

Министерство образования Российской Федерации  
Якутский государственный университет им. М.К. Аммосова  
А.Г. Берзин

## **Комплексирование геофизических методов**

(примеры решения геологических и нефтегазопроисловых задач)

направление 650 200 “Технология геологической разведки”,  
специальность 080400 “Геофизические методы поисков и разведки”

Учебное пособие

Якутск 2003

УДК 553.98 (075)

Утверждено научно-техническим советом университета

Рецензенты: профессор кафедры геофизики ЯГУ, д.г-м.н. Ю.А. Ним.; Берзин А.Г.

Б 48 Комплексирование геофизических методов (примеры решения геологических и нефтегазопроисловых задач) направление 650 200 “Технология геологоразведочных работ”, специальность 080400 “Геофизические методы поисков и разведки”: Учебное пособие, Якутск: Изд-во Якутского ун-та, 2003. с.

*Приведены примеры решения геологических и нефтегазопроисловых задач на основе комплексирования методов и комплексной интерпретации геолого-геофизических материалов в одном из "старых регионов" республики Саха (Я) – Вилюйской нефтегазонаосной области (ВНГО). Примеры собраны из научно-исследовательских и тематических работ автора и призваны иллюстрировать методические подходы к комплексному использованию информации и эффективность геологической интерпретации с привлечением современных компьютерных технологий. Пособие имеет целью выработку у студентов определенных навыков постановки геологических задач, выбора методических подходов и программно-алгоритмических средств для их решения на основе обработки и интерпретации многомерной информации*

Якутский государственный университет, 2003

## Оглавление

<b>Введение.....</b>	<b>3</b>
<b>Основы геофизических дисциплин в примерах решения геологических и нефтегазопроисловых задач .....</b>	<b>6</b>
<b>2. Геолого-геофизические модели территорий.....</b>	<b>7</b>
2.1 Геолого-геофизическая характеристика региона.....	7
2.2. Принципы построения моделей.....	9
2.3. Технологическая среда обработки и интерпретации данных.....	11
2.4 Примеры геолого-геофизических построений.....	13
2.4.1 Разломно - блоковая тектоника.....	13
2.4.2 Структурные модели.....	23
2.4.4 Кластерные модели месторождений.....	31
2.4.5 Геолого-математические модели месторождений.....	34
2.4.6 Спектрально-глубинные развертки скважинных наблюдений .....	39
<b>3. Решение геологических задач.....</b>	<b>43</b>
3.1. Изучение рельефа кристаллического фундамента.....	43
3.2. Установление тектонической природы и возраста структур осадочного чехла .....	51
3.3. Выявление некоторых закономерностей активизации разломных систем и эволюции осадочно-породных бассейнов на Востоке Сибирской платформы.....	62
<b>4. Прогнозирование новых потенциальных месторождений УВ.....</b>	<b>71</b>

4.1. В верхнепалеозойско-мезозойских отложениях .....	71
4.2. В рифейско-палеозойских отложениях.....	79

## Введение

Комплексирование методов разведочной геофизики является одним из ведущих направлений по повышению эффективности геофизических исследований для решения геологических задач, поиска и разведки месторождений нефти и газа. Вместе с тем к настоящему времени практически все нефтегазоперспективные площади на территории западной и восточной Якутии изучены сейсморазведкой МОВ и МОГТ, покрыты кондиционными съемками: грави и магнитометрии М 1:200 000 и крупнее; электроразведки ЗСБЗ М 1:200 000 и электроразведки МТЗ М 1:500 000. На некоторых площадях проведены аэрокосмические наблюдения. Такая ситуация характерна и для многих нефтегазоносных территорий России. По сути, решение многих геологических и нефтегазопроисловых задач лежит уже не в плоскости получения новых данных оптимального комплекса геофизических методов, а в плоскости максимально эффективного извлечения полезной геологической информации из комплекса накопленной геофизической и геологической информации.

Высказанный тезис не исключает возможную постановку рациональных объемов работ какой-либо современной модификации сейсморазведки - основного метода в комплексе геофизических исследований на нефть и газ. Поясним этот тезис. Бурное развитие структурной сейсморазведки, ее методик и техник полевых работ (МОВ- МОГТ2D- МОГТ3D-многокомпонетная сейсморазведка и др.), цифровой обработки и интерпретации сейсмических материалов привело к неуклонному росту геологической эффективности этого метода на всех стадиях геологоразведочного процесса. Наиболее ощутимый прирост геологической эффективности происходил на рубеже перехода сейсморазведки от МОВ к МОГТ. Однако этот переход, сопровождавшийся в первоначальный период потерей производительности и удорожанием работ, растянулся на десятилетия, что привело к появлению "старых регионов", в которых месторождения открыты еще сейсморазведкой МОВ.

К таким регионам в республике Саха (Я) относится Вилюйская нефтегазоносная область (ВНГО). Ее территория освещена глубоким бурением, покрыта сейсморазведкой МОВ и редкой сетью профилей МОГТ, грави- и магнитометрической съемками, измерениями МТЗ и частично аэрокосмическими наблюдениями. Из месторождений, открытых здесь в 60-х годах в верхнепалеозойско-мезозойских отложениях, осуществляется промышленная

добыча газа, составляющая основу газовой индустрии республики Саха (Я). В то же время фонд крупных подготовленных структур в нефтегазоносной области к настоящему времени исчерпан. Открытие новых месторождений углеводородного сырья в Вилюйской регионе имеет важное народно-хозяйственное значение для республики и для всего Дальнего Востока России.

Проблема актуальна и для других "старых регионов". Решение ее требует дальнейшего углубленного изучения геологического строения и развития нефтегазоносных территорий. Кардинальным подходом к дальнейшему повышению уровня знаний о геологическом строении таких регионов и открытию новых месторождений УВ могла явиться переотработка площадей современной сейсморазведкой МОГТ с последующей обработкой и интерпретацией данных на ЭВМ. Однако этот подход практически нереален и нецелесообразен в сложившихся экономических условиях. Высокая удельная стоимость (на единицу площади) современных сложных методик сейсмических исследований, способных решать задачи прогнозирования геологического разреза и мониторинга месторождений для оптимизации заложения скважин, конкурирует с затратами на глубокое бурение и переносит акцент их применения с региональных и поисковых стадий на разведочные и эксплуатационные этапы. Финансирование таких работ осуществляется не за счет госбюджета, а компаниями, осуществляющими разведку и эксплуатацию месторождений.

Другим направлением решения геологических и нефтегазопоисковых задач является использование современных методов обработки многомерной информации и компьютерных технологий для извлечения геологической информации из комплекса накопленных за многолетний период геолого-геофизических данных. Такие технологии сочетают в едином ключе знания специалиста-геофизика геологических моделей с большими возможностями программно-алгоритмического и формально-логического анализа огромных объемов накопленной информации и, прежде всего, картографической.

Компромиссным будет являться подход, при котором на первом этапе осуществляется научный прогноз геологического строения и перспектив площадей по комплексу уже имеющейся геолого-геофизической информации, а на втором - выборочная постановка рациональных объемов современной сейсморазведки МОГТ на приоритетных направлениях.

Важно подчеркнуть, что геологические и геофизические знания являются определяющей компонентой в эффективном решении геологических задач с помощью компьютерных технологий. Эти знания включают теоретические основы ряда дисциплин, как например: "Общая геология", "Геология нефти и газа", "Комплексирование геофизических методов", "Теоретические основы обработки", "Геоинформационные технологии при решении прикладных задач и др., а также определенные навыки постановки геологических задач и выбора методических подходов к их решению.

Целью данной работы, которая рассматривается как методическое пособие к перечисленным геофизическим курсам, является формирование таких навыков на примерах решения актуальных геологических и нефтегазо-поисковых задач в одном из "старых регионов", в качестве которого выбрана Вилуйская НГО.

## **1. Основы геофизических дисциплин в примерах решения геологических и нефтегазопоисковых задач**

Перечислим основные положения дисциплин, комплексы программ и компьютерные ГИС - технологии, которые используются в примерах решения геологических и нефтегазопоисковых задач.

### *1.1. Комплексирование геофизических методов при поисках месторождений нефти и газа*

Комплексирование геофизических методов на различных этапах и стадиях геологоразведочных работ. Физико-геологическая модель геологической среды, принципы формирования. Выбор рационального комплекса. Основные положения методики геологической интерпретации геофизических данных. Возможности геофизических методов при тектоническом районировании. Выделение разломов, блоков и интрузий по геофизическим данным, геофизические критерии выделения разломов. Поиски антиклиналей в неоднородных средах [ 15,19, 20, 22 ].

### *1.2. Теоретические основы обработки информации*

Вероятностно-статистический анализ ( одномерный и многомерный нормальный и логнормальный законы распределения; пользование табличным интегралом вероятности; построение функций и плотностей распределения и их экспериментальных аналогов- гистограмм и кумулятивных сумм).

Корреляционно-регрессионный анализ (построение линейных и нелинейных, парных и множественных регрессий и оценка тесноты их связи).

Логспектральный анализ (определение глубин залегания кромки магнитных и гравитационных масс); корреляционный анализ (построение двумерных функций авто и взаимной корреляции и их интерпретация, вычисление радиуса корреляции). Обнаружение аномалий (на основе оптимальной фильтрации и статистических гипотез, критерии принятия статистических гипотез).

Автоматическая классификация объектов-"распознавание образов"

(математическая модель и постановка задачи, алгоритмы классификации).

Кластерный анализ многомерной информации (неуправляемый и управляемый) [18, 19, 26, 27, 30, 31] .

### *1.3. Комплексы обрабатывающих геофизических и статистических программ*

KOSKAD (комплекс цифровой обработки и спектрально-статистического анализа, разработка МГРУ под руководством проф. Никитина А.А.), SFGM

(комплекс цифровой обработки и спектрального анализа карт, разработчик А. Голярчук, трест "Якутскгеофизика"); комплекс программ гравитационно-магнитного моделирования (Института тектоники и геофизики ДВО АН России); SINGULAR (интегральная система интерпретации потенциальных полей методами особых точек, разработчик Блох К.И. и др. Москва); КОМРа (комплекс программ корреляционного метода разделения гравитационных и магнитных аномалий, разработка МУНиГ им. Губкина); Квантиль-1 (Комплекс программ методики прогнозных оценок запасов месторождений, разработчик Ф.Н. Алексеев, ТГУ, г. Томск ); СГР ГИС ( программа спектрально-глубинных разверток данных ГИС, разработчики: Берзин А.Г., ЯГУ; Берзин С.А, АО "Якутскгеофизика") и др.

#### *1.4. Геоинформационные системы при решении прикладных задач*

Базы данных (организация Баз данных; система координат Гауса- Крюгера; типы данных: по форме представления, по содержанию и по геометрическому типу и их представление в системе; векторные и матричные формы представления карт; координатная привязка; логическая структура данных ; организация хранения данных). Анализ данных (статистики распределения признаков; статистика описания; исследование связей между признаками; оценка однородности класса объектов; кластерный анализ; поиск диагностических признаков объектов класса). Формирование признаков (получение исходного набора количественных и качественных признаков; формирование вторичных признаков; определение рабочих градаций признаков). Прогноз месторождений полезных ископаемых (задачи и способы прогнозирования; назначение обучающих и контрольных объектов; определение диагностического набора признаков; формирование оптимальной модели месторождения; общая схема решения прогнозной задачи; оценки - его достоверности и качества) [25].

*1.5. Геологическая информационная система ГИС-ПАРК (Прогноз, Анализ, Распознавание, Картографирование) (разработчик АО "Ланэко" г. Москва).*

## **2. Геолого-геофизические модели территорий**

### *2.1 Геолого-геофизическая характеристика региона*

Рассматриваемая территория Вилюйской НГО занимает внутреннюю зону Вилюйской синеклизы и центральную Предверхоянского краевого прогиба, которые в свою очередь являются частью более обширного Лено-Вилюйского осадочно-породного бассейна (ОПБ). В состав бассейна также входят Ленская и Алданская ветви Предверхоянского прогиба и Лено-Анабарский мегапрогиб.

По структурным признакам и составу отложений осадочный чехол территории разбивается на три толщи, границы между которыми приходятся на раздел между рифейско-нижнепалеозойскими, среднепалеозойскими и верхнепалеозойско-мезозойскими структурно-формационными комплексами

(СФК). Первый СФК сложен терригенно-карбонатными, кверху последовательно сменяющимися карбонатными ассоциациями формаций, второй – терригенными, карбонатными, вулканогенными и галогенными, третий – исключительно терригенными преимущественно угленосными, в основном, континентальными ассоциациями.

Лено-Вилуйский ОПБ располагается в пределах системы так называемых краевых депрессий востока Сибирской платформы, под которыми понимаются крупные отрицательные структуры, находящиеся между платформой и складчатыми областями Горного Таймыра и Западного Верхоянья. Глубокие депрессии центральной части Предверхоянского прогиба и Вилуйской синеклизы сложены терригенными морскими и континентальными верхнепалеозойскими и мезозойскими отложениями, мощность которых в Вилуйской синеклизе превышает (по данным бурения) 6,5 км, а в Предверхоянском прогибе достигает, вероятно, 12-14 км. Это единый седиментационный бассейн с доказанной промышленной газоносностью верхнепермских, триасовых и нижнеюрских отложений и различными признаками нефтегазоносности почти по всему разрезу выделяется как Вилуйская нефтегазоносная область (ВНГО). Структурно-тектоническая схема Вилуйской синеклизы и входящей в нее Вилуйской НГО показана рис.2.1-А.

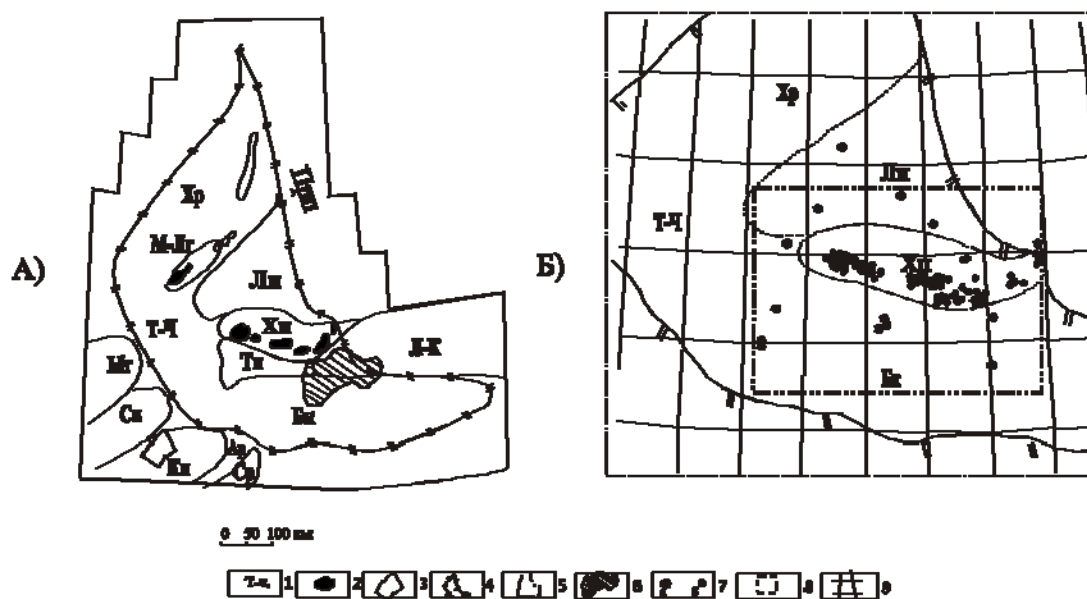


Рис.2.1 Структурно-тектоническая схема Вилуйской синеклизы (А); положение контура площади прогнозных структурных построений и глубоких скважин, включенных в эталон для настройки параметров (Б)

структуры 1-го порядка Вилуйской синеклизы: Хр-Хоргоучумская моноклираль, М-Лг-Малыкай-Логлорский вал, Лн-Линденская впадина, Хп-Хапчагайский мегавал, Тн-Тангнарыйнский прогиб, Т-Ч-Тюкян-Чебыдинская моноклираль, Бк-Бес-кюельская моноклираль, Л-К-Лунхинско-Келинская впадина, Ыт-Ыгыаттинская впадина, Км-Кемпендяйская впадина, Сн-Сунтарский свод, Ар-Арбайско-Синский вал, Ср-Сарсанская

впадина, Прп -Предверхоянский прогиб; 2-месторождения; 3 -контур Атыяхской площади;

4 -контур Вилуйской НГО; 5-контур Базы данных; 6-контур Хатынг-Юряхской аномалии, 7- глубокие скважины: а) поисковые, б) разведочные и эксплуатационные; 8-контур площади прогнозных структурных построений;

9-листы базы данных

Вилуйский геологический район, является основным, в котором осуществляется промышленная добыча газа и газового конденсата, составляющая основу газовой индустрии республики Саха (Я). Имеется для этого соответствующая инфраструктура и база стройиндустрии. Регион нуждается в наращивании и расширении сырьевой базы как для внутреннего потребления, так и для возможной будущей поставки газа в страны Азиатско-Тихоокеанского региона (Ю.Корея, Япония, Китай), однако фонд подготовленных перспективных структур в этих отложениях к настоящему времени исчерпан.

Рифейско-нижнепалеозойские отложения на значительной части Лено-Вилуйского бассейна не освещены буровыми работами и сейсморазведкой МОВ из-за больших глубин залегания. С тектонической точки зрения в пределах контуров этого бассейна наиболее перспективными в отношении нефтегазоносности доверхнепалеозойских отложений считаются погребенные поднятия внутрибассейнового типа во внутренней зоне Вилуйской синеклизы на территории ВНГО, однако, эти отложения залегают здесь на значительных глубинах.

По истории своего изучения геофизическими методами и глубоким бурением Вилуйская НГО (ВНГО), промышленная газоносность месторождений которого связана с терригенными коллекторами мезозойского и верхнепалеозойского возраста, является “старым” регионом. Геологические структуры, с которыми связаны месторождения Хапчагайского и Логлорского мегавала (рис. 2.1-А), выявлены по данным гравиметрии и сейсморазведки МОВ еще в 60-70-х годах, а с 1967 г. ведется промышленная добыча газа.

Несмотря на многолетнюю историю геологического и геофизического изучения (территория покрыта сейсморазведкой МОВ, грави- и магнитометрической съемками, измерениями МТЗ и, частично, аэрокосмическими наблюдениями), ряд вопросов геологии этого региона исследован недостаточно, а существующие мнения по ним имеют дискуссионный характер. Неоднозначно решается проблема картирования кристаллического фундамента по



геофизическим данным, который залегает здесь на значительной глубине. Не изучено влияние глубинной тектоники на соотношения структурных планов синхронных комплексов разновозрастных ОПБ. Дискуссионными являются возраст Вилюйской синеклизы и тектоническая природа Хапчагайского и Малыкай-Логлорского мегавалов, контролирующих основные газоконденсатные месторождения в Вилюйской НГО. Невыясненными остаются перспективы открытия новых месторождений УВ, весьма актуальные для восполнения и расширения сырьевой базы.

## *2.2. Принципы построения моделей*

Наиболее эффективным способом отображения сложных объектов при любых исследованиях является их моделирование. При проведении и интерпретации геофизических исследований широко используют физико-геологические модели (ФГМ) объекта геологического изучения. Под ними понимают обобщенное и формализованное описание пространственно-временной структуры геологических объектов и геофизических полей, с определенной степени вероятности отражающей реальные геологические объекты или геологическое строение территории. Взаимосвязи между геологическими характеристиками и геофизическими параметрами находят на эталонных участках, где геологический объект хорошо изучен, например, бурением. Основная цель моделирования - абстрактное или физическое отображение геологического объекта в другом представлении, адекватно описывающем его поведение.

Понятие ФГМ имеет достаточно строгую формулировку и включает определенные требования к описанию модели. Для характеристики проводимых в данном разделе исследований мы прибегаем к несколько вольной трактовки “геолого-геофизическая модель”, упрощая ее понятие и одновременно адаптируя терминологию применительно к характеру исследований. Построенные в работе геолого-геофизические модели можно условно назвать априорными. В качестве геофизических компонент для описания моделей используются не только геофизические поля, но их различные трансформации, выступающие как признаки.

Априорные геологические модели в процессе исследований строятся по трем аспектам геологического строения: разломной тектонике, структурным характеристикам геологических тел и нефтегазоносности. Построение моделей осуществляется на участках, где геологическая компонента достоверно изучена геологическими методами и подтверждена бурением. Геоолого-геофизическое моделирование увязывается при этом с решением проблемных вопросов геологического строения, эволюции и нефтегазоносности осадочно-породных бассейнов изучаемой территории. Поясним последний тезис. Так, представляет научный интерес уточнение структурных построений на недостаточно изученные глубоким бурением территории центральной части Вилюйской синеклизы в т. ч. Хапчагайского мегавала и его отдельных месторождений с использованием геолого-геофизического моделирования. В рамках этого подхода при настройке на эталонном пространстве, изученном бурением,

устанавливается наличие или отсутствие структурных компонент в геофизических полях. Заключение о возможности или невозможности выделения таких компонент имеет большое значение не только для изучения геологического строения территории геофизическими методами, но и что особенно важно, для установления тектонической природы ее структурных элементов.

В этой связи под структурными моделями мы понимаем самостоятельные и независимые структурные построения (структурные карты, схемы разломной тектоники и результаты их анализа), полученные на основе обработки данных бурения и сейсморазведки с использованием современных компьютерных технологий. При этом в понятие модель вкладывается содержание, отражающее упрощенный характер получаемых сведений и выводов по отношению к реальным геологическим объектам и их природе.

Особое место занимают исследования, связанные с изучением характера проявления в геофизических полях контрастной разломно-блоковой тектоники, закартированной в доверхнепалеозойских отложениях Кемпедяйской впадины, и малоамплитудной пликативно-дизъюнктивной тектоники в верхнепалеозойско-мезозойских отложениях Хапчагайского мегавала, устанавливаемой в результате анализа структурных планов геологических реперов, построенных по данным бурения. Геолого-геофизические отображения разломной тектоники имеют прямое отношение не только к задаче расширения класса поисковых нефтегазоперспективных объектов и, прежде всего, за счет тектонически-экранированных и стратиграфических ловушек. Кроме того, они позволяют устанавливать пространственно-временные соотношения между параметрами разломных систем и устанавливать некоторые закономерности их активизации и связанной с ними эволюции ОПБ, прогнозировать существование дизъюнктивов на других площадях в условиях, где они недоступны для изучения геологическими методами.

Весьма эффективными для изучения геологических условий формирования месторождений УВ и прогнозирования неоткрытых залежей представляются нам кластерные, а также геолого-математические модели месторождений, построенных на примере месторождений Хапчагайского мегавала. Наконец, принципиально новой моделью геологического разреза осадочного чехла, вскрываемого скважиной, являются спектрально-глубинные развертки данных геофизических исследований в глубоких скважинах, позволяющие изучать скрытую периодичность (ритмичность) осадкона-копления при недостаточном керновом материале.

### *2.3. Технологическая среда обработки и интерпретации данных*

Во всех случаях формирования и описания геолого-геофизических моделей необходима информационная база данных и технологическая среда для работы с ней. Как ни парадоксально, сложность задач научного прогнозирования, к которым безусловно относятся задачи, связанные с изучением геологического

строения и поиска полезных ископаемых, состоит в большом объеме накопленной разнородной информации: геологической, геофизической, геохимической, аэрокосмической и др., коэффициент полезного использования которой человеком, как установлено практикой, тем меньше, чем больше её исходный объем.

В последнее время всё большее признание у специалистов получают идеи интегральной разведки, под которой понимается комплексная интерпретация на ЭВМ всех имеющихся данных с активным участием в этом процессе знаний и опыта самих специалистов. Существенное повышение знаний о геологическом строении может быть достигнуто за счет комплексной обработки многофакторной информации по данным бурения и геофизики на основе внедрения новых методик и Геоинформационных систем (ГИС- технологий), разработанных в последнее время для решения геологических задач и прогноза месторождений. Такие технологии сочетают в едином ключе знания специалиста-геолога геологических моделей с большими возможностями формально-логического анализа огромных объемов накопленной информации и, прежде всего, картографической. При этом следует особо подчеркнуть возможность привлечения к работе с такими системами картографической информации геолого-геофизического содержания любой сложности.

В качестве такой технологии представлена современная компьютерная геолого-информационная система (ГИС) ПАРК (Преобразование, Анализ, Распознавание, Картографирование) [Геоинформационная система ПАРК, 1999, 2000 ], разработчик АО “Ланэко” г. Москва. ПАРК векторно-растровая Геоинформационная система предназначена для создания баз картографических и объектно - привязанных данных; справочно-информационного обслуживания; преобразования, тематической обработки, анализа и интерпретации пространственной информации; а также для компоновки, оформления и вывода картографических и сопутствующих им документов.

Отметим особенность работы. Специфика обсуждаемых далее результатов такова, что они получены на основе обработки и анализа больших разнородных массивов координатно-привязанных геолого-геофизических данных, что возможно только с использованием современной Геоинформационной системы. Можно говорить, что решение поставленных задач осуществлялось на основе их тесной увязки с технологией, выбранной Геоинформационной системы, образно говоря путем, “ погружении задач” в ее технологическую среду. При этом мы не обсуждаем вопросы достоинств и недостатков выбранной ГИС ПАРК по сравнению с другими аналогами, например, ГИС INTEGRO, разработки ВНИИГеоиссистем. Это связано с тем, что решение большинства приводимых в качестве примеров задач (за исключением задачи прогнозирования месторождений) осуществлялось на первом функциональном уровне. На этом уровне пользователю представляются технологические возможности, аналитические и фактографические данные для выработки собственных решений и отсутствуют навязанные подходы, отвечающие максимальным оценкам по формальным критериям качества решений.

Общая технологическая схема обработки включала: организацию в ГИС ПАРК Баз данных (задание координат, размеров базы, размеров ячейки, описание признаков, описание объектов, составление классификаторов и др.); ввод картографической и числовой координатно - привязанной информации с использованием дигитайзера; преобразование информации из векторной формы в матричную; передачу массивов матричных данных через программный блок Администратора Базы данных прикладным геофизическим программам: SURFER, SFGM, KOSKAD, KOMRa, SINGULAR, MEZOZAUR, КВАНТИЛЬ-1 и др.; обработка данных; передача обработанных массивов данных через Администратор в Базу данных; многоаспектная обработка многомерной информации системными средствами ПАРК; вывод аналитических данных и результатов решения прогнозных задач; подготовка массивов и вывод картографической информации.

## *2.4. Примеры геолого-геофизических построений*

### **2.4.1. Разломно-блоковая тектоника**

#### Атыяхская площадь в Кемпендяйской впадине

Кемпендяйская впадина представляет собой один из наиболее перспективных регионов Якутии для открытия новых крупных месторождений нефти и газа. В пользу этого свидетельствуют обще геологические предпосылки (мощный осадочный чехол, наличие коллекторов, уникальная по мощности эвапоритовая толща-флюидоКемпендяйская впадина представляет собой один из наиболее перспективных регионов Якутии для открытия новых крупных месторождений нефти и газа. В пользу этого свидетельствуют обще геологические предпосылки (мощный осадочный чехол, наличие коллекторов, уникальная по мощности эвапоритовая толща-флюидоупор), а также результаты бурения скв № 451 на Атыяхской площади, сопровождавшиеся аварийным выбросом газа при входе забоя скважины в подсолевые отложения девона на глубине 3600м.?

В тектоническом плане Атыяхская площадь расположена на северо-западном борту Кемпендяйской впадины в зоне ее сочленения ее с Сунтарским поднятием и Вилуйской синеклизой (рис.2.1). Осадочный чехол Кемпен-дяйской впадины характеризуется значительной мощностью, достигающей значений 10-12 км. Чехол представлен терригенными отложениями в мезозой-ско-верхнепалеозойском надсолевом осадочном комплексе; терригенными и галогенными образованиями с резко меняющимися мощностями в верхнедевонском комплексе и предположительно карбонатными породами в венд нижнепалеозойском комплексе. Для района характерно блоково-разломное строение доверхнепалеозойских отложений и развитие в них сложной системы тектонических нарушений с амплитудами вертикальных межблоковых перемещений до 3км. Зоны погребенных разломов контролируют практически все имеющиеся положительные структуры в подсолевом комплексе.

Несовпадение структурных планов верхнепалеозойско-мезозойского над-солевого и венд-нижнепалеозойского подсолевого структурно-формационных комплексов, сложное блоковое строение последнего с амплитудами дизъюнктивов до нескольких километров, а также непостоянство мощности нижне-девонской соленосной толщи, приводит к формированию в разрезе круто-падающих, разнонаклоненных и криволинейных сейсмических границ. Возникающая при этом интерференционная картина сейсмических волн: отраженных, дифрагированных, дуплексных, боковых и др. делает проблематичной однозначную идентификацию и корреляцию отражающих горизонтов.

Сказанное подтверждается положением дел на Атыяхской площади, где на одноименной структуре, подготовленной в подсолевых отложениях по данным сейсморазведки МОГТ, несмотря на фонтанирование газа в первой пробуренной скважине, дальнейшие буровые работы приостановлены из-за неуверенных структурных построений. При этом схема разломной тектоники, положение, морфология и генезис Атыяхской ловушки во многом остаются невыясненными. Выявление характера и элементов разломной тектоники в подсолевых отложениях на рассматриваемой площади имеет принципиальное значение не только для уточнения местоположения и тектонической природы Атыяхской структуры, но и для установления характера дизъюнктивов под верхнепалеозойско-мезозойскими отложениями и во внутренних районах Вилуйской синеклизы и Предверхоянского прогиба, в связи с имеющимися предпосылками их аналогий.

Для изучения разломной тектоники по геофизическим данным осуществлялись: пересчет профильных гравитационных и магнитных наблюдений и результатов профильных сейсмических построений по горизонту ДП (подошва девона) на регулярные площадные сети с размером ячейки  $500 \times 500$  м.; отдельная площадная обработка магнитного и гравитационного полей с целью выделения линейных аномалий поля, предположительно связанных с разломами; обработка выделенных линеаментов с помощью ковариационной структурной функции; математическое геолого-геофизическое моделирование гравитационного поля с учетом данных сейсморазведки [Берзин и др., 1997].

Отдельная площадная обработка магнитного и гравитационного полей по выделению линеаментов поля предусматривала:

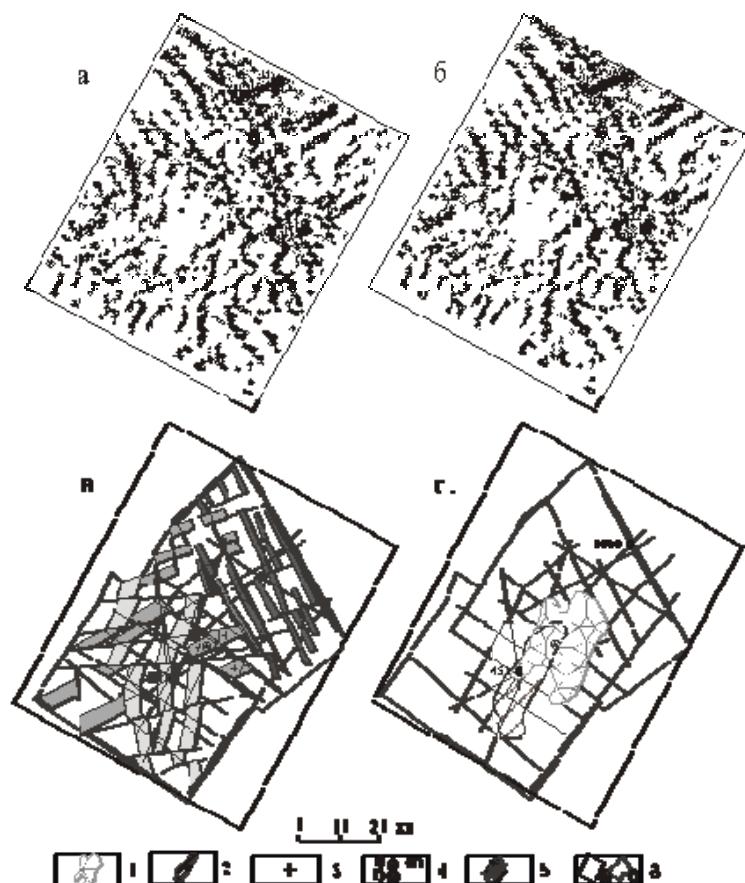
- вычисление второй производной  $V_{zz}$  ( для гравитационного поля) и  $V_z$  (для магнитного);
- центрирование значений второй производной в скользящем окне анализа ( $V_{zz} - V_{zz.cp}$  ), где:  $V_{zz.cp}$  – среднее значение в окне анализа;
- вычисление значений структурной функции [Никитин, 1986] от положительных разностных значений по предыдущему шагу.

Выделенные в результате обработки линеаменты гравитационного и магнитного полей весьма схожи и подчеркивают одни и те же направления (рис.2.2 а, б). Окончательное согласование направлений линеаментов осуществлялось на этапе вычисления ковариационной функций, аргументами которой являлись результаты раздельной обработки гравитационного и магнитного полей.

Математическое геолого-геофизическое моделирование гравитационного поля и его трансформаций проводилось по нескольким профилям с целью установления характера выявленных нарушений: сброс (вертикальная ступень), нарушение сплошности пород (зона дробления), интрузия (вертикальный пласт) или сочетание перечисленных факторов. Исходная пластовая модель составлялась по данным сейсморазведки МОГТ и уточнялась с помощью программ гравитационно-магнитного моделирования Института тектоники и геофизики ДВО АН России. Результаты моделирования и комплексной интерпретации линеаментов геофизических полей сведены в схему глубинной разломной тектоники на Атыяхской площади (рис. 2.2 в).

Выявленные глубинные разрывные нарушения обусловлены блоковым характером кристаллического фундамента и связаны с деформациями сдвига, сжатия и растяжения. Они группируются в три системы: северо-восточную, субмеридиональную и север-северо-западную.

Север - северо-западная система разломов практически полностью “перерабатывает” северо-восточную и субмеридиональную системы, а также осадочный чехол в северной части территории. Линейный характер самой зоны



## **Рис. 2.2 Разломно-блоковая тектоника на Атыяхской площади**

*проявление тектонических нарушений в линеаментах полей: а) магнитного, б) гравитационного; в) схема разломной тектоники по комплексу геофизических данных; г) контур Атыяхской структуры по данным: 1-комплексной интерпретации; 2-сейсморазведки МОГТ; 3- поднятые блоки фундамента (горсты); 4-глубокие скважины: а) пробуренные, б) реко-мендуемая; 4- сеть сейсмических профилей; 6 - контуры: а) гравимагнитных наблюдений, б) увязанной интерпретации потенциальных полей и сейсмических данных*

и отдельных разломов свидетельствует о ее наиболее молодом возрасте. Наложение и взаимодействие этих систем, по - видимому, привело к переработке системы северо-восточного простирания, созданию и обособлению в центральной части площади выступающих блоков фундамента-горстов, обусловивших образованию полигонального антиклинального Атыяхского поднятия в подсолевых отложениях осадочного чехла ( рис.2.2 в, г).

Положительная локальная аномалия, с большой вероятностью отражающая реальное местоположение сложнопостроенного антиклинального поднятия в подсолевых горизонтах осадочного чехла над горстом фундамента, уверенно выделяется в результате двумерной фильтрации данных гравиметрии (энергетической и адаптивной). Аномалия локализуется на всех вариантах преобразования севернее скважины №451 со значительным смещением по простиранию относительно контура Атыяхской структуры, выявленной по данным сейсморазведки МОГТ, имея не вытянутую, а полигональную, близкую к изометричной, форму аномалии

По результатам исследований рекомендуется точка заложения поисковой скважины [Берзин, Шарова и др., 1997]. Глубины залегания подсолевого продуктивного горизонта в рекомендуемой скважине оцениваются как существенно (на 400-600м.) меньшие, чем в скв.451, а площадь структуры примерно вдвое больше аналогичной по данным сейсморазведки. Радикальное повышение эффективности будущих сейсмических исследований в Кемпендэйской впадине в будущем может быть достигнуто на основе применения трехкомпонентной регистрации в модификации тотальной сейсморазведки с последующей 3-D обработкой и двумерной миграцией сейсмических данных.

### Ханчагайский мегавал, Средневилюйское месторождение

Одной из сложных проблем в существующем представлении о геологическом строении ловушки Средневилюйской и Толонской газоносных структур является характер и площадное развитие дизъюнктивов в отложениях верхнего палеозоя и мезозоя. Имеющиеся материалы разведочного и эксплуатационного бурения в большинстве случаев косвенно подтверждают возможность существования на Средневилюйском месторождении в породах этого возраста малоамплитудных тектонических нарушений (10 – 40 м), контролирующих газоконденсатные залежи (различие положений газожидкостных контактов по

площади структуры, изменение мощности пластов в отдельных скважинах и др.). Бурением подтверждены геологические нарушения амплитудой 35 - 40 м в ряде скважин; выделение же нарушений с амплитудой менее 10м по данным бурения в сложных терригенных разрезах Средне-вилюйского месторождения, по мнению геологов практически невозможно.

Разломная тектоника в доверхнепалеозойских отложениях не проявляется в гравитационном и магнитном полях, а рассмотрение имеющихся профильных сейсмических материалов позволяет заключить, что бесспорные четко различаемые и высокоамплитудные нарушения на сейсмограммах МОВ также не выделяются. Все тектонические нарушения, идентифицируемые по косвенным признакам: отсутствие отражений, наличие дифрагированных волн, потеря корреляции и др. с учетом невысокой информативности материалов МОВ в значительной степени условны.

Для решения задачи изучения малоамплитудной пликативной и дизъюнктивной тектоники в доверхнепалеозойских отложениях применена специализированная обработка структурных поверхностей (карт геологических реперов), построенных по данным бурения. Проводя специальную обработку структурных поверхностей, предполагается существование определенной связи положения разломов, образующихся в зонах аномальных касательных напряжений с морфологией самой поверхности в пликативном варианте, где в скрытой форме, в той мере, в какой она освещена бурением, присутствуют пликативные деформации. Проявлению деформированных участков, на наш взгляд, должны соответствовать зоны максимальных горизонтальных градиентов на структурной поверхности карты, построенной на ЭВМ по данным бурения скважин в пликативном варианте. Естественно, чем надежнее и большим числом скважин закартирована структура поверхности, тем рельефнее и надёжнее могут быть выделены дизъюнктивы. Теоретическое обоснование такому подходу можно найти у Дойча при рассмотрении им проблемы трещиноватости [Кноринг, 1969].

Методика выделения градиентных зон на структурных поверхностях в общих чертах аналогична таковой при выявлении линеаментных зон в потенциальных полях на Атыяхской площади. Для ее реализации осуществлялось:

- вычисление поля горизонтального градиента глубин на площади структурных построений

$$\text{grad } H = \sqrt{(\text{d}H/\text{d}x)^2 + (\text{d}H/\text{d}y)^2}$$

- центрирование значений градиента глубин в скользящем окне анализа

$$\delta = \text{grad } dH - \text{grad } \bar{dH}, \text{ где:}$$



$\text{grad } \bar{H}$  – среднее значение градиента в выбранном окне анализа;

-вычисление поля значений структурной функции от положительных разностных значений  $\delta$  и выделения в нем линеаментных градиентных зон.

Правомерность такой методики выделения дизъюнктивов демонстрируют результаты обработки официального варианта структурных построений по продуктивному горизонту Т<sub>1</sub>-II (карты, построенной геологами) на Средневилюйском месторождении, где достигнута приемлемая идентичность поведения выделенных линеаментов и системы нарушений нанесенных на карте (рис.2.3).

Поясним методическую схему обработки, которая включает [Берзин,1994]:

-ввод в векторной форме изолиний структурного плана месторождения, соответствующего официальным построениям по горизонту Т<sub>1</sub>-II (рис.2.3 а);

-пересчет векторной формы карты в матричную по значениям изолиний (без учета глубин репера по данным скважин), т.е. построение по значениям изолиний официальной карты ее пликативного варианта (рис. 2.3 б);

-поиск, выделение и визуализация градиентных зон, связанных с дизъюнктивами на пликативном варианте официальной карты (рис.2.3 в);

- построение в матричной форме машинного пликативного варианта структурной поверхности, построенной по данным скважин и геофизики (без учета изолиний); поиск и выделение градиентных зон, связанных с дизъюнктивами на этом пликативном варианте (рис.2.3 г);

Пересчет векторной формы в матричную на втором этапе имел своей целью трансформировать структурную поверхность с разломами в пликативную и тем самым завуалировать разрывные нарушения, превратив их в градиентные зоны.

**Рис. 2.3 Варианты малоамплитудной дизъюнктивной тектоники в отложениях ниже-го триаса:** А- официальная структурная карта по продуктивному горизонту Т<sub>1</sub>-II в вектор-ной форме (форме изолиний); растровое представление: Б- официальной структурной карты (А) в матричной форме (получено путем пересчета значений изолиний в матрицу); выделенные и отождествляемые с малоамплитудными разломами градиентные линейные зоны: В - по данным обработки матричной карты (Б); Г - по данным обработки матричной карты, построенной на ЭВМ только по данным скважин и сейсморазведки безучета изолиний.

Выделенные на пликативной структурной поверхности (рис.2.3 б) с помощью описанной методики линеаменты градиентных зон (рис.2.3 в) практически идентичны разломной тектонике, имеющейся на исходной карте (рис.2.3 а). Вместе с тем обработка по этой методике матричного варианта структурной поверхности, построенной только по данным скважин и сейсморазведки (без учета поведения изолиний) приводит к принципиально иным результатам (рис.2.3 г), что ставит под сомнение достоверность положения разломов на

официальной схеме. Главной особенностью выявленной малоамплитудной разломной тектоники являются однозначно выраженные преимущественные направления простираения дизъюнктивов: северо-восточное и северо-северо-западное.

При оценке полученных результатов следует принять во внимание уникальность возможности применения изложенной методики выделения дизъюнктивов на Средневиллюйском газоконденсатном месторождении, где структурные поверхности построены по данным более чем 50 глубоких скважин и могут быть подвергнуты анализу с высокой точностью.

С использованием описанного подхода, но с меньшей доверительной надежностью, выделены по данным бурения линейamentные градиентные зоны и выявлены схемы разломной тектоники на территорию центральной части Виллюйской синеклизы (территория Хапчагайского мегавала и смежных с ним площадей), которые вынесены на структурные карты по продуктивным горизонтам нижнего триаса и нижнего мела, рассмотренные далее.

Т.о в результате исследований установлена существенная разница в характере разломной тектоники в доверхнепалеозойских отложениях в Кемпендяйской впадине и верхнепалеозойско-мезозойских отложениях Хапчагайского мегавала. Первая имеет разломно-блоковый характер с верти-кальными межблоковыми смещениями, достигающими 3км, и проявляется контрастными аномалиями в геофизических полях. Вторая - отмечается как малоамплитудная и является унаследованной по отношению к первой. Она не проявляется в геофизических полях, а ее поведение установлено в результате специального анализа структурных карт продуктивных горизонтов по данным бурения

#### Хатынг-Юряхская площадь в Лунгхинско-Келлинской впадине

Принципиальное значение для расшифровки глубинного геологического строения территории Виллюйской синеклизы имеет установление природы Хатынг-Юряхского максимума силы тяжести, прежде всего для оценки возможности развития доверхнепалеозойских блоковых структур на большей части территории Виллюйской НГО, где они практически не изучены сейсморазведкой МОВ и бурением из-за больших глубин залегания.

Обширная Хатынг-Юряхская гравитационная аномалия расположена в непосредственной близости от юго-восточного окончания Хапчагайского мегавала на Бескюельской моноклинали в зоне перехода от Лунгхинской впадины к южному борту Виллюйской синеклизы (рис.2.1). Хатынг-Юряхская аномалия имеет вытянутую в субширотном направлении форму, размером 220x50 км. Амплитуда аномалии 16 мГл. Мощность мезозойских отложений в пределах этой зоны изменяется от 6000 м. в ее крайних северо-восточных частях до 2000м на юго-западе. Сокращение мощности происходит за счет триасовых и пермских отложений. Сейсмическими исследованиями МОВ, проведенными на площади Хатынг-Юряхского максимума в 70-х годах, установлено монотонное

погружение в северо-восточном направлении всех отражающих горизонтов, связанных с мезозойской толщей. При сопоставлении сейсморазведочных данных с поведением гравитационного поля устанавливается несоответствие структурного плана мезозойских отложений характеру поля. Значительному погружению кровли юрских отложений (на 2.2 км.) соответствует уменьшение поля всего на 4 мГл.

По поводу природы Хатынг-Юрхской аномальной гравитационной зоны существуют различные мнения. По одной точке зрения Хатынг-Юрхскому, так же как и Вилуйскому (по месту он совпадает со Средневилуйским поднятием в осадочном чехле) максимумам силы тяжести, соответствуют поднятия поверхности кристаллического фундамента. В альтернативных точках зрения это соответствие отрицается, а природа Хатынг-Юрхского максимума объясняется вариациями поверхности Конрада или крупной гипербазитовой (или базальтовой) интрузией, характеризующейся косым намагничением, либо наклонным падением. На территории Хатынг-Юрхского гравитационного максимума сейсморазведкой МОВ прослежен и стратифицирован только один сейсмический горизонт Ю<sub>3</sub><sup>3</sup>, приуроченный к кровле верхнеюрских отложений, моноклинально погружающихся в направлении Лунхинской впадины. Структурные построения по этому горизонту не отражают какой либо зависимости от поведения гравитационного поля. Сейсмические отражения от залегающих ниже границ фрагментарные и по динамическому проявлению слабые, что в принципе может свидетельствовать о существовании здесь крупной зоны выклинивания части отложений доюрского возраста.

Представляется важным доказательство того, что аномалия вызвана структурным фактором, а не интрузией или вещественными неоднородностями фундамента. Одним из таких доказательств является сопоставление поведения гравитационных и псевдогравитационных (пересчитанных из магнитных) полей соответственно на Хатынг-Юрхской и на Средневилуйской площадях, где в пределах последней структурный фактор (как показано далее) в проявлении аномалии сомнений не вызывает ( рис. 2.4 ).

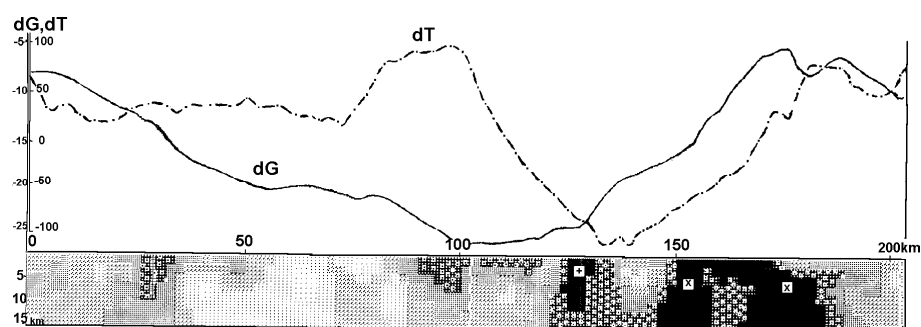


Рис.2.4 Совмещенное представление гравитационного и псевдогравитационного полей

А - Виллюйский гравитационный максимум ( $\Delta g$ ); В - Хатынг-Юряхский максимум ( $\Delta g$ ); А' - Виллюйский псевдогравитационный максимум; В' - Хатынг-Юряхский псевдогравитационный максимум. А - В - линия профиля, соединяющего Виллюйский и Хатынг - Юряхский гравитационные максимумы.

Привлечение псевдогравитационных полей преследует цель уравнивать порядки производных гравитационного и магнитного потенциала для корректного сопоставления характера гравитационного и магнитного поля. На рисунке отчетливо виден аналогичный характер поведения и пространственного разбросения гравитационных и псевдогравитационных (полученных из магнитных) аномалий на Средневиллюйской и на Хатынг-Юряхской площадях. Если учесть, что Виллюйский гравитационный максимум имеет корневую природу, в пользу которой имеются бесспорные аргументы изложенные далее) то можно утверждать, что Хатынг-Юряхский гравитационный максимум, по аналогии со Виллюйским, вызван не интрузиями или петрофизическими неоднородностями фундамента, а обусловлен структурным фактором, проявляющимся в кристаллическом фундаменте и осадочном чехле. И если антиклинальная структура отсутствует в мезозойских отложениях, то она должна проявляться в палеозойских или более глубоко залегающих отложениях.

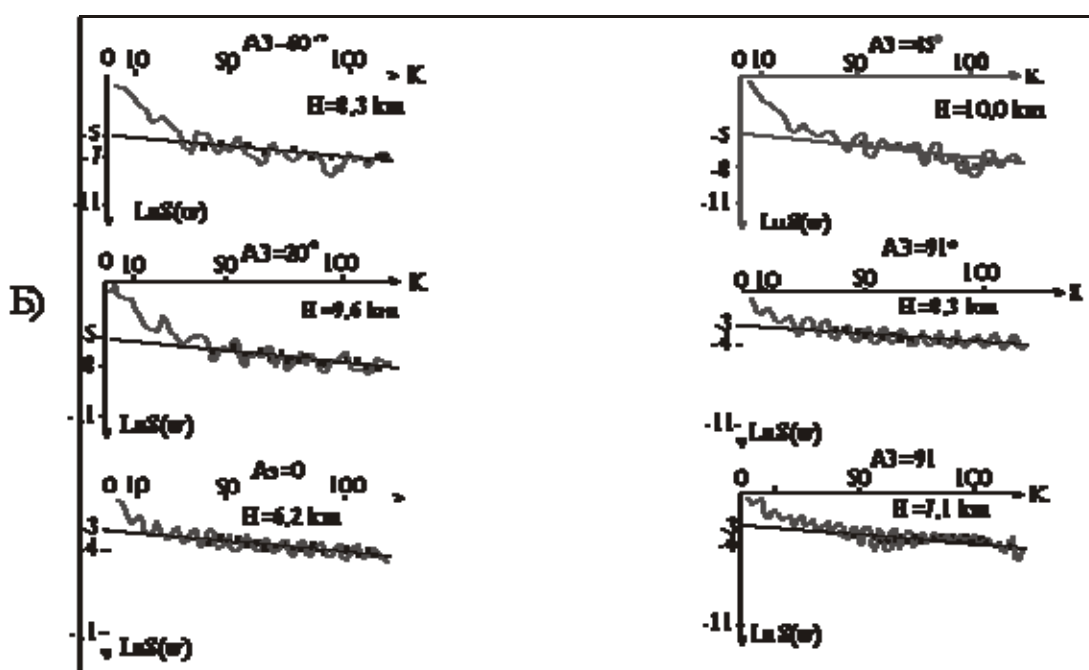
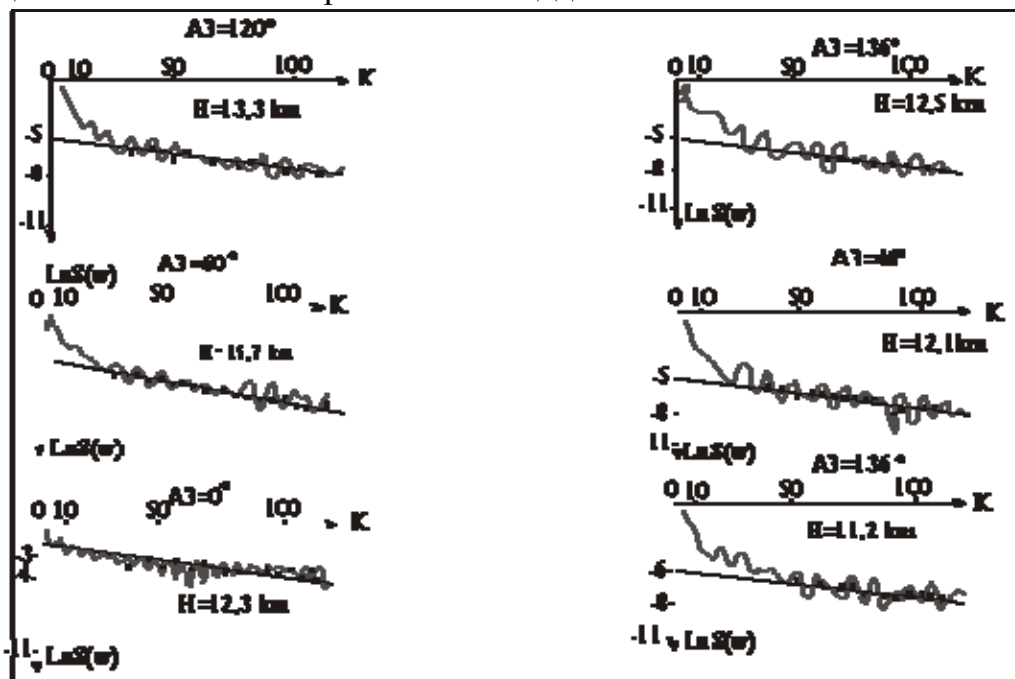
Для получения дополнительной информации о характере и глубине залегания возмущающих масс рассчитаны в вертикальном разрезе распределения особых точек потенциальных полей, связанных с местоположением масс, по методу В.М.Березкина [1973] и методу В.Н. Страхова [1977]. Расчет осуществлен по линии профиля, соединяющего Виллюйский и Хатынг-Юряхский максимумы силы тяжести. Проведенные расчеты и сопоставление результатов дают основание предполагать существование разлома вблизи Хатынг-Юряхского максимума (особая точка 1-го типа) и залегание сильной гравиактивной поверхности (фундамента ?) на глубине 5-6 км (особые точки 2-го типа) (рис. 2.5).



**Рис.2.5. Вертикальный разрез максимумов нормированного градиента гравитационного поля  $\Delta g$  по методу Березкина (растровое представление – значения поля увеличиваются от светлого к темному) и особые точки по методу Страхова, рассчитанные по линии А-В: Средневиллюйская-Хатынг-Юряхская аномалии.**

+ -особые точки 1-го типа; х- особые точки 2-го типа;

Оценки глубины залегания кромок наиболее гравиактивной поверхности (фундамента?), рассчитанные по методу логарифмических спектров на Средневилу́йской площади, варьируют в зависимости от азимута сечения от 8 до 16 км и в среднем составляют 12 км. Эта оценка согласуется с глубиной залегания высокоомного электрического горизонта (фундамента) по данным электроразведки МТЗ и подтверждает корневую природу Средневилу́йского антиклинального поднятия (рис. 2.6 А). Аналогичные оценки средних глубин на Хаты́нг-Ю́ряхском максимуме составляют около 8 км. (рис. 2.6 Б). Учитывая невысокую точность метода в определении абсолютных глубин, большее доверие здесь имеет сравнительная оценка, по которой кристаллический фундамент на Хаты́нг-Ю́ряхской площади залегает на 4–5 км ближе к



поверхности, чем на Средневилу́йской.

## **Рис. 2.6. Глубины залегания кромки гравиактивной поверхности по методу**

логспектров на Средневиллюйской (А) и Хатынг-Юряхской (Б) площадях

На территории Хатынг-Юряхского гравитационного максимума предполагается существование непосредственно под мезозойскими отложениями приподнятого наклонного и погружающегося в сторону Лунгхинской впадины блока кристаллического фундамента (горста), ограниченного по падению и простиранию разломами 2-х систем: северо-восточного и северо-северо-западного простирания. Разломы таких направлений выделены на Атыяхской площади в Кемпендяйской впадине, Алданской ветви Предверхоянского прогиба и прогнозируется их развитие под верхнепалеозойско-мезозойскими отложениями во внутренней зоне Виллюйской синеклизы, включающей Хатынг-Юряхскую площадь (рис.2.1).

### **2.4.2. Структурные модели**

Выделение структурных компонент в геофизических полях, отражающих пространственное распределение нефтегазоперспективных структур в осадочном чехле Виллюйской НГО, имеет научное и практическое значение. В научном плане полученные при этом результаты могут быть использованы для изучения тектонической природы Хапчагайского мегавала, контролируемых им локальных структур и открытых месторождений, а также выявления отдельных особенностей глубинного строения изучаемой территории. В практическом - для уточнения структурных построений в верхнепалеозойско-мезозойских отложениях наиболее важной центральной части Виллюйской НГО, где осуществляется добыча газа и велики перспективы открытия новых залежей УВ-сырья.

Практическая целесообразность первоочередного уточнения структурных планов месторождений Хапчагайского мегавала на основе комплексирования данных бурения и геофизики сомнений не вызывает. Можно предположить, несмотря на большие объемы накопленной геолого-геофизической информации, эксплуатация Средневиллюйского и других месторождений Хапчагайском мегавала будет сталкиваться с проблемой эффективного извлечения углеводородов и рационального размещения эксплуатационных скважин из-за недостаточного знания геологической и, прежде всего структурной модели. Проблема связана с крайней неравномерностью размещения глубоких скважин. Большинство скважин пробурено в апикальных частях антиклинальных поднятий - месторождений мегавала, тяготеющих к его осевой части. На крыльях Средневиллюйского поднятия и склонах мегавала на сопряжении их с окружающими тектоническими элементами скважин мало или они отсутствуют. Поэтому структурные планы этих поднятий, включая характер дизъюнктивной тектоники, остаются не до конца ясными, а структурные карты по продуктивным горизонтам на всю территорию мегавала не построены.

Решения задачи поиска структурной компоненты в геофизических полях и уточнения на ее основе структурного плана продуктивных горизонтов может быть достигнуто в результате комплексной интерпретации данных геофизики и бурения с использованием программы КОМРа, разработки МИНГа [Жданов, Шрайбман, 1973]. В основу интерпретации положена настройка геолого-геофизических связей на эталонном пространстве скважин, где изучаемая геологическая характеристика (глубины залегания геологического репера) достоверно известна. В результате настройки из геофизических полей извлекается структурная компонента, наиболее тесно увязываемая с геологической структурой. Последующее уточнение структурного плана продуктивных горизонтов в межскважинном пространстве осуществляется по построенной на эталоне регрессионной зависимости. Структурные построения включают следующие этапы:

- выбор геологических реперов, отражающих структурный план мегавала по мезозойским отложениям и прогнозирующих геофизических параметров (полей), наиболее тесно увязываемых с поведением структурного фактора;
- формирование эталона из скважин для настройки геофизических параметров и геолого-геофизического описания его глубинами геологических реперов и прогнозирующими параметрами;
- настройка связей геофизических параметров на структурный фактор; оценка тесноты связи, сходимости решения задачи и среднеквадратической ошибки прогноза;
- прогнозирование структурного фактора по установленным связям с геофизическими данными в межскважинное пространство и построение структурных карт;

#### Средневиллюйское месторождение

Необходимость уточнения структурного плана Средневиллюйского поднятия с использованием комплексной геолого-геофизической информации вытекает из рассмотрения структурных построений по данным бурения и отображений поднятия в геофизических полях. Средневиллюйская структура (официальный вариант) по кровле продуктивного горизонта  $T_1$ -II в нижнетриасовых отложениях отчетливо выражена в гравитационном поле (региональная компонента) и поле изохрон  $T_0$  сейсмического репера ТП по данным МОВ, однако ее морфология при общей конформности отображений существенно отличается не только от геофизических аномалий, но и от машинного варианта построения поверхности по данным тех же скважин (рис.2.7).

Уточнение структурных планов триасовых отложений в пликативном варианте проводилось по кровле мономской свиты (Н mn) и кровле продуктивного горизонта  $T_1$ -II нижнего триаса. В эталон для настройки геофизических полей на структурный фактор включено 48 скважин, вскрывших указанные

геологические реперы [Берзин, 1994]. Настройка на структурный фактор осуществлялась по двухмерной регрессионной зависимости

$Hr = f(\Delta g_{\text{рег}}, H_{\text{ТП}})$ , где:

$Hr$ - структурный фактор ( $H_{\text{мп}}$  или отметки кровли  $T_1$ -II);  $\Delta g_{\text{рег}}$  - региональная компонента гравитационного поля - основной настраиваемый геофизический параметр;  $H_{\text{ТП}}$  - глубины сейсмического репера ТП - первый вспомогательный параметр.

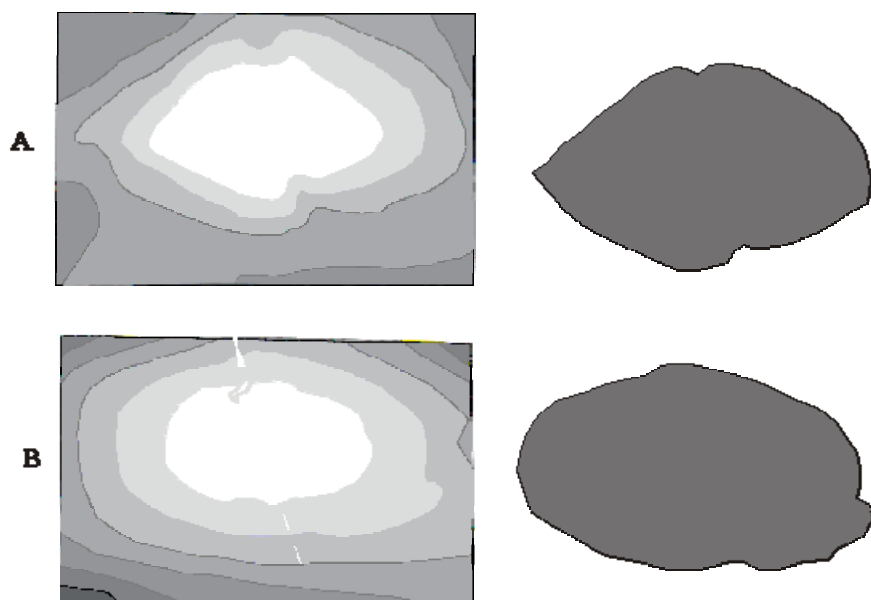
**Рис. 2.7** Геолого-геофизические модели Средневилу́йского месторождения (качественное сопоставление матричных изображений-значения полей уменьшаются к темному цвету).

*I- карта глубин до кровли горизонта  $T_1$ -2 (официальный вариант); II- то же машинный вариант; III- региональная компонента гравитационного поля; IV-поле изохрон сейсмического репера ТП.*

В процессе настройки на эталоне устанавливается, что наиболее тесные корреляционные связи со структурным фактором свойственны региональной компоненте гравитационного поля (в меньшей степени также локальной) и полю глубин сейсмического репера ТП. Эти связи при настройке на эталоне устанавливаются, что наиболее тесные корреляционные связи со структурным фактором свойственны региональной компоненте гравитационного поля (в меньшей степени также локальной) и полю глубин сейсмического репера ТП. Эти связи при настройке значительно усиливаются. При этом региональная составляющая гравитационного поля практически полностью исчерпывается структурной компонентой, достигая с ней значения парного коэффициента корреляции  $R=0,941$ , что свидетельствует о глубинной природе гравитационной аномалии на Средневилу́йской площади. Можно предположить сквозной характер развития Средневилу́йской структуры в осадочном чехле и ее связь с поднятием в кристаллическом фундаменте. В пользу этого свидетельствуют исключительность аномалии по величине и выразительности среди остальных гравитационных аномалий на локальных поднятиях Хапчагайского мегавала, а также низкая плотность рыхлых терригенных пород верхней перми и мезозоя.

С использованием настроенных на эталоне регрессионных зависимостей построены структурные карты Средневилу́йского месторождения, наиболее полно учитывающие данные глубокого бурения и геофизики, по двум геологическим реперам: кровле мономской свиты и кровле продуктивного горизонта  $T_1$ -II. На карты вынесена обсуждаемая ранее схема разломной тектоники. Различия прогнозного и официального вариантов структурных построений на Средневилу́йской площади в качественном плане удобнее сопоставить в матричном представлении (рис. 2.8).





**Рис. 2.8 Сопоставление структурных планов и контуров газоносности по горизонту ТI-II Средневилуйской структуры (матричное представление)**

*А-официальный вариант структурного плана и контура газовой залежи; В-прогнозный - по комплексу бурения и геофизики*

Положение контуров газовой залежи для обоих вариантов карт показаны на одинаковом абсолютном уровне среза, равном-2422,8 м. Это средний уровень ГВК в 4-х из 5-ти блоков месторождения для дизъюнктивного варианта официальных построений по состоянию на 1.01.90 г.

Обращает на себя внимание, что при одинаковых отметках на скважинах, варианты структурных планов ловушек - прогнозного и официального существенно различаются. По отношению к официальному варианту, во-первых, изменилось отклонение длинной оси Средневилуйской структуры от широтного направления на южное. Это хорошо заметно и на контурах ГНК. Во-вторых, изменилась морфология структуры. Прогнозный вариант отличается большая симметричность, округлость форм, равномерные и значительно меньшие градиенты погружения крыльев складки, плавная вытянутость ловушки в направлении ее длинной оси. В юго-восточной части структуры в направлении погружения ее периклинали намечается структурное осложнение. В третьих - прогнозная схема разломной тектоники на структуре принципиально отличается по пространственному размещению и простирацию дизъюнктивов от официально принятой схемы (рис.2.3-г).

#### Хапчагайский мегавал и сопредельные территории

Хапчагайский мегавал расположен в центральной части Вилуйской синеклизы и представляет линейно вытянутую структуру субширотного простираения длиной свыше 240 км и шириной 40-45 км (рис.2.1). Мегавал контролирует цепочку антиклинальных поднятий, в которых открыты газоконденсатные месторождения: Средневилуйское, Толонское, Мастахское, Недже-линское,

Соболохское, Бадаранское и Нижневиллюйское. Подошва продуктивной триасовой толщи в сводах контролируемых им антиклинальных поднятий залегает на глубине 3-4 км. Амплитуда мегавала по пермско-верхнеюрским отложениям достигает 800–1000 м. Отмечается увеличение площади мегавала от 6500 км<sup>2</sup> по кровле верхнепермских отложений до 7800 км<sup>2</sup> - по кровле верхнеюрских образований. В более древних горизонтах осадочного чехла мегавал выделяется менее определенно. Установлено, что формирование мегавала в мезозойско-верхнепалеозойской части разреза происходило в позднеюрское-нижнемеловое время. По мнению ряда исследователей предполагается, что Нижневиллюйской седловиной Хапчагайский мегавал соединен с Китчанским поднятием в Предверхоянском прогибе.

Современный структурный план мегавала и контролируемых им локальных структур, в которых открыты залежи газа, сформировался, по мнению большинства исследователей, к концу нижнемелового времени. Природа Хапчагайского мегавала и его локальных поднятий до настоящего времени остается дискуссионной. Имеющиеся по ней точки зрения можно рассматривать в трех обобщенных гипотезах: конседиментационной, разломной и инверсионной. Однако по большинству мнений считается, что мегавалу и брахиантиклиналям, к которым приурочены основные месторождения, но нижним горизонтам осадочного чехла, в общем, соответствуют поднятия кристаллического фундамента.

Несмотря на то, что на территории Хапчагайского мегавала пробурено свыше 140 глубоких скважин (поисковых, разведочных и эксплуатационных) кондиционные структурные планы на его территорию по опорным геологическим реперам в верхней перми и мезозое не построены из-за крайней неравномерности размещения глубоких скважин. Подавляющее большинство скважин пробурено на месторождениях мегавала, тяготеющих к его осевой части. На склонах мегавала и на сопряжении с окружающими его структурами: Линденской впадиной, Тангнарынским прогибом, Бес-Кюельской и Тюкян-Чебыдинской моноклинами и Лунгхинско-Келинской впадиной пробурены единичные скважины. Проблемным в существующем представлении о геологическом строении Хапчагайского мегавала является также характер дизъюнктивной и пликативной тектоники в верхнепалеозойско-мезозойских отложениях. Общепризнанные схемы разломной тектоники на территорию Хапчагайского мегавала отсутствуют.

Методическая схема решения структурной задачи на территории Хапчагайского мегавала, рассматриваемой как прогнозная, полностью аналогична реализованной на Средневиллюйской площади.

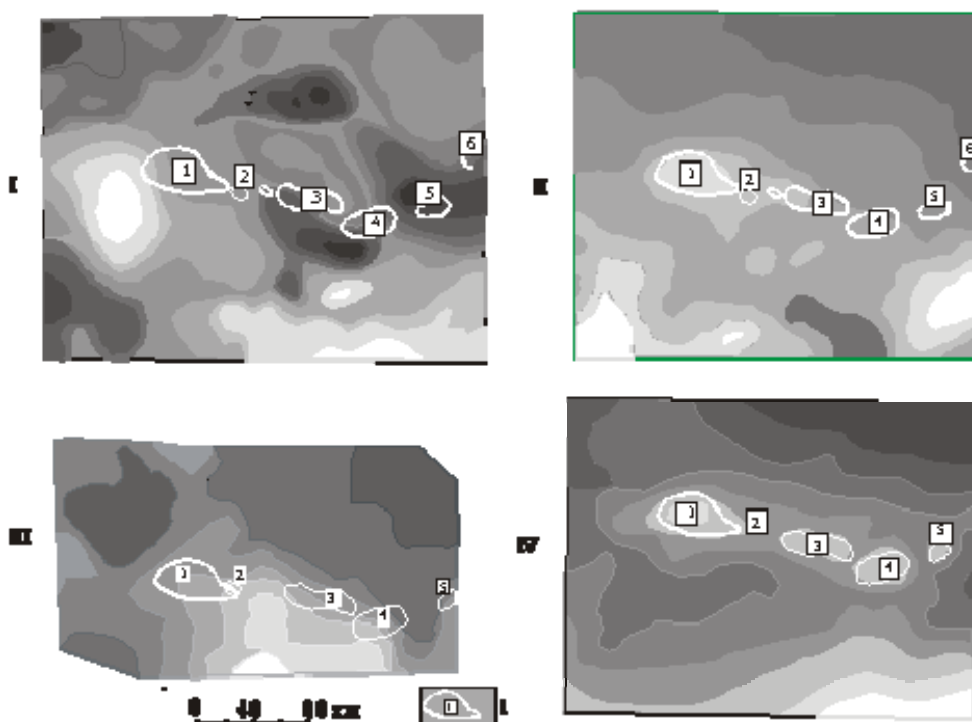
Для настройки на эталоне привлечено большинство скважин, пробуренных на территории центральной части Виллюйской НГО. В качестве прогнозирующих геофизических полей помимо глубин сейсмического репера ( $H_{\text{ГП}}$ ) выбраны гравитационное поле силы тяжести ( $\Delta g$ ) и поле суммарной проводимости осадочного чехла по данным магнитотеллурического зондирования (MTЗ)-S $\Sigma$ .

Настройка на структурный фактор на начальном этапе осуществлялась по двумерной регрессионной зависимости:  $H_g = f(\Delta g_{\text{рег}}, H_{\text{ТП}}, S\Sigma)$

В качестве структурного фактора ( $H_g$ ) на эталоне выступали абсолютные отметки залегания кровли сунтарской свиты нижней юры и кровли мономской свиты нижнего триаса, являющихся региональными геологическими реперами на изучаемой территории

На Средневилульской площади, гравиметрическое поле (основная настраиваемая компонента) и поле глубин сейсмического репера ТП конформно отражают структурный фактор и до настройки на эталоне. Настройка приводит к последующему усилению связей и повышению значения коэффициента множественной корреляции регрессионной зависимости за счет выделения структурной компоненты в гравитационном поле. Для территории Хапчагайского мегавала эти связи до настройки далеко не очевидны. В исходных потенциальных геофизических полях (гравитационном и магнитном) и поле суммарной проводимости осадочного чехла Хапчагайский мегавал не проявляется. В гравитационном поле соответствующая его местоположению цепочка локальных структур по данным МОВ располагается дискордантно к поведению его изолиний (рис. 2.9).

Более того, настройки на структурный фактор геофизических полей на скважинном эталоне, когда в качестве основного настраиваемого поля выбирается поле  $\Delta g$  или  $S\Sigma$ , вызывают не увеличение, как на Средневилульской площади, а резкое снижение коэффициентов множественной корреляции. Это обстоятельство свидетельствует об отсутствии в гравитационном и магнитотеллурическом полях структурной компоненты, конформно отражающей структуру мегавала по мезозойским отложениям. Поведение геофизических полей при настройке параметров приводит к гипотезе относительно природы Хапчагайского мегавала, как о бескорневой структуре, проявляющейся только в рыхлых терригенных пониженной плотности отложениях верхнепалеозойско-мезозойского комплекса. По направленности тектонических движений относительно структурного плана преимущественно карбонатных отложений рифейско-нижнепалеозойского бассейнового комплекса эта структура является новообразованной, а по соотношению структурных планов – навешенной.



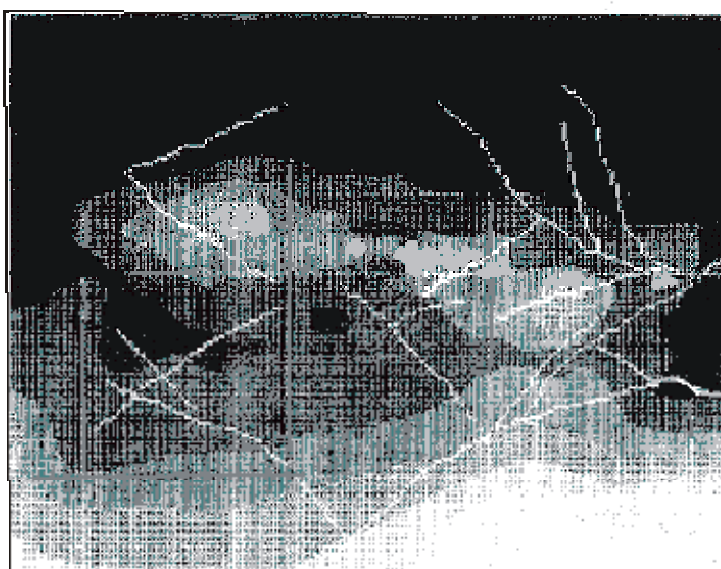
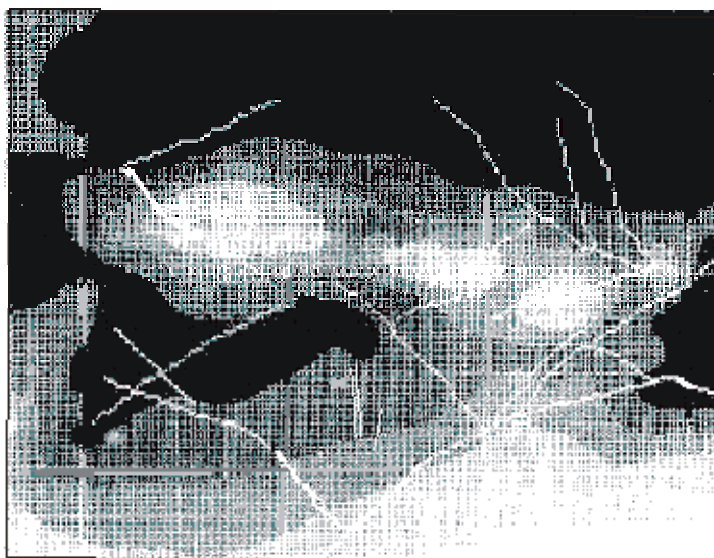
**Рис. 2.9. Геолого-геофизические модели Хатчагайского мегавала-геофизические поля с накладкой контуров локальных структур мегавала (матричное представление - значение полей уменьшается к темному цвету).**

*I-магнитное поле; II-гравитационное поле; III-поле суммарной проводимости осадочного чехла по данным МТЗ; IV- поле глубин сейсмического репера ТП (НТП)*

По этой причине поля  $\Delta g$  и  $S\Sigma$  были исключены из дальнейшего анализа, а окончательные настройка и построение структурных карт осуществлялись по данным бурения и одному полю глубин сейсмического репера ТП. Разрывные нарушения выделены по методике, описанной для Средневилукойского месторождения. Качественное представления структурных планов и малоамплитудной тектоники карты показаны в растровой форме (рис. 2.10).

Сопоставление структурных карт геологических реперов со структурной картой по сейсмическому горизонту ТП показывает, что они сходны и первые не несут в себе качественно новых деталей геологического строения по сравнению с картой по данным МОВ. Такое подобие структурных планов предопределено использованием только сейсмических данных в комплексе бурением и вынужденным отказом от применения поля  $\Delta G$ . При этом на участках, где нет данных бурения, все неточности структурных построений автоматически переносятся на структурные построения по геологическим реперам. Это обедняет полученные результаты структурных построений по сравнению с построениями на Средневилукойской площади. Вместе с тем, качественно новым в них, кроме разломной тектоники, является не геологическая ситуация, а стратиграфическая привязка карт к геологическим реперам.

а)



**Рис.2.10. Структурные карты по кровле мономской свиты нижнего триаса (а) и кровле нижней юры (б) на территорию центральной части Виллюйской НГО**  
(матричное представление)

*1- структуры Хатчагайского мегавала; 2-тектонические нарушения.*

В методическом плане решение структурной задачи с использованием данных скважин и одного поля Нтп свелось к пересчету структурной поверхности с уровня залегания сейсмического репера на уровни залегания геологических, что могло быть достигнуто и классическим методом схождения. Однако, независимо от метода получения карт практическая значимость их для планирования размещения геологоразведочных работ несомненна.

Среднеквадратическая ошибка прогноза ( $E = 130$  м), полученная в результате структурных построений, не может обеспечить высокую точность в пределах апикальной части мегавала, где высокая плотность буровых скважин. В частности, несерьезно говорить о возможности выделения по карте новых локальных структур, однако эта точность вполне приемлема для отражения структурного плана мегавала на его склонах и сопряжениях с другими тектоническими элементами, где мало пробуренных глубоких скважин.

### ***Кластерные модели месторождений***

#### **Хапчагайский мегавал**

Формально задача кластеризации заключается в следующем. Имеется множество  $N$  рассматриваемых объектов- точек территории. Для каждого объекта  $n_i \in N$  принадлежащего множеству задано множество описаний (значений признаков)  $X_j, j=1, 2, \dots, M$ , где  $M$ -количество признаков. Для каждого признака может быть указан вес, с которым он должен учитываться при кластеризации. Введена метрика  $d$  описания близости (сходства) объектов в пространстве признаков. Заданы критерии  $K_1$ - внутригрупповая близость и  $K_2$ - межгрупповая близость. Требуется объединить объекты  $\{n_i\}$  в группы (кластеры или таксоны) таким образом, чтобы  $K_1$  достигал максимума ( то есть расстояния между объектами кластера в пространстве признаков минимальны), а  $K_2$  – минимума ( соответственно расстояния между группами максимальные) [ Райзин Дж. Вэн., 1980].

Кластерный анализ многомерной информации на месторождениях Хапчагайского мегавала, как на наиболее изученной геофизическими методами и бурением площади работ, проводился с целью выявления структуры связи между объектами различных месторождений в многомерном признаковом пространстве и получения на этой основе новой геологической информации вероятностного характера [Берзин, 1997]. Особенности группировки точек в таксонах в дальнейшем используются для обоснования отдельных аспектов геологического строения и нефтегазоносности окружающей территории. В качестве объектов выбирались представляющие точки, совпадающие по местоположению с глубокими скважинами, пробуренными в пределах контуров месторождений.

Таксономия объектов осуществлялась по алгоритмам управляемого кластерного анализа в признаковом пространстве 26-ти геолого-геофизических характеристик, признанных диагностическими на этапе анализа (Табл. 2.1)

**Таблица 2.1**

#### **Перечень диагностических признаков, использованных при таксономии**

№ признака	Тип признака	Имя признака	тип шкалы
------------	--------------	--------------	-----------

1	Первичн.	Исходное поле $\Delta T$	2
2	Первичн.	Поле суммарной проводимости чехла (S)	2
3	Первичн.	Поле глубин сейсмического репера	2
10	Первичн.	ТП	2
14*	Вторичн.	( $H_{\text{ТП}}$ )	2
18*	Вторичн.	Поле глубин кристаллического фундамента ( $H_{\text{кр.ф.}}$ )	2
19*	Вторичн.	Оценка разнообразия поля S	2
20*	Вторичн.	Коэффициент корреляции поля $\Delta G$ и $\Delta T$	2
23	Вторичн.	Коэффициент корреляции поля $\Delta G$ и рельефа земной поверхности	2
24*	Вторичн.	Коэффициент корреляции поля $\Delta T$ и рельефа земной поверхности	2
25*	Вторичн.	Простираение элементов поля $\Delta T$	2
27*	Вторичн.	Анизотропность элементов поля $\Delta G$	2
28*	Вторичн.	Простираение эл-тов поля $\Delta S$	2
30*	Вторичн.	Оценка разнообразия локальных аномалий $\Delta G_{\text{лок}}$	2
33*	Вторичн.	Оценка разнообразия локальных аномалий $\Delta T_{\text{лок}}$	2
36	Вторичн.	Простираение локальных аномалий $\Delta G_{\text{лок}}$	2
38	Вторичн.	Коэффициент сопряженности полей $\Delta G_{\text{лок}}$ и $\Delta T_{\text{лок}}$	2
39*	Вторичн.	Поле локальных аномалий $\Delta G_{\text{лок}}$	2
41*	Вторичн.	Поле локальных аномалий $\Delta T_{\text{лок}}$	2
44*	Вторичн.	Расстояние до сверхмелкомасштабных линеаментов по данным КС (гр. А)	2
46	Вторичн.	Расстояние до мелко - и	2
47*	Вторичн.		
50*	Вторичн.		

54*	Вторичн.	среднемасштабных линеаментов по данным КС (гр. С)	2
56*	Вторичн.	Расстояние до границ морфоструктурных линеаментов КС (гр. А)	2
58*		Коэффициент корреляции $\Delta G_{\text{лок}}$ и $\Delta T_{\text{лок}}$  Локальные аномалии $\Delta G$ после диагональной фильтрации  Расстояние до элементов гидросети  Простираие элементов поля S  Дисперсия поля S  Расстояние до локальных структур по данным МОВ	2

Таксономия осуществлялась в двух вариантах: для числа таксонов  $N=2$  и  $N=8$ . Число таксонов 8 определялось числом месторождений на территории мегавала, а  $N=2$  соответствовало предельному случаю классификации.

Результаты таксономии приведены на рис.2.11.

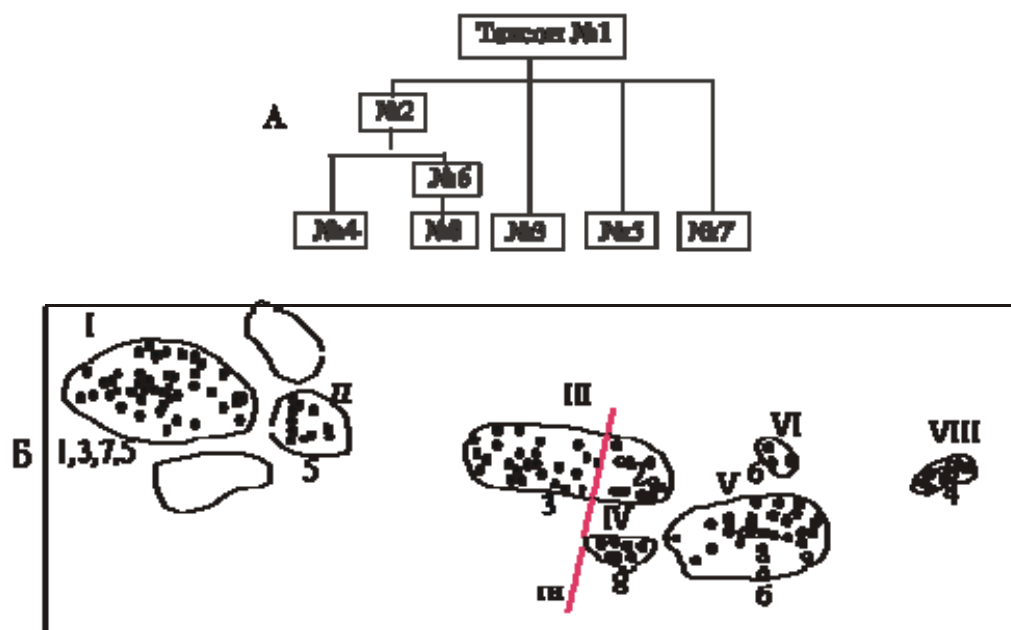


Рис. 2.11. Результаты кластерного анализа на месторождениях Хапчагайского мегавала



*А -схема связи таксонов; Б-карта таксонных структур представляющих точек (скважин) месторождений: для N=8 (заливка точек не принимается во внимание), для N=2 карта представлена двумя таксонами, выраженными в заливке точек; N-число таксонов; 1,2,3,.....8-номера таксонов; -представляющие точки (скважины) месторождений; ГН-геологическое нарушение.*

В результате выполненного анализа устанавливаются особенности пространственного расположения таксонных структур и группировки в них представляющих точек, которые можно связывать с некоторыми аспектами геологического. Отметим некоторые особенности классификации на рисунке:

1. Большинство месторождений в выбранном признаковом пространстве компактны и однородны, т.е. представлены объектами какого-то одного таксона; исключение составляют Средневилюйское и Мастахское месторождения.
2. Месторождения Хапчагайского мегавала группируются в его западную и восточную ветви. Средневилюйское месторождение содержит объекты корневого таксона, а также 3-го и 5-го, к нему на западе тяготеют Толонское месторождение (5-й таксон) и западная часть Мастахского (3-й таксон). На востоке мегавала представляющие точки Соболахского, Неджелинского, Люксюгунского, Бадаранского и Нижне Вилюйского месторождений объединяются таксоном № 2, объекты которого расположены не на отдельном месторождении, а на восточной части Мастахского. Такая упорядоченная субширотная группировка месторождений мегавала на западную и восточную ветви, с границей между ними проходящей в восточной части Мастахского месторождения, подтверждается результатами кластерного анализа при дихотомии представляющих точек на два класса (N=2) (рис.2.11).
3. Неджелинское и Люксюгунское месторождения представлены объектами одного таксона; а Соболахское - соподчиненного Неджелинскому таксону.
4. Мастахское месторождение содержит в западной части объекты одного таксона, а в восточной части - другого.
5. Средневилюйское месторождение кроме объектов корневого таксона №1 и таксонов №3и №5 содержит объекты таксона №7, которых нет на других месторождениях.

Отмеченные особенности классификации позволяют предположить:

-наличие геологического нарушения или смены фациальных условий осадконакопления по границе, проходящей в восточной части Мастахского месторождения в субмеридиональном направлении;

-вероятность существования единой ловушки или (залежи) для Неджелинского и Люксюгунского месторождений; а также фактора генетической связи Неджелинского и Соболахского месторождений;

-вероятность существования вблизи Средневилюйского месторождения еще, по крайней мере, одного неоткрытого месторождения

### ***Геолого-математические модели месторождений***

#### *Хапчагайский мегавал*

В настоящее время разработаны методы уточнения запасов углеводородного сырья и количественной оценки перспектив открытия новых залежей УВ в природных совокупностях открытых месторождений, опирающиеся на статистический анализ запасов газа промышленных категорий в залежах. Научной основой геолого-математического метода Ф.Н. Алексеева, который использовался на месторождениях Хапчагайского мегавала, служат представления о существовании природных совокупностей месторождений полезных ископаемых (в том числе залежей нефти и газа) и присущих им закономерностей [Алексеев, 1996]. Под природной совокупностью (ПС) понимается группа пространственно и геологически обособленных скоплений полезного ископаемого общего генезиса, величинам запасов которых присущи вероятностные закономерности, обусловленные процессом накопления, происходящего в условиях приоритетности, сохраняющиеся весь период формирования объектов природной совокупности. К наиболее важным признакам природных совокупностей месторождений и залежей углеводородов относятся пространственная и геологическая обособленность ее объектов, и вероятностные закономерности, свойственные величинам запасов и пространственному размещению месторождений, выраженной векторными системами. Установлено, что запасы месторождений (залежей), входящих в ПС, описываются логнормальным а модули векторной системы - равномерным законами распределений вероятностей.

Исследование Ф.Н. Алексеевым природных совокупностей привело к разработке теории накопления запасов, основополагающие идеи, которой формулируются следующим образом.

Однотипные геологические процессы, приводящие к образованию месторождений полезных ископаемых, всегда захватывают некоторые территории и одновременно или последовательно реализуются на нескольких участках, определяя формирование природной совокупности и её объём.

Величина запасов  $Q_m, m=1, 2, \dots, N$  каждого скопления полезного ископаемого, входящего в природную совокупность объёмом  $N$ , является суммой большого числа слагаемых  $q_m^j, j = 1, 2, L$ , т.е. статистикой  $Q_m = f(q_m^1, q_m^2, \dots, q_m^L)$ , для которой применимы закон больших чисел и центральная предельная теорема.

Процесс накопления (суммирование) обеспечивает близость значений  $Q_m$  к своим математическим ожиданиям, т.е.  $Q_m \approx M(Q_m)$ ,  $m = 1, 2, \dots, N$  и это приводит к тому, что величины запасов полезного ископаемого в природной совокупности определяются выражением:

$$y_{m,N} = F^{-1}\left(\frac{m}{N+1}\right), \quad (1)$$

$\Delta F = \frac{1}{N+1} \lambda = \frac{m}{N+1}$  а это означает, что величины запасов рассматриваются как квантили ( $\lambda$ ) равноотстоящих уровней ( $\Delta F$ ):

где:  $y_{m,N}$  - нормированная и центрированная величина запасов (переменная в логнормальном законе);  $N$  - число всех месторождений (залежей) в ПС,  $m=1, 2, \dots, N$  - ранг (номер) месторождения (залежи) в ряду ранжированных месторождений по величине запасов от меньших к большему.

С помощью закономерности, выраженной соотношением (1), можно определять, сколько залежей еще не обнаружено в разведываемой ПС и каковы запасы нефти или газа в каждой из них. В качестве исходных данных используются сведения о разведанных запасах в залежах оцениваемой природной совокупности.

Для практического использования последней необходимо знать функцию распределения  $F_N(Q_m)$ , которая для месторождений углеводородов подчиняется логарифмически нормальному (логнормальному) закону.

В реальности приоритеты ( $m$ ) и общее число месторождений ( $N$ ) в ПС неизвестны. Поэтому вначале строят экспериментальную функцию распределения вероятностей  $F_n(Q_m)$  на ограниченной совокупности открытых месторождений -  $n$ . Для этого ранжируют запасы известных месторождений и находят с использованием соотношения (1) дискретные значения переменной

$$y_{m,n} = F^{-1}\left(\frac{m}{n+1}\right),$$

Значения переменной ( $y_{m,n}$ ) и соответствующие им логи (и соответствующие им логарифмы дебитов ( $Q_m^*$ )) выносят на плоскость в координатах ( $y_{m,n}$ ;  $Q_m^* = \lg Q_m$ ), строят линейное уравнение регрессии, коэффициенты которого являются статистическими параметрами функции распределения  $Q_m^* = \sigma \ln y_{m,n} + \mu$

Располагая экспериментальной функцией распределения вероятностей  $F_n(Q_m)$  и знаниями о виде описывающей функции  $F(x)$ , можно построить распределение исходной природной совокупности  $F_N(Q_m)$ . Для этого производится по нескольким специальным методикам оценка расстояния между уровнями  $\Delta F$ ,

определяется предельное число месторождений  $N = 1/\Delta F \times (1 - \Delta F)$ ,

перевычисляются ранги месторождений  $m_N = \frac{F_n(Q_n)}{\Delta \hat{F}}$ , затем  $\frac{m_N}{\hat{N} + 1}$ , и  $y_{m_N}$  и находится уравнение:

$$Q_{m_N}^* = ay_{m_N} + b,$$

По найденному уравнению оцениваются все значения  $Q_1, Q_2, \dots, Q_{\hat{N}}$ .

Прогнозные запасы в необнаруженных залежах нефти или газа определяются путём исключения из полученных  $\hat{N}$  значений запасов разведанных залежей.

В пределах Хапчагайского мегавала выделена природная совокупность, в которую вошли следующие месторождения: Нижневилуёвское, Бадаранское, Мастахское, Толонское, Соболохское, Неджелинское и Средневилуёвское. По отношению к выделенной Хапчагайской ПС решались две задачи [Алексеев, Берзин, Ростовцев, 2000]:

- 1) определение количества неоткрытых залежей и месторождений и величины прогнозных ресурсов в необнаруженных объектах;
- 2) заверка перспективности сев. Толонского и Юж. Средневилуёвского участков, выделенных вблизи Средневилуёвского месторождения по данным кластерного анализа и комплексной интерпретации многомерной информации с помощью ГИС-технологии.

Исходными данными для анализа при решении первой задачи явились запасы газа промышленных категорий для всех залежей и месторождений Хапчагайского мегавала. В таблице приводятся сведения о распределении запасов в исследуемой выборке из 16-ти залежей ( $n = 16$ ) и результаты определения приращений  $\Delta F_i$  эмпирической функции  $F_n(Q_m)$ .

Таблица 2.2

**Распределение запасов газа в залежах Хапчагайской природной совокупности и  
результаты определения приращений  $\Delta F_i$  функции  $F_n(Q_m)$**

$m$	Название месторождения и возрастной индекс залежи газа,  категории запасов	Запасы  газа, млн. м <sup>3</sup>	$y_{m,n}$	$F_n(Q_m)$	$\Delta F_i$
5	Неджелинское, J <sub>1</sub> -I, J <sub>1</sub> -II; C <sub>1</sub>	1484	-0,7182	0,245	0,040
6	Мастахское, T <sub>1</sub> -XA; C <sub>1</sub>	1847	-0,5656	0,285	0,050
7	Мастахское, T <sub>1</sub> -IVA-IVБ; C <sub>1</sub>	2382	-0,4303	0,336	0,025
8	Мастахское, T <sub>1</sub> -X; C <sub>1</sub> +C <sub>2</sub>	2693	-0,3025	0,361	0,014
9	Толонское, P <sub>2</sub> -II; C <sub>1</sub>	2874	-0,1797	0,375	0,086
10	Неджелинское, T <sub>1</sub> -IVA; C <sub>1</sub> +C <sub>2</sub>	4256	-0,0596	0,461	0,086
11	Соболох, J <sub>1</sub> -I; C <sub>1</sub>	6251	0,0596	0,547	0,087
12	Мастахское, P <sub>2</sub> -I, P <sub>2</sub> -II; C <sub>1</sub>	9330	0,1797	0,634	0,034
13	Мастахское J <sub>1</sub> I+II; C <sub>1</sub>	10938	0,3025	0,668	0,008
14	Толонское, T <sub>1</sub> -IVБ <sup>2</sup> , T <sub>1</sub> -IVБ; C <sub>1</sub> +C <sub>2</sub>	11424	0,4303	0,676	0,049
15	Толонское, T <sub>1</sub> -III; C <sub>1</sub>	14654	0,5656	0,724	0,007
16	Толонское, T <sub>1</sub> -I, IA,IIA, IIB; C <sub>1</sub> +C <sub>2</sub>	15206	0,7182	0,731	0,058
17	Толонское, T <sub>1</sub> -I, IA,IIA, IIB; C <sub>1</sub> +C <sub>2</sub>	21170	0,8760	0,789	0,059
18	Неджелинское, T <sub>1</sub> -IVБ; C <sub>1</sub>	31621	1,0675	0,848	0,033
19	Неджелинское, P <sub>2</sub> -I, P <sub>2</sub> - IIa; C <sub>1</sub>	41429	1,3094	0,881	0,084
20	Средне-Вилуйское, T <sub>1</sub> -II; C <sub>1</sub>	126644	1,6688	0,965	
	Средне-Вилуйское, T <sub>1</sub> -III; C <sub>1</sub>				

По данным таблицы 2.5 найдено уравнение прямой, описывающей величины разведанных запасов в залежах Хапчагайской ПС, найдены параметры распределения и построено само распределение  $F_n(Q_m)$ .

В результате исследования функции распределения запасов  $F_n(Q_m)$  (таблица 2.5) получена оценка  $\Delta F=0,041$  объема природной совокупности  $N=25$ .

Окончательные результаты оценки прогнозных и потенциальных запасов Хапчагайской природной совокупности, полученных по изложенной методике, приведены в таблице 4.3.

Таблица 2.3

**Результаты оценки прогнозных и потенциальных запасов газа**

**Хапчагайской природной совокупности,  $\hat{N}=25$**

$F_n(Q_m)$	$m_N$	Вычисленные запасы $Q_{\sigma}$ , м <sup>3</sup>	Границы доверительных интервалов		Разведанные запасы, $Q_p$ , м <sup>3</sup>	$\Delta_i$ %
			нижняя	верхняя		
Разведанные запасы газа						
0,245	6	1291	1119	1491	1484	15
0,285	8	1966	1741	2221	1847	6
0,336	9	2329	2125	2662	2382	0,1
0,361	10	2868	2584	3182	2693	6
0,375	11	3420	3104	3768	2874	16
0,461	12	4085	3732	4472	4256	4
0,547	14	5348	5301	6232	6251	9
0,634	16	8189	7587	8839	9330	14
0,668	17	9871	9143	10657	10938	11

0,676	18	11942	11038	12120	11424	4
0,724	19	14657	13491	15924	14654	0,0
0,731	20	18184	16633	19880	15206	16
0,789	21	23176	21011	25564	21170	9
0,848	22	30236	27101	33734	31621	5
0,881	23	41857	36933	47436	41429	1
0,965	25	117403	97918	140766	126644	8
<b>ВСЕГО 297272 304203</b>						
Прогнозные ресурсы газа						
	1	200*	155	257		
	2	374	302	453		
	3	561	464	679		
	4	777*	654	922		
	5	1013*	866	1185		
	7	1602*	1404	1828		
	13	4846	4451	5276		
	15	6867	6353	7422		
	24	62824	54267	72729		
<b>ВСЕГО 79094 (прогнозируется 75472 в 5 залежах)</b>						

Согласно полученным результатам есть основания рассчитывать на открытие в пределах Хапчагайского мегавала пяти залежей с запасами газа: в двух из них не превышающие 1000 млн. м<sup>3</sup>, в двух других в пределе от 4500 до 7500 и в одной от 55000 до 75000 млн. м<sup>3</sup>. Общие запасы газа в прогнозируемых залежах оцениваются в количестве от 60 до 85 млрд.

Практика изучения месторождений УВ показала, что начало каждой векторной системы определяется положением месторождения, залежи которого характеризуются наибольшей глубиной залегания, а вероятностное распределение модулей (расстояний от полюса до объектов) описываются

линейным уравнением. Этим признакам в Хапчагайской природной совокупности удовлетворяет пространственное положение Неджелинского месторождения, по отношению к которому построена векторная система, показанная на рис. 2.12-а, где каждая точка занимает центральное положение в контуре месторождения, обозначенного на карте. Для этой системы найдено распределение вероятности ( $P$ ) модулей векторов ( $L$ ) и построено уравнение аппроксимации с коэффициентом корреляции  $r = 0,988$  (рис. 2.12 -б).

Заверка перспективных участков на возможность их принадлежности к неоткрытому месторождению осуществлялась по поведению коэффициента корреляции уравнения аппроксимации распределения модулей, после включения в систему модуля того или другого участка.

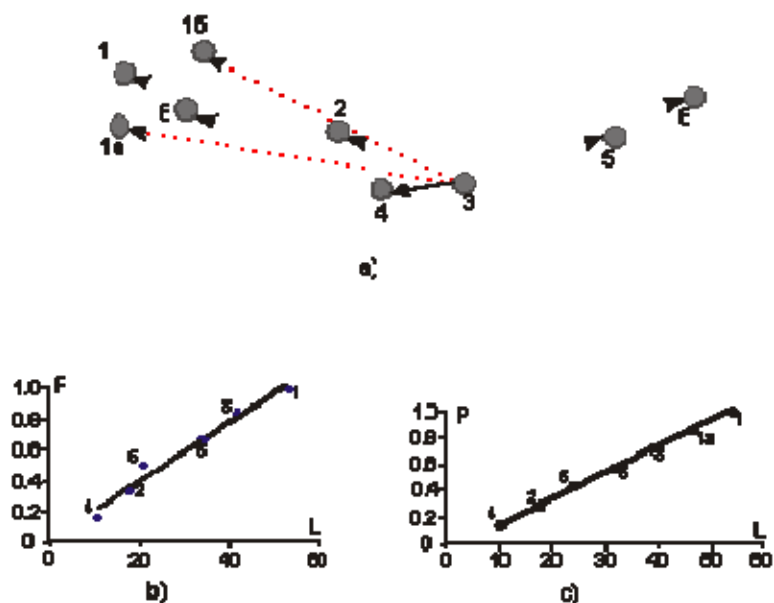


Рис.2.12

а) векторная система Хапчагайской природной совокупности месторождения: 1- Средневилуйское; 2-Мастахское; 3- Неджелинское; 4-Соболохское; 5-Бадаранское; 6- Нижневилуйское; 8-Толонское. Перспективные участки: 1а- Юж. Средневилуйский; 1б- Сев.Толонский; б) график распределения модулей векторной системы Хапчагайской ПС до включения в систему прогнозных участков; с) график распределения модулей векторной системы Хапчагайской ПС после включения Юж. Средневилуйского участка;

Установлено, что последовательное включение в систему модулей, направленных на Юж. Средневилуйский (рис 2.12 -с), а затем на Сев.Талонский участок, приводит к одинаковому повышению коэффициентов корреляции с  $r = 0,988$  до  $r = 0,997$  и  $r = 0,996$ , соответственно. Это даёт основание отнести их в равной мере к перспективным на обнаружение залежей газа. Согласно оценки перспектив Хапчагайской ПС, выполненной на основании статистического анализа функции распределения величин запасов, прогнозируется открытие одного месторождения. Близость полученных коэффициентов корреляции не позволяет однозначно решить какой из двух рассмотренных участков является более перспективным на обнаружение прогнозируемого месторождения. Для решения этого вопроса необходим дополнительный анализ геологических и геофизических данных.



#### ***2.4.6. Спектрально-глубинные развертки скважинных наблюдений***

Сложившаяся практика корреляции глубоких скважин, пробуренных в пределах Вилуйской синеклизы и Предверхоянского прогиба, базируется на результатах исследования их методами промысловой геофизики. На этой территории характерными реперами при сопоставлении разрезов являются достаточно однородные глинистые толщи неджелинской, мономской и сунтарской свит, легко опознаваемые визуально по данным ГИС без какой-либо их углубленной обработки или преобразования. При сопоставлении частей разрезов, представленных переслаиванием однородных песчано-глинистых пород эффективность визуального использования методов ГИС резко снижается. Так, например, не представляется возможным расчленить песчанисто-глинистую толщу, представленную триасовыми отложениями, мощность которой в Вилуйской синеклизе достигает 730 м. Указанная толща выделяется под названием тулурской свиты. В естественных обнажениях Западного Верхоянья этой толще соответствуют сыгытканская свита нижнетриасового возраста, толбонская свита среднего триаса и хедаличенская свита верхнего триаса.

До последнего времени предпринимаемые попытки выделить перечисленные свиты в разрезах глубоких скважин на территории Хапчагайского мегавала по данным ГИС положительного результата не дали. Вместе с тем, разделение тулурской свиты на этой территории имеет значение для обоснования единства фациальной обстановки накопления триасовых и нижнеюрских отложений Вилуйской синеклизы и приплатформенной центральной части Предверхоянского прогиба, а значит и единства методических подходов к прогнозированию неоткрытых залежей УВ.

Вопросы корреляции разрезов немых толщ могут решаться с привлечением результатов изучения ритмичности процессов осадконакопления, в основе которых выделение циклитов, расшифровка их природы и иерархической структуры. Разработаны методы изучения седиментационной цикличности по динамическим параметрам отраженных волн [Клушин, 1987]. Существует ряд однотипных неформализованных методик выделения циклитов по данным гамма каротажа (ГК), каротажа потенциалов самопроизвольной поляризации (ПС) и кернового материала на полуколичественной основе, имеющих узкоспециализированный характер. Количественные подходы установления ритмики процессов осадконакопления по данным в той, либо иной форме связанные с математическими методами анализа периодичности дискретных последовательностей в функции геологического времени (мощности, скорости осадконакопления, времени отражения), находятся в стадии становления [Математические методы анализа цикличности в геологии, 1984].

Появившийся интерес к исследованию ритмических процессов осадкообразования делает необходимым опробование новых приемов обнаружения периодичности по данным каротажа скважин.

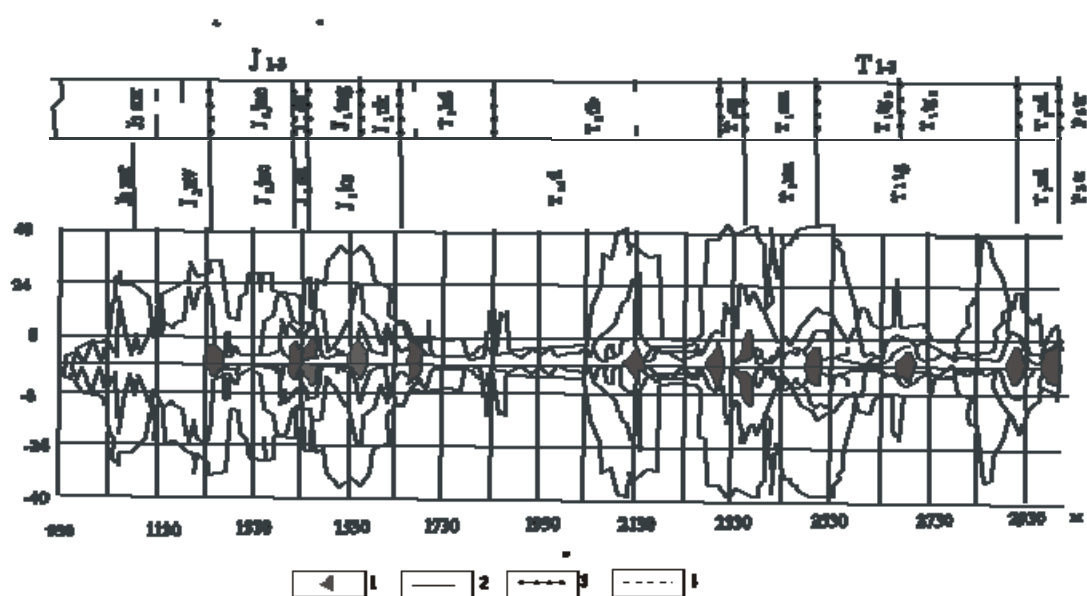
Отличительная особенность, разработанной программы спектрально - глубинных разверток каротажных кривых состоит в том, что цикличность процессов осадконакопления по этому методу устанавливается не на основе выделения разнопериодных синусоид, а путем непрерывного прослеживания по глубине характеристики Т-аргумента. Т-аргумент- это первое нулевое значение функции автокорреляции (ФАК), вычисляемое в окне анализа каротажной кривой. Кривая Т-аргумента – совокупность таких значений, вычисленных в скользящем окне анализа, по глубине скважины. Спектрально-глубинная развертка каротажной кривой представляет набор кривых Т-аргумента, полученных в нескольких, отличающихся по размерам в геометрической прогрессии (знаменатель 2), окнах анализа [Берзин, Зубаиров, 1992]. Предусмотрена также возможность глубинной развертки ряда других спектральных характеристик, вычисленных по энергетическому спектру ФАК: суммарной энергии, отдельной энергии спектра на высоких и низких частотах, средневзвешенной и медианной частоты. Развертки осуществляются в нескольких окнах анализа, размеры которых образуют геометрическую последовательность со знаменателем 2. Совокупность кривых по одному параметру (далее по тексту только параметр Т) в возрастающих окнах анализа, вынесенная в определенном масштабе симметрично относительно оси глубин, представляет собой спектрально-глубинную развертку этого параметра, отражающую цикличность процесса осадконакопления (рис. 2.13).

На Средневилюйской площади постулируется два типа границ, отображаемых циклитами по кривым ПС в интервалах разрезов скважин, где циклиты формируются: внутренние и внешние границы [Берзин А.Г., Бубнов, Берзин С.А, 1998]. Внутренние границы выглядят в виде характерных разрастаний на разноуровневых кривых и устанавливаются по корреляции характерного максимума в подошвенной или кровельной части Т-циклита (в зависимости от типа) по направлению к оси глубин. Этот тип границ устанавливается надежно. Внешние границы циклитов выглядят как начало или окончание серии разрастаний, объединенных огибающими их кривыми Т-параметра на больших окнах анализа и устанавливаются по синхронному схождению к минимальному значению Т-параметра кривых всех окон на определенной глубине. Такие границы по отношению к внутренним являются границами более высокого порядка. Выявление границ и установление положения их в разрезе по одной развертке неоднозначно. Требуется рассмотрение нескольких разверток, отличающихся набором возрастающих окон анализа. В интервалах разрезов скважин, где циклиты не формируются, возможно выделение по характерной записи породно- слоевых ассоциаций.

Сейчас трудно определить физический смысл геологических объектов, отображаемых циклитами. Вероятно, что это хроностратиграфические границы, где происходит изменение направления процесса осадконакопления и смена фациальной обстановки. В частном случае границы могут совпадать с литологическими и границами перерывов в осадконакоплении. На приведенном рисунке большинство таких границ устанавливаются однозначно (рис. 2.13).

При сопоставлении внутренних границ циклитов, выделенных на развертке по критерию положения “ядер разрастаний” устанавливается их однозначное соответствие с границами (кровлями) свит, выделяемых в разрезах скважин Средневиллюйского месторождения методами стратиграфической корреляции (1-я справа от развертки колонка): неджелинской, таганжинской и мономской - нижнего триаса; кызыл-сырской и сунтарской - нижней юры; якутской - средней юры. Внешняя граница циклита, выделенного на уровне кровли тулурской свиты, отождествляется с последней менее точно (15-20 м). Эта граница более высокого ранга, т.к. разделяет отложения юры и триаса и ее идентификация по одной развертке, как уже говорилось, менее надежна.

Дополнительно к перечисленным границам на спектрально-глубинной развертке кривой ПС по скв. №5 отмечаются границы циклитов, соответствующие положению свит, выделенных только на обнажениях в соседних районах Виллюйской синеклизы и Предверхооянского прогиба (вторая справа от развертки стратиграфическая колонка). К ним относятся границы: между нижней и верхней подсвитами тюнгской свиты нижнего триаса; кровля сыгынканской свиты нижнего триаса; не установленная граница в толбочанской свите среднего триаса; граница между толбочанской и хедаличенской свитами верхнего триаса (предполагаемая), а также еще две границы в интервале залегания нижневиллюйской свиты, не имеющие пока выделенных геологических аналогов [Берзин и др., 1998].



**Рис.2.13** Спектрально-глубинная развертка каротажной кривой ПС по скв № 5 Средневилюйской площади.

1- границы циклитов; 2 -границы свит на Средневилюйском месторождении по существующей разбивке глубоких скважин; 3-границы свит в смежных районах Вилюйской синеклизы и Предверхооянского прогиба (на обнажениях); 4- несовпадающие границы.

Свиты триаса: T1nd - неджелинская; T1tg-таганжинская; T1mn -мономская; T1-3tl-нерасчлененная тулурская; T1sg-сыгытканская; T2tlb-толбонская; T3hd-хедалеченская; свиты юры: J1ks-кызыл-сырская; J1sn- сунтарская; J2jac-якутская; J3nv-нижневилюйская; J3uk- укугутская; J3tng-тюнгская; свита верхней перми P3tr-тарагайская.

### 3. Решение геологических задач

#### 3.1. Изучение рельефа кристаллического фундамента

Рельеф кристаллического фундамента на исследуемой территории изучался многими исследователями. Основные сведения о рельефе фундамента, ввиду его глубокого залегания, доставляют материалы несейсмических геофизических исследований, допускающих в ряде случаев при отсутствии опорных данных неоднозначную геологическую интерпретацию. Этим объясняется большое количество различных схем рельефа кристаллического фундамента, в некоторых аспектах существенно отличающихся друг от друга.

Изучение рельефа фундамента осуществлялось по региональной компоненте магнитного поля  $\Delta T_{\text{рег}}$ . При выборе метода учитывалось, что данные гравиметрии, как будет показано далее, не отражают поведение фундамента на погруженных участках его залегания. Предпочтение магнитометрическим данным обусловлено также их более высокой достоверностью и информативностью в ряду других геофизических полей-признаков, в том числе

гравиметрических и магнитотеллурических, присутствующих в т.н. оптимальной модели, построенной на эталонных месторождениях. Принципы построения модели изложены далее.

Региональная (структурная) составляющая магнитного поля получена на территорию Вилуйской синеклизы и сопредельную площадь как первая главная компонента в результате двумерной энергетической фильтрации [Никитин, 1986]. С целью выделения крупных структурно-тектонических элементов в рельефе кристаллического фундамента и устранения неодно-родностей, вызванных его внутренней структурой, подобраны оптимальные размеры “окна” энергетического фильтра 50 x50 км ( рис. 3.7-I ).

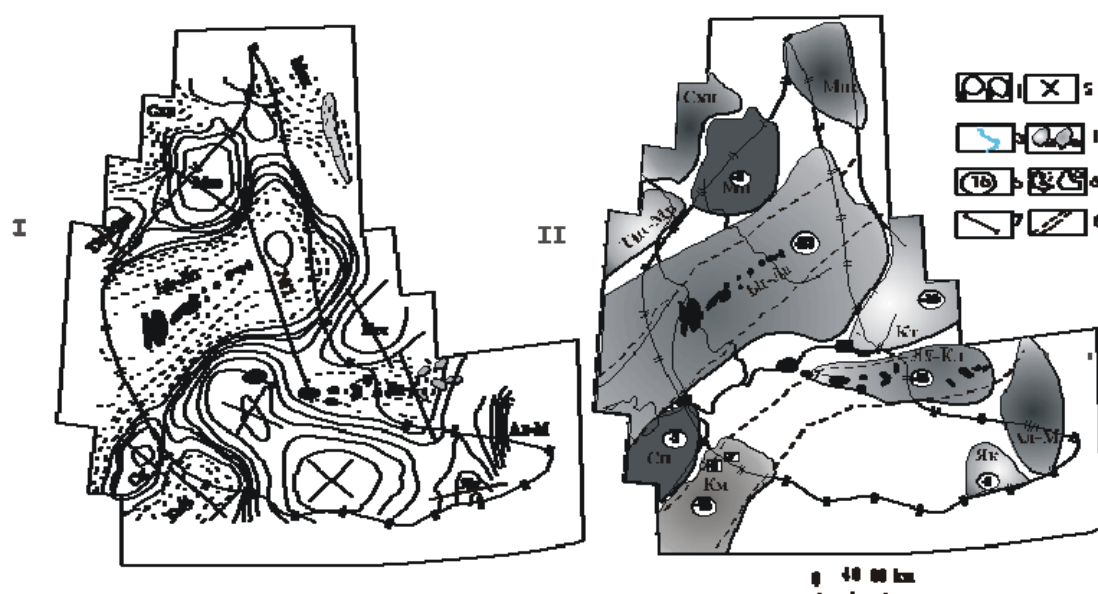
Кристаллические породы, слагающие фундаменты древних платформ, дислоцированы и денудированы в такой степени, что на его погребенной поверхности фиксируется полный разрез метаморфизированных толщ, включая и все магнитоактивные породы, поэтому при оптимальном радиусе осреднения поля, поверхность фундамента приобретает усредненное значение магнитной восприимчивости. В его поведении отражаются крупные положительные и отрицательные формы рельефа кристаллического фундамента и устраняются различия, вызванные внутренней структурой. Отметим, что на рассматриваемой территории структурные формы рельефа в поле региональной компоненты  $\Delta T$  рег. не могут быть выделены только в южной части (на территории Бес-Кюельской моноклинали), где присутствует крупная аномалия

Кристаллические породы, слагающие фундаменты древних платформ, дислоцированы и денудированы в такой степени, что на его погребенной поверхности фиксируется полный разрез метаморфизированных толщ, включая и все магнитоактивные породы, поэтому при оптимальном радиусе осреднения поля, поверхность фундамента приобретает усредненное значение магнитной восприимчивости. В его поведении отражаются крупные положительные и отрицательные формы рельефа кристаллического фундамента и устраняются различия, вызванные внутренней структурой. Отметим, что на рассматриваемой территории структурные формы рельефа в поле региональной компоненты  $\Delta T$  рег. не могут быть выделены только в южной части (на территории Бес-Кюельской моноклинали), где присутствует крупная аномалия не вертикального намагничивания, связанная, вероятно, с неоднородностью коры глубже поверхности фундамента (рис.3.1-I ).

В рельефе кристаллического фундамента по данным анализа регионального магнитного поля находят отражение большинство известных в осадочном чехле структур первого порядка: Мунский, Сунтарский и Якутский

своды, Суханская, Менгкеренская, Лунхинско-Келинская, Алдано-Майская и Кемпендяйская впадины, а Ыгыаттинская и Линденская впадины, вероятно, объединены по фундаменту в один линейно вытянутый мегапрогиб с аномальной глубиной залегания (более 20 км).

То обстоятельство, что на структурной компоненте в положении региональных аномалий поля (положительных и отрицательных) находит отражение большинство известных крупных структур рельефа фундамента Вилуйской синеклизы и прилегающих территорий и не находят отражение Хапчагайский и Малыкай-Логлорский мегавалы, позволяет рассматривать полученную компоненту в качестве схемы районирования рельефа кристаллического фундамента (рис. 3.1-II) .



**Рис.3.1. Карта региональных магнитных аномалий (I) и схема тектонического районирования рельефа фундамента (II).**

1-изолинии поля: а-положительные, б- отрицательные; аномалии, не связанные со структурными формами рельефа; 3 - реки; 4 - региональные аномалии, отождествляемые со структурными формами рельефа фундамента: а) положительных: **Як**-Якутский, **Сн**-Сунтарский, **Кт**-Китчанский, **Мн**-Мунский- своды; **Тн**-Мрх-Тюнгско-Мархинское поднятие;

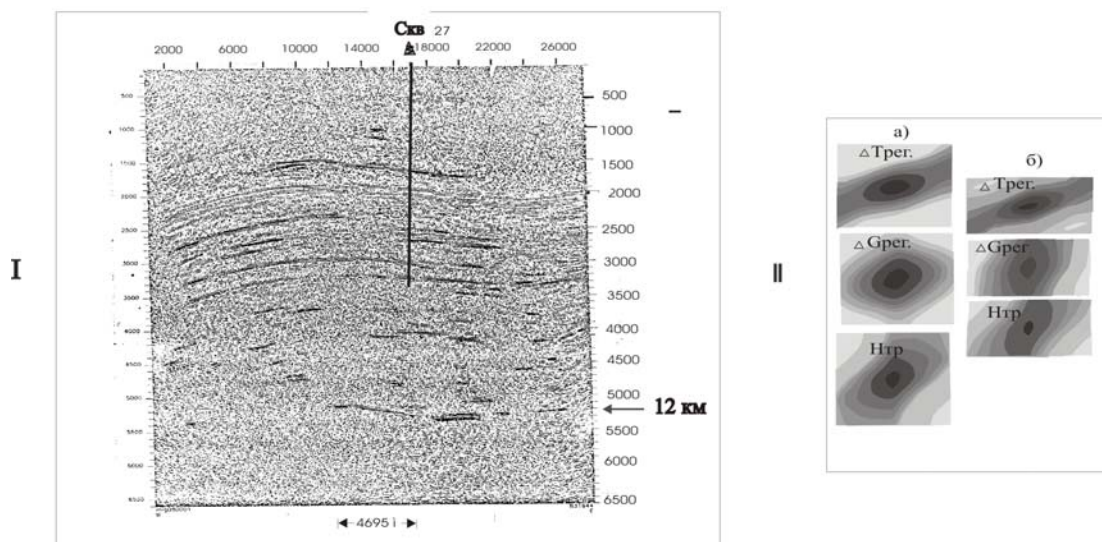
б) отрицательных: **Ал-М**-Алдано-Майская, **Км** -Кемпендяйская, **Лх-Кл** -Лунхинско-Келинская, **Мнк**-Менгкере́нская, **Схн**-Суханская впадины; **Ыг-Лн**-Ыгыаттинско-Линденский мегапрогиб; глубина залегания по данным: а) логспектрального анализа; б -

а) контур Вилюйской НГО, б) контур Базы данных; 7-положение регионального маршрута; 8-разломы в бортовых частях глубоких депрессий.

Принципиально важным структурным элементом, обособленным впервые по данным построениям, является линейно вытянутый в северо-восточном направлении обширный и протяженный (около 600 км в пределах базы данных) Ыгыаттинско-Линденский мегапрогиб с аномальными (более 20 км) глубинами залегания кристаллического фундамента, разобщающий Алданский и Анабарский мегаблоки Сибирской платформы, в котором Линденская впадина объединяется с Ыгыаттинской. Обширность мегапрогибу придают не только его продольные, но и поперечные (200-250 км) в плане размеры. В его пределы попадают Малыкай-Логлорский вал и значительная часть северо-западного борта Вилюйской синеклизы, выраженного по верхнепермским и мезозойским отложениям Хоргочумской моноклиналию. Подтверждением выделенного Ыгыаттинско-Линденского мегапрогиба являются предположения о существовании в осевой части Вилюйской синеклизы очень глубокой депрессии в рельефе фундамента и структуре докембрийских отложений, по мнению одних исследователей или авлакогена – других. Предполагалось, что авлакоген протягивается от Байкальской до Верхоянской складчатой области и что мощность протерозойских отложений в нем до 9 км.

Существующие в настоящем оценки глубин залегания кристаллического фундамента в наиболее погруженных частях Линденской впадины по данным различных исследователей составляют 10-14 км. О заниженности этих оценок свидетельствуют аномальные значения глубин залегания верхних кромок гравимагнитных масс, определенных по методу логспектров на региональном маршруте № I через Ыгыаттинско-Линденский мегапрогиб. При этом, на остальных маршрутах получены оценки глубин, близкие к общепринятым .

Полученные оценки глубин кристаллического основания в Ыгыаттинско-Линденском мегапрогибе увязываются с новыми данными глубин залегания фундамента на смежной территории Хапчагайского мегавала. По результатам переобработки “старого” профиля МОГТ № 831644 с применением современной обрабатывающей системы “Promax” глубины залегания фундамента под Хапчагайским мегавалом на Средневилюйском поднятии не ниже 12 км (рис.3.2-I), при существующих оценках в 8-9 км.



**Рис.3.2. Геофизические характеристики рельефа кристаллического фундамента**

I-сейсмический разрез МОГТ по профилю № 831644 через Средневилуйское поднятие; II-двумерные функции автокорреляции региональных компонент магнитного и гравитационного полей и структурной карты по сейсмическому реперу ТП: а) на всю территорию, б) на территорию Ыгыаттинско-Линденского мегапрогиба

Сейсмический горизонт ТП (пограничные слои перми и триаса) на линии регионального маршрута в районе Неджелинского поднятия залегает на глубине 2.6 км, а в погруженных частях Линденской впадины – 5.6 км. Перепад глубин залегания более чем двукратный. Сверхглубокая скважина № 27, пробуренная на Средневилуйском поднятии, на глубине 6519 м не вышла из отложений среднего (верхнего?) карбона.

С учетом отмеченных данных при условии сохранения устанавливаемого перепада глубин между Хапчагайским мегавалом и Линденской впадиной для отложений, залегающих ниже горизонта ТП, ожидаемая глубина кровли преимущественно карбонатных пород среднего (?) - нижнего палеозоя должна составлять в погруженных частях Линденской впадины 13-14 км, а фундамента - 22-24 км. Прогнозируемые глубины кровли карбонатных пород в Ыгыаттинско-Линденском мегапрогибе и кристаллического фундамента в точности соответствуют оценкам глубин залегания кромки гравиактивных (14 км) и кромки магнитоактивных (24 км) масс по данным логспектральных определений на региональном маршруте № I.

Новые оценки глубин залегания фундамента снимают ограничение на возможность присутствия в разрезе осадочного чехла Хапчагайского мегавала и смежных с ним территорий Ыгыаттинско-Линденского мегапрогиба и Лунгхинско-Келинской впадины среднепалеозойских отложений, в том числе соленосных, достоверно установленных в геологических разрезах Кемпендяйской впадины. Ранее на территории мегавала прогнозировалось



резкое сокращение отложений среднего палеозоя или их отсутствие на том основании, что при выдержанной мощности нижнего палеозоя (около 3 км), вскрытой мощности перми и мезозоя (6,5 км) и оценках глубин залегания фундамента (8-9 км) на среднепалеозойские отложения места не остается.

Полученные данные дают основание полагать, что аномальная мощность осадочного чехла в пределах мегапрогиба, помимо увеличенных толщин верхнепалеозойско-мезозойских отложений, может быть следствием проявления пространственно унаследованного двойного рифтогенеза (рифейского и среднепалеозойского), обусловившего большую толщу доверхнепалеозойских отложений [Берзин, Ситников, Бубнов, 2000].

Другими установленными особенностями рельефа фундамента являются.

1. Смещенные плановые положения и различные региональные простирания Ыгыаттинско-Линденского мегапрогиба и одноименных депрессий в осадочном чехле верхнепалеозойско-мезозойских отложений. Смещение можно наблюдать на региональном маршруте через Ыгыаттинско-Линденского мегапрогиб по различию формы и сдвигу минимума кривой магнитного поля ( $\Delta T_{\text{per}}$ ) по отношению к конформным кривым гравитационного поля ( $\Delta g_{\text{per}}$ ) и глубины залегания сейсмического репера ( $H_{\text{ТП}}$ ). Различие простираний устанавливается результатами корреляционного анализа потенциальных полей (гравитационного и магнитного) и поля глубин сейсмического репера ТП, полученными на всю территорию и ее часть в контуре Ыгыаттинско-Линденского мегапрогиба (рис 3.2-II).

Смещение местоположения и различие региональных простираний Ыгыаттинско-Линденского мегапрогиба в фундаменте и одноименных депрессий в мезозойском осадочном чехле свидетельствует об азимутальном и региональном несогласном залегании комплексов отложений, синхронных разновозрастным осадочно-породным бассейнам: Восточно-Сибирскому (рифей- нижний палеозой) и Лено-Вилуйскому (средний палеозой-мезозой).

2. Обособляемая в рельефе и сопоставляемая далее по тектонической природе с Ыгыаттинско-Линденским мегапрогибом Лунхинско-Келинская впадина (глубина более 15 км), которой в осадочном чехле соответствуют также смещенные к юго-востоку Лунхинская и Келинская впадины (рис.3.1-II).

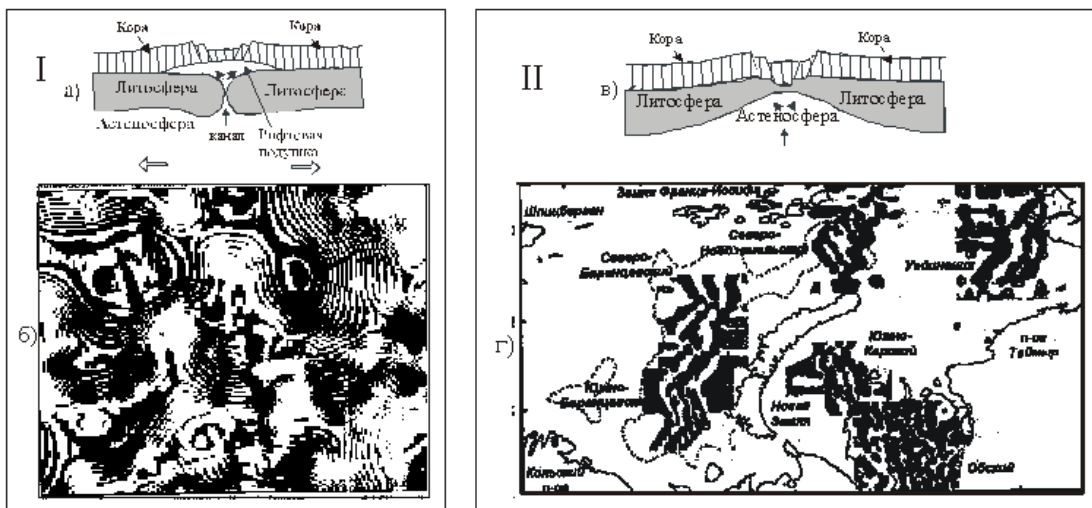
3. Существование в платформенном чехле изучаемого региона двух разноплановых структурных мегакомплексов, отличающихся формационной контрастностью породных ассоциаций: преимущественно карбонатного рифейско-среднепалеозойского и терригенного верхнепалеозойско-мезозойского. Поле  $\Delta g_{\text{per}}$  отражает в этой связи не поведение кристаллического фундамента, а структурный план поверхности карбонатных пород среднего (?) палеозоя и, как и данные сейсморазведки по горизонту ТП, не может быть использовано для структурных построений по фундаменту. Это следует из результатов

корреляционного анализа полей на всю территорию Вилуйской синеклизы и на осложняющий ее Ыгыаттинско-Линденский мегапрогиб (рис.3.2-II).

Непосредственные данные о составе и возрасте фундамента глубоких впадин Вилуйской синеклизы отсутствуют. Фундамент вскрыт скважинами только по бортам синеклизы и на Сунтарском поднятии. Данные по керну скважин в сочетании с распределением магнитных аномалий позволяют считать, что архейские кристаллические образования прослеживаются со стороны Анабарского массива и Алданского щита вплоть до бортов Вилуйской синеклизы. Состав и возраст фундамента трактуется различно. Ряд исследователей считают, что фундамент Вилуйской синеклизы представлен раннепротерозойскими складчатыми образованиями (аналогами субганского мегакомплекса), разделяющими архейские Алданский и Анабарские мегаблоки. Другие придерживаются мнения об архейском возрасте фундамента, сложенного гранито-гнейсовым комплексом и только в восточной части – архейским зеленокаменным комплексом.

Крайняя точка зрения высказана Н.П. Васильковским [1981], который считает, что начиная с рифея Вилуйская синеклиза развивается на коре океанического типа. Полученные результаты дают основание разделить эту точку зрения с тем отличием, что Вилуйская синеклиза развивалась на коре не океанического, а субокеанического типа. Рассмотрим этот вопрос подробнее.

Для континентальных рифтов, развивающихся по активной схеме (Восточно-Африканские рифты, рифты бассейна Баренцево-Карского шельфа и др.), у подошвы Мохо образуется не ограниченный снизу выступ поднятой до подошвы коры астеносферы. Поднятие происходит за счет выклинивания вышележащей части верхней мантии и приводит к утонению литосферы, последующему разрыву ее сплошности, началу продуцирования океанической коры и превращению литосферы в локальную палеоось спрединга (aborted gifted) (рис.3.3 в). Для таких континентальных рифтов характерны линейные знакопеременные магнитные аномалии, аналогичные аномалиям над рифтовыми зонами срединно-океанических хребтов (рис.3.3 г).



**Рис. 3.3 Проявление континентального рифтогенеза: Вилуйская синеклиза- (I) и Баренцево- Карский шельф (II.)**

*а) схема пассивного рифтогенеза; б) фрагмент изометричных знакопеременных магнитных аномалий над глубоким Ыгыаттинско-Линденским мегапрогибом; в) схема активного рифтогенеза; г) линейные знакопеременные магнитные аномалии над глубокими осадочными бассейнами Баренцево - Карского шельфа и Обским палеоокеаном ( по С.В. Аплонову [1993]).*

Для континентальных рифтов, развивающихся по пассивной схеме (например, Рейнский грабен), образование выступа астеносферы с утонением и разрывом сплошности литосферы не характерно. Нарушение ее сплошности под действием растягивающих усилий здесь ограничено образованием трещин (каналов), по которым за счет декомпрессии порции мантийного вещества поднимаются и наполняют “рифтовую подушку”, образующуюся между корой и подкоровой литосферой или непосредственно на кристаллическом фундаменте (рис.3.3 а). Типичный рисунок аномалий магнитного поля для таких континентальных рифтов не известен.

Специальной обработкой магнитного поля на территории Вилуйской синеклизы, направленной на выделение слабых аномалий, получены, локализован

ные только в пределах Ыгыаттинско – Линденского и Лунхинско-Келинского

авлакогенов, четкие знакопеременные аномалии, но не линейного, а концентрического типа [Берзин, 2002] (рис. 3.3 б). Эти аномалии сопоставлены с линейными магнитными аномалиями, выделенными С.В. Аплоновым [1993] над глубокими бассейнами Баренцево-Карского шельфа, которые сформировались над континентальными рифтами, развивавшимися по активной схеме (рис.3.3- II).

Локальные магнитные аномалии концентрической формы и знакопеременного характера, наблюдаемые в пределах Ыгыаттинско – Линденского и Лунхинско-Келинского мегапрогибов Вилуйской синеклизы, свидетельствуют о длительном и пульсирующем характере поступления аномальной мантии в “рифтовую подушку” через многочисленные каналы- трещины в утоненной, но без разрыва сплошности литосфере, что отличает,

на наш взгляд, континентальные рифты, развивающиеся по пассивной схеме до стадии рассеянного спрединга.

Утяжеление литосферы базитовым материалом в основании рифтовых структур привело в последствии к устойчивому и длительному погружению континентальной коры и развитию глубоких Ыгыаттинско-Линденской и Лунхинско-Келинской депрессий в осадочном чехле Лено-Вилуйского осадочно-породного бассейна. Таким образом, в основании глубоких осадочных депрессий, развитых над авлакогенами в прогнутых частях Вилуйской синеклизы, залегает кора, близкая по типу к океанической.

### **3.2. Установление тектонической природы и возраста структур**

#### **осадочного чехла**

Выявление тектонической природы Хапчагайского и Логлорского мегавалов, возраста и генезиса Вилюйской синеклизы, которые остаются дискуссионными с начала 60-х годов до настоящего времени, имеют ключевое значение для поиска нефтегазоперспективных структур, а также в вопросах истории геологического развития Вилюйской синеклизы и классификации нефтегазоносного бассейна на изучаемой территории. Наиболее изученным является Хапчагайский мегавал. Он расположен в центральной части Вилюйской синеклизы и контролирует цепочку антиклинальных поднятий, в которых открыты основные газоконденсатные месторождения Вилюйской НГО: Средневилюйское, Толонское, Мастахское, Неджелинское, Бадаранское и Нижневилюйское (рис.2.1).

Одной из характерных особенностей Хапчагайского и Малыкай -Логлорского мегавалов - они как уже отмечалось, не проявляются в грави- и магнитном полях и в поле суммарной продольной проводимости осадочного чехла. Так, в гравитационном поле находит отражение только Средневилюйское локальное поднятие и частично Неджелинское. Контролирующий поднятия Хапчагайский мегавал в этом поле не проявляется, а соответствующая его пространственному положению цепочка структур располагается дискордантно по отношению к изолиниям гравитационного поля (рис.2.11).

Этот факт является особенно интересным, если учесть внушительные геометрические размеры Хапчагайского мегавала (40\*120 км), амплитуду (порядка 1000 м) и установленный стратиграфический диапазон проявления структуры в осадочном чехе (верхняя пермь-нижний мел).

Ряд исследователей полагают, что в породах фундамента и в “низах” осадочного чехла Хапчагайский мегавал отражается в виде блоковых поднятий. Другие считают его “бескорневой” инверсионной структурой, сформировавшейся в постюрское время в результате инверсионных движений в Верхоянской складчатой области.

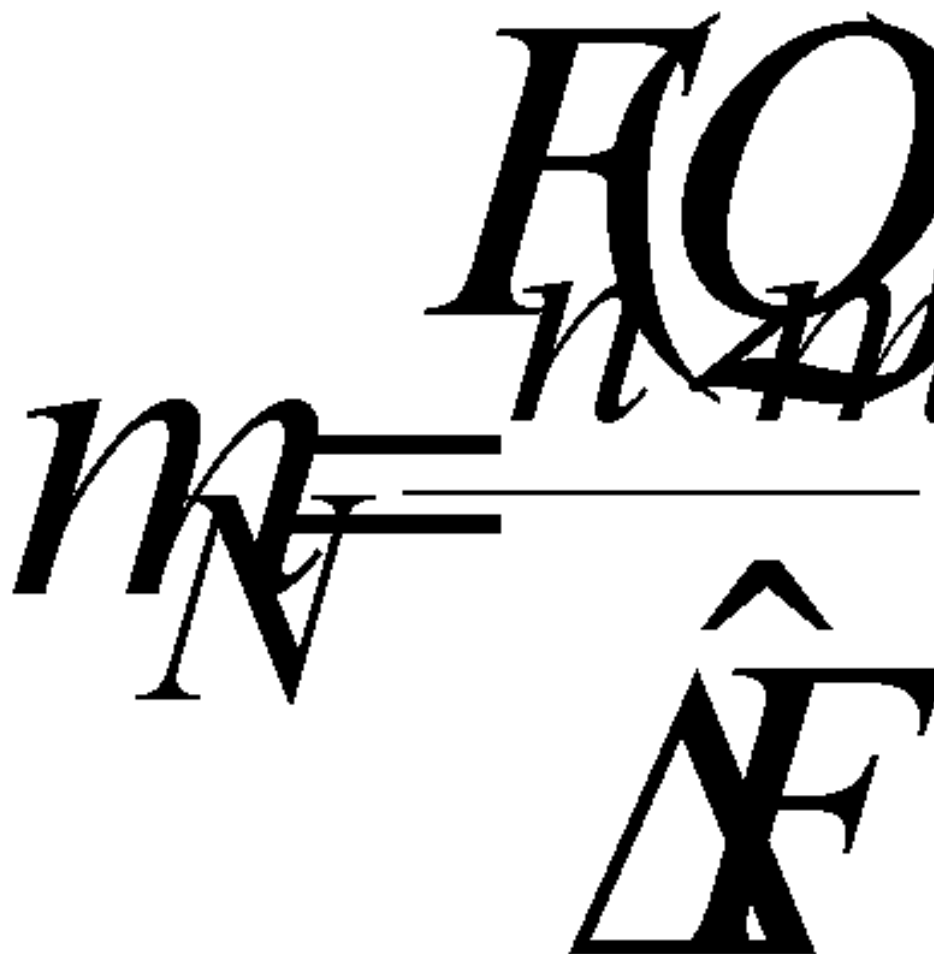
В процессе анализа многомерной картографической геолого-геофизической информации (около 60-ти карт-признаков) с помощью ГИС технологии ПАРК (Прогноз, Анализ, Распознавание, Картографирование) на месторождениях Вилюйской НГО как на эталонах была построена так называемая оптимальная модель, представляющая собой некий “геолого-геофизический портрет”, который несет в себе определяющие черты известных месторождений. Оптимальная модель включала набор наиболее значимых градаций информативных признаков, отобранных и ранжированных по значимости и информативности на эталоне. Неожиданной особенностью модели явилось присутствие в ней с высокими значениями достоверности и информативности

поля-признака  $\Delta T_a$  и его характеристик (разнообразие, энтропия, дисперсия). Простое наложение на карту исходного поля  $\Delta T_a$  контуров структур по данным сейсморазведки МОВ не отвечает на вопрос о характере связи поля со структурами осадочного чехла, которые практически не магнитные (рис.3.4 а).

Для принципиального выявления характера связи проведен кластерный анализ магнитного поля на объектах-точках территории, попадающих в пределы контуров сейсмических структур при разбиении объектов на два таксона. В результате установлена характерная пространственная группировка таксонов: сейсмические структуры, расположенные на Хапчагайском и Малыкай-Логлорском мегавалах представлены в основном объектами 1-го таксона, а остальные сейсмические структуры- объектами второго (рис.3.4 б).

Примечательно, что в 1-й таксон включены также структуры изученные МОВ Сангарская, Эксеньхская, Баламаканская и другие, расположенные в Лунхинско-Келинской впадине восточнее Хапчагайского мегавала и не входящие в его состав. Такой характер группировки сейсмических структур в магнитном поле с очевидностью свидетельствует о связи пространственного положения Хапчагайского и Малыкай - Логлорского мегавалов с особенностями глубинного строения кристаллического фундамента.

Эти особенности отчетливо устанавливаются после проведения обработки наблюденного магнитного поля  $\Delta T_a$  и выделения региональной структурной компоненте ( $\Delta T_{\text{рег}}$ ), отражающей основные структурно-тектонические элементы кристаллического фундамента 1-го порядка и выше. При наложении



**Рис.3.4. К природе Хапчагайского и Малыкай-Логлорского валов**

*а) исходное магнитное поле ; б) результаты кластерной классификации локальных структур в магнитном поле; в) региональная компонента магнитного поля; г) региональная компонента гравитационного поля*

*1- а) месторождения и локальные структуры по данным МОВ, расположенные на Хапчагайском и Малыкай-Логлорском валах, б) локальные структуры за пределами валов;*

*2-контуры: а) Вилуюйской НГО; б) Базы данных; 3- изолинии магнитного поля:*

*а) положительные, б) отрицательные; 4- изолинии гравитационного поля; 5-линии*

*профилей для определения глубины залегания кромки гравимагнитных масс;*

*б- названия положительных и отрицательных региональных аномалий, отожд-*

*ествляемых с структурными формами рельефа фундамента ; 7- аномалии поля*

*в чистом виде не связанные с рельефом фундамента;*

на такое поле цепочек антиклинальных структур, входящих в состав Хапчагайского и Малыкай-Логлорского мегавалов, устанавливается, что эти крупные поднятия пространственно ориентируются строго вдоль осевых значений отрицательных аномалий регионального магнитного поля, совпадающих в первом случае по своему расположению с Ыгыаттинской и Линденской впадинами и во втором – с крупным прогибом, раскрывающимся в восточном направлении в сторону Лунхинско-Келинской впадины ( рис.3.1, 3.4 в). Отмечаемой закономерности пространственного группирования структур в региональном гравитационном поле не наблюдается (рис. 3.4 г).

Структурная позиция валов относительно прогибов, является идеальной иллюстрацией сходства платформенных складок этого типа с центральными поднятиями в геосинклиналях и свидетельствует о том, что рассматриваемые поднятия являются структурами инверсионного типа.

Вместе с тем, на изучаемой территории отсутствуют признаки полной складчатости, а расположение структур дискордантное (поперечное) к фронту региональных напряжений со стороны Верхоянской складчатой области (рис.2.1). На этом основании можно заключить, что Хапчагайский и Логлорский мегавалы связаны с инверсией (вздыманием) в этой области только как в отношении внешней причины своего образования, а не общности процесса инверсии в месте их заложения.

Исследования показывают, что Хапчагайский и Логлорский мегавалы не обнаруживают характерных черт, свойственных прерывистой (платформенной) складчатости, а именно - конседиментационного характера роста структур и образование за счет действия вертикальных сил. Данные прироста амплитуд, а также двумерные функции корреляции структурных поверхностей Хапчагайского мегавала по различным горизонтам остаются близкими по всему разрезу, за исключением подошвы верхнемеловых отложений (рис.3.5). Наблюдаемая конформность ДФАК структурных карт в диапазоне отложений от верхней перми до верхней юры резко нарушается у ДФАК карты по кровле нижнего мела. Корреляционная функция теряет свою направленность и становится изометричной. Такой характер ее наблюдается и для карты по кровле верхнего мела, что означает прекращение роста структуры уже к концу нижнемелового времени. Проведенные построения подтверждают мнение некоторых исследователей, что главная фаза образования мегавала, по-видимому, относится к апту. Это свидетельствует не о конседиментационном росте, а об относительно быстром формировании поднятия, преимущественно в раннемеловую эпоху.

Превалирующее влияние тангенциальных напряжений на тектонические процессы в регионе устанавливается в результате сопоставления разломной тектоники в верхнепалеозойско-мезозойских и в доверхнепалеозойских отложениях, а также аргументированного ранее на основании моделирования вывода, что Хапчагайский мегавал является бескорневой навешенной структурой.

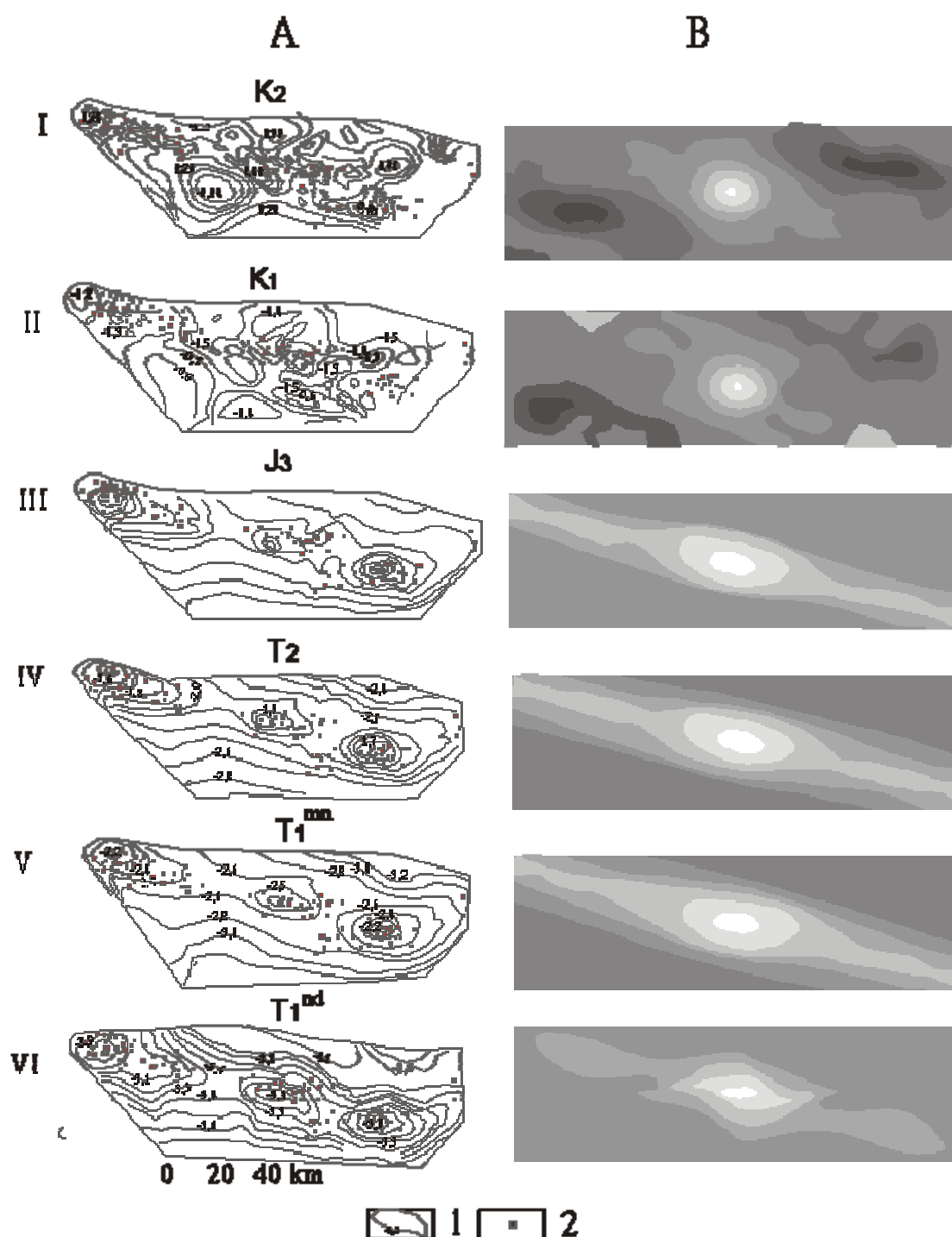


Рис. 3.5 Структурные планы Хапчагайского мегавала (А) и их двухмерные функции автокорреляции -ДФАК (Б) по кровле отложений:



I- среднего мела; II- нижнего мела;

III- юры; IV-триаса; V- мономской свиты нижнего триаса; VI - неджелинской свиты

нижнего триаса (матричное представление- максимальному значению ДФАК соответ-

ствует белое, минимальному значению-черное)1-изолинии абсолютных отметок кров-ли отложений; 2- глубокие скважины

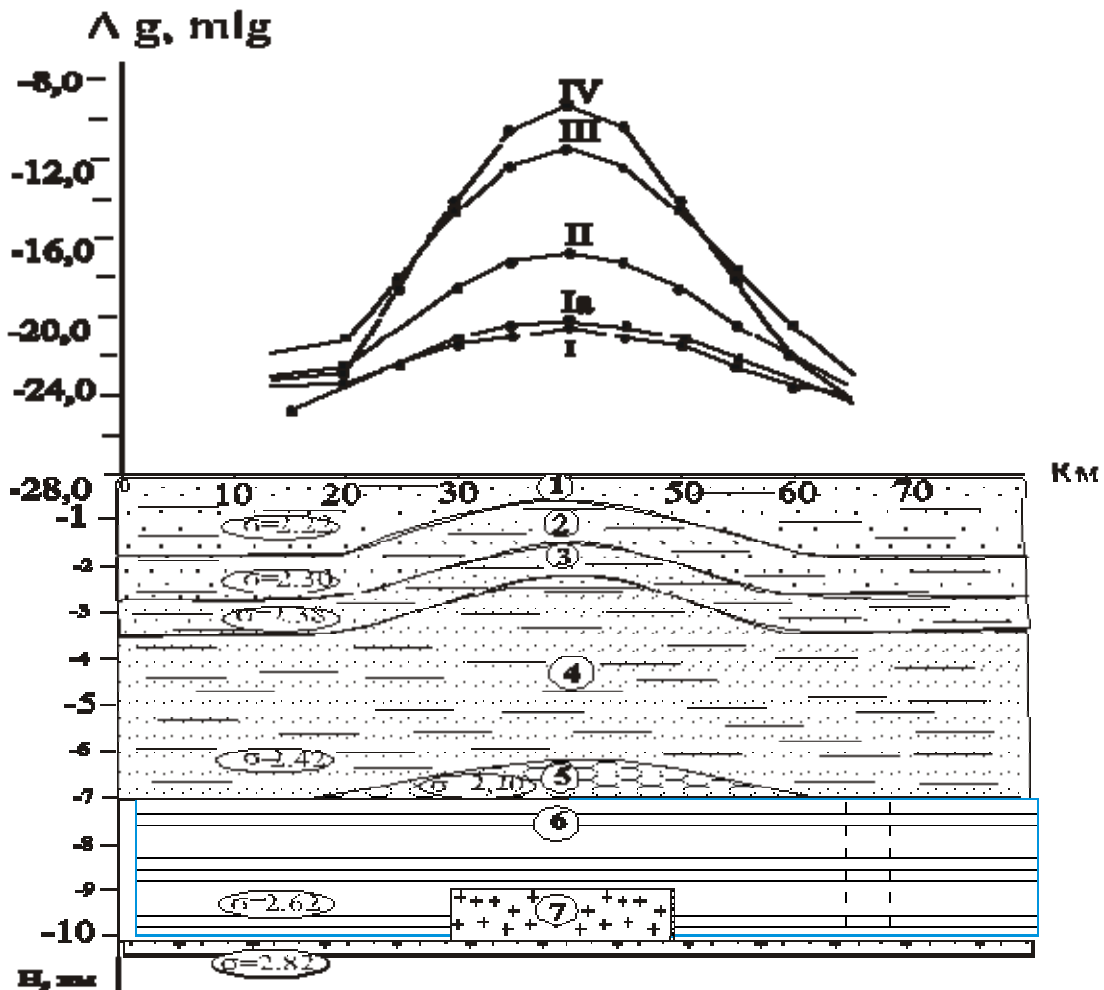
Образование Хапчагайского мегавала за счет доминирующего влияния тангенциальных сил подтверждается разделением его тектоническим нарушением на западную и восточную части с их смещением [Тектоника Якутии, 1975], а также установленным подобием структурных планов мегавала по вертикали. Таким подобием теоретически обладает складчатость продольного сжатия.

Тектоническое нарушение, разделяющее мегавал на западную и восточную части, подтверждается и независимыми результатами кластерного анализа многомерной геолого-геофизической информации на точках - объектах (совмещенных со скважинами глубокого бурения) в пределах контуров месторождений Хапчагайского мегавала. При разбиении на 2 кластера объекты первого таксона располагаются в западной группе месторождений мегавала, а объекты второго - в восточной. Граница между таксонами, отождествляемая с геологическим нарушением и сменой фациальных условий осадконакопления, проходит в восточной части Мастахского месторождения (рис.2.11).

Представления о формировании Хапчагайского мегавала и осложняющих его крупных поднятий в осадочном чехле за счет тангенциального сжатия, находят подтверждение в результатах моделирования гравитационного поля на Неджелинской структуре Хапчагайского мегавала (рис. 3.6). Гравитационная аномалия на этой структуре около 4-х мЛг, а сам мегавал, как уже отмечалось, в этом поле не проявляется. Результаты подбора моделей среды свидетельствуют, что такой необычный эффект возможен, если процесс срыва осадочного чехла и смятия его в валлообразную складку, происходил за счет действия тангенциальных сил со стороны бортов впадин на уровне, не затрагивающем карбонатные отложения. В замке поднятия при этом должны присутствовать пластичные породы с декомпенсирующей плотностью около  $2,2 \text{ г/см}^3$  и мощностью порядка 800-1000 м. Такими породами, вероятно, могут быть соленосно-гипсоносные отложения девонского возраста, достоверно установленные в разрезе среднепалеозойских пород Кемпендйской впадины. При вовлечении в процесс складкообразования карбонатных отложений нижнего палеозоя, докембрия, и тем более, фундамента, декомпенсации не происходит (рис.3.6).

Таким образом, результаты геоплотностного моделирования, позволяют трактовать не проявляющийся в гравитационном поле Хапчагайский мегавал

как бескорневую навешенную структуру, в замке поднятия которой должны присутствовать породы пониженной плотности (соли, гипс), мощностью порядка 800-1000 м. В такой модели толща накопленных осадков подразделяется (снизу- вверх) на консолидированную, уплотненную часть и на пластичную – деформируемую. Последняя, к которой относятся преимущественно терригенные отложения карбона- триаса-нижнего мела, в процессе



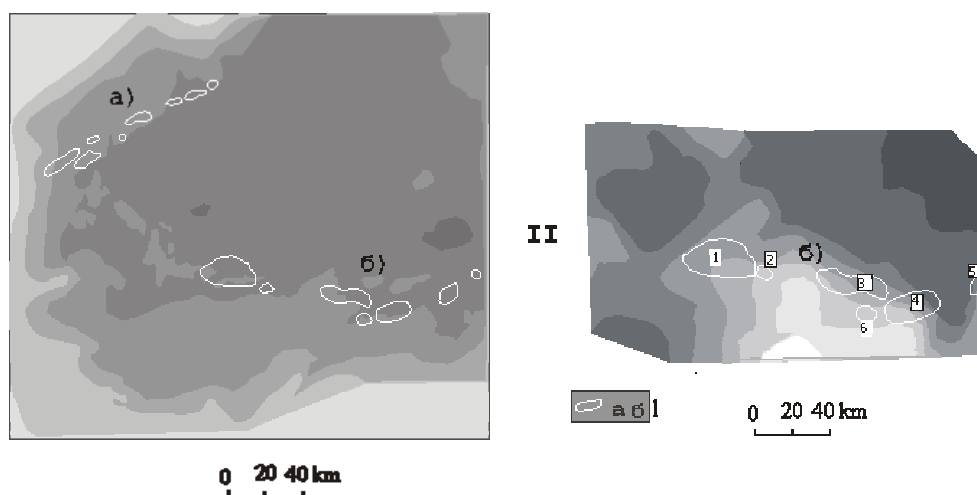
**Рис 3.6 Результаты геоплотностного моделирования**

*1 - 7 номера слоев геоплотностной модели среды: 1, 2, 3, 4 - слои, приуроченные к меловым, юрским, триасовым и пермским терригенным отложениям, соответственно; 5-промежуточный слой; 6- карбонаты доверхнепалеозойских отложений; 7- кристаллический фундамент; I-IV- кривые поля  $dG$  для вариантов моделирования: I - наблюдаемое; Ia- расчетное для четырехслойной модели, слой 5 заполнен*

пластичными породами с пониженной плотностью (соль, гипс); II-расчетное для четырехслойной модели, плотность слоя 5 равна плотности слоя 4; III-расчетное для пятислойной модели, слой 5-карбонаты; IV-расчетное для шестислойной модели (модель Средневилюйского поднятия), слой 5- карбонаты, слой 7-фундамент.

сжатия скользит по поверхности разрыва сплошности, представленной пластичными породами, предположительно девонского возраста, и залегающей на уплотненной (карбонатной) части разреза. Результаты геоплотностного моделирования являются дополнительным (после новых оценок глубин залегания фундамента) аргументом, подтверждающим развитие среднепалеозойских отложений в разрезе осадочного чехла Хапчагайского мегавала и бескорневую природу последнего.

Помимо отсутствия характерных черт, свойственных прерывистой (платформенной) складчатости у Хапчагайского и Малыкай–Логлорского мегавалов, устанавливаются формальные аналогии их поведения, подчиняющиеся закономерностям, свойственным полной складчатости в геосинклинальной области. Кроме отмеченной аналогии поведения с центральными поднятиями в геосинклинали после ее инверсии, проявляются еще две закономерности, свойственные голоморфной складчатости. Одна выражается в структурной позиции мегавалов параллельно изолиниям мощности отложений, предшествующих фазе складчатости, а другая - в их расположении в зонах максимальных градиентов этих мощностей (рис.3.7).



**Рис. 3.7 Структурные особенности Хапчагайского и Малыкай-Логлорского мегавалов.** Положение контуров структур мегавалов на картах (матричное

*представление): Положение контуров структур мегавалов на картах (матричное представление): I- суммарных толщин триасовых и юрских отложений; II- суммарной продольной проводимости осадочного чехла по данным электроразведки ЗСБЗ (толщины и проводимость увеличиваются от светлого к темному )*

*1 - антиклинальные поднятия мегавалов: а) Малыкай - Логлорского, б) Хапчагайского (1- Средневилюйское, 2 - Толонское, 3-Мастахское, 4 - Неджелинское, 5- Бадаранское, 6- Соболахское)*

Результаты, вынесенные на рисунок, представлены картой суммарных толщин триасовых и юрских отложений (в матричном представлении) с нанесенными на нее контурами сейсмических структур Хапчагайского и Малыкай-Логлорского мегавалов. Карта построена в ГИС ПАРК на основе разности отметок структурных карт по сейсмическим реперам Ю<sub>3</sub><sup>3</sup> (кровля юры) и ТП (переходные слои перми и триаса) внутри общего контура их прослеживания.

Параллельность складок изолиниям мощности отложений, образовавшихся до фазы складчатости, является одной из важных закономерностей, проявляющейся у полной складчатости в геосинклинальных областях. Расположение голоморфных складок в зонах градиентов мощностей отложений, формирование которых предшествовало складчатости, отражает взаимосвязь полной складчатости через градиент мощности с контрастностью колебательных движений в геосинклинальных областях и является ее другой закономерностью. Отсутствие полной складчатости на платформе связывается с малыми градиентами мощностей и соответственно с малыми градиентами (меньшей контрастностью) движений.

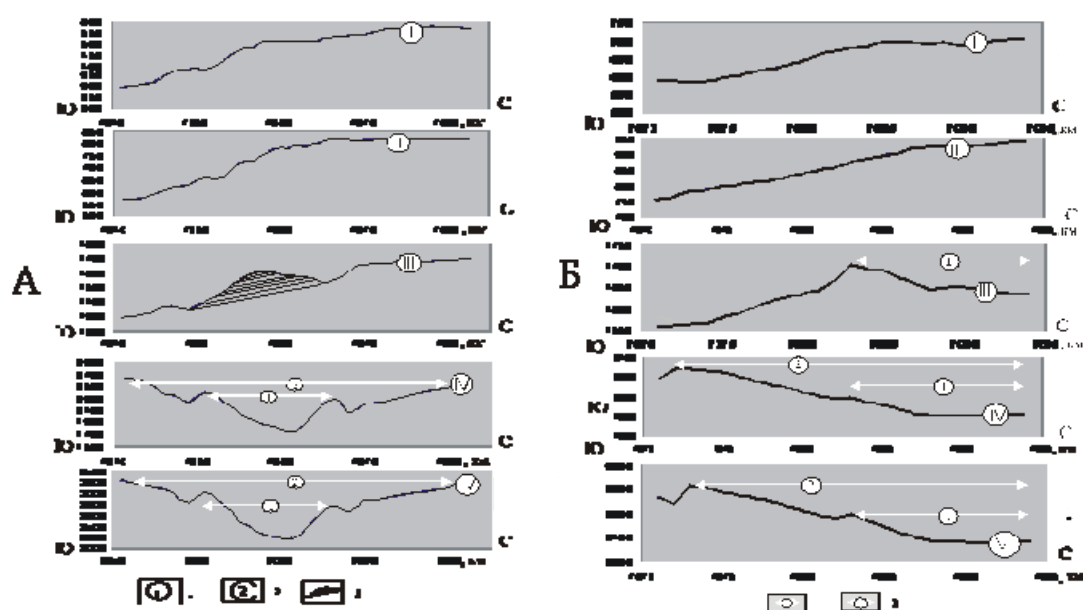
Отмеченные выше структурные особенности и аналогии поведения Хапчагайского и Малыкай-Логлорского валов объяснимы, если в пределах выделенных Ыгыаттинско-Линденского и Лунхинско-Келлинского мегапрогибов развиты авлакогены, для которых стиль развития сближенный с развитием геосинклинальных областей. При этом, если в отношении понятия авлакоген и рифтовая придерживаться точки зрения Б.А. Соколова [1980] о том, что авлакогены - это инвертированные рифты, можно деформации, приведшие к появлению Хапчагайского и Малыкай-Логлорского мегавалов увязывать непосредственно с процессами регенерации тектонических напряжений в рифтовых системах древнего заложения, расположенных в границах Ыгыаттинско-Линденской и Лунхинско-Келинской депрессий фундамента. Проявление интенсивных деформационных процессов в зонах активных рифтовых структур доказано изучением современных горизонтальных движений (рифты Крафт в Исландии, Ассаль в Восточной Африке и др.). Установлено проявление максимума горизонтальных деформаций в осевой рифтовой зоне и быстрое их затухание на расстоянии порядка 40 км. Характерно при этом, что размеры зоны проявления деформаций близки к поперечным размерам обсуждаемых структур Вилюйской синеклизы (30-45км).

Приведенные обоснования могут свидетельствовать, что пространственное положение мегавалов на территории Вилюйской синеклизы идентифицирует

положение палеопрогибов как положение ископаемых инвертированных рифтовых зон среднепалеозойского заложения (регенерации), входящих в Вилуюскую (по К.К.Левашову [1975]) рифтовую систему.

На первый взгляд у выделенных авлакогенов нет ярко выраженной линейности, свойственной рифтовым системам. Однако, по мнению некоторых исследователей, в состав рифтовой системы включается территория не только рифтовых долин, формирующихся на заключительной стадии рифтогенеза, но и территория, вовлеченная в сводообразование и перекрытая эффузивами. Так, к примеру, протяженность Кенийской рифтовой системы около 700 км, эффузивы здесь приурочены к полосе шириною 300-400 км, ширина же собственно рифтовой долины не превышает 60 км. Близкая ситуация характерна и для Вилуюской рифтовой системы. По распространению специфических магнитных аномалий, отождествляемых с внедрением ультраосновных пород, она имеет протяженность около 600 км при ширине до 450 км, в то же время ширина инверсионных Хапчагайского и Малыкай-Логлорского мегавалов, сопоставляемая в первом приближении с шириной рифтовых зон 40-45 км.

Результаты исследований дают основание полагать, что природа Хапчагайского и Малыкай-Логлорского мегавалов, рассматриваемая многими исследователями как результат инверсии тектонических движений в Верхоянской складчатой области, обусловлена проявлением в нижнемеловую эпоху завершающей стадии развития – инверсии регенерированной Вилуюской среднепалеозойско-мезозойской палеорифтовой системы. Инверсия и время ее протекания устанавливаются результатами палеотектонического анализа на территории Хапчагайского мегавала, фиксирующими в сводах его отдельных поднятий увеличение мощностей до нижнемеловых отложений - фаза растяжения бассейна, во время которой происходит его быстрое погружение, и последующее уменьшение этих мощностей, соответствующее фазе тангенциального сжатия (рис 3.8 -А).



**Рис 3.8 Результаты палеотектонического анализа толщин мезозойских отложений:** I- мощности Тулурской свиты триаса, II- суммарные мощности тулурских и нижнеюрских отложений, III - суммарные мощности тулурских и юрских отложений, IV- суммарные мощности тулурских, юрских и нижнемеловых отложений, V- суммарные мощности тулурских, юрских и меловых отложений

*А- на региональном профиле через Неджелинскую структуру: 1- рост Неджелинской структуры, 2- рост Хапчагайского мегавала, 3-прогибание бассейна ( фаза растяжения участка земной коры); Б- на региональном профиле через Средневиллюйскую структуру ( от апикальной части к южному борту): 1-рост Средневиллюйской структуры, 2-рост Хапчагай-ского мегавала*

Исключение составляет наиболее крупная Средневиллюйская структура Хапчагайского мегавала, расположенная на его западном окончании. Структура сформировалась раньше мегавала (рис.3.8-В) и проявляется в гравитационном поле контрастной аномалией. Ее тектоническая природа связывается с выступом кристаллического фундамента в предполагаемой зоне поднятий, соединяющей Сунтарский свод и Китчанский выступ [Штех,1965] и разделяющей северную (Ыгыаттинско-Линденскую) и южную (Лунхинско-Кемпендяйскую) части рифтовой системы.

### ***3.3. Некоторые закономерности активизации разломных систем и эволюции осадочно-породных бассейнов***

(Восточная часть Сибирской платформы)

В мировой геологической практике накопились многие факты, подтверждающие вывод о том, что в различное время в земной коре активизировались системы разломов различных, но вполне определенных ориентировок, которые контролировали процессы тектогенеза и магматизма. Исследования последних лет подтверждают также взаимосвязь развития разломов тектоносферы с эволюцией осадочно-породных бассейнов (ОПБ) и онтогенезом углеводородов (УВ).

По определению ОПБ – часть пространства литосферы, где накапливаются осадки, которые затем существуют в виде породных ассоциаций в крупной линзе осадочных горных пород, связанных единством места и тектонотипом соответствующего участка земной коры. Выделяют ОПБ синеклиз, краевых и предгорных прогибов, межгорных впадин и т.д.

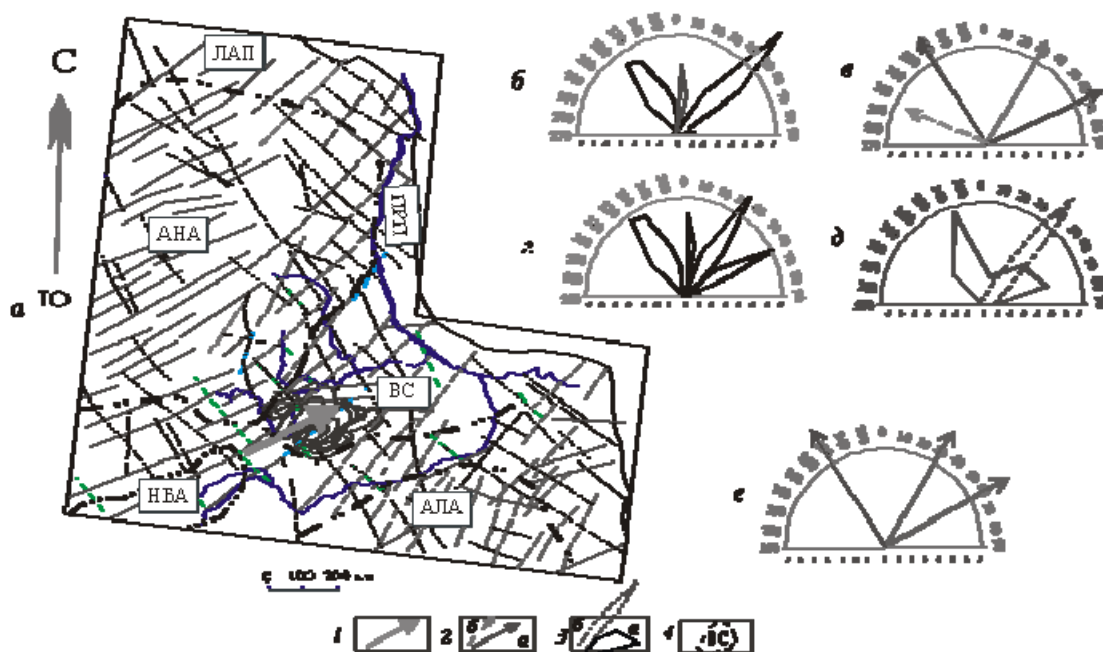
По современным представлениям некоторых исследователей в разрезе осадочного чехла краевых депрессий на востоке Сибирской платформы выделяется несколько разновозрастных пространственно совмещенных бассейновых комплексов. В частности, среднепалеозойско-мезозойские отложения являются синхронным комплексом Лено-Вилуйского бассейна, а залегающие под ними отложения – синхронным комплексом более древнего рифей - нижнепалеозойского Восточно-Сибирского бассейна.

Установлено, что несмотря на определенные различия бассейнов, в их развитии имеются общие черты [Соколов, 1980]. Бассейны всегда проходят начальную, основную и заключительную стадии, отличающиеся направленностью общих тектонических движений, и, следовательно, разными условиями накопления и типами осадков. Заложение бассейнов начинается с формированием грабен-горстовых структур (рифтового основания). Последующая (ранняя) стадия характеризуется мощными длительными процессами общего прогибания и трансгрессивным типом осадконакопления. Основная стадия развития ОПБ приходится на период максимального устойчивого прогибания, обусловившего наибольшие размеры бассейна и относительно глубоководный тип отложений. Заключительная стадия связана с регрессией, последовательным обмелением и сокращением размеров бассейна и соответствующим типом осадков.

Интересной задачей является установление закономерностей в активизации разломных систем различной пространственной ориентировки и взаимосвязи с ними поведения структурных планов комплексов пород, сформированных в ОПБ различного возраста. Для дальнейших выводов и обобщений принципиально важно выявление на изучаемой территории востока Сибирской платформы пространственного положения систем глубинных разломов, времени их заложения и активизации.

В пределах Лено-Вилуйского ОПБ разрывы регионального типа изучались начиная с 50-х гг. XX в. Наиболее крупная сводка по систематизации разрывов подготовлена коллективом геологов и геофизиков ЯИНГ ЯФ СОАН СССР под руководством К.Б. Мокшанцева, и сотрудниками СНИИГГиМСа. Интересные результаты получены также другими исследователями, в частности, К.В. Тимиршиным [11]. С учетом этих материалов и дополнительных данных, полученных в последние годы, нами рассмотрим дифференциацию систем региональных разрывных нарушений в осадочном чехле и фундаменте по преобладающему азимутальному простиранию и относительному возрасту образования (рис.3.9).





**Рис. 3.9. Обобщение глубинных разломов на территорию востока Сибирской платформы:**

*а - фрагмент карты разломной тектоники на восточную часть Сибирской платформы по [ 3 ]; розы-диаграммы разломов: б - на всю территорию платформы по [3]; в - то же по [7] (условное распределение по направлениям и частоте); г - на восточную часть Сибирской платформы (обобщение авторов); д - на территорию Алданской антеклизы по [11]; е- направления линеаментов в гравитационном и магнитном полях Вилюйской синеклизы.*

*1- направление простираения среднепалеозойских структур в западной части Вилюйской синеклизы; 2- направления выделяемых разломов по [7]: а - доминирующие, б - редко встречающиеся; 3 - разломы по [11] : а - в фундаменте, б - в осадочном чехле; 4 - надпорядковые структуры: АНА- Анабарская антеклиза, АЛА-Алданская антеклиза, ЛАП - Лено-Анабарский прогиб, ПРП - Предверхооянский прогиб, ВС- Вилюйская синеклиза, НБА -Ненско-Ботубобинская антеклиза.*

В север– северо-западном направлении азимуты ( $320-340^{\circ}$ ) выделяется мода распределения дизъюнктивов, наиболее значительная, по данным К.Б. Мокшанцева [ ] и материалам обработки космических снимков (КС), весьма значительная по данным СНИИГГиМСа, и подтверждающаяся линеаментами гравитационного поля, выявленных нами при пространственной фильтрации грави-и магнитных полей. С учетом рассматриваемых источников информации и методов выделения разрывные нарушения данного направления можно в равной мере признать разломами в фундаменте и осадочном чехле.

В северо-восточном направлении (азимуты  $20-40^{\circ}$ ) установлена наиболее значительная мода распределения дизъюнктивов, по данным К.В. Тимиршина и СНИИГГиМСа, и существенная исходя из материалов КС. Она подтверждается линеаментами гравитационного поля и не соответствует данным К.Б.

Мокшанцева. Предполагается, что разломы этого направления развиты преимущественно в осадочном чехле, но не исключается наличие дизъюнктивов таких направлений и в фундаменте.

В восток-северо-восточном направлении в диапазоне азимутов  $50^{\circ} - 70^{\circ}$  обособляется наиболее значительная мода распределения дизъюнктивов, по данным К.В. Тимиршина, значительная, по материалам К. Б. Мокшанцева, существенная, по построениям СНИИГГиМСа, и незначительная, по данным КС. Она удостоверяется линеаменами магнитного и не подтверждается линеаменами гравитационного поля. Разломы этого направления вероятны преимущественно в кристаллическом фундаменте, но не исключены и в осадочном чехле.

Обобщение этих материалов приводит к заключению, в целом совпадающему с выводом К.Б. Мокшанцева о существовании на изучаемой территории систем разломов, выраженных на обобщенной розе-диаграмме максимумами распределений следующих направлений: север–северо-западное (азимуты  $320^{\circ} - 340^{\circ}$ ), восток северо-восточном ( $50^{\circ} - 70^{\circ}$ ), северо-западном ( $290^{\circ} - 310^{\circ}$ ) и северо-восточном ( $20^{\circ} - 40^{\circ}$ ). По нашим данным, как более редкое, северо - западное направление. Характерно, что разломы двух первых и двух последних направлений ортогональны, что может свидетельствовать о существовании на изучаемой территории двух сопряженно-ортогональных систем глубинных разломов. Следует отметить, что для установления относительного возраста разрывных нарушений имеющихся данных (кроме заключения К.Б. Мокшанцева о протогейском возрасте дизъюнктивов фундамента север северо-западного простирания) недостаточно.

Одна из интегральных характеристик, отражающих структурный план того или иного тектонического комплекса, – его региональное простирание. Последнее может быть однозначно установлено по поведению двумерных функций автокорреляции (ДФАК), вычисляемых по отметкам залегания поверхности комплекса.

**Рис.3.10. Структурные планы разновозрастных отложений и результаты корреляционного анализа:**

*а - поверхности кристаллического фундамента; б - сейсмического горизонта ТП, приуроченного к переходным слоям в кровле перми и подошве триаса; в - рельефа земной поверхности.*

*1-изолинии планов; 2- среднепалеозойские структуры: Сн - Сунтарский свод, Ыг-Ыгыаттинская впадина, Км - Кемпендяйская впадина, Ср - Сарсанская впадина, Ар - Арбайский вал; 3- ДФАК и ее направление простирания; контуры: 4 - Ви-*

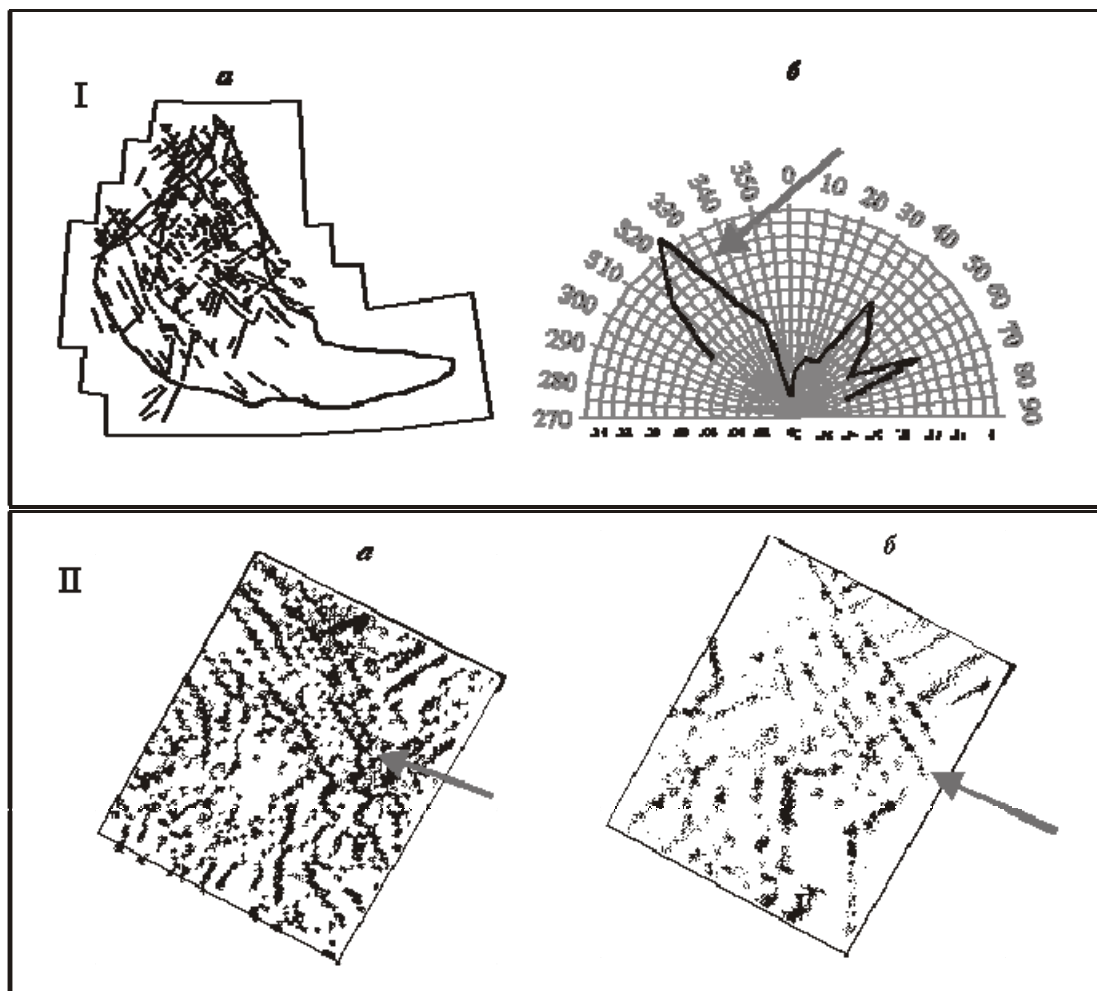
люйской НГО, 5 - базы данных, 6 - Линденско-Ыгыаттинского мегапрогиба по фундаменту (малое “окно анализа”).

На рис.3.10 показаны структурные карты на территорию Вилуйской синеклизы трех разновозрастных геологических поверхностей: кристаллического фундамента, сейсмического горизонта ТП, приуроченного к переходным слоям в кровле перми и подошве триаса, и рельефа земной поверхности, отражающего современный структурный план, а также вычисленные по ним ДФАК и выявленные направления регионального простирания структурных планов. Для контроля результатов ДФАК вычислялись в двух окнах анализа: на всю территорию Вилуйской синеклизы в целом и на осложняющий ее Ыгыаттинско-Линденский мегапрогиб. В результате анализа этих и других разновозрастных срезов: подошве девона (сейсмический горизонт  $D_2$ ), кровле юры (сейсмический горизонт  $Ю_3^3$ ), кровлям нижнего и верхнего мела (данные бурения) установлена тенденция направленной переориентации (поворота) регионального простирания структурных планов – от восток – северо-восточного направления к северо-восточному и далее к северо-западному. По-видимому, азимутальная переориентация связана с синхронными процессами последовательной активизации разломных систем различных направлений в тектоносфере, обусловленными причинами планетарного характера в протерозое – фанерозое, отчетливо проявленные на востоке Сибирской платформы в ее современных границах.

Активизация разломных систем и тип ее проявления на изучаемой территории выявляется по результатам обработки разномасштабных линеаментов рельефа земной поверхности по космическим снимкам и подтверждается при специальной обработке данных гравитационного и магнитного полей (рис.3.11).

Геодинамическими исследованиями в зонах активных разломов выявлен нестационарный пульсационный режим современных вертикальных и горизонтальных движений земной коры – на фоне направленных движений с небольшими скоростями и большими амплитудами выделяются короткопериодные (от суток до года) движения флуктуационного характера. Есть основание увязывать линеаменты рельефа, выделяемые в ландшафте земной поверхности (отрезки гидросети, прямолинейные уступы, борозды, полосы карстовых воронок и т.д.), с отражением ими вертикальных разломов, активизированных в современную эпоху. При отсутствии свойственного активизированным разломам характера движений, являющихся фактором регенерации рельефа, линеаменты должны быть нивелированы быстро протекающими процессами физического разрушения.

В этой связи максимумы розы- диаграммы линеаментов рельефа земной поверхности по данным КС интерпретируются как отражение существующей в настоящем относительной активности разломов различных простираний: низкой для разломов восток – северо-восточного направления, умеренной для северо-восточного, максимально высокой – для север– северо-западного и нулевой для северо-западного ( рис 3.11- I). Заметим, что распределение



**Рис. 3. 11 Проявление активизации глубинных разломов север северо-западного направления**

*I - обобщение разномасштабных линеаментов по данным космических съемок (КС) на территорию Вилуйской синеклизы: а- сборка линеаментов различных направлений; б- роза-диаграмма линеаментов; II - линеаменты магнитного (а) и гравитационного (б) полей.*

разломов этих направлений без учета периодической активности имеет другие соотношения максимумов.

Последовательную активизацию разломных систем подтверждает, в частности, поведение линеаментов гравитационного и магнитного полей, выделенных при обработке на Атыяхской площади в Кемпендяйской впадине (рис.3.11-II). Линеаменты север– северо-западного простирания “секут” линеаменты

остальных направлений, что свидетельствует о наиболее молодом возрасте разломных структур данного направления в осадочном чехле. Последние обусловлены, на наш взгляд, активизацией, как уже отмечалось, наиболее древних (протогейских) разломов кристаллического фундамента того же направления.

С учетом направленного поворота структурных планов разновозрастных отложений, предполагается, что восток – северо-восточные и северо- восточные разломы были достаточно активными в прошлые геологические эпохи, север – северо-западные разломы проявляют активность в новейшую эпоху, а северо-западным разломам предстоит активизироваться в будущем.

Анализ наблюдаемой переориентации структурных планов свидетельствует, что влияние активизированных разломов на формирование планов осадочно - породных бассейнов носит конседиментационный характер. Механизм влияния контролирует заложение основания бассейна и последующие процессы накопления новых осадков, но не переориентирует ранее сформированные литифицированные породы, для которых разломы являются постседиментационными. Предполагается, что контроль осуществляется через формирование бассейнового разломно-блокового основания с выраженным направлением его преобладающего азимутального простирания; создание общего плана эрозии с определяющими направлениями механической, физической, химической и биологической дезинтеграции горных пород-источников сноса; моделирование общего хода процессов накопления с определяющими направлениями береговых линий, рельефа дна, циркуляции течений и других гидродинамических проявлений в бассейне седиментации.

Намеченный характер возможного влияния разломной тектоники на эволюцию ОПБ отвечает особенностям проявления глобального тектонического процесса, характеризующегося периодичностью и дискретностью своего выражения.

Механизм образования и активизации ортогональных систем нарушений является дискуссионным. Анализ публикаций, рассматривающих физико-геологические и физико-математические модели планетарно-трещиноватой делимости, позволяет заключить, что разрывные движения литосферы и планетарная трещиноватость могут создаваться путем периодической разрядки накопленных напряжений Земли. Последние обусловлены изменениями объема и формы Земли, переменностью ее гравитационного сжатия, неравномерностью вращения и изменением пространственного положения оси вращения со временем. Возобновляемость напряжений по системам нарушений позволяет прогнозировать время активизации и решать вопросы углеводородной специализации, устанавливать системы нарушений, которые принимали участие в формировании структурных форм залежей УВ, способствовали перетокам и др.

В рамках представлений об активизации разломных систем определенной пространственной ориентировки как планетарного явления может быть

объяснена удивительная синхронность стадий развития континентально разобщенных кайнозойских рифтовых систем (Рейнский, Байкальский, Восточно-Африканский, Рио-Гранде). Так, проторифтовые депрессии в рифтовых системах проявились в эоцене, массовый основной вулканизм – в миоцене и т.д. Подобную синхронность развития, близость осадочных ассоциаций и вулканитов обнаруживают и среднепалеозойские Вилуйская и Днепровско-Донецкая рифтовые системы, расположенные на разных платформах.

Одно из возможных приложений выявленных закономерностей – уточнение модели пространственного соотношения разновозрастных бассейнов. Принято считать, что пространственное местоположение и направление азимутального простирания бассейновых оснований (“ванн прогибания”) Восточно-Сибирского и Лено-Вилуйского бассейнов совпадают. В соответствии с развиваемыми принципами схема пространственного положения бассейновых оснований, построенная по двумерной функции взаимной корреляции (ДФВК) между поверхностью фундамента и поверхностью кровли пермских отложений (сейсмический горизонт ТП), при условии совмещения основания более древнего ОПБ с самой глубокой структурой фундамента – Ыгыаттинско-Линденским мегапрогибом (авлакоге-ном), выглядит иначе (рис. 3.12).

