухин И. В., Шрейнер А. А. и др. Нефть и газ сеноманских отложений севера Западной Сибири. // Известия ВУЗов, Нефть и газ № 1, 2010. - С. 6-11.
34. Козлова И. А., Кичигин Е. Н. Особенности геологического строения сеноманской газовой залежи Еты-Пуровского месторождения. // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. № 9, 2013. – С. 27-33.
35. Конторович А. Э., Нестеров И. И., Салманов Ф. К. и др. Геология нефти и газа Западной Сибири. М., Недра. 1975. – 680 с.
36. Комардинкина Г. Н. Особенности строения сеноманской продуктивной толщи Ямбургского месторождения. – М.: ИГИРГИ. - 1975. – 5 с.

37. Косентино Л. Системные подходы к изучению пластов. / Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2007. – 375 с.
38. Кудаманов А. И., Потапова А. С., Карих Т. М. Специфика седиментации сеноманских отложений на примере Русского месторождения. // Нефтяное хозяйство. - 2013. - №11. – С. 30-34.
39. Малышев Н. А., Никишин А. М. Геология для нефтяников. Изд.2. / МГУ им. М. В. Ломоносова М.: Регулярная и хаотическая динамика. - 2011. - 359 с.
40. Маркушина О. С. Модель геологического строения сеноманской залежи углеводородов (пласты ПК1-6) Северо-Комсомольского месторождения // Горные ведомости, №5. - 2006. – С. 40-46.
41. Маркушина О. С. Дизъюнктивные нарушения и их влияние на нефтегазоносность апт-альб-сеноманского комплекса (север Западной Сибири) // Горные ведомости № 2, 2013. – С. 46-55.
42. Маслина М. Н., Штейнле Н. Ю., Горский О. М. и др. Возможность уточнения геологических моделей газовых сеноманских залежей по материалам сейсморазведочных работ МОГТ 3D на примере Парусовой группы месторождений. // Проблемы нефтегазового комплекса Западной Сибири и пути повышения его эффективности. - Тюмень, 2011. – С. 108-118.
43. Монастырев Б. В., Монастырев С. Б., Улыбин Д. В. и др. Построение литолого-фациальных моделей залежей. // Горные ведомости №5, 2014. – С. 54-62.
44. Муромцев В. С. Электрометрическая геология песчаных тел – литологических ловушек нефти и газа. - Л.: Недра. - 1984. - 259 с.
45. Наливкин В. Д., Сверчков Г. П. и др. Роль процессов преобразования органического вещества и нефтей в распределении нефтяных и газовых залежей Западной Сибири. – Геология нефти и газа, 1969, №9. - С. 6-12.
46. Нежданов А. А. Геологическая интерпретация сейсморазведочных данных: Курс лекций. – Тюмень: ТюмГНГУ. - 2000. – 131 с.

47. Нежданов А. А. Актуальные проблемы нефтегазовых бассейнов / Под ред. Карогодина Ю. Н. - Новосибирск: Изд-во НГУ, 2003. – С. 43-51.
48. Нестеров И. И., Кулахметов Н. Х. и др. Время формирования залежей нефти и газа на севере Западной Сибири. – М., 1976. – С. 30-35.
49. Островская А. В. Методика и результаты детальной корреляции разрезов сеноманской продуктивной толщи Ямбургского месторождения // Проблемы развития газовой промышленности Сибири : сб. тез. докл. XVII науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов. - Тюмень, 2012. - С. 46-47.
50. Пейтон. Ч. Сейсмическая стратиграфия (Использование при поисках и разведке нефти и газа). Том 1. Пер. с англ. - М.: Издательство «Мир», 1982. – 375 с.
51. Пинус О. В., Пайразян К. В. Особенности геологического моделирования продуктивных пластов флювиального происхождения // Геология нефти и газа. - 2008. - № 1. – С. 25-38.
52. Плешкова Е. А. Учет характера неоднородности продуктивной толщи Уренгойского месторождения при построении геологической модели. // Вести газовой науки. – 2012. - №2. – С. 35-42.
53. Пороскун М. В. Геологическая неоднородность и методика выделения подсчетных объектов в сеноманском продуктивном горизонте. // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, № 12. - 2003. – С. 4-10.
54. Рединг Х. Обстановки осадконакопления и фации: в двух томах / Под ред. Тимофеева П. П. Пер. с англ. - М.: Мир. 1990. - 352 с.
55. Рейнек Г. Э., Сингх И. Б. Обстановки терригенного осадконакопления (с рассмотрением терригенных кластических осадков). Второе исправленное издание. / Под ред. А. В. Коченова. Пер. с англ. - М.: Недра. 1981. – 440 с.

56. Ремизов В. В., Крылов Н. А., Иванова Н. Г. Запасы месторождений, ожидаемых к открытию в сеноманском комплексе Западной Сибири. // Газовая промышленность, №1. - 2002. – С. 77-81.

57. Розбаева Г. Л., Евдошук А. А., Белкина В. А. Обоснование поверхности несогласия по данным керна и каротажа в задаче геомоделирования // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2013. - №2. - С. 21-25.

58. Самохин А. А. Тектонически экранированные сеноманские и нижележащие залежи углеводородов северных и арктических областей Западной Сибири, особенности и прогноз из пространственного распределения. // Сборник материалов VIII Всерос. науч.-техн. конф. студ., асп. и мол. ученых. Красноярск. - 2012.

59. Светлов К. В., Смагина Т. Н., Алимчанова Л. Х. Геологическое моделирование неоднородных прерывистых терригенных коллекторов. // 16-я научно-практическая конференция «Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала ХМАО – Югры». Ханты-Мансийск. – 2012. – С. 196-204.

60. Сергеева Ж. И. О возможности расчленения апт-альб-сеноманских отложений севера Тюменской области. // Проблемы освоения нефтегазовых ресурсов Западной Сибири, Тюмень, 1989. – С. 51-55.

61. Скробогатов В. А., Радчикова А. М., Рыбальченко В. В. Геостатические закономерности распределения месторождений углеводородов в осадочном чехле Западно-Сибирской мегапровинции // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. - № 3-4. - 2008. – С. 9-17.

62. Скрынникова А. В., Шубин А. В., Фомин А. Е. и др. Изучение фациальных комплексов средней юры Западной Сибири по 3D сейсмическим данным. // Труды нефти и газа имени И.М. Губкина. - № 3 (264). - 2011. - С. 18-27.

63. Строганов Л. В. Некоторые особенности геологического строения и генерации газа меловых отложений Ямала. // Геология нефти и газа, №5. - 1988. – С. 16-19.

64. Стратиграфический кодекс. Издание второе, дополненное. Спб., Межвед. страт. ком. - 1992. - 120 с.

65. Стратиграфический словарь мезозойских и кайнозойских отложений Западно-Сибирской низменности. Л., «Недра», 1978. – 183 с.

66. Ульмасвай Ф. С., Пунанова С. А., Виноградова Т. Л. Категории крупности сеноманских углеводородных скоплений северных регионов Западной Сибири как отражение их структурных особенностей. // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. - № 4. - 2008. – С. 4-9.

67. Филиппович Ю. В. Некоторые аспекты стратиграфического расчленения мезозоя Западной Сибири // Вестник недропользователя ХМАО. - ООО «Издательский Дом «ИздатНаукаСервис». - №8, 2002.

68. Хэллем Э. Интерпретация фаций и стратиграфическая последовательность / Под ред. Найдина Д. П. Пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – 328 с.

69. Черданцев С. Г., Огнев Д. А., Кириченко Н. В. Неотектоника севера Западно-Сибирского региона // Горные ведомости № 9, 2013. – С. 64-73.

70. Чернова О. С. Литолого-фациальный и формационный анализ нефтегазоносных толщ: учебное пособие по короткому курсу. - Томск: Изд-во ЦППС НД, 2009. – 250 с.

71. Шапорина М. Н., Казаненков В. А. Геологическое строение и особенности распространения залежей УВ в отложениях апт-альб-сеномана западной части Надым-Пурского междуречья. // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. Новосибирск: СГГА. - 2014. - С. 210-214.

72. Шилов Г. Я. Учет литофациальных особенностей разреза при интерпретации материалов ГИС (на примере ПК-свиты Северо-

Каменномысского газового месторождения). // Каротажник, №7 (184). – Тверь, 2009. - С. – 31-43.

73. Шишлов С. Б. Структурно-генетический анализ осадочных формаций. – СПб.: С.-Петербург. горн. ин-т; ЛЕМА, 2010. – 276 с.

74. Amorosi A., Sarti G. Sequence stratigraphy of alluvial-nearshore transition depositional systems: insights from the Eocene Montserrat Conglomerates of Eastern Spain // Bologna, GeoActa, vol. 9. - 2010. - P. 31-41.

75. Beerbower J. R. Cyclothems and cyclic depositional mechanisms in alluvial plain sedimentation // Bull. Kans. University: Geol. Surv. 169. – 1964. – P. 35-42.

76. Bhattacharya J. P. Practical problems in the application of the sequence stratigraphic method and key surfaces: integrating observations from ancient fluvial–deltaic wedges with Quaternary and modelling studies. // Sedimentology № 58, 2011. – P. 120–169.

77. Bhattacharya J. P. Sequence Stratigraphy: History, Theory and Applications // AAPG SW Section Short Course. University of Houston. - 2007. - 402 p.

78. Blackburn G. Blackburn Reports: Petroleum Geology of the West Siberian Basin, The Cretaceous Period. / www.rogtecmagazine.com. – P. 82-94.

79. Blackburn G. Blackburn Reports: Development of the West Siberian Basin during the Mesozoic and Tertiary: Palaeogeography and Stratigraphy. / www.rogtecmagazine.com. - P. 14-24.

80. Blum M. D., Tornqvist T. E. Fluvial responses to climate and sea-level change: a review and look forward. // Sedimentology №47, 2000. – P. 2-48.

81. Carter R. M. Two models: global sea-level change and sequence stratigraphic architecture. // Sedimentary Geology, № 122. - 1998. – P. 23–36.

82. Catuneanu O. Sequence stratigraphy of clastic systems: concepts, merits, and pitfalls. // Journal of African Earth Sciences. - 2002. - №35. - P. 1–43.

83. Catuneanu O., Zecchin M. High-resolution sequence stratigraphy of clastic shelves II: Controls on sequence development. // *Marine and Petroleum Geology*. - №39. - 2013. - P. 26-38.

84. Catuneanu O. et al. Towards the Standardization of Sequence Stratigraphy. // *Papers in the Earth and Atmospheric Sciences*. University of Nebraska. - № 1-1-2009. - 35 p.

85. Catuneanu O. et al. Sequence Stratigraphy: Methodology and Nomenclature // *Stuttgart: Newsletters on Stratigraphy*, Vol. 44/3, 2011. - P. 173–245.

86. Cotton T. B., Scardigno M. F., Boulton P. J. Petroleum geology of South Australia. / Vol. 2: Eromanga Basin. Chapter 7. Sequence Stratigraphy. – 11 p.

87. Embry A. F. Practical Sequence Stratigraphy. // *Canadian Society of Petroleum Geologists*, 2009. - 79 p.

88. Embry A., Johannessen E., Owen D. et al. Sequence Stratigraphy as a “Concrete” Stratigraphic Discipline. / *Report of the ISSC Task Group on Sequence Stratigraphy*. - 2007. – 104 p.

89. Emery D., Myers K. Sequence Stratigraphy. - London: Blackwell Science, 1996. - 269 p.

90. Fanti F., Catuneanu O. Fluvial sequence stratigraphy: The Wapiti Formation, West-Central Alberta, Canada. // *Journal of Sedimentary Research* v. 80, 2010. - P. 320–338.

91. Flint S., Aitken J., Hampson G. Application of sequence stratigraphy to coal-bearing coastal plain successions: implications for the UK Coal Measures. - London: Geological Society, Special Publications, 1995. - P. 1-16.

92. Hajek E. A., Heller P.L. Flow-depth scaling in alluvial architecture and nonmarine sequence stratigraphy: Example from the Castlegate Sandstone, Central Utah, USA. // *SEPM, Journal of Sedimentary Research*. – 2012. - v. 82.

93. Hanneman D. L., Wideman C. J. Continental Sequence Stratigraphy and Continental Carbonates. - The Netherlands: Elsevier, 2010. - P. 215 – 273.

94. Harilal, Biswal S. K., Bhagat S. et al. Mapping of Fluvial Meandering Channel system in Lower Eocene in Mumbai Offshore Basin, India: A New Play through Integration of Geology and 3-D Seismic Attributes. // *Geohorizons*, 2011. - P. 11-18.

95. Holz M., Troccoli E., Vieira M. Sequence Stratigraphy of Continental Rift Basins I: A Conceptual Discussion of Discrepant Models // *STRATI 2013*, Springer Geology. - Springer International Publishing. Switzerland, 2014. - P. 9-13.

96. Jennifer L. Preliminary regional sequence stratigraphic framework and characterization of potential fluvial reservoirs of the Upper Mesaverde Group, Uinta Basin, Utah. // Open file report, 569. Utah Geological Survey - a division of Utah Department of natural resources, 2010. - 39 c.

97. Jennings G. Facies Analysis, Sequence Stratigraphy and Paleogeography of the Middle Jurassic (Callovia) Entrada Sandstone: Traps, Tectonics, and Analog // Brigham Young University BYU Scholars Archive All Theses and Dissertations. - 2014 - Paper 4083.

98. Jerrett R. M., Flint S. S., Davies R. C. et al. Sequence stratigraphic interpretation of a Pennsylvanian (Upper Carboniferous) coal from the central Appalachian Basin, USA. // *Sedimentology*. - № 58. - 2011. – P. 1180–1207.

99. Karogodin Y. N. Suite as a stratigraphic unit: past, present and future. System analysis // *Geologiya i Geofizika*, Vol. 44, No. 7, 2003. - P. 726-738.

100. Kneller B., Dykstra M. Stratigraphic Development of Continental Slopes, Phase II; Consortium Proposal // University of Aberdeen. - 2007. – P. 1-7.

101. Leeder M. Sedimentology and Sedimentary Basins. // Oxford: Blackwell Science. - 1999. - 592 p.

102. Li X., Zhang J., Yuan Y. et. al. Sequence Stratigraphic Analysis and Integrated 3D Geological Modeling of M1 Block, Wenmingzhai Oil field, Dongpu Depression, China // *Central European Journal of Geosciences*, 5 (3). - 2013. - P. 374-386.

103. Miall A. Fluvial Depositional Systems. / Springer International Publishing. - Switzerland, 2014. – 309 p.
104. Neal J., Risch D., Vail P. Sequence stratigraphy – a global theory for local success. // Seismics. Newsletteronline. - 2013. - P. 51-62.
105. Nichols G. Sedimentology and Stratigraphy. Second Edition. / Blackwell Publishing. – 2009. – 419 p.
106. Nichols G. Stratigraphic analysis in continental basins: where sequence stratigraphy does not work. / Department of Earth Sciences, Royal Holloway University of London, - 51 p.
107. Postma G., Holbrook J. Fluvial sequence stratigraphy: does it work? // EP 2003-72101. - P. 1-11.
108. Van Strien W. Fluvial sequence stratigraphy [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: <http://www.epgeology.com/sedimentology-f19/fluvial-sequence-stratigraphy-t429.html>
109. Van Wagoner J. C., Mitchum Jr. R. M., Campion K. M. et al. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, core, and outcrops: concepts for high-resolution correlation of time and facies. / American Association of Petroleum Geologists Methods in Exploration Series 7, 1990. - 55 p.
110. Van Wagoner J. C., Posamentier H. W., Mitchum R. M. et. al. An overview of sequence stratigraphy and key definitions. // Sea Level Changes—An Integrated Approach, vol. 42. SEPM Special Publication, 1988. - P. 39–45.
111. Willis B., Bracken B., Payenberg T. Another Look at Fluvial Sequence Stratigraphy // Search and Discovery Article № 40624. AAPG, 2010. – 19 p.
112. Zecchin M., Catuneanu O. High-resolution sequence stratigraphy of clastic shelves I: Units and bounding surfaces. // Marine and Petroleum Geology. - №39. - 2013. – P. 1-25.
113. Zecchin M., Civile D., Caffau M. et al. Sequence stratigraphy in the context of rapid regional uplift and high-amplitude glacio-eustatic changes: the Pleistocene CutroTerrace (Calabria, southern Italy). // Sedimentology. - № 58, 2011. – P. 442-477.

Диссертационные работы

114. Космынин В. А. Циклостратиграфический анализ и литофациальное моделирование нефтегазоносных отложений покурской свиты южной части Варьеганского мегавала: дис. ... канд. г.-м. наук: 25.00.06. / Космынин Владислав Александрович. - М., 2011. – 292 с.

115. Нежданов А. А. Сейсмогеологический анализ нефтегазоносных отложений Западной Сибири для целей прогноза и картирования неантиклинальных ловушек и залежей УВ: дис. ... д-ра г.-м. наук: 25.00.12. / Нежданов Алексей Алексеевич. – Тюмень, 2004. – 458 с.

116. Пороскун М. В. Дифференциация разреза сеноманских отложений севера Западной Сибири в связи с разведкой, подсчетом запасов и разработкой залежей углеводородов: дис. ... канд. г.-м. наук: 25.00.12. / Пороскун Михаил Владимирович. - М., 2004. – 183 с.

117. Ramazanov R. Sequence Stratigraphic Interpretation Methods for Low-Accommodation, Alluvial Depositional Sequences: Applications to Reservoir Characterization of Cut Bank Field, Montana: Submitted to the Office of Graduate Studies of Texas A&M University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy. - 2006. - 154 p.

118. Sanabria D. I. Sedimentology and Sequence Stratigraphy of the Lower Jurassic Kayenta Formation, Colorado Plateau, USA: A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree Doctor of Philosophy. – Houston2, 2001. - 245 p.