Российская академия наук
Уральское отделение
Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича

В.С. Дружинин, П.С. Мартышко, Н.И. Начапкин, В.Ю. Осипов

СТРОЕНИЕ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ЛИТОСФЕРЫ И НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ НЕДР УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА

Екатеринбург, 2014

УДК 551.242.31
ББК 26.343(235)

Ответственный редактор чл. корр. РАН д.ф.-м.н. **П.С. Мартышко**
Рецензенты чл.-корр. РАН д.г.-м.н. **Б.И. Чувашов**, д.ф.-м.н. **А.С. Долгаль**

Дружинин В.С., Мартышко П.С., Начапкин Н.И., Осипов В.Ю. Строение верхней части литосферы и нефтегазоносность недр Уральского региона. Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, 2014. ISBN 978-5-7691-2399-3.

Изложены результаты анализа и обобщения обширной глубинной сейсмической информации, полученной на Урале и сопредельных с ним территориях в течение 45 лет, начиная с 1961 г. В работах приняли участие следующие организации: ОАО «Баженовская геофизическая экспедиция», Институт геофизики УрО РАН, Центр региональных геофизических исследований «ГЕОН», частично Институт геологии Коми научного Центра УрО РАН, научно-производственные организации Казахстана. Полученный сейсмический материал является разнородным по качеству, полноте и содержанию, что препятствует его обобщению и созданию объемной модели верхней части литосферы (интервал глубин до 80 км). Для анализа и обобщения были разработаны и внедрены методика сейсмогеокартирования земной коры, а затем технология сейсмогеоплотностного 2D–моделирования. В результате были созданы однотипные разрезы по 15 профилям ГСЗ М 1:1 000 000 протяженностью более 10 000 км, расположенным на Полярном, Северном и Среднем Урале. На основе сейсмогеоплотностных разрезов, интерпретации потенциальных полей и объемного 3D–плотностного моделирования впервые создана геолого-геофизическая разломно-блоковая модель верхней части литосферы масштаба 1:2 500 000 для территории Уральского региона с координатами 48–70° в.д., 53–68° с.ш. Предложены варианты решения региональных задач, связанных с тектоническим районированием, геодинамикой и региональным прогнозированием месторождений углеводородов в нефтегазовых провинциях восточной окраины Восточно–Европейской плиты, Тимано–Печорской плиты и Западно-Сибирского геоблока. Разработанная технология создания разномасштабных объемных геологогеофизических моделей может быть применима как в Уральском регионе, так и в других регионах России.

Монография представляет интерес для геофизиков и геологов, специалистов в области наук о Земле по региональному прогнозированию месторождений углеводородов и сейсмотектонике.

Работа выполнена в Институте геофизики УрО РАН при частичной финансовой поддержке Уральского отделения РАН: проекты 09-Т-5-1018, 12-Т-5-1018, 12-И5-2067.

© УрО РАН, 2014

Принятые сокращения

БРЗ – Байкальская рифтовая зона

ВЕП – Восточно–Европейская платформа

ВСП – вертикальное сейсмическое профилирование, Восточно–Сибирская платформа

ВУМЗ – Восточно–Уральская мегазона

ВЧЛ – верхняя часть литосферы (до глубины 80 км)

ГСЗ – глубинное сейсмическое зондирование

ГУР – Главный Уральский разлом

ДМО – домезозойское основание

ДЮК – доюрский мегакомплекс

ЗСГБ – Западно–Сибирский геоблок

ЗСП – Западно–Сибирская платформа

ЗТМБ – Западно-Тиманский мегаблок

ЗУЗГ – Западно–Уральская зона гранитизации

ЗУМЗ – Западно–Уральская мегазона

$К_{01}$ – поверхность нижнеархейского кристаллического фундамента, кровля II СГЭ

$К_{01}^{*}$ – поверхность нижнего мегакомплекса I СГЭ

$К_{2}$ – поверхность нижней коры (протокоры)

К–М – переходный мегакомплекс в недрах коры

КМПВ – корреляционный метод преломленных волн

КТБ – Германская сверхглубокая скважина

МОВ – метод отраженных волн

МОВЗ – метод объемных волн землетрясений

МОГТ – метод общей глубинной точки

МПВ – метод преломленных волн

$M_{сг}$ – сейсмогеологический разрез М между породами земной коры и относительно слабоизмененными породами верхней мантии со значениями скорости продольных волн 7,9–8,4 км/с

МТЗ – магнитотеллурическое зондирование

НГП – нефтегазовая провинция

Н–Е СГ – Ново–Елховская сверхглубокая скважина

НРО – нижерасположенные отложения

ПУТ – Полярно-Уральский трансект

ПЯВ – подземные ядерные взрывы

СГ – сверхглубокая скважина

СГЗК – сейсмогеокартирование земной коры

СГЭ – сейсмогеологический этаж земной коры

СЛО – Северный Ледовитый океан

ТПГБ – Тимано–Печорский мегаблок

ТПП –Тимано–Печорская плита

УВ – углеводороды

УПП – Уральский подвижный пояс

УСС – Уральская складчатая система

ЦУМЗ – Центрально–Уральская мегазона

ЮТМБ – Южно–Татарский мегаблок

ЮТС – Южно–Татарский свод

Предисловие

Перед человечеством в перспективе дальнейшего развития среди множества основных проблем стоят две научные задачи: изучение космоса и внутренних оболочек Земли. Исследование глубинного строения является актуальной проблемой в связи с изучением процессов магматизма, метаморфизма, геодинамики, эндогенной металлогении в горных системах; образования, эволюции, тектоники и современной геодинамики осадочных бассейнов нефтегазовых провинций. Особо остро необходимы такие исследования в связи с поисками месторождений полезных ископаемых в более глубокозалегающих горизонтах и новых районах.

Достижения в познании космоса несомненны; успех в этих исследованиях напрямую связан с огромным скачком в развитии космических технологий в течение последних десятков лет. Но с изучением глубинного строения Земли ситуация существенно иная. Укажем на некоторые из возможных причин такого положения.

1. Отсутствие конкретной (скважинной) информации, необходимой для решения перечисленных задач. Имеется только полтора десятка сверхглубоких скважин с максимальным проникновением в недра Земли до 12 260 м (Кольская СГ-3), что крайне мало для огромной территории Земли, площадь поверхности только континентальной коры которой составляет $1{,}49 \cdot 10^{14}$ м^2.
2. При реализации проекта сверхглубокого бурения оказалось, что для аномальных, довольно часто встречаемых участков в глубоких горизонтах коры, приуроченных к зонам повышенной тектонической раздробленности и напряженности, отсутствуют технологии бурения. Это стало тормозом для проникновения на большие глубины практически во всех сверхглубоких скважинах.

3. Геофизическая информация о глубинном строении земной коры в основном не соответствует реальной преимущественно разломно-блоковой, слоистой модели с пространственным расположением геофизических неоднородностей.

Поэтому встал вопрос о возможности геофизических методов в получении достоверной информации, представляемой геологической общественности. Для этих целей нужен обстоятельный анализ геофизической информации и данных сверхглубокого бурения по районам их расположения. Частично это сделано в предлагаемой работе. В частности, оказалось, что, применяя геофизические технологии, адекватные реальным средам, можно получить информацию, подтверждаемую сверхглубоким бурением. Одновременно стало понятно, что нельзя подгонять геофизические данные под господствующие геологические гипотезы.

Таким образом, изучение строения земной коры и литосферы является одной из приоритетных задач наук о Земле. Нужно решить вопрос, во-первых, какую реальную пользу можно извлечь для решения задач региональной геологии из имеющейся и достаточно обширной геофизической информации; во-вторых, в каком направлении развивать геофизические технологии в целях уменьшения неоднозначности информации. Бурение сверхглубоких скважин, вероятнее всего, будет продолжаться, но для получения максимальной отдачи должны быть повышены требования к выбору участков и усовершенствована технология бурения.

В монографии в основном рассмотрена первая проблема применительно к Уральскому региону, что и отображено в названии работы. Известно, что приоритетным методом изучения глубинного строения коры является сейсмический. На Урале и сопредельных с ним территориях более 45 лет, начиная с 1961 г., выполнен достаточный объем глубинных сейсмических зондирований. В работах приняли участие следующие организации: ОАО «Баженовская геофизическая экспедиция», Институт геофизики УрО РАН,

Центр региональных геофизических исследований «ГЕОН», частично Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, научно-производственные организации Казахстана. Полученный сейсмический материал разнороден по качеству, полноте и содержанию, что препятствует его обобщению и созданию пространственной (объемной) модели земной коры и верхов верхней мантии (интервал глубин до 80 км в монографии обозначен ВЧЛ – верхняя часть литосферы). Для анализа и обобщения совокупности сейсмических данных предложена методика сейсмогеокартирования земной коры, начало разработки которой (конец 60-х гг. прошлого столетия) осуществлено на Свердловском пересечении с участием ведущего геолога Урала И.Д. Соболева. Создан геолого-геофизический разрез земной коры М 1:200 000. Интересно отметить, что в этом разрезе нашли нужную для себя информацию сторонники противоположных геологических гипотез.

В дальнейшем приемы сейсмогеокартирования земной коры совершенствовались при обработке последующих профилей и становились основой для приведения глубинных разрезов к общему «знаменателю» и созданию совместно с плотностным 2D– и 3D–моделированием объемных геологогеофизических моделей М 1:1 000 000 и 1:2 500 000 верхней части литосферы Уральского региона (за исключением южной его части). Предложены возможные варианты решения региональных задач, связанных с тектоническим районированием и оценкой нефтегазоперспективности исследуемых территорий Западно–Сибирской, Тимано–Печорской и Волго–Уральской провинций. Разработанная технология создания объемных геолого–геофизических моделей применима при тематических исследованиях более мелкого масштаба для перспективных площадей (участков); для решения ключевых вопросов тектоники и геодинамики изучаемой территории, а также для разных регионов континентальной коры.

Текст монографии составлен В.С. Дружининым при участии Н.И. Начапкина (подраздел 2.2); иллюстрации выполнены В.Ю. Осиповым.

Научное руководство осуществлял член-корр. РАН П.С. Мартышко. В разработке и создании объемной геофизической модели верхней части литосферы Уральского региона кроме авторов принимали участие И.В. Ладовский, Н.В. Федорова, В.В. Колмогорова, А.Г. Цидаев, Д.Д. Бызов. Вопросы региональной геологии в процессе обобщения геофизической информации обсуждались с член-корр. РАН, главным научным сотрудником Института геологии и геохимии УрО РАН Б.И. Чувашовым.

Авторы благодарны ведущим геологам: чл.-корр. РАН Б.И. Чувашову, докторам г.-м. наук А.М. Брехунцову, А.М. Пыстину, Ю.К. Щукину, С.Л. Костюченко за консультации при геологической интерпретации геофизической информации.

Введение

Дальнейшее развитие наук о Земле в первую очередь связано с изучением верхней части литосферы, где, возможно, происходит генерация углеводородов с последующим образованием в приповерхностных структурах месторождений полезных ископаемых. Это подтверждается практикой глубинных сейсмических исследований (ГСЗ) в Уральском регионе, выполненных в значительном объеме (свыше 13 000 км на 20 профилях и геотраверсах). В данной работе рассмотрена основная часть из них (за исключением южного сектора). Решение проблем региональной геологии, таких как тектоника, магнетизм, геодинамика и минерагения, нуждается в сведениях о специфике строения верхней части литосферы в профильном и особенно объемном вариантах.

Препятствиями для широкого использования этой информации являются следующие факторы.

1. Неподтверждаемость информации о глубинном строении по данным геофизики, выявленная бурением в 70–90 гг. прошлого столетия ряда сверхглубоких скважин, которыми изучены образования в возрастном диапазоне от кристаллических пород нижнего архея до молодых осадков мезозоя, т.е. практически половина континентальной коры.
2. Наблюдаемая несогласованность данных по одним и тем же структурам, например по Уральскому складчатому поясу, Енисейскому кряжу, Уренгойской рифтовой системе, полученных в разных организациях и по разным технологиям.
3. Отсутствие сведений об особенностях глубинного строения в межпрофильном пространстве и соответственно объемных моделей верхней части литосферы. Предпринимаемые попытки обобщения полученной информации с использованием авторских разрезов без анализа

возможностей применяемых технологий отображать реальную геологическую среду не способствуют решению поставленных задач.

Результаты наших исследований по анализу и обобщению материалов ГСЗ показывают, что решение поставленной проблемы – создание объемной геолого-геофизической модели верхней части литосферы Уральского региона – может стать основой для решения подобной задачи на других территориях с корой континентального типа. Это необходимо для повышения уровня регионального прогнозирования, в частности при поисках новых месторождений углеводородов и новых объектов.

Исследования сопровождались дальнейшей разработкой методики создания объемной модели верхней части литосферы (ВЧЛ) с использованием сведений по имеющимся профилям и геотраверсам ГСЗ, откорректированным по методике глубинного геокартирования, интерпретации потенциальных полей и плотностного 2D– и 3D–моделирования.

Вначале созданы объемные геологогеофизические модели трех основных сегментов Уральского региона: северо–западного сегмента Западно–Сибирской геосинеклизы, Тимано–Печорской плиты, среднего сегмента Урала. Впоследствии три разрозненные части Уральского региона объединены воедино путем составления объемных моделей по однотипной методике. Это позволило разработать сводную трехслойную разломно-блоковую модель верхней части литосферы Уральского региона М 1:2 500 000 для территории с координатами: северная часть – 50–70° в.д., 60–68° с.ш., средняя часть 53–66° в.д., 55–60° с.ш. (рис. 1). Для этого построена серия разрезов по 15 профилям ГСЗ, показанных на этом рисунке.

Итоговая информация представлена сейсмогеологическими, сейсмоплотностными и магнитными геолого-геофизическими разрезами в масштабе 1:1 000 000 и объемной плотностной и магнитной 2D–моделями М 1:2 500 000.

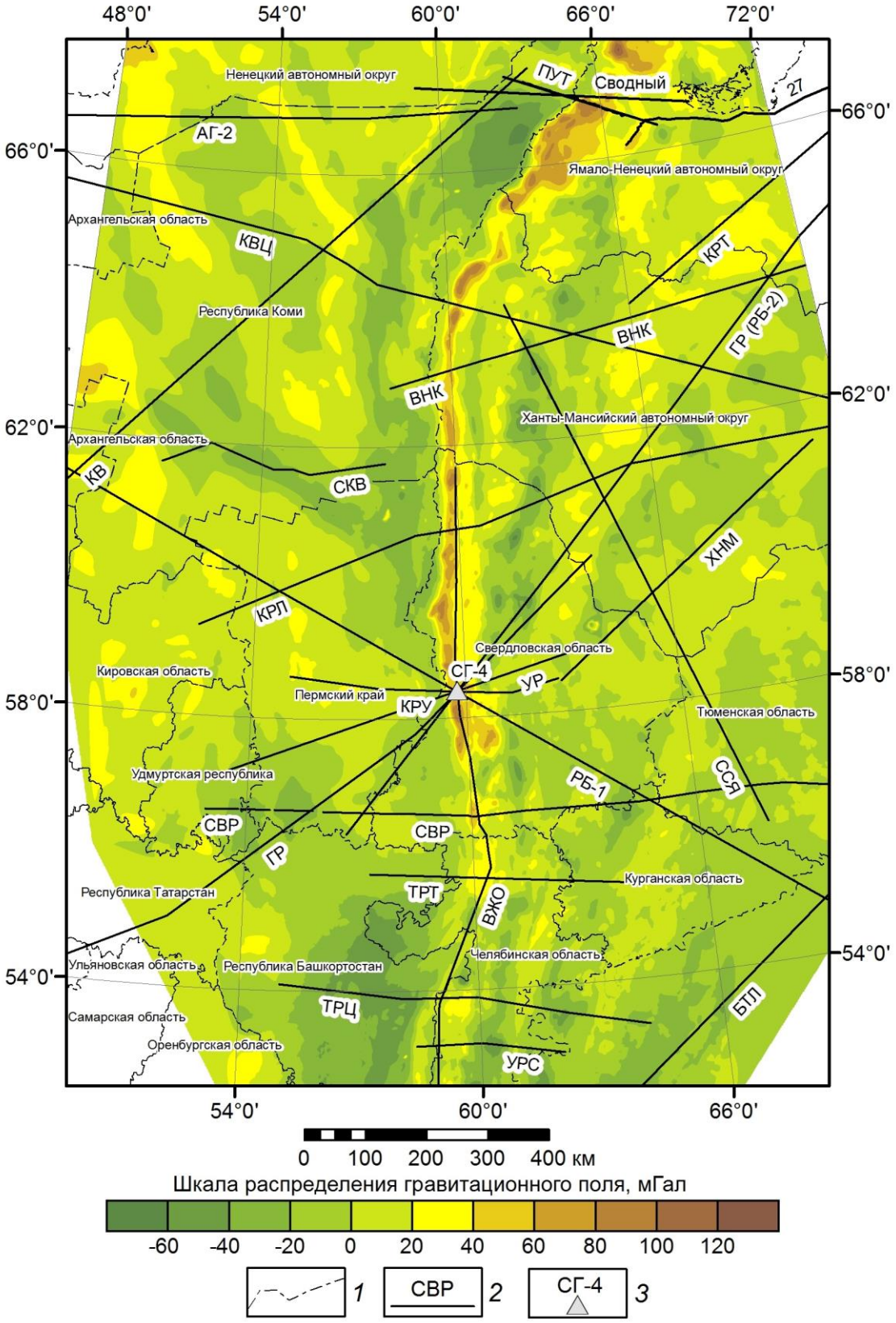


Рис. 1. Схема расположения профилей ГСЗ, МОВЗ, совмещенная с картой аномального гравитационного поля Δg.

Условные обозначения: *1* – административные границы субъектов Российской Федерации; *2* – геотраверсы и профили ГСЗ, МОВЗ (геотраверсы Центра «ГЕОН»: АГ-2 (Агат-2), КВЦ (Кварц), РБ-1 (Рубин-2), РБ-2 (Рубин-2), УР (Уральский МОВЗ), КРТ (Кратон); профили Баженовской геофизической экспедиции при участии Института геофизики УрО РАН: СВР (Свердловский), ГР (Гранит), ТРТ (Тараташский), КРУ (Красноуральский), ХНМ (Ханты–Мансийский), ССЯ (Сев. Сосьва–Ялуторовск), КРЛ (Красноленинский), ВНК (Верненильдино–Казым), ВЖО (Вижай–Орск); профиль Спецгеофизики: КВ (Купянск–Воркута); профиль ФГУНПП «Спецгеофизики» ГФУП «ВНИИГеофизики» при участии БГЭ: УРС (Южно-Уральский трансект – Уралсейс, или Урсейс); профиль Института геологии Коми научного Центра УрО РАН: СКВ (Сыктывкарский)); *3* – Уральская сверхглубокая скважина

На основе этих моделей составлены схематические карты: рельефа поверхности архейского кристаллического фундамента; рельефа основного сейсмогеологического раздела М; тектонического районирования по трем подразделениям верхней части литосферы, представленными верхним сейсмогеологическим этажом ($К_0$–$К_{01}$), кристаллической корой, включая переходный комплекс в низах коры, верхней мантией (М–80 км); перспективности на поиски углеводородов в трех нефтегазовых провинциях Уральского региона.

Глава 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕКТОНИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И ИЗУЧЕННОСТЬ ГЛУБИННЫМИ СЕЙСМИЧЕСКИМИ ИССЛЕДОВАНИЯМИ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА

1.1. Основные тектонические подразделения

Существует ряд тектонических карт Уральского региона и отдельных его областей разного масштаба 1:1 000 000 – 1:10 000 000. Для Уральской складчатой системы (УСС) наиболее содержательной является схематическая карта Урала 1:2 500 000 1966 г. под редакцией И.Д. Соболева. Она представлена на рис. 2, *а* и охватывает территорию между 56°30′ – 64°30′ в.д. Карта составлена в результате обобщения геологических съемок разного масштаба и анализа потенциальных полей. В 1980 г. создана карта М 1:1 000 000, в которой учтены результаты ГСЗ по профилям Свердловский, Красноуральский и Темиртау–Куйбышев, а также новые геолого-геофизические данные (редакторы И.Д. Соболев, А.В. Автонеев). Геологическая фактура, положенная в основу этих карт, использована при составлении тектонических схем более мелкого масштаба, к примеру карты территории СССР М 1: 10 000 000 под редакцией Т.Н. Спижарского, 1979 г. (рис. 2, *б*). На рис. 2, *в*, 3, *а* представлены две тектонические карты Урала, разработанные на основе анализа имеющейся геологической и частично геофизической информации о глубинном строении. Обращает на себя внимание их сходство, несмотря на значительный промежуток времени между ними. Подобная картина многообразия тектонических схем наблюдается для Тимано-Печорского [78] и Западно–Сибирского геоблоков. На рис. 3, *б* изображена одна из таких схем.

Центральное место в исследуемом регионе занимает Уральская складчатая система (III), расположенная между восточной окраиной ВЕП-Волго-Уральский геоблок (I) и Западно–Сибирской платформой (геоблок IV).

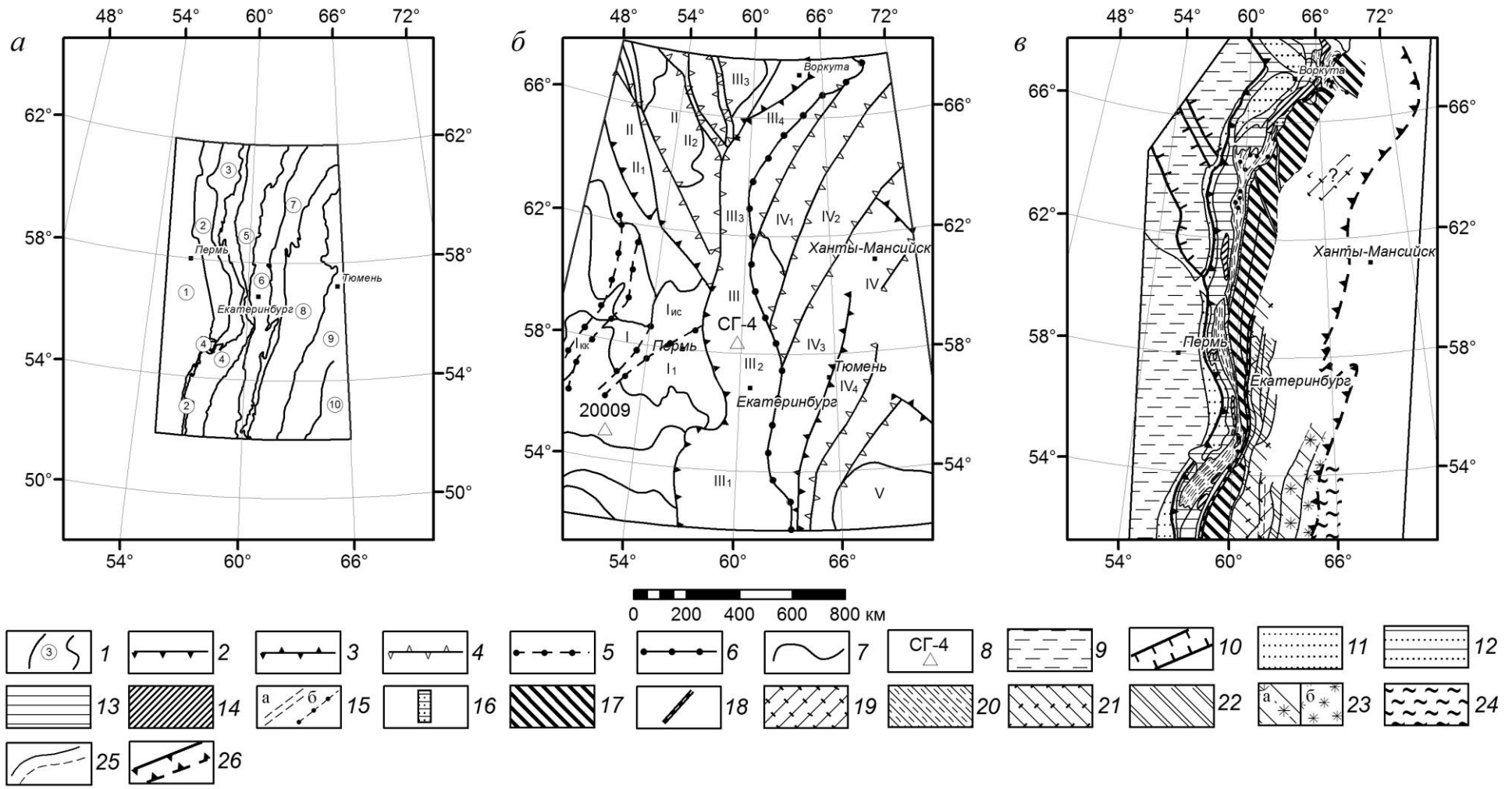


Рис. 2. Фрагменты тектонических карт:

а – схематическая тектоническая карта Урала [73]; *б* – тектоническая карта СССР [77]; *в* – Тектоническое районирование Урала [44].

Условные обозначения. **К схеме *а*.** *1* – границы основных палеозойских геолого–тектонических подразделений по Соболеву И.Д., цифрами в кружках обозначены: 1 – Восточно-Европейская платформа, 2 – Предуральский прогиб, 3 – Западно-Уральская зона складчатости и надвигов, 4 – Центрально–Уральское поднятие, 5 – Тагило-Магнитогорский прогиб, 6 – Восточно-Уральское поднятие, 7 – Восточно-Уральский прогиб, 8 – Зауральское поднятие, 9 – Тюменско-Кустанайский прогиб, 10 – Тобольско-Кушмурунское поднятие. **К схеме *б* (*2–8*).** Глубинные разрывные нарушения (*2–5*): *2* – между платформами и складчатыми системами, *3* – складчатыми и геосинклинальными системами, *4* – структурными мегазонами, *5* – ограничивающие авлакогены, *6* – восточная граница обнаженного Урала, *7* – границы разновозрастных тектонических подразделений, *8* – сверхглубокие скважины (СГ-4 – Уральская, 20009 – Ново-Елховская); надпорядковые структуры (I – Восточная окраина ВЕП, II – Тимано-Печорская плита, III – Уральская складчатая система, IV – Западно-Сибирская плита, V – Казахстанская складчатая система); структуры первого порядка: I_1 – Пермско-Камский свод, Iкк – Казанско-Кажимский авлакоген, Iис – Ижевско–Соликамский авлакоген, II_1 – Тиманское поднятие, II_2 – Ижма-Печорская впадина, III_3 – Косьва-Роговская впадина, III_1 – III_4 – Южный, Средний, Северный и Приполярный сектора УСС, IV_1 – IV_4 – структурно-тектонические мегазоны Приуральской части ЗСП). **К схеме *в* (*9–26*).** *9* – Восточно-Европейская платформа; *10* – внутриплатформенные поднятия и впадины; *11–16* – западный палеоконтинентальный сектор: *11, 12* – Предуральская мегазона (краевой прогиб) (*11* – внешняя нескладчатая зона, *12* – внутренняя линейно-складчатая зона), *13–16* – Западно-Уральская мегазона (мегантиклинорий) (*13, 14* – зона западного крыла мегантиклинория и перекрывающих его аллохтонов: *13* – автохтонные структуры (тем же знаком показаны и поднятия внутри Предуральского краевого прогиба), *14* – наиболее крупные аллохтоны), *15, 16* – осевая (Уралтауская, включая Башкирский антиклинорий) зона (*15* – рифейские (а) и дорифейские (б) комплексы, *16* – комплексы реликтовой зоны восточного крыла); *17–22* – палеоокеанический сектор: *17* – Тагило-Магнитогорская мегазона (кора сформирована преимущественно по автохтонному способу), *18* – наиболее крупные серпентинитовые меланжи, *19–21* – мегазона Восточно-Уральского поднятия или Урало-Тобольская (кора сформирована преимущественно по автохтонному способу), зоны развития докембрийской коры (*19* – практически непогребенной под шарьяжами и осадками, *20* – частичного тектонического и седиментационного погребения, *21* – предполагаемого погребения), *22* – зоны слабого проявления (частично – отсутствия?) погребенных сиалических блоков докембрия; *23, 24* – восточный палеоконтинентальный сектор (Зауральская мегазона) и ее обрамление (*23* – зоны вулкано-плутонических структур: а – Валерьяновская, б – Боровская, *24* – казахстаниды); *25* – границы зон; *26* – границы Уральской складчатой области

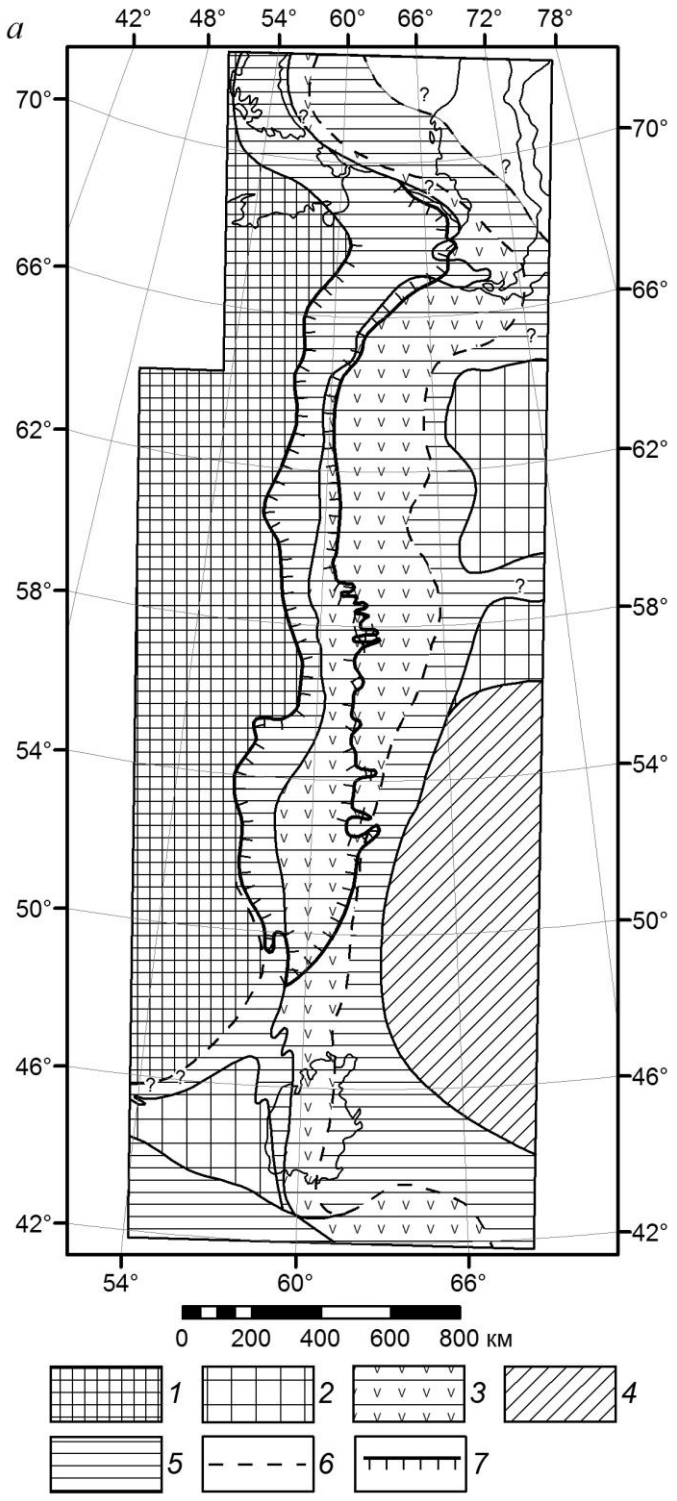
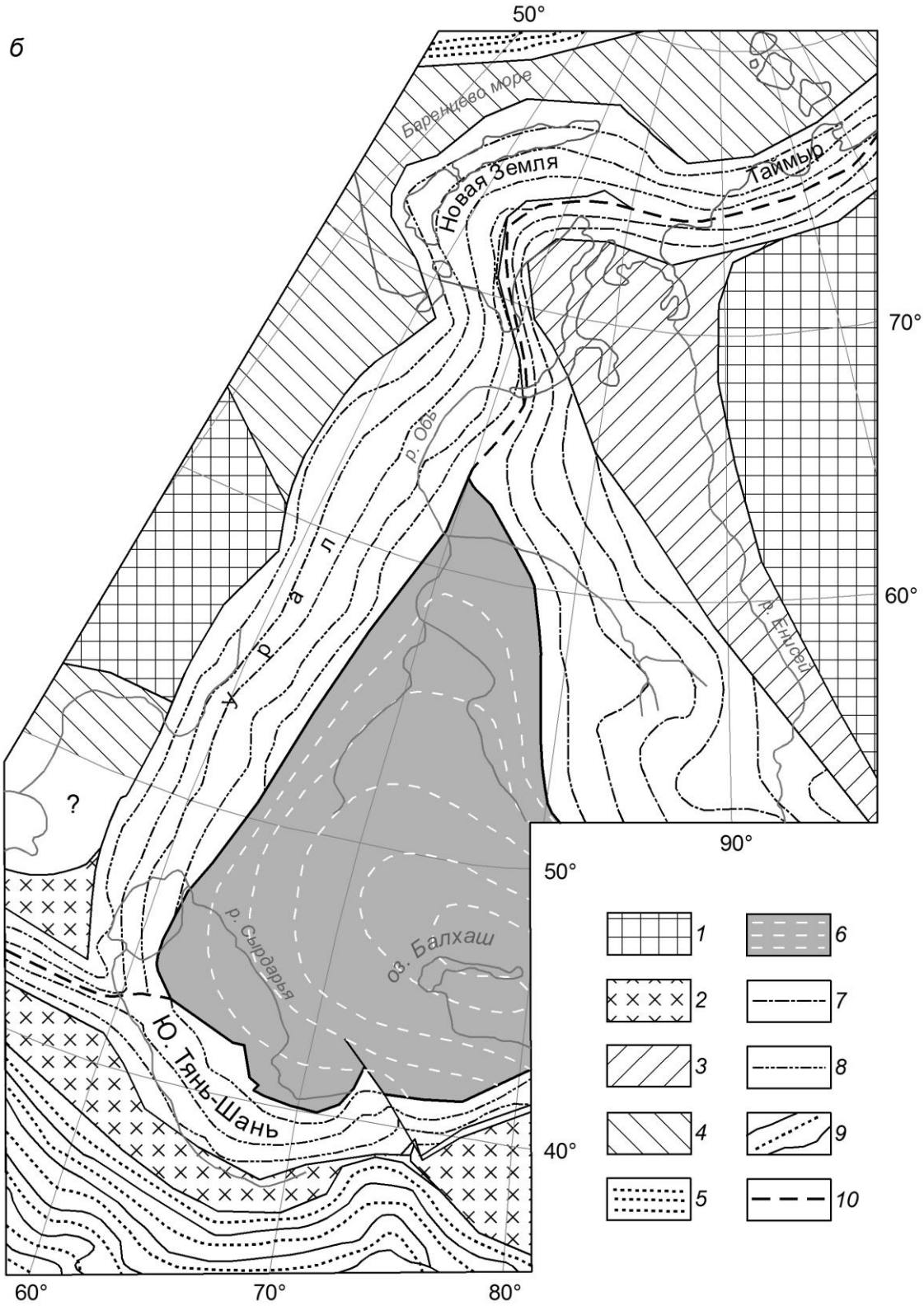
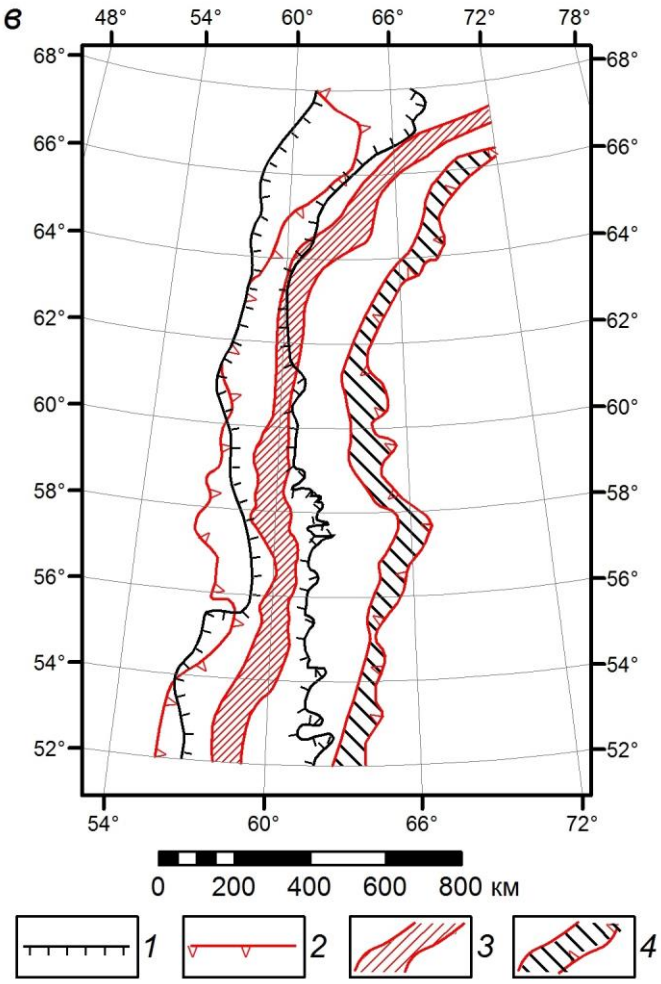


Рис. 3. Представление о тектоническом строении Урала и окружающих геологических структур:

а – соотношение неотектонического Урала со структурами уралид [65]; *б* – взаимное расположение уралид, казахстанид и алтаид [65]; *в* – соотношение Нео–Урала [65] с глубинными структурами кристаллической коры [30].


б
50°
Баренцево море
Новая Земля
Таймыр
70°
р. Обь
Урал
60°
р. Енисей
?
90°
50°
р. Сырдарья
оз. Балхаш
Ю. Тянь-Шань
40°
60°
70°
80°
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10



Условные обозначения. **К схеме *а*:** *1* – Восточно-Европейская платформа; *2* – предполагаемые срединные массивы; *3, 5* – складчатые структуры уралид (*3* – структуры палеоокеанического сектора, *5* – деформационные структуры уралид, наложенные на окраину Восточно-Европейского континента на западе и казахстаниды и срединные массивы на востоке); *4* – казахстаниды; *6* – границы до-неотектонических структур; *7* – границы нео-Урала. **К схеме *б*:** *1* – кратоны; *2* – континентальные террейны; *3* – тиманиды; *4* – байкалиды; *5* – скандинавские каледониды; *6–8* – Урало-Монгольский пояс (*6* – казахстаниды, *7* – алтаиды, *8* – уралиды); *9* – альпиды; *10* – поздние коллизионные сутуры. **К схеме *в*:** *1* – граница неотектонических структур [65]; *2* – контуры УСС согласно схеме тектонического районирования кристаллической коры [30]; *3* – положение Центрально-Уральской мегазоны; *4* – пограничный шов по восточной окраине УСС

В юго-восточной части находится северо-западная окраина каледонид Казахской складчатой системы (геоблок V).

Северо-западная часть Уральского региона представлена Тимано–Печорской плитой, относимой рядом исследователей к северо-восточной части ВЕП, другими – к Баренц-платформе. В ее состав входит Тиманское поднятие, антиклиза (II), Ижма-Печорская (II_2) и Косью-Роговская (II_3) впадины, разделенные грядой Чернышева. Волго-Уральский геоблок объединяет три крупных поднятия: Коми-Пермяцкое, Пермско-Башкирское, Татарский свод и несколько отрицательных структур, таких как Казанско-Кировский авлакоген, Камско-Кинельская впадина и Соликамско-Юрюзанская депрессия на месте Предуральского прогиба. На карте Т.Н. Спижарского (см. рис. 2, *б*) отсутствует Калтасинский авлакоген как крупная отрицательная структура архейского фундамента, установленная по данным ГСЗ на Свердловском профиле 1966–1969 гг. и результатам бурения Орьебашевской глубокой скважины (до 7 км).

Уральская складчатая система показана в рамках структур, выходящих на дневную поверхность. Она имеет субмеридиональное простирание, и ее можно подразделить на четыре сегмента: южный III_1, средний III_2, северный III_3, Приполярный и Полярный III_4. УСС отделена от восточной окраины ВЕП глубинным разломом, в тылу которого находится Главный Уральский разлом (ГУР), контролируемый интрузиями основного и ультраосновного составов.

Уральский регион характеризуется значительными изменениями положения контуров и строения составляющих его основных геологических структур. К примеру, Уральская складчатая система, занимающая центральное место в регионе, при общем субмеридиональном простирании имеет существенные отклонения внешних контуров в разных широтных сегментах (до 100 км и более) и соответственно различное глубинное строение. При общей протяженности 2500 км для воссоздания реальной объемной модели УСС требуется не менее 10 профилей ГСЗ, протяженностью 500–700 км каждый, что и было предусмотрено генеральным проектом МинГео СССР, разработанным в

середине XX столетия. В течение 45 лет этот объем исследований относительно УСС был выполнен. Но потребовались определенные усилия, чтобы привести к общему знаменателю неодинаковые по качеству, полноте, технологии работ сейсмические данные, полученные разными организациями в значительный период. Согласно схематической карте И.Д. Соболева, УСС состоит из девяти структур первого порядка, представленных поднятиями и прогибами. В пределах открытого Урала находятся структуры Западного склона Урала, за исключением Центрально-Уральского поднятия, Предуральского и Тагильско–Магнитогорского прогибов. Структуры восточной части перекрыты мезокайнозойским чехлом Западно–Сибирской геосинеклизы. Количество структур, расположенных под этим чехлом, увеличивается в северном направлении. В южном секторе под осадками MZ–KZ находятся Зауральское поднятие и Тюменско-Кустанайский прогиб, а в полярном секторе структуры начиная с Тагильско-Магнитогорского прогиба. На рис. 2, *а* показано приближенное положение структурно-формационных зон, соответствующих, возможно, контурам погруженных структур УСС.

Следует отметить, что тектоническое деление УСС на девять структур первого порядка заменяется на некоторых картах тремя мегазонами: Западно–Уральской, Центрально–Уральской и Восточно–Уральской (см. рис. 3, *а* из работы [65]). Это не противоречит полученным данным по профилям ГСЗ (рис. 4).

Существуют принципиально различные суждения о границах Уральской складчатой системы. На западе это касается Предуральского прогиба. На карте И.Д. Соболева он входит в качестве краевого предгорного прогиба в состав УСС, а по представлениям пермских исследователей указанная структура относится к платформенной части ВЕП.

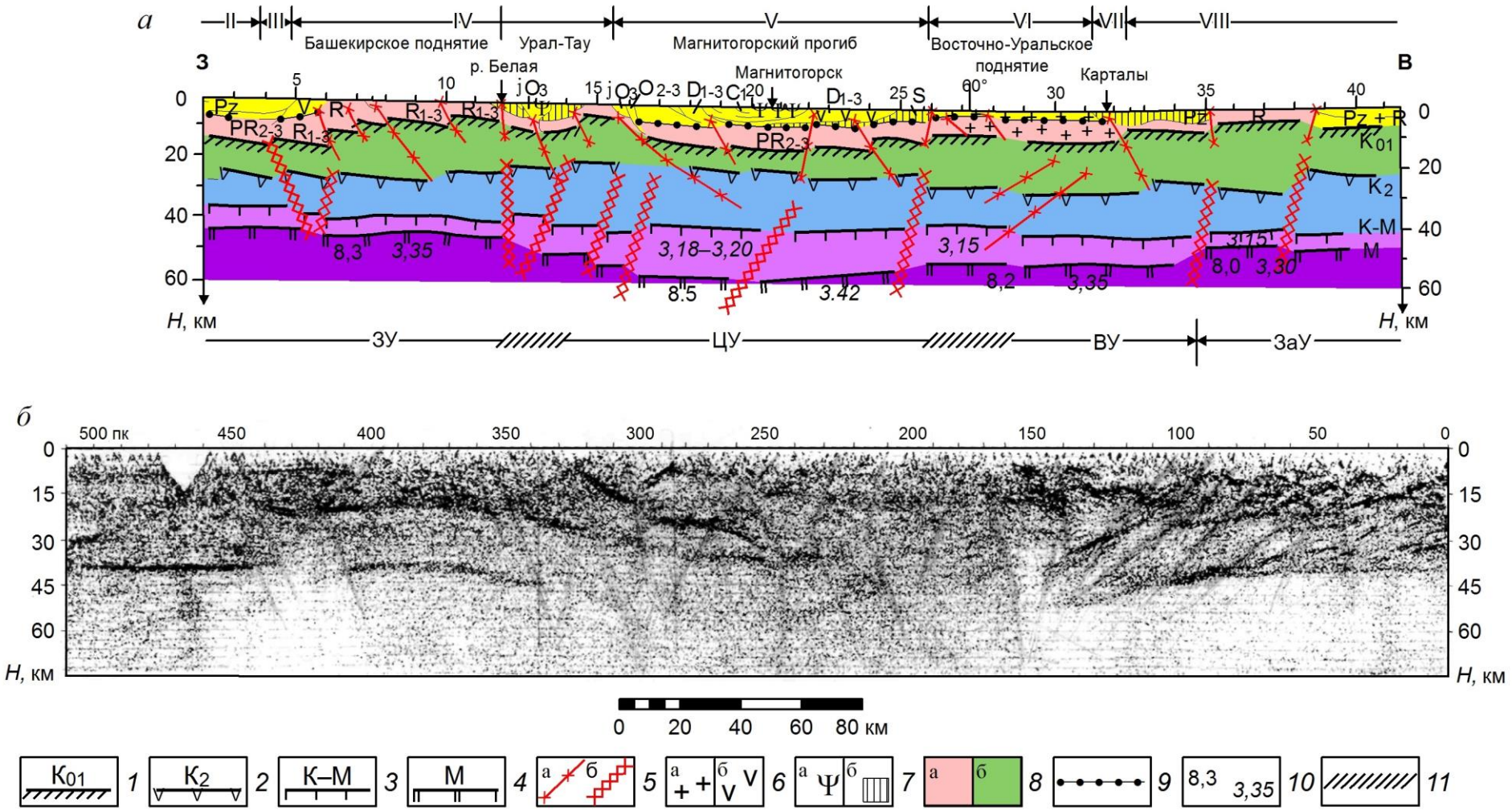


Рис. 4. Сопоставление глубинных сейсмических разрезов по профилю «Уралсейс» (Южный Урал):

а – прогнозный [37]; *б* – ОГТ с взрывными источниками [6].

Условные обозначения. Поверхности сейсмоструктурных этажей (ССЭ) (*1–4): 1* – II ССЭ, возможно, поверхность древнего гранитогнейсового фундамента нижнеархейского возраста, *2* – III ССЭ, поверхность нижней, преимущественно гранулито-базитовой части земной коры, *3* – IV ССЭ, поверхность переходного мегакомплекса в низах коры, *4* – поверхность основного сейсмогеологического раздела между породами земной коры и верхней мантии; *5* – границы между комплексами и блоками в верхней части коры (а), между блоками земной коры, возможно глубинные разломы (б); *6* – гранитоиды (а), вулканиты (б) палеозоя; *7* – ультрабазиты (серпентиниты), вулканогенно-осадочные комплексы PZ; *8* – осадочный комплекс рифея (а), гранитогнейсовый и гранулитовый комплекс нижнего архея с прогнозируемыми значениями скорости 6,0–6,3 км/с (б); *9* – поверхность нижнего гнейсоамфиболитового комплекса верхней части коры, возможно, протерозойского возраста; *10* – прогнозируемые значения скорости (*V*) и плотности (σ); *11* – участки, где неоднозначно положение границы между глубинными структурами.

Над разрезом показаны геологические структуры первого порядка по И.Д. Соболеву: II – Предуральский прогиб, III – Западно–Уральская зона складчатости и надвигов, IV – Центрально–Уральское поднятие, V – Тагило-Магнитогорский прогиб, VI – Восточно–Уральское поднятие, VII – Восточно–Уральский прогиб, VIII – Зауральское поднятие.

Под разрезом показано глубинное районирование, мегазоны: ЗУ – Западно–Уральская, ЦУ – Центрально–Уральская, ВУ – Восточно–Уральская, ЗаУ – Зауральская

В доказательство приводятся сейсмогеологические разрезы ОГТ, на которых отражающие горизонты, соответствующие осадочным отложениям палеозоя, прослежены без видимых осложнений до Центрально-Уральского поднятия. По данным ГСЗ, на Свердловском профиле Предуральский краевой прогиб имеет отличные от восточной окраины ВЕП черты глубинного строения, а участок сочленения его с Западно–Уральской зоной складчатости характеризуется, в отличие от данных ОГТ, сложным строением, особенно по приповерхностным структурам (рис. 5).

На востоке пограничной структурой является Тюменско-Кустанайский прогиб, который на юге территории (III_1), по мнению некоторых ученых, заложен на каледонидах Казахстана.

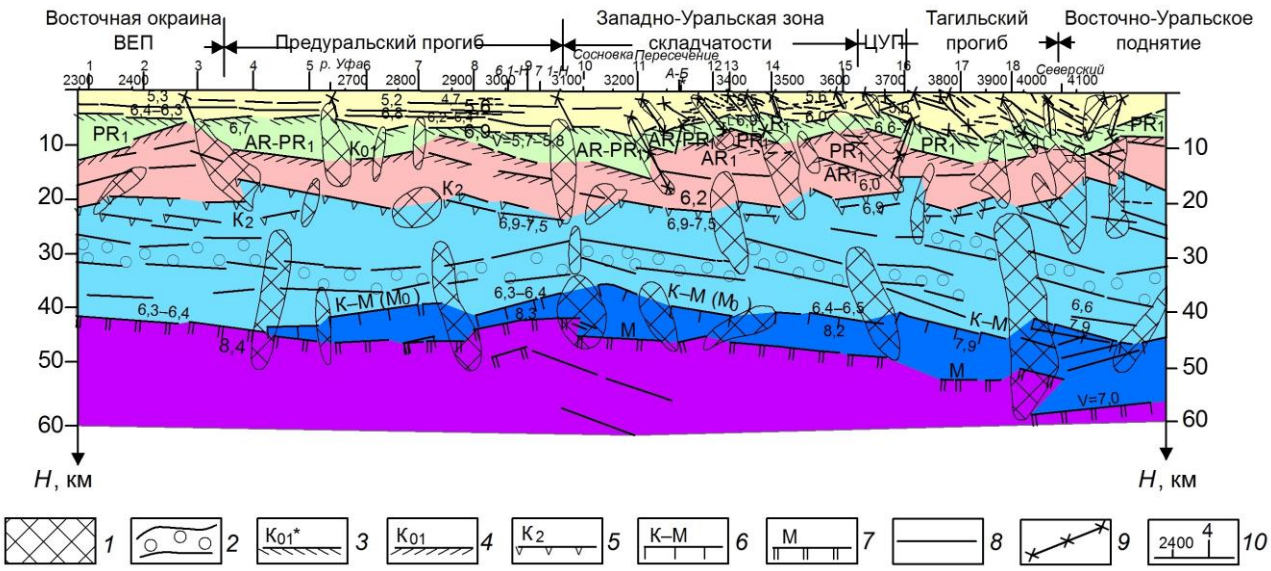


Рис. 5. Сейсмогеологический разрез по Свердловскому профилю ГСЗ в районе Предуральского прогиба и Западного склона Урала (откорректированный вариант [20]).

Условные обозначения: *1* – аномальные объекты (зоны) в земной коре, объединяющие дифракционные элементы (сейсмический разрез 1976); *2* – зоны пониженных значений скорости продольных волн; *3* – $К_{01}$* – кровля нижнего мегакомплекса, входящего в состав I СГЭ, возможно, PR возраста; *4* – $К_{01}$ – кровля второго сейсогеологического этажа, возможно, поверхности древнего кристаллического фундамента AR_1 возраста; *5* – $К_2$ – кровля нижней коры, соответствующая III СГЭ, преимущественно гранито-базитового состава; *6* – К–М ($М_0$) – поверхность переходного мегакомплекса в низах коры; *7* – М – основной сейсмогеологический раздел Мохо, кровля преобладающих ультраосновных пород; *8* – прочие отражающие и преломляющие границы; *9* – тектонические нарушения в первом СГЭ; *10* – линия профиля с ПК по Свердловскому профилю

В средней части (III_2) при сохранении северо-северо-восточного направления прогиб прослежен до широты 58–60° с.ш. (см. рис. 2). Вопрос остается открытым: является ли данная структура восточной границей Уральского складчатого пояса или нет, так как, по мнению ряда исследователей, УСС, находясь в составе Урало-Монгольского пояса, продолжается на восток вплоть до середины Западно–Сибирской геосинеклизы.

На карте Т.Н. Спижарского присутствует одна надпорядковая тектоническая граница между ВЕП и УСС, совпадающая с западной границей открытого Урала, а севернее 60° она разделяет ВЕП и Тимано-Печорскую плиту, которая в таком случае сопоставима с Уральской складчатой системой и является тектонической структурой первого порядка. Они разделены разломами так же, как составляющие их зоны. На представленной карте дополнительно выделены тектонические структуры типа авлакогенов. Таким образом, вся огромная территория, расположенная восточнее указанной границы, несмотря на принципиальные различия в строении разных зон, отнесена к одной крупной провинции.

В.Н. Пучков на схеме (см. рис. 3, *а*) показал контуры нео–Урала, западная граница которого совпадает с восточным ограничением Восточно-Европейской платформы, восточная – с границей открытого Урала в северных широтах до 58 параллели, значительно отклоняясь на запад от этой позиции в более южных широтах. Подобным образом проявлены контуры нео–Урала по отношению к тектоническому районированию кристаллической коры (см. рис. 3, *в*). Поэтому не понятно, что представляет собой нео–Урал: современное поднятие в рельефе или отображение различий в геодинамических процессах в неокоме северных и южных частей УСС. Известно, что «палеозойский уступ» в северной части имеет верхнепалеозойский возраст. Но какие тогда критерии положены в основу выделения контуров нео-Урала? Центральное положение в структуре собственно уралид занимает мегазона, представленная палеоокеаническим сектором с горизонтальными размерами до 300–400 км, что значительно превышает контуры Тагило-Магнитогорского прогиба на тектонической карте И.Д. Соболева. По соседству с Центральной мегазоной находятся, по В.Н. Пучкову, деформационные зоны уралид, наложенные на структуры обрамления [65]. На обобщающей схеме тектоники Урала и соседних систем (см. рис. 3, *б*) уралиды ограничены на западе Восточно–Европейским кратоном, а севернее широт 60–62° – байкалидами верхнего рифея. На востоке граница уралид

совпадает до широты 64° с казахстанидами, а затем – с алтаидами также верхнего рифея. Срединный массив (по-видимому, Уват-Ханты-Мансийский), показанный на рис. 3, *а*, отнесен на обобщающей схеме к казахстанидам.

Следует отметить, что обе схемы составлены без должного учета специфики строения верхней части литосферы, установленной по результатам достаточно многочисленных глубинных сейсмических исследований в Уральском регионе. Более подробно этот вопрос рассмотрен в главе 3. Для подтверждения сделанного замечания приведем несколько примеров. Западно–Сибирская структура имеет особенности глубинного строения, отличные от таковых окружающих систем Урала, Енисея, Северного Казахстана, и соответствует самостоятельному подразделению континентальной коры древнего заложения [30]. Распространение казахстанид в Западную Сибирь ограничено шовной субширотной зоной в районе 56–й параллели. Второй пример относится к Тимано-Печорской плите. Докембрийское основание осадочного PZ–MZ мегакомплекса, представленное структурно-формационными зонами нижнего протерозоя – верхнего рифея, подстилается нижнеархейским кристаллическим фундаментом [25, 26]. В отличие от восточной окраины ВЕП ТПП имеет более сложный тектонический план, обусловленный продолжительным развитием геодинамических процессов с нижнего протерозоя до триаса включительно.

В недавно вышедшей монографии С.Л. Костюченко, А.Ф. Морозова, А.А. Кременецкого [49] приведены геодинамические обстановки формирования Тимано-Уральско-Пайхойской коллизионной области с рифея до начала мезозоя включительно (см. рис. 5.12–5.17 из работы [49]). В предложенной схеме геодинамических преобразований Тимано-Печорская плита рассмотрена отдельно от восточной окраины ВЕП. Она разделена на два принципиально разных подразделения. Западное сформировано в венде на месте рифейской островной дуги и представлено дислоцированными и покровно-складчатыми комплексами. Восточная часть соответствует Хорейверскому микроконтиненту. Величина обратно-поступательных движений по схеме авторов достигает 400–

500 км. На уровне 64–й параллели предполагается региональный субширотный трансформный разлом, который разделяет территории с разными геодинамическими обстановками.

К востоку от Хорейверского террейна на месте Уральской складчатой системы выделена обширная область аккрецированных и тектонически совмещенных элементов Палеоазиатско-Уральского и, вероятно, Северного Ледовитого (?) океанов.

Схемы, представленные на рис. 3, *а*, б; 4, *б*, составлены на основе плиттектоники с учетом приоритета горизонтальных движений, сопровождаемых образованием крупных аллохтонных пластин по глубинным листрическим разломам. За основу при воссоздании геодинамических обстановок формирования [49] принят современный тектонический план геологической среды с корректировкой положения основных подразделений, исходя из примата крупных горизонтальных перемещений со сменой направления вектора движений литосферных плит. При отсутствии реперных данных и фактов это достаточно произвольная процедура. Для подтверждения рассмотрим возможности глубинного ОГТ, результаты которого в виде временных и сейсмических разрезов привлекаются для выделения листрических разломов и покровных структур, а также данные сверхглубокого и глубокого бурения, ориентированные на подсечение подобных элементов. Консолидированная кора Урала, имея сложное разломно–слоисто-блоковое строение с пространственным распределением сейсмических неоднородностей, отражена на временных разрезах дискретной волновой картиной с отсутствием выдержанных отражающих элементов и преобладанием «непрофильных» волн. Выделение (прослеживание) листрических разломов в земной коре, особенно при профильных наблюдениях, весьма неоднозначно, что и подтверждено результатами сверхглубокого и глубокого бурения. Например, сверхглубокая германская скважина КТБ должна была подсечь листрический разлом, выделенный по данным ОГТ на глубине 2,5 км. Фактически разлом оказался

крутопадающим, и скважина прошла рядом с ним, несмотря на достигнутую глубину 9,2 км. Второй пример: по инициативе М.А. Камалитдинова была запроектирована Кулгунинская скважина на Башкирском антиклинории на Южном Урале для установления крупного листрического разлома на глубине 3,0–3,5 км и вскрытия палеозойских отложений Предуральского прогиба. Данные ГСЗ рядом расположенного Троицкого профиля, отрицающие такую ситуацию, были проигнорированы. Скважина пробурена до глубины 5,2 км, вскрыла нормальный разрез рифейских отложений, суммарная мощность которых оценивается в 7,0–8,0 км. Именно на такой глубине показано положение древнего кристаллического фундамента по данным ГСЗ. Одновременно было установлено отсутствие крупных листрических разломов (в конкретной ситуации протяженностью до 70–80 км). В серии прогнозных разрезов по СГ-4 также предполагалось наличие листрических разломов. Подтвердилась наша модель, составленная по результатам комплексных сейсмических исследований [21, 30]. Следует особо остановиться на Полярно-Уральском трансекте ОГТ. Он прошел по субширотной зоне дислокаций, по району сочленения нескольких крупных геологических структур, что проявилось в дискретном характере разреза с разрозненными скоплениями отражающих элементов. В то же время по данным ГСЗ, МОВЗ получены достаточно выразительные разрезы, которые согласуются с известным фактом различия в сейсмической информации, полученной с использованием вертикальных лучей и на значительном удалении от источника.

В заключение укажем, что игнорирование авторами обширной информации по ГСЗ, представленной в виде 2D– и 3D–моделей верхней части литосферы, кроме того, привлечение ограниченных сведений о строении земной коры всего по трем трансектам глубинного ОГТ (Южному, Среднему и Полярному), расположенным на расстоянии 500 и 1000 км друг от друга, существенно снижает достоверность представленных в работе [49] геодинамических обстановок формирования Уральского подвижного пояса.

В конце XX в. традиционные технологии глубинных комплексных сейсмических исследований ГСЗ, МПВ, МОВ и МОВЗ дополнились, а затем сменились методом многократных перекрытий, ориентированных на использование субвертикальных отражений. Был выдвинут лозунг: временные сейсмические разрезы, составленные по этой технологии, реально отображают среду, несмотря на ее крайнюю сложность и соответственно дискретный характер волновой картины. В период с 1995 по 2008 г. были выполнены исследования методом глубинной ОГТ по Южно-Уральскому, Средне–Уральскому и Полярно–Уральскому трансекту общей протяженностью около 1300 км, что составляет незначительную часть от всего объема глубинных сейсмических исследований. Временные сейсмические разрезы отличаются значительной сложностью при изучении кристаллической коры и допускают разные варианты интерпретационных моделей и геологических разрезов. Сводка этих разрезов приведена в монографии С.Л. Костюченко, А.Ф. Морозова, А.А. Кременецкого [49]. Для уменьшения степени неоднозначности необходимо стремиться к комплексированию сейсмических методов. Особенно при выделении основных составляющих исследуемой коры: блоков (террейнов), поверхности раздела верхней части литосферы, разломной тектоники. Это было в полной мере реализовано на Южно-Уральском трансекте, частично на Полярно-Уральском профиле, остались без внимания значительные объемы работ по ГСЗ, МПВ, МОВ, выполненные в пределах Уральской сверхглубокой скважины СГ-4 при работах на Красноуральском профиле и площади аналогичного названия; исследование Средне–Уральского трансекта практически совпадает с указанным трансектом [21]. Игнорирование предшествующей информации можно объяснить только увлечением исполнителей новой парадигмой тектоники плит, которая, как все новое, но трудно проверяемое, стала модой, мало способствующей развитию наук о Земле.

Сейсмическая информация даже в интерпретационном виде существенно различна на трех трансектах. Это свидетельствует, если не принимать во внимание технический фактор, о существенной невыдержанности строения земной коры, что не позволяет создать объемную модель, необходимую для более надежного решения вопросов тектоники и геодинамики.

В заключение краткого геологического обзора следует остановиться на некоторых проблемах, решение которых возможно при наличии соответствующей информации о глубинном строении земной коры. К ним относятся следующие.

– Тектоническое районирование Уральского региона с выделением геоблоков, структур первого порядка и их границ.

– Какие факторы являются определяющими при формировании Уральской складчатой системы, ее положения и границ?

– К каким геоструктурам относится Тимано-Печорский геоблок, что он собой представлял?

– На каком фундаменте закладывалась Западно–Сибирская геосинеклиза: на складчатом основании окружающих горных систем Урало-Монгольского пояса или она в первооснове является древней платформой?

– Роль различно ориентированных тектонических напряжений в формировании структур Уральского региона, в частности наличие крупных горизонтальных перемещений (глубинных шарьяжей) по пологопадающим надвигам в земной коре.

– Наличие и роль глубинных субширотных дислокаций.

– Начало и продолжительность формирования глубинного образа структур первого порядка.

– Характер связи тектоники, магматизма, возможно, и образования осадочных бассейнов со спецификой глубинного строения.

– Роль глубинного фактора в генерации УВ и формировании месторождений полезных ископаемых.

В монографии сделана попытка обосновать позицию по затронутым вопросам, принципиально важным для региональной геологии, исходя из полученной глубинной информации по Уральскому региону и подобных сведений по другим регионам.

1.2. Анализ информации о глубинном строении

Сейсмические исследования земной коры Уральского региона начались в 1961–1962 гг. с постановки работ по методу непрерывного профилирования по Свердловскому пересечению (Ижевск–Ишим) протяженностью 1100 км и на профиле Темиртау–Куйбышев – 800 км. Работы проводились более 40 лет несколькими организациями: Баженовской геофизической экспедицией ПГО Уралгеология, Институтом геофизики УрО РАН, Центром региональных геолого–геофизических исследований «ГЕОН», Казахским геофизическим трестом, Институтом геологии Коми научного Центра УрО РАН, ГФУП «Вниигеофизика» с частичным участием международных организаций. В условных обозначениях к рис. 1 указаны организации – исполнители по каждому профилю и геотраверсам ГСЗ. К настоящему времени в пределах Уральского региона пройдено свыше 13 000 км и по этому показателю его можно отнести к достаточно изученным регионам. Отрицательным моментом, снижающим результативность итоговой информации, являются различия в технологии работ, включая системы наблюдений, аппаратуру, обработку, интерпретацию сейсмических материалов и их геологическое истолкование.

Особенности глубинных исследований, выполненных уральскими организациями, следующие.

- Развитие методики в направлении использования наряду с преломленными волнами отраженных волн с регистрацией их в широком диапазоне расстояний от источника, поперечных и обменных волн, учет пространственного характера сейсмической информации (рис. 6).

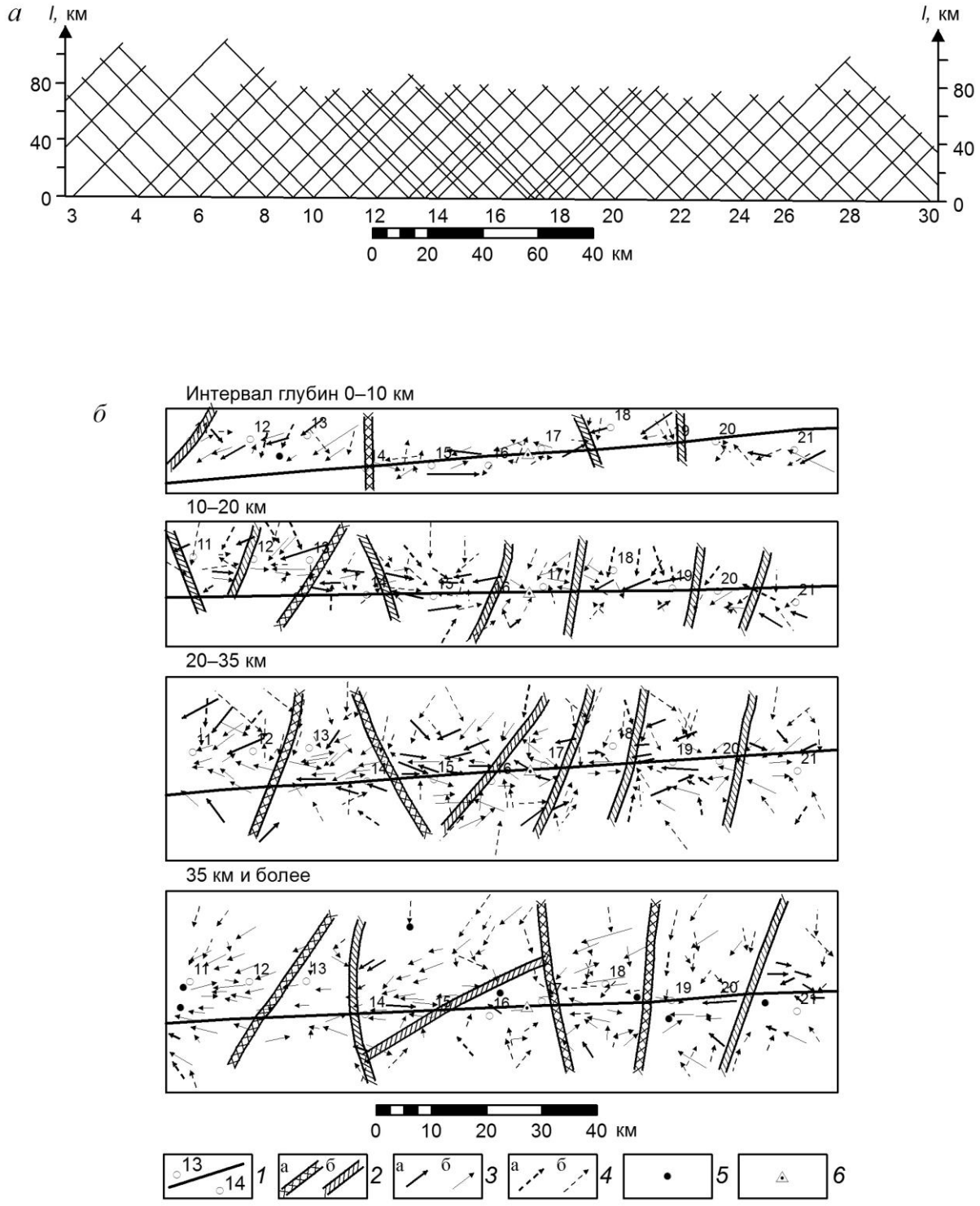


Рис. 6. Особенности методики дифференциальных зондирований МПВ–МОВ [23]:

а – система дифференциальных зондирований МПВ-МОВ многократными перекрытиями, Красноуральский профиль; *б* – схема векторов отражающих элементов, Красноуральский профиль, район сверхглубокой скважины СГ-4.

Условные обозначения. *1* – линия профиля с пунктами взрыва; *2* – зоны нарушений, разграничивающие блоки с разным расположением векторов (а), то же менее уверенно (б); *3* – осредненные векторы отражающих элементов (а – при совпадении трех элементарных векторов и более, б – двух; *4* – осредненные векторы отражающих элементов, азимут которых резко отличен от направления профиля; *5* – осредненные векторы отражающих элементов, угол наклона которых менее 3°; *6* – местоположение сверхглубокой скважины

- Адаптация систем наблюдений к сложным поверхностным орогидрографическим условиям в северных, приполярных широтах, заболоченных территориях ЗСП. Поэтому ввиду невозможности непрерывного профилирования севернее Свердловского пересечения была разработана и внедрена профильно-площадная система дифференцированных зондирований [45].
- Применение методики промышленных взрывов, производимых во многочисленных карьерах горного Урала (рис. 7). Инициатором таких исследований являлся Н.И. Халевин [81].
- Совместная геолого-геофизическая интерпретация сейсмической информации с участием ведущих геологов Урала, направленная на решение проблем региональной геологии, о которых упомянуто в предыдущем подразделе. Тем самым начата работа по созданию основ сейсмогеокартирования земной коры, что позволило выполнить обобщающие работы по тектоническому районированию Уральского региона и минерагеническому прогнозированию.

В труднодоступных для автомобильного транспорта районах Западной Сибири и Северного Урала Баженовская геофизическая экспедиция проводила работы по ГСЗ с использованием методики точечных (дифференцированных) зондирований, созданной под руководством академика Н.Н. Пузырева в Институте геофизики СО РАН. Наблюдения выполнены в вертолетном варианте с помощью аппаратуры «Тайга» в составе 20–25 регистраторов, расположенных через 10–15 км по профилю.

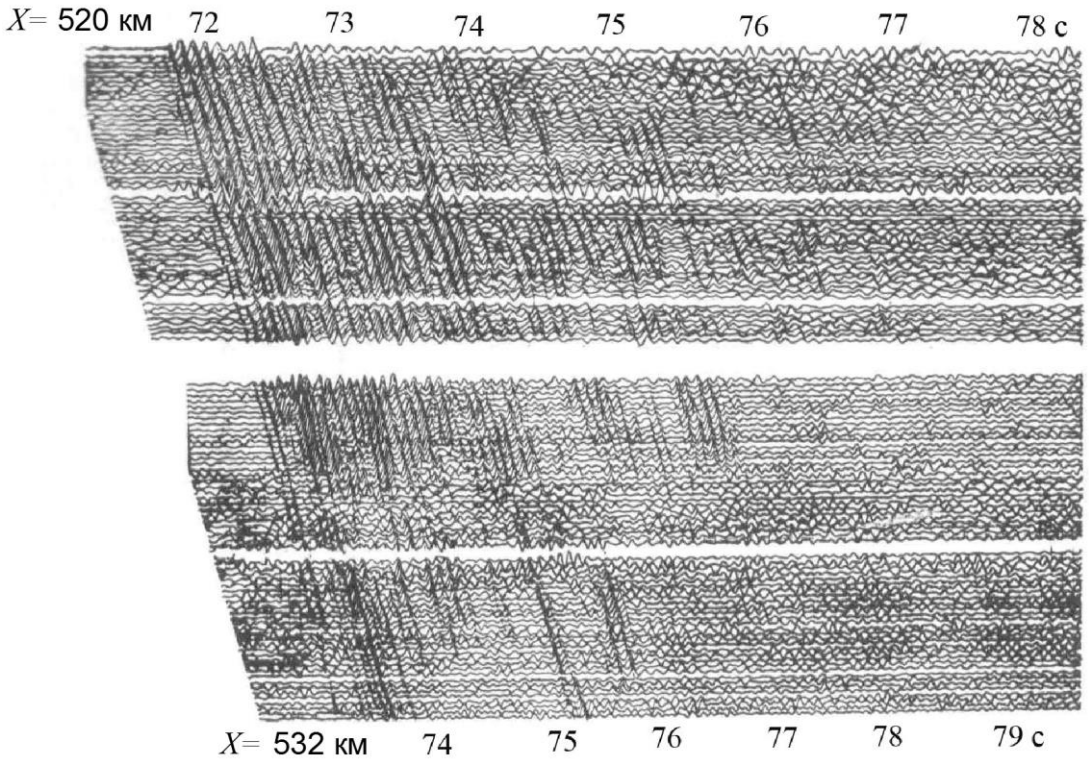


Рис. 7. Запись мантийной группы волн $P^{м}_{0}$ на расстоянии 520–532 км от промышленного карьера «Асбест» в восточной части Свердловского профиля ГСЗ [38].

Применялись системы МПВ с расстояниями между пунктами взрыва 20–25 км, длиной годографа до 60–80 км и ГСЗ – с расстояниями 25–50 км и 250–270 км соответственно. Исследования по такой технологии выполнены на Ханты-Мансийском, Уренгойском, Верхненильдино–Казым, субмеридиональном Северная Сосьва–Ялуторовск профилях, находящихся в Западной Сибири и на Красноленинском профиле, пересекающем горную часть Северного Урала с выходом в пределы восточной окраины ВЕП. Всего по этой методике отработано 3000 км, и поставлены площадные наблюдения МПВ на Уренгойской (район СГ-6) и Ереминской площадях. Аналогичные работы выполнены Институтом геофизики УрО РАН по району Ново-Елховской сверхглубокой скважины. На рис. 8 представлена модель, иллюстрирующая распределение скоростей на разных глубинных уровнях. Мощность осадков PZ на участке скважины составляет 1900 м.

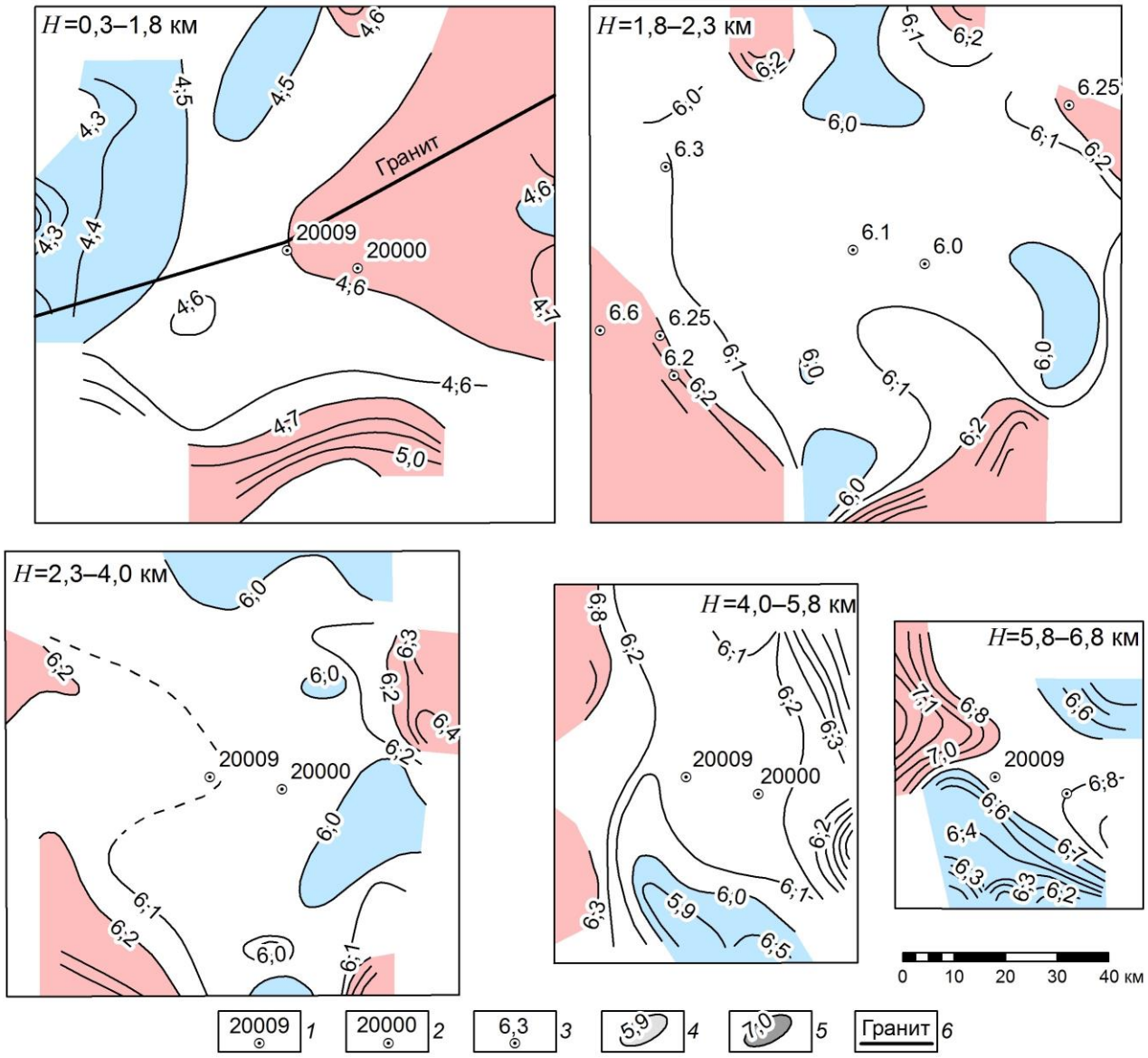


Рис. 8. Объемная скоростная модель района скв. 20009 и скв. 20000 [21].

Условные обозначения: *1* – Новоелховская сверхглубокая скважина; *2* – Мининбаевская глубокая скважина; *3* – скважины, вскрывшие фундамент на глубину в среднем 0,5 км, и значения скорости в этой точке; *4* – зоны пониженных значений скорости V_p; *5* – зоны повышенных значений скорости V_p; *6* – геотраверс Гранит

Центр «ГЕОН» выполнил широкомасштабные сейсмические исследования на геотраверсах, проходящих по Уральскому региону: Кратон, Кварц, Рубин–1, –2» (через Уральскую СГ-4), Батолит (см. рис. 1). Система наблюдений была однотипной, различия заключались в отсутствии на геотраверсах Рубин-2, Батолит удлиненных годографов (до 2000–4000 км) в связи с прекращением

подземных ядерных взрывов. Использовалась точечная система наблюдений с аналоговой аппаратурой «Тайга» и трехкомпонентной регистрацией волнового поля. Одновременно наблюдения проводились примерно на 100 регистраторах, расположенных с шагом 10–20 км. Для изучения земной коры применялись обычные взрывы в мелких скважинах с расстоянием между ними в среднем 50 км. Принятая сейсмическая технология обезпечила получение уникальной информации по верхней мантии до глубин 300–400 км.

Однако была получена осредненная информация по земной коре, не отражающая реального разломно-блокового строения геологической среды и пространственный характер распределения сейсмических неоднородностей. На это несоответствие указывают результативные материалы по сверхглубоким скважинам (см. подраздел 2.1).

Несомненным преимуществом принятой технологии является возможность определения скорости продольных и поперечных волн при использовании трехкомпонентной регистрации волнового поля [7, 40]. Геотраверсы прошли по основным нефтегазовым провинциям Уральского региона. На основе информации о значениях V_p и V_s, были определены глубинные параметры, контролирующие известные месторождения УВ [5]. Но реализация их для прогноза поисков новых объектов, рекомендуемых без постановки более детальных сейсмических работ, не оправдалась последующим бурением. В качестве примера можно привести район Кажимского прогиба по восточной окраине ВЕП [4]. Однако можно надеяться, что более детальная информация по данным критериям (V_p и V_s), дополненная надежными сведениями о структурно-тектонических особенностях геологической среды, обеспечит уверенную оценку нефтегазоперспективности конкретной площади.

Кроме работ по ГСЗ Центром «ГЕОН» выполнены томографические исследования верхней части литосферы по профилю Уральский (международный проект). Применялись 60 цифровых регистраторов «Дельта-Геон», расположенных на интервале 600 км (рис. 9).

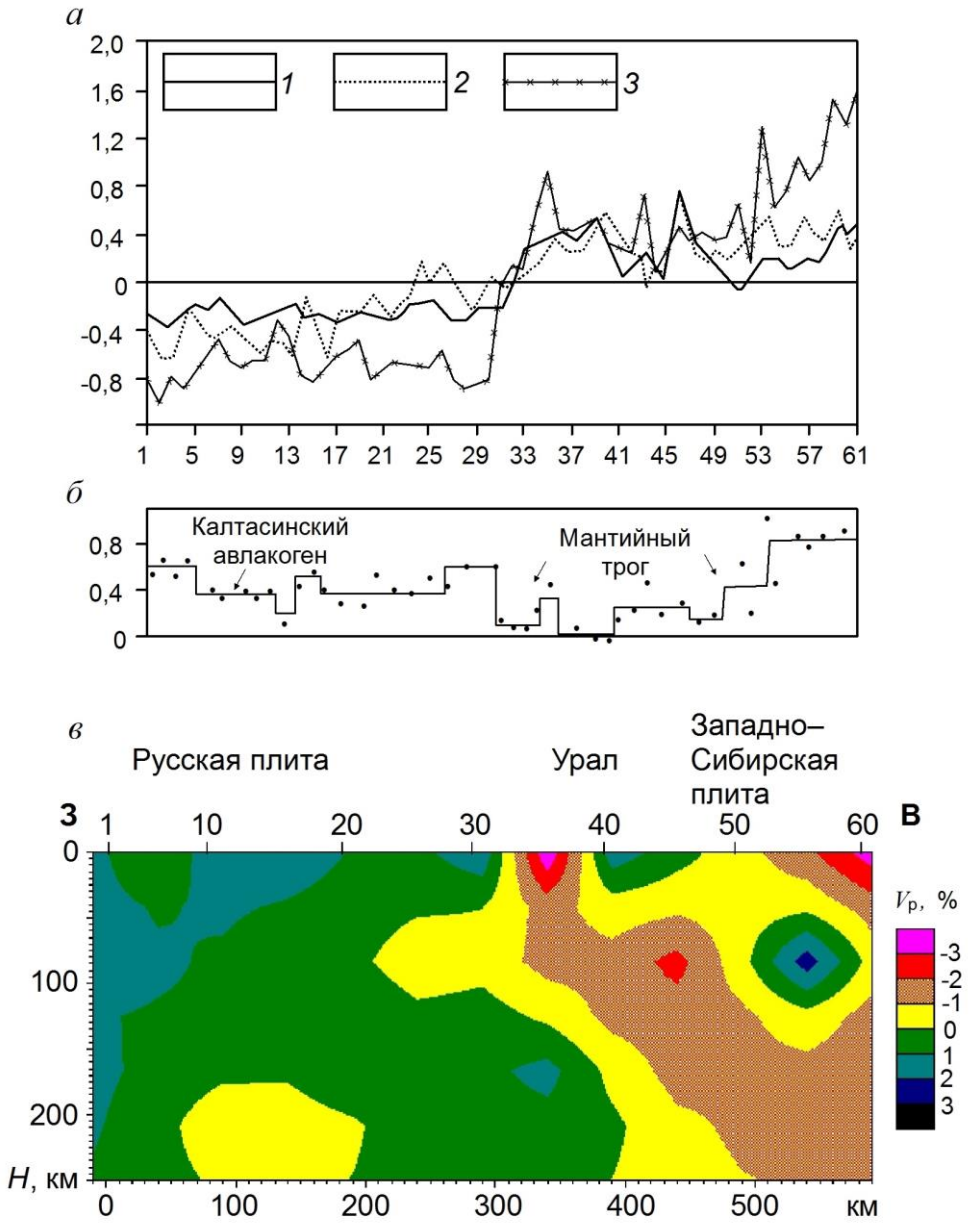


Рис. 9. Результаты томографических исследований МОВЗ на профиле Уральский [43].

а – средние невязки времен пробега объемных продольных и поперечных волн и их разность (*б*) от удаленных землетрясений вдоль профиля Уральский: *1* – продольных волн из восточного азимутального сектора, *2* – то же из западного, *3* – поперечных волн; вертикальная ось – невязка, с; горизонтальная – номера точек профиля; *в* – двумерная скоростная модель под профилем Уральский по наблюдениям продольных волн (скоростные неоднородности даются в процентах от стандартной модели IASP91).

Профиль проходит через район Уральской СГ-4. Впервые была получена уникальная информация о скоростных параметрах верхней мантии до глубины 250 км, которая подтвердила аномалию верхней мантии в пределах ЦУМЗ. Однако при использовании этой информации надо иметь в виду возможность изменения положения аномального объекта, обусловленного внесением иной поправки за мощность земной коры в этой мегазоне (55 км вместо 42 км, как на приведенном разрезе).

Различия в технологии получения сейсмического материала и его интерпретации привели к созданию существенно различающихся сейсмических разрезов, в том числе по одним и тем же районам и для конкретных геологических структур. Это является основным препятствием для их обобщения при построении результативных карт, характеризующих глубинное строение Уральского региона, необходимых для тектонического районирования и регионального минерагенического прогнозирования. Так, использование сейсмической информации, полученной Центром «ГЕОН», без ее анализа совместно с другими данными (рис. 10) может привести к разным геологическим выводам [18, 48].

Это также относится к сводной работе по Сибири, основу которой составляет сейсмическая информация по геотраверсам Центра «ГЕОН». В ней представлены существенно осредненные скоростные разрезы без анализа возможных погрешностей их определения по имеющимся составным годографам первых вступлений, принимаемых за рефрагированные волны [53]. Причем условно намеченные границы блоков по скоростным параметрам на сейсмических разрезах А.В. Егоркина почему-то оказались у этих авторов глубинными тектоническими нарушениями. Дополнительным источником сведений о глубинном строении Уральского региона является бурение трех сверхглубоких скважин: Ново-Елховской на Южно-Татарском своде (ЮТС), Уральской СГ-4 в Тагильском прогибе Среднего Урала и Тюменской СГ-6 в Пуровском прогибе Западно–Сибирской геосинеклизы.

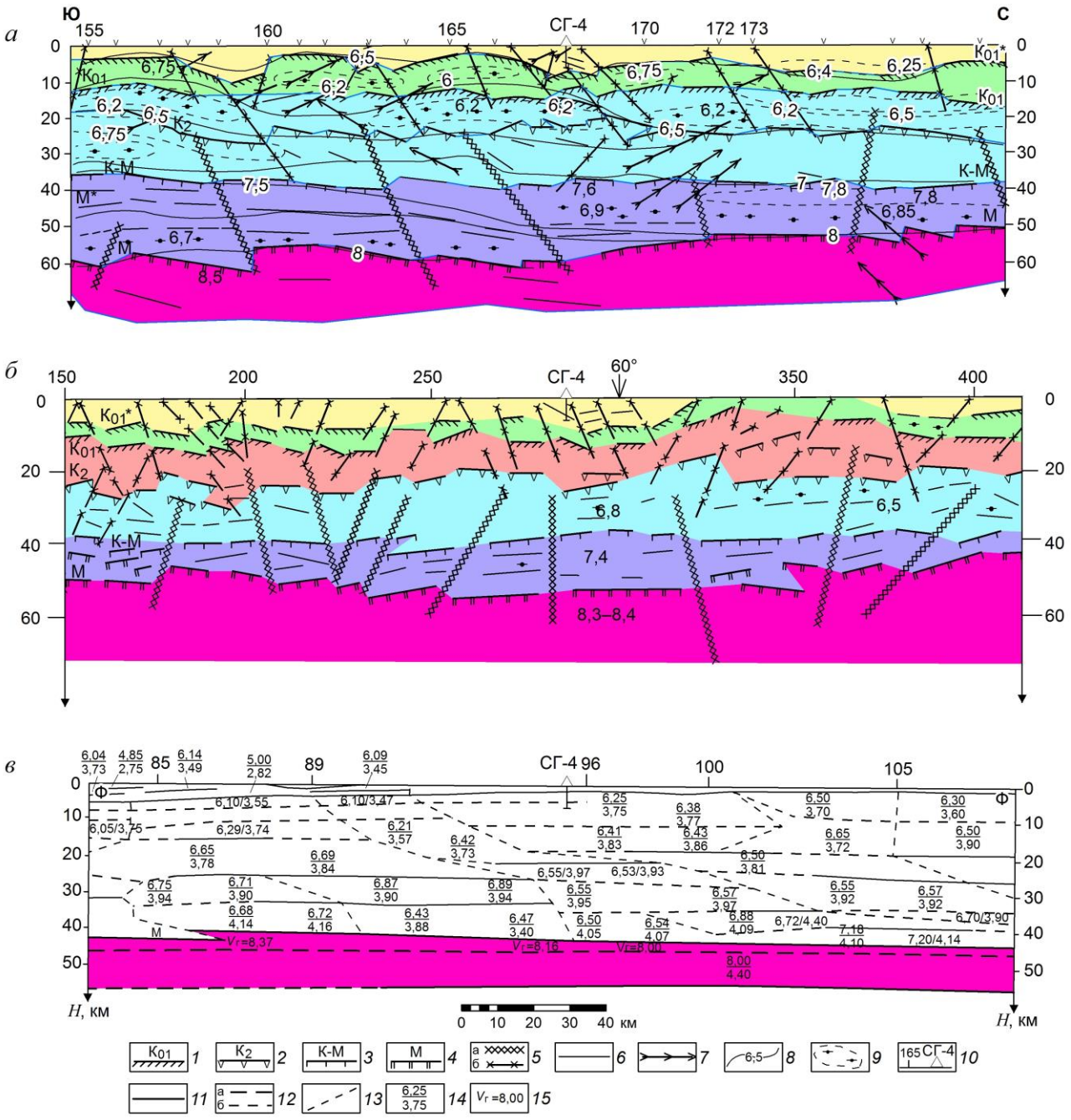


Рис. 10. Сейсмические и сейсмогеологические разрезы по району Уральской СГ-4:

а – сейсмический разрез по профилю Вижай–Орск, *б* – Красноуральский профиль ГСЗ с учетом детализации на участке СГ-4 [16], *в* – сейсмический разрез по геотраверсу Рубин-2 [40].

Условные обозначения. 1–4 – поверхности раздела сейсмогеологических этажей, построенные по совокупности сейсмических данных, включая схематический скоростной разрез: *1* – II СГЭ, или древнего кристаллического фундамента, *2* – III СГЭ, или протокора, 3 – переходного мегакомплекса в низах коры, *4* – основного сейсмогеологического раздела М; *5* – предполагаемые зоны глубинных разломов (а) и глубинные разломы преимущественно в верхней коре (б); *6* – отражающие элементы в пределах выделенных СГЭ; *7* – отражающие элементы, занимающие секущее положение по отношению к основному структурному плану; *8* – изолинии скоростного разреза, полученного в основном по данным отраженных докритических волн, км/с; *9* – предполагаемые зоны инверсии скоростей; *10* – линия профиля с пикетами, их номерами и проекцией Уральской сверхглубокой скважины СГ-4; *11* – сейсмические границы в коре и верхней мантии, построенные по двум типам волн и более; *12* – по монотипному волновому полю; *13* – границы блоков с разными скоростными параметрами; *14* – значение скорости продольной (в числителе) и поперечной (в знаменателе) волн, км/с; *15* – граничная скорость по волне P^{M}.

Через эти скважины проходит геотраверс Гранит, по району СГ-4 Красноуральский и Меридиональный профили ГСЗ, Уральский профиль МОВЗ и через СГ-6 – Уренгойский профиль ГСЗ. По районам расположения скважин сверхглубокого бурения выполнены площадные наблюдения МПВ, а на СГ-4 в дополнение к ним МОВ и ОГТ на Среднеуральском трансекте. По этим материалам составлены прогнозные разрезы и предварительные объемные геолого–геофизические модели М 1:50 000, глубиной до 8–15 км. Результаты сверхглубокого бурения позволили проверить достоверность сейсмической информации и создать своеобразные объемные эталоны строения нижнеархейского фундамента ЮТС, геосинклинальных отложений Центрально-Уральской мегазоны, палеозойского и промежуточного комплексов Западной Сибири. Основные элементы прогнозных разрезов, вскрытые сверхглубоким бурением, в общих чертах подтвердились, что свидетельствует о возможности получения сейсмической информации адекватной реальной геологической среде. Но это стало возможным при соответствующем технологическом подходе к получению сейсмического

материала и его интерпретации, как это предложено и частично реализовано уральскими геофизиками.

При исследованиях по упрощенным схемам и во многом формальном подходе к интерпретации сейсмических данных (работы Центра «ГЕОН» по геотраверсам через СГ-4 и СГ-6) установлены значительные несовпадения сейсмических разрезов с результатами сверхглубокого бурения. Более подробно этот вопрос рассмотрен в подразделе 2.1. При постановке последующих наблюдений по районам СГ с использованием современных сейсмических технологий (а они должны быть обязательны) удастся расширить круг решаемых задач на эталонных полигонах.

* * *

- Развитие глубинных геофизических исследований континентальной коры напрямую зависит от повышения достоверности полученной информации о строении верхней части литосферы, которая представлена совокупностью типов геологических сред: дискретными, инверсионно-слоистыми, градиентными, осложненными крутопадающими неоднородностями.
- Необходимо использовать сверхглубокое бурение для создания эталонных геолого-геофизических моделей по районам такого сверхглубокого бурения (как уже проведенного, так и планируемого).
- Нужно разработать технологию геофизических исследований для создания региональной разломно-блоковой модели ВЧЛ. Для этого потребуются дополнительные работы по районам сверхглубокого бурения и на моделях, сходных по строению с предполагаемыми глубинными структурами.
- Региональное обобщение ранее полученных сейсмических данных нельзя проводить без анализа возможных погрешностей и искажений за счет принятой технологии исследований и представлений авторов о геологической среде, часто основанных на господствующей геологической гипотезе в данный период плиттектоники.

Глава 2. МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАЗЛОМНО–БЛОКОВЫХ МОДЕЛЕЙ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ЛИТОСФЕРЫ

В этом разделе рассмотрены содержание разработанной авторами технологии сейсмогеокартирования земной коры, методика построения сейсмогеоплотностных разрезов ВЧЛ и объемных геофизических и геолого–геофизических разломно-блоково-слоистых моделей верхней части литосферы до глубины 80 км.

2.1. Основы способа сейсмогеокартирования земной коры

Основы геокартирования земной коры, как указывалось ранее, заложены в процессе геологической интерпретации сейсмического разреза по Свердловскому пересечению ГСЗ с участием крупного знатока Урала И.Д. Соболева (рис. 11) и затем продолжены на других профилях ГСЗ, отработанных уральскими геофизиками.

По аналогии с методикой геокартирования приповерхностных структур[1] определение структурно-тектонических особенностей континентальной коры заключается в следующем: разделение по глубине на сейсмогеологические этажи, мегакомплексы (в геологии – крупные стратиграфические подразделения, периоды, свиты); разделение на мегаблоки, блоки, комплексы (в геологии – прогибы, поднятия, мегаструктуры, структуры); выделение разломов на разных глубинных уровнях (в геологии – тектонические нарушения различной природы); определение возможного петрографического состава блоков, подблоков и комплексов (в геологии – литологический состав).

[1] Приповерхностные структуры в складчатых областях изучены в основном в диапазоне глубин 1–3 км.

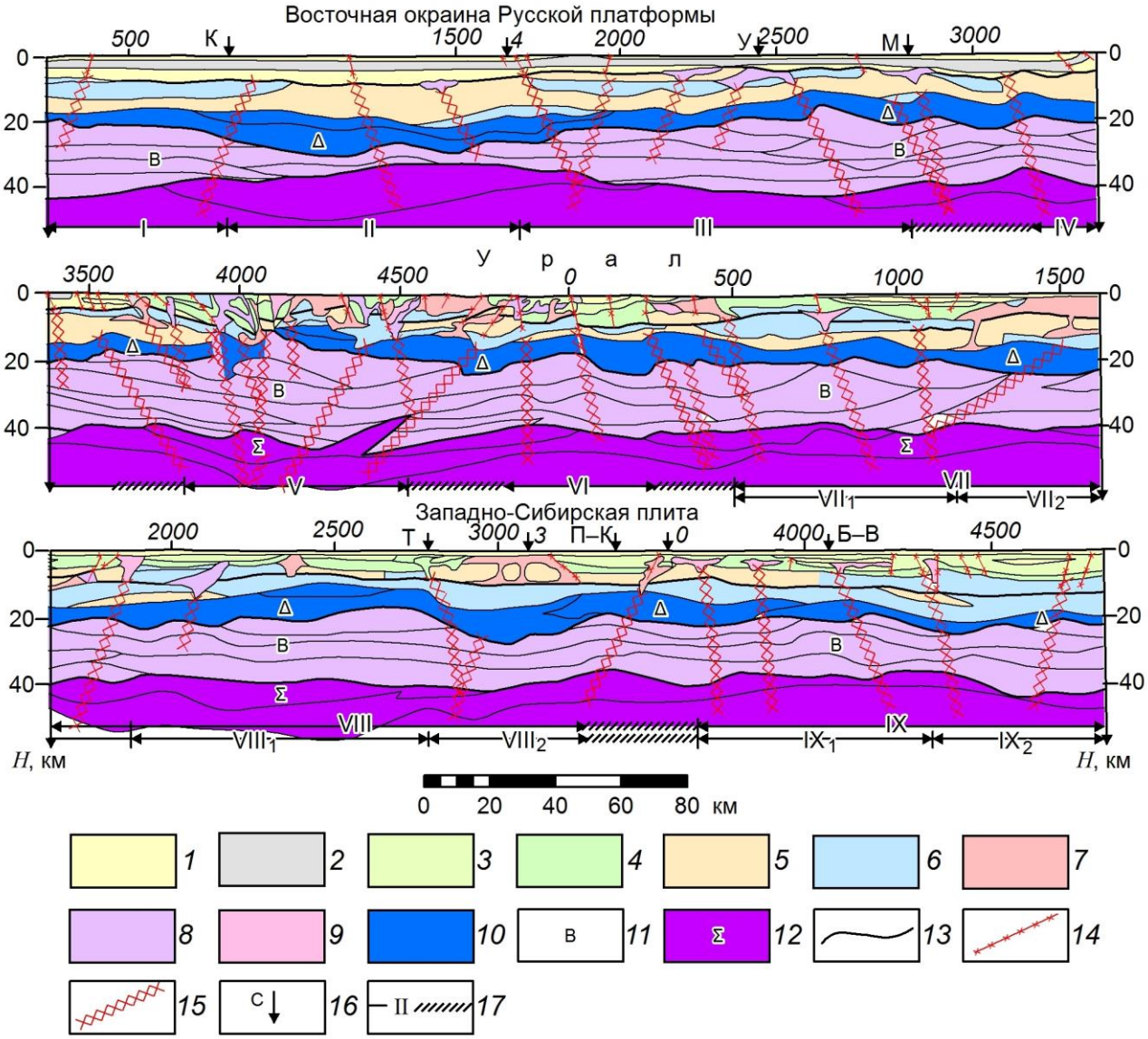


Рис. 11. Геолого-геофизический разрез по Свердловскому пересечению [36].

Условные обозначения. *1* – осадочные отложении, осадочные породы, частично метаморфнзованные; *2* – комплекс карбонатных пород; *3* – эффузивные породы; *4* – зффузивно-осадочные породы, частично метаморфнзованные; *5* – метаморфические породы преимущественно кислого и среднего составов; *6* – метаморфические породы преимущественно основного состава; *7* – интрузивные породы кислого и среднего составов; *8* – интрузивные породы основного состава; *9* – ультраосновные породы; *10* – «переходный» слой («диоритовый», «гранулитовый», возможно, низ древнего фундамента); *11* – нижняя часть земной коры – «базальтовый» или «гранулитобазитовый» слои; *12* – верхи верхней мантии; *13* – геологические границы, установленные и интерполированные по геологическим и геофизическим данным; *14* – поверхностные тектонические нарушения,

выделенные по геологическим и сейсмическим данным; *15* — зоны глубинных разломов по сейсмическим данным; *16* – валы в верхней части осадочного слоя: К – Куединский, Ч – Чернушннский, У – Уфимский, М – Маичажскнй, Т – Тобольский, З – Заводоуковский, П–К – Пятково-Комиссаровский, С – Соколовский, Б–В – Боровлянско-Вяткиискнй; *17* – мегаблоки и блоки земной коры по сейсмическим данным: I – Верхнекамский, II – Куединский, III – Башкирский, IV – Западно-Уральский, V – Ревдинско-Пышминский, VI – Восточно-Уральский, VII – Зауральский, VII_1 – Камышловский, VII_2 – Буткинский, VIII – Тюменско-Тобольский, $VIII_1$ – Тюменский, $VIII_2$ – Тобольский, IX – Вагай-Ишимский, IX_1 – Вагайский, IX_2 – Ишимский

Известно, что геологическое истолкование сейсмических границ в осадочных бассейнах стало возможным с помощью сейсмостратиграфического анализа: при привязке опорных отражающих границ по скважинной информации к геологическим подразделениям. В глубинных сейсмических исследованиях до сих пор принято за опорные границы принимать поверхность консолидированной коры, которой соответствует первая преломляющая граница с высокими значениями скорости $V \geq 5{,}0$ км/с или подошва расслоенной толщи по ОГТ; поверхность Мохоровичича (сейсмическая граница М на разрезах) со значениями скоростей 7,5–8,6 км/с или подошва гетерогенной неоднородно-слоистой среды в методе глубинного ОГТ. Ориентироваться на эти границы в качестве элементов глубинного геокартирования не представляется возможным по следующим соображениям. Первая преломляющая граница, имея значительный разброс значений от 5,0 до 7,0 км/с, в геологическом отношении отвечает кровле структур в возрастном отношении от AR–PR до T включительно. В этот интервал значений скоростей попадают субплатформенные отложения промежуточного комплекса Западной Сибири (V=5,0 км/с), осадочные терригенно-карбонатные и карбонатно-доломитовые комплексы (V=5,5–7,0 км/с), не соответствующие понятию «консолидированная или кристаллическая кора». Последние обстоятельства являются препятствием и в ОГТ. Для примера приведем данные по району

Тюменской сверхглубокой скважины. В прогнозной модели, составленной по ОГТ, подошва осадочной толщи была определена в 9,0–9,2 км, а по методу площадных наблюдений преломленными волнами – 6,5 км со значениями скорости 5,0–5,2 км/с [21, 39]. Фактически так и оказалось, на 6,5 км скважина встретила терригенно-базальтовый промежуточный комплекс P(?)–T возраста со значениями скорости 5,0 км/с.

Положение сейсмической границы M неоднозначно при значительном разбросе величины скорости и расслоенности зоны перехода от пород земной коры к «нормальной» верхней мантии. Во многом оно определяется технологическими параметрами: интервалом прослеживания мантийной группы волн, их интенсивностью на записи и типом профилирования (точечное, непрерывное, дискретное). Так же как в случае с верхней границей, выделение границы M по данным глубинного ОГТ затруднено в отрицательных зонах этой поверхности, где, вероятно, развит специфический переходный комплекс (K–M) значительной мощности [6].

Еще более неопределенным является выделение так называемого «базальтового» слоя со значениями скорости 6,6–7,2 км/с. Наглядный пример – результат проверки сверхглубоким бурением прогнозной модели по району Кольской СГ-3, составленной по данным редкой системы МПВ. Положение поверхности «базальтового» слоя было определено на глубине 7,0–8,0 км со значениями скорости 6,5–6,7 км/с [46]. Фактически оказалось, что на этих глубинах расположена кровля архейских пород с V=5,8±0,2 км/с, выше которой находится комплекс метаморфизованных основных вулканитов PR_1 (Печенгская свита) с V=6,6–6,8 км/с. Вопрос о «базальтовом» слое повис в воздухе. Должного вывода из такого несоответствия не было сделано. Возможно, причиной стала ориентировка только на значения скоростей в первых вступлениях при выделении подобного раздела без должного анализа волновой картины. Если бы при составлении модели удалось правильно определить характер распределения скоростей по глубине (а такая возможность

была при соответствующем анализе волновой картины), то сейсмическую границу следовало отождествить с подошвой Печенгского комплекса (поверхность архейского фундамента). Это позволило бы сделать существенный вклад в развитие методики глубинного геокартирования земной коры с помощью сейсморазведки. В частности, анализируя результаты сверхглубокого бурения Кольской и Ново-Елховской скважин, где архейский фундамент находится на разных глубинных уровнях (рис. 12), можно сделать вывод, что он присутствует и в рифтовых структурах нижнего протерозоя (PR_1).

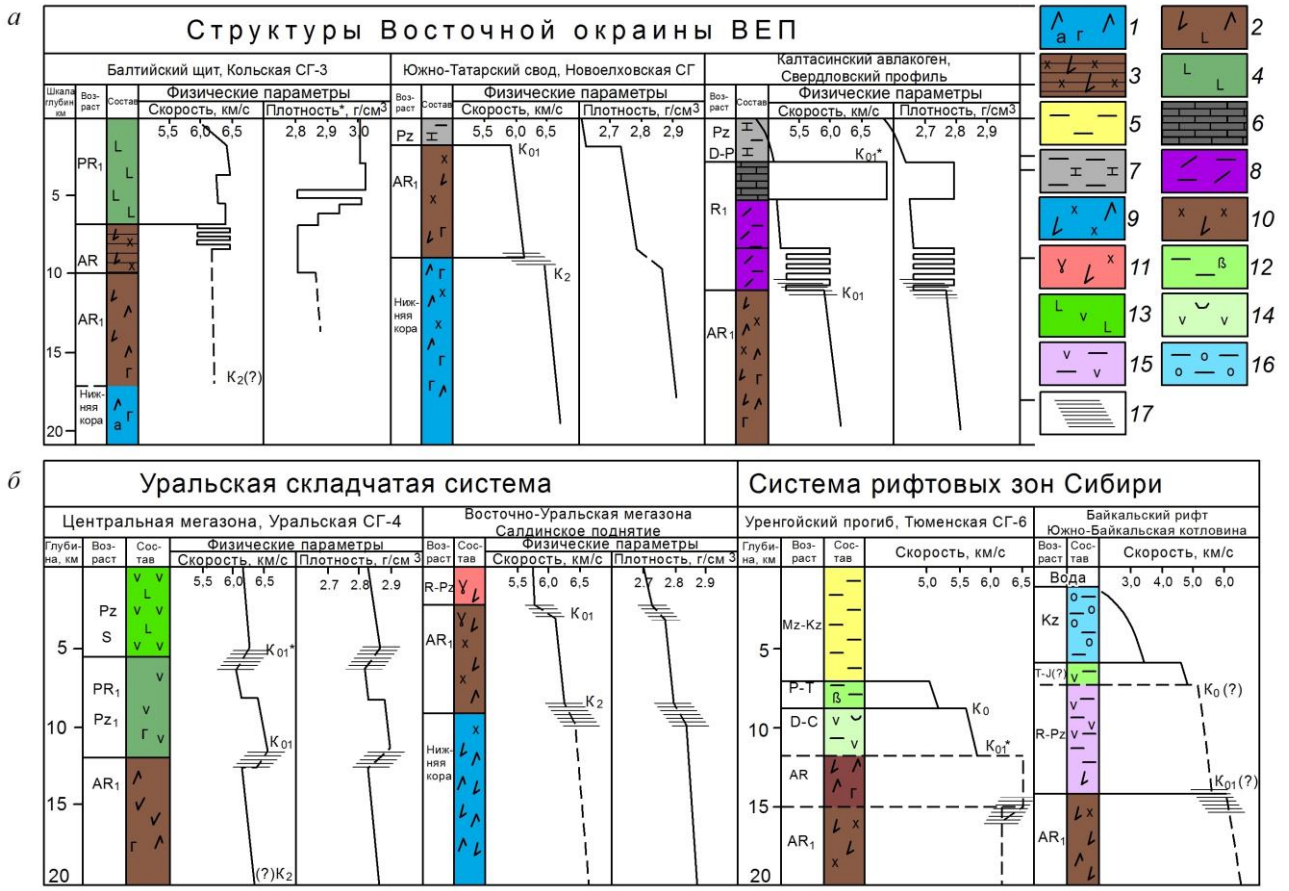


Рис. 12. Схематические модели верхней коры Восточной окраины ВЕП (*а*), активные структуры Урала и Сибири (*б*) [26].

Условные обозначения. *1* – гранулиты, габбро-амфиболиты, анортозиты нижней коры; *2* – преимущественно гнейсы с прослоями амфиболитов, габброидов; *3* – расслоенная часть AR, переработанная в этапы диастрофизма; *4* – вулканиты и метаморфизованные породы основного состава нижнепротерозойского возраста (Печенгская свита); *5* – преимущественно терригенные и сланцевые породы R_1; *6* – Калтасинские доломиты R_1; *7* – терригенно-карбонатные отложения D_3–P возраста; *8* – терригенно-сланцевый комплекс R_1; *9* – гнейсы преимущественно среднего и основного составов, гранулиты, гнейсо-амфиболиты Салдинского комплекса; *10* – гнейсы, гнейсо-амфиболиты, гранитоиды Салдинского комплекса; *11* – гранитоиды, гнейсы Салдинского комплекса; *12* – базальто-терригенные отложения промежуточного комплекса; 13 – вулканиты основного состава (Имменовская свита); *14* – вулканогенные породы D–C возраста; *15* – осредненный разрез докайнозойских образований Байкальского рифта; *16* – кайнозойские терригенно-обломочные породы; *17* – предполагаемые переходные тонкорасслоенные толщи между основными подразделениями.

* Модели составлены по материалам источников, причем значение плотности – по образцам из керна скважины

Поэтому их объединение под общим названием AR–PR_1, как это практикуется на сейсмогеологических разрезах [53, 60], не отвечает понятию «поверхность кристаллической коры» и затушевывает картину эволюции континентальной коры на ранних стадиях ее развития.

Таким образом, существующие модели земной коры, составленные с учетом распределения с глубиной скоростных параметров, вычисленные при этом неоднозначно, мало подходят для глубинного геокартирования. Необходимы новые подходы к геологической интерпретации сейсмических данных. Во-первых, они должны способствовать обобщению ранее полученных в значительном объеме материалов по ГСЗ, неоднородных по составу, качеству, полноте (к примеру по Уральскому региону). Во-вторых, должны давать обоснование новых технологий для будущих глубинных сейсмических исследований, направленных на уменьшение неоднозначности информации при решении задач региональной нефтяной геологии. Нужно также отметить, что в отличие от мнения авторов монографии по трансекту Уралсейс [6. С. 7–12]

многовариантность сейсмической информации вряд ли является достоинством. Таким образом, основной элемент разрабатываемой технологии картирования земной коры – обоснование регионально выдержанных двух поверхностей раздела верхней части литосферы: древнего (архейского) кристаллического фундамента ($К_{01}$) и основного сейсмогеологического раздела $М_{сг}$ с относительно близкими значениями физических параметров для нижерасположенных комплексов земной коры (II СГЭ) и верхней мантии.

2.1.1. Поверхность древнего кристаллического фундамента архейского возраста

Особенности развития Земли на ранней нуклеарной стадии (примерно 3,5–2,7 млрд лет) были, по-видимому, однотипными для всех территорий, когда господствовал повышенный метаморфизм первичных базальт-андезитовых пород под влиянием аномальных РТ-условий (амфиболитовая и гранулитовая фации). Они создали сложный, но монолитный состав пород, близких по физическим параметрам. Энергетика последующих эндогенных процессов в пределах континентальной коры была менее масштабной и пространственно сосредоточенной. Как следствие состав и физические параметры архейских пород должны быть примерно одинаковыми с некоторыми отклонениями в пределах активных структур различного возраста. Это процессы вторичной гранитизации, внедрения интрузий основного и ультраосновного состава, дополненные метаморфизмом исходных пород.

Сделанное предположение иллюстрирует рис. 12, на котором представлена сводка моделей для разных регионов континентальной коры, составленная с учетом информации по сверхглубокому бурению и глубоким скважинам. Наибольший интерес представляют модели для восточной окраины ВЕП, где архейские комплексы изучены на глубину до 4,5 км. Это район Ново-Елховской СГ, расположенной на Южно-Татарском своде. В Кольской СГ-3 он вскрыт в нижней части скважины начиная с 10,0 км. В отличие от СГ-3 на Ново–

Елховской скважине отсутствует верхняя часть архейских пород. На Кольской СГ она выражена тектонически расслоенным комплексом мощностью около 3,0 км, созданном под постоянным давлением на протяжении более 2 млрд лет комплекса основного остава Печенгской рифтовой структуры PR_1 мощностью 7,0 км. Тем не менее состав и физические параметры собственно архейских пород в естественном залегании оказались примерно одинаковыми. Дополнительно к ним приведена модель для отрицательной структуры древнего фундамента, в качестве которой рассмотрен Калтасинский авлакоген. Самая полная информация по этой структуре была получена по Свердловскому профилю ГСЗ, где впервые прослежена граница $К_{01}$, расположенная на 7,0–8,0 км глубже ранее принятой поверхности фундамента Верхнекамской впадины с высокими значениями V=6,8–7,0 км/с (рис. 13).

Бурение Орьебашевской глубокой скважины глубиной 7,0 км, расположенной в 70 км южнее, и дополнительная обработка материалов по Свердловскому профилю позволили составить модель верхней части разреза. Ниже доломитового комплекса нижнего рифея выделены преимущественно терригенные породы того же возраста со значениями V=5,0–5,2 км/с и определены скоростные параметры архейского фундамента V=6,0±0,2 км/с. Подобные значения установлены по Ново-Елховской скважине и окружающему ее району по данным площадных исследований с использованием преломленных волн (см. рис. 8). В дальнейшем положение древнего кристаллического фундамента было подтверждено и детализировано в процессе постановки ОАО «Пермнефтегеофизика» работ по методу ОГТ на региональных профилях [60].

Таким образом, в пределах основных типов структур ВЕП (щитов, сводов, авлакогенов и, возможно, впадин) присутствие древнего кристаллического фундамента достаточно обоснованно. Поверхность раздела $К_{01}$ расположена на глубинах 2–8 км на поднятиях и 10–15 км во впадинах.

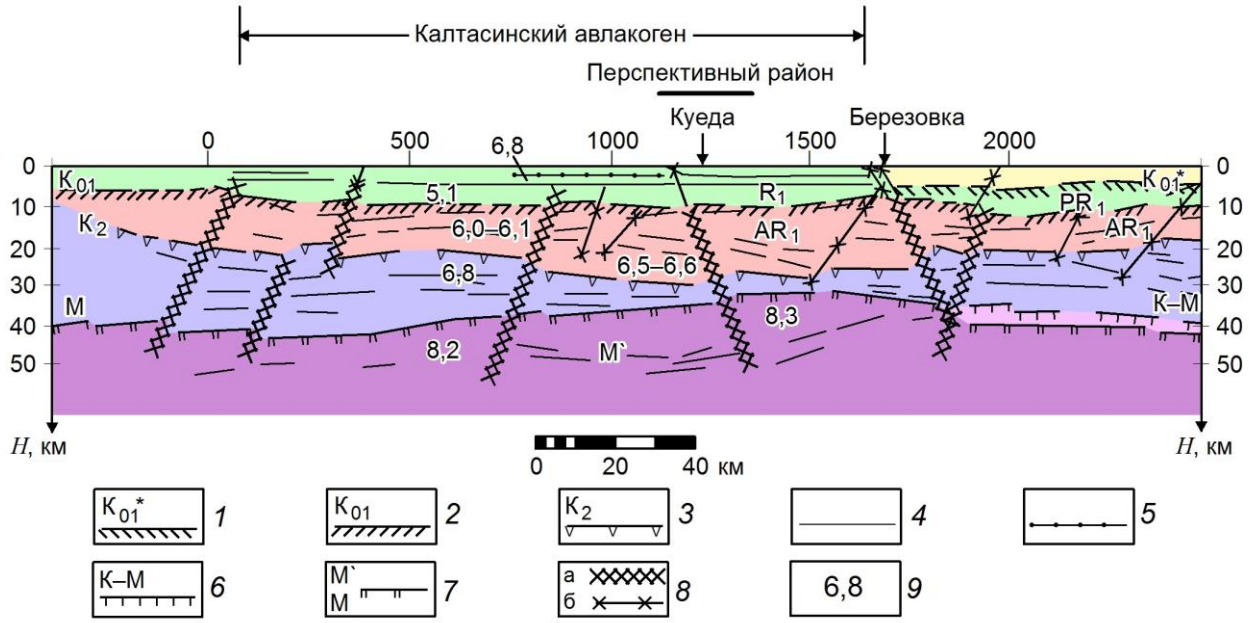


Рис. 13. Сейсмогеологический разрез по Свердловскому профилю ГСЗ по району Калтасинского авлакогена [38].

Условные обозначения. Основные поверхности раздела (1–6): *1* – кровля нижнего мегакомплекса первого сейсмогеологического этажа (I СГЭ), возможно, PR_1–PR_2 возраста, *2* – древний кристаллический фундамент архейского возраста, *3* – кровля III СГЭ, возможно, протокоры, *4* – отражающие границы кристаллической коры, *5* – положение древнего фундамента по данным КМПВ, *6* – Переходного мегакомплекса в низах коры; *7* – основной сейсмогеологический раздел Мохоровичича; *8* – предполагаемые разрывные нарушения: а – разделяющие преимущественно блоки земной коры и верхней мантии, б – в основном в верхней и средней частях коры; *9* – значение скорости продольных волн V_p, км/с

Глубины залегания поверхности K_{01} в положительных структурах AR–PR увеличиваются за счет развития палеорифтовых структур в нижнем протерозое (сверхглубокие скважины СГ-3, СГ-8 на Балтийском и Украинском щитах) или промежуточных комплексов в отрицательных структурах, заполненных нижнерифейскими или допалеозойскими комплексами в авлакогенах и впадинах. Еще раз отметим, что для решения задач регионального тектонического районирования и оценки перспективности глубинных горизонтов осадочных бассейнов нельзя ограничиваться понятием «архейско-протерозойский фундамент».

На рис. 12 изображена модель верхней части коры по Уральской складчатой области. Она представлена двумя принципиально различными моделями Цетрально-Уральской мегазоны: Тагильским прогибом в районе Уральской СГ-4 и соседним с ним Салдинским поднятием. Их дополняет модель рифтовых структур Сибири верхнепалеозой-триасового возраста (район Тюменской СГ-6) и Байкальской складчатой области кайнозойского возраста (рис. 14) с активизацией тектонических процессов на современном этапе развития. Модель по Байкалу составлена по разрезу, приведенному в работах [52, 72].

В прогнозной модели СГ-4 [19] положение древнего кристаллического фундамента определено на уровне 12,0±1,0 км. Скважину с проектной глубиной 12,0–13,0 км удалось пробурить только до 6,2 км. Основным препятствием оказалась сложная тектоническая обстановка глубже 5,0 км, которая была предусмотрена прогнозной моделью. Скважина СГ-4 вскрыла мощную толщу вулканитов основного состава Имменовского комплекса силура и на глубинах свыше 5,0 км вошла в нижерасположенные вулканогенные горизонты O–S возраста. Несмотря на сложное строение Тагильского прогиба и несовпадение проектируемой и фактической точек бурения, прогноз по мощности и физическим параметрам Имменовского комплекса можно считать удовлетворительным. Тем более что сейсмокаротаж на больших глубинах (>4,5 км) отсутствует. Таким образом, геофизическая информация, привлеченная для составления геофизической модели, проверенная бурением по верхней половине разреза, может оказаться реальной и для нижней части включая поверхность древнего кристаллического фундамента ($К_{01}$). Однако имеющиеся технические возможности для сверхглубокого бурения в условиях тектонической раздробленности среды и значительных напряжений в нижних горизонтах не позволяют осуществить данный проект во внутренней зоне Тагильского прогиба. Для решения задачи вскрытия архейского фундамента и определения его параметров сверхглубокое бурение следует провести на соседнем Салдинском поднятии.

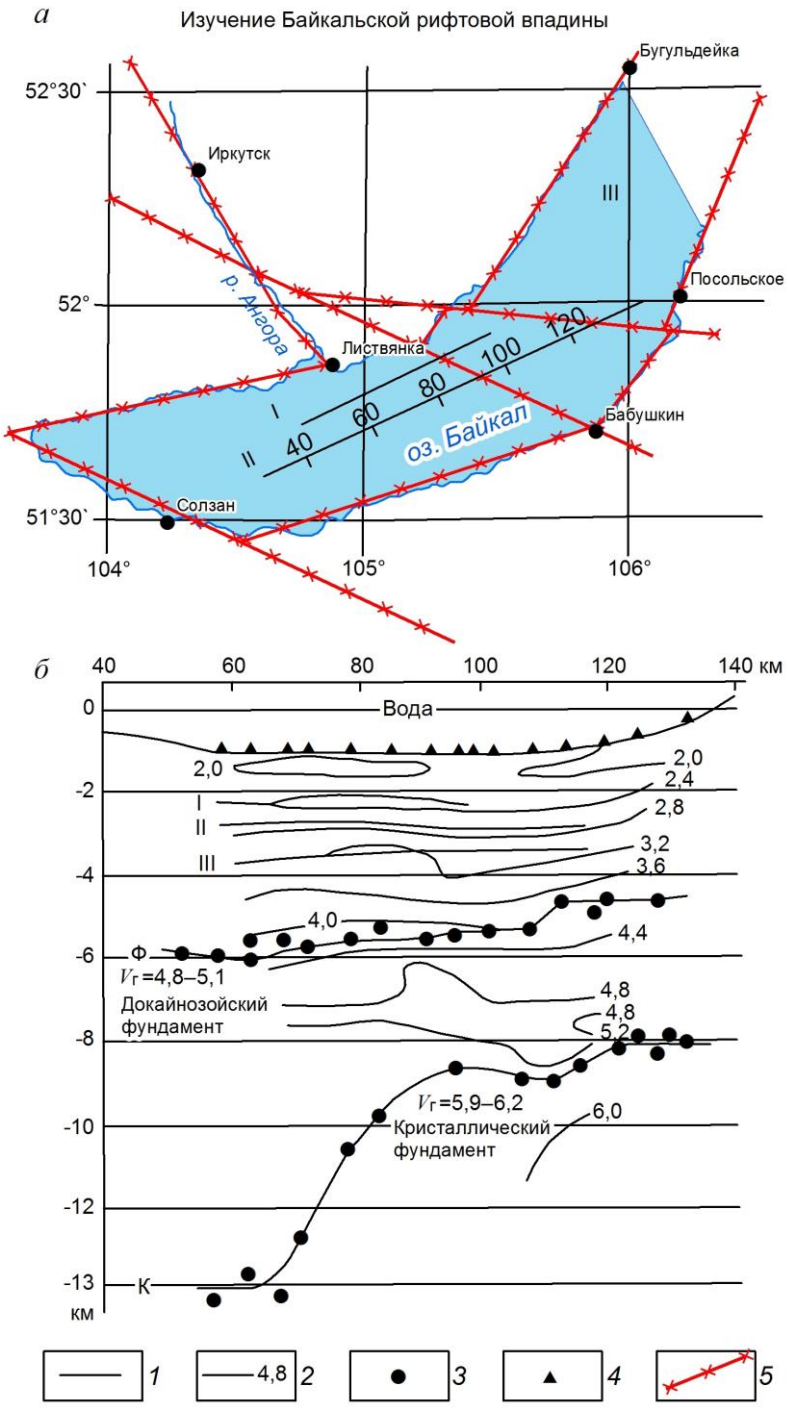


Рис. 14. Схема расположения сейсмических профилей в южной части оз. Байкал (*а*), сейсмический разрез по профилю II (Солзан–Посольское) вдоль длинной оси Южно-Байкальской котловины (*б*) [52].

Условные обозначения: *1* – преломляющие границы; *2* – изолинии скорости, км/с; *3* – определения глубин по данным преломленных волн; *4* – донные станции; *5* – в дополнение к авторскому рисунку на схеме расположения профиля показаны тектонические разломы в соответствии с контурами оз. Байкал и тектонической картой территории СССР, 1978 г.

Согласно модели, представленной на рис. 12, для этого следует ограничиться глубиной до 6,0 км. Наличие обширной сейсмической информации по району Красноуральского профиля ГСЗ, МПВ, ОГТ дает возможность прояснить вопрос с фундаментом и в пределах Тагильского прогиба в районе СГ-4.

Согласно прогнозной модели по Тюменской СГ-6 [21, 39] скважина остановилась вблизи подошвы промежуточного комплекса, сложенного базальто-терригенными отложениями триаса. Вскрыть подстилающие вулканогенно-осадочные породы не позволило возможное присутствие тектонического нарушения на устье скважины. В отличие от прежних представлений внесены коррективы о предполагаемом составе верхнего комплекса архейского фундамента (интервал 11,0–15,0 км), существенно переработанного процессами в верхней части литосферы в момент образования и в процессе развития Уренгойской рифтовой системы. На это указывают высокие значения скорости (6,5–7,0 км/с) в данном интервале и значительные величины аномалий гравитационного и магнитного полей.

Ниже глубин 14–15 км предположительно развит преимущественно гнейсовый комплекс нижнего архея. Для решения вопросов, связанных с наличием древнего кристаллического фундамента Западно–Сибирского геоблока, следует заложить сверхглубокую скважину на одном из древних срединных массивов. В качестве такого предлагается Ханты-Мансийский мегаблок, где при глубине скважины до 7–8 км возможно вскрытие этого фундамента. Необходимо отметить, что выполненный обобщенный анализ глубинных сейсмических исследований не позволяет принимать доюрское и (или) домезозойское основание за фундамент Западно–Сибирского геоблока [2, 30]. Модель Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) составлена по сейсмическому разрезу, расположенному вдоль Южно-Байкальской котловины. Она характеризует субширотное звено котловины западного-юго-западного направления; правая часть разреза (ПК 85–140), возможно, под косым углом

пересекает субширотную дислокацию, к которой приурочена смена простирания БРЗ (см. рис. 14).

Докайнозойские отложения на представленной модели отличаются низкими значениями скорости 4,8–5,2 км/с, которые характерны для промежуточного комплекса на участке Тюменской СГ-6. Для интервала глубин 8,0-14,0 км отсутствует информация о значении скорости. В качестве вероятной принята градиентная модель с изменением скорости от 5,0 до 5,6 км/с. Это может быть терригенно-сланцевый комплекс рифейского возраста, широко развитый во впадинах Восточной Сибири. Имеются также сведения о подобных неоднородностях верхней части коры на северо-востоке Байкальской рифтовой зоны [72]. Это указывает на возможное существование поперечной к простиранию БРЗ зональности, существующей в виде крупных поднятий древнего фундамента впадины. На рис. 15 представлен разрез через Байкало–Потамское нагорье, где четко прослежена, также как на других региональных профилях, поверхность древнего фундамента с V=6,0–6,15 км/с.

Таким образом, можно сделать предположение, что древний кристаллический фундамент архейского возраста присутствует в различных структурах континентальной коры с существенной переработкой его в активных зонах ВЧЛ. Его поверхность (раздел K_{01}) соответствует подошве первого сейсмогеологического этажа, в состав которого входят комплексы от PR_1 до Kz включительно, разного состава, возраста и генезиса.

Для восточной окраины ВЕП это подтверждено сверхглубоким бурением. Для Уральской складчатой системы, Западной и Восточной Сибири для этой цели потребуется сверхглубокое бурение скважин на срединных поднятиях до 5–8 км. В случае обнаружения нижнеархейского фундамента возможно его картирование в отрицательных структурах при наличии полноценной сейсмической информации.

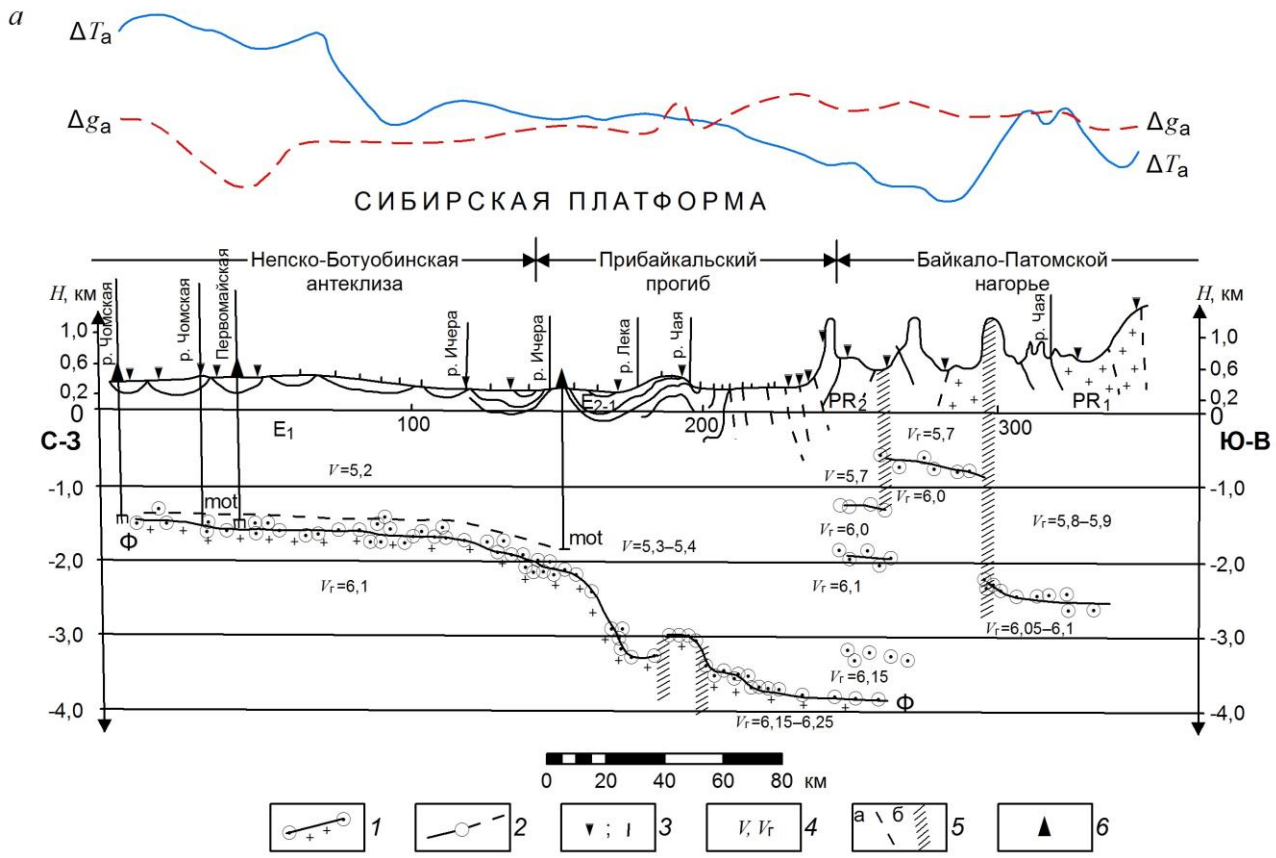
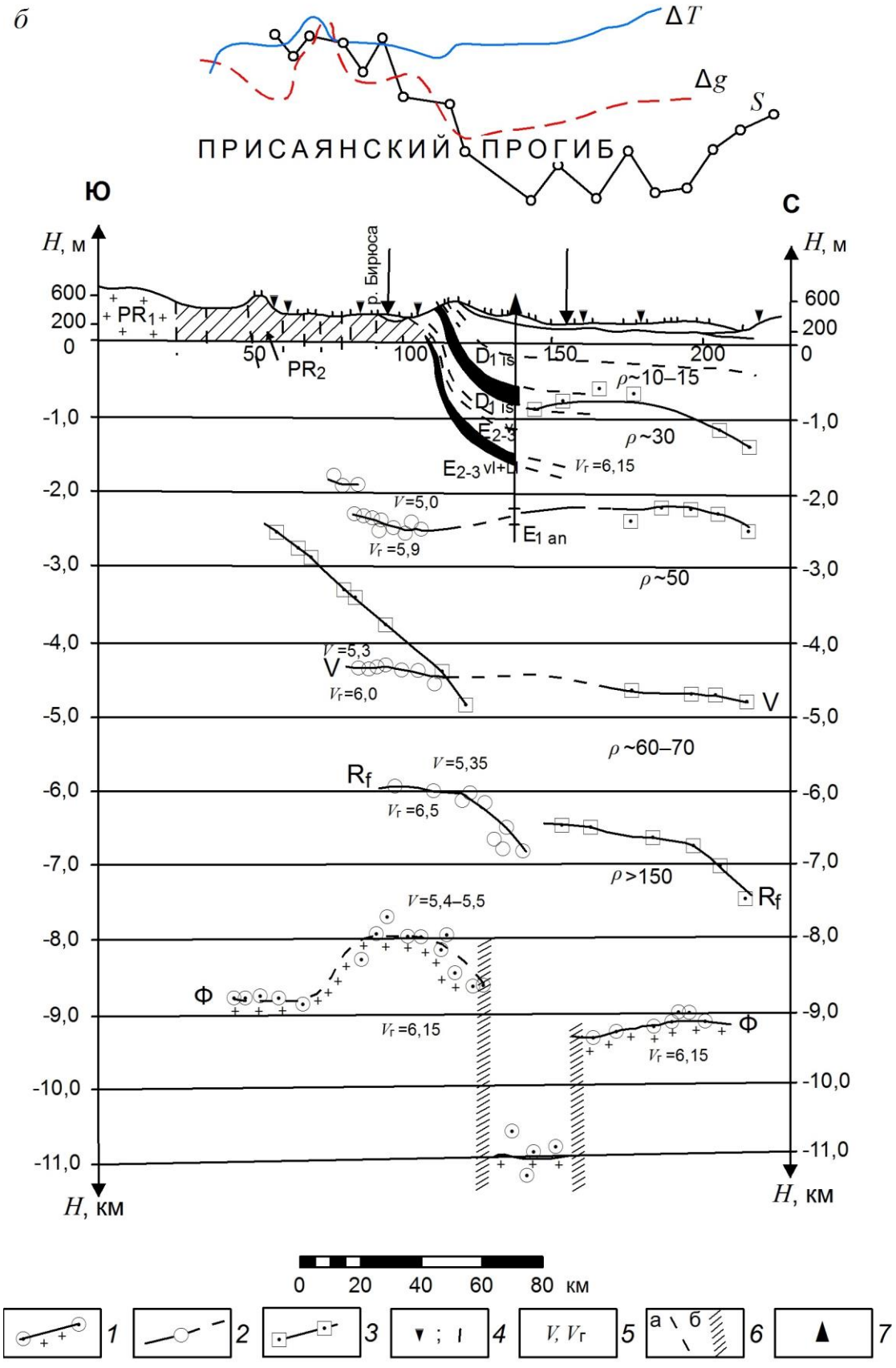


Рис. 15. Сейсмогеологические разрезы верхней части коры по югу Восточной Сибири:

а – Прибайкальский прогиб, сейсмический разрез вкрест простиранию БПН [72]; *б* – Тайшетское Присаянье, сейсмический разрез по р. Бирюса [72].


б
ΔT
Δg
S
ПРИСАЯНСКИЙ ПРОГИБ
Ю
С
H, м
H, км
р. Бирюса
PR1
PR2
D1 ts
E2-3
E2-3 vl+D1
E1 an
V
Rf
Ф
ρ~10–15
ρ~30
ρ~50
ρ~60–70
ρ>150
Vг =6,15
Vг =5,9
Vг =6,0
Vг =6,5
Vг =6,15
Vг =6,15
V=5,0
V=5,3
V=5,35
V=5,4–5,5
0 20 40 60 80 км
1
2
3
4
5
6
7

Условные обозначения. **К схеме *а*:** *1* – абсолютные отметки поверхности фундамента (Ф) по данным преломленных волн; *2* – абсолютные отметки преломляющих горизонтов в осадочном чехле; *3* – пункты взрыва, стоянки регистраторов; *4* – значения средних (V) и граничных ($V_г$) скоростей, км/с; *5* – разрывные нарушения (а – по комплексу геофизических данных, б – по геологической съемке); *6* – площади глубокого бурения. **К схеме *б*:** *1* – абсолютные отметки поверхности фундамента (Ф) по данным преломленных волн; *2* – абсолютные отметки преломляющих горизонтов в осадочном чехле; *3* – отметки глубин геоэлектрических горизонтов по данным МТЗ; *4* – пункты взрыва, стоянки регистраторов; *5* – значения средних (V) и граничных ($V_г$) скоростей, км/с; *6* – разрывные нарушения (а - по комплексу геофизических данных, б – по геологической съемке); *7* – площади глубокого бурения.

Над разрезом показаны графики аномального магнитного поля (ΔT), аномального гравитационного поля (Δg) и электропроводимости (S)

Информация об архейском фундаменте необходима для решения задач региональной геологии и минерагении. Выделение поверхности архейского фундамента на существующих временных разрезах ОГТ неубедительно. Наглядным примером являются разрезы по ОГТ (рис. 16) из работы [64], полученные в последние несколько лет по южной окраине Северного Ледовитого океана.

Надо осторожно подходить к выделению стратиграфических подразделений кристаллической коры при слабой выразительности записи на временных разрезах и их зависимости от технологического фактора. Поэтому в ближайшее время следует сосредоточить усилия на разработке технологии выделения и прослеживания архейского фундамента на региональных сейсмических профилях, используя комплекс сейсмических (МПВ, ОГТ, МОВЗ) и других геофизических методов.

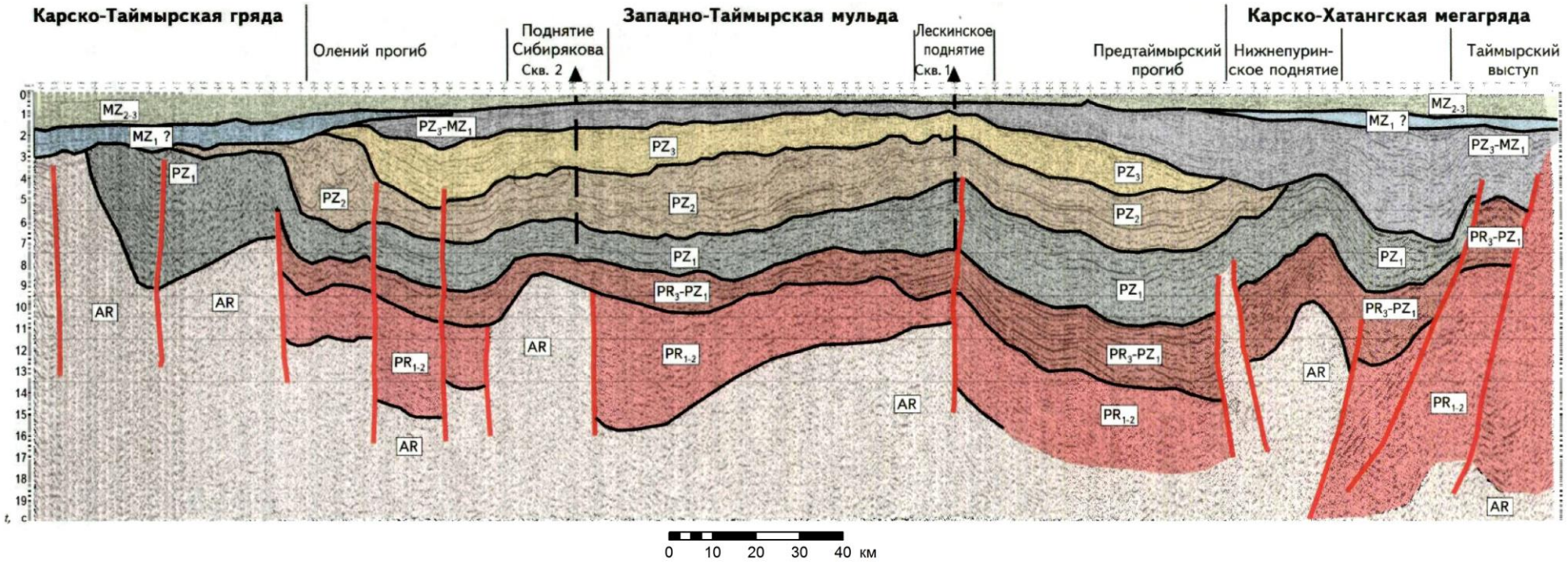


Рис. 16. Временной разрез по профилю [64].

2.1.2. Основной сейсмогеологический раздел между земной корой и верхней мантией

Понятие о сейсмической границе М как кровле пород верхней мантии было предложено в 1909 г. югославским сейсмологом Мохоровичичем и соответствовало границе первого рода, связанной с перепадом значений скорости, характерных для земной коры (6,5–7,0 км/с) и пород верхней мантии (≥ 7,8 км/с). На протяжении более века сохранилось такое представление об этом разделе, на основе которого определялась мощность земной коры. Исходя из этого предположения, выбиралась технология работ ГСЗ, в основном ограниченная небольшим интервалом прослеживания этой границы в первых вступлениях. Отклонения волновых картин от такого представления о поверхности М, наблюдаемые при использовании в методе непрерывного профилирования удлиненных годографов до 300,0–400,0 км (разрез по профилю Темир-Тау–Куйбышев из работы [8]) и при исследованиях методом глубинного ОГТ, не принимались во внимание. Но непредвзятый анализ годографов указывает на присутствие в первом приближении сложноустроенной слоистой среды в зоне перехода от земной коры к относительно слабоизмененным породам верхней мантии.

Особенно это характерно для пограничных структур континентальной коры, таких как Уральская складчатая система. Здесь наблюдаются увеличение мощности и усложнение строения расслоенной толщи в зоне перехода. Многие исследователи, придерживаясь указанного принципа, просто нумеруют границы по глубине расположения М, M_1, M_2, относя их к верхней мантии разного возраста в зависимости от глубины расположения и (или) принятой тектонической концепции. При таких допущениях скорость по границе М как основной границе между земной корой и верхней мантией изменяется в широких пределах – от 7,5 до 8,7 км/с. Вопрос об основном сейсмогеологическом разрезе М, к сожалению, не может быть решен сверхглубоким бурением. Но проблему решать нужно, для чего следует

использовать метод аналогий с первой выдержанной поверхностью раздела $К_{01}$. Можно выделить поверхность М среди нескольких, претендующих на эту роль, как поверхность, ниже которой скорости для подстилающих комплексов имеют выдержанные значения V_p=7,9–8,4 км/с, характерные для слабоизмененных пород верхней мантии, представленных главным образом глубинными перидотитами. При наличии слоистой модели в низах коры с инверсией значений скорости в 0,5–0,8 км/с принимать за поверхность верхней мантии верхнюю границу со значениями V_p=7,5–8,1 км/с нельзя. Иначе могут быть допущены значительные ошибки в определении мощности земной коры. Как показывает опыт работ по ГСЗ в Уральском регионе, для Центральной мегазоны УСС могут быть допущены ошибки в 10,0-15,0 км и более. В работе [17] впервые приведена карта мощности земной коры при условии отнесения переходного мегакомплекса к этому подразделению верхней части литосферы. Она составлена при участии основного ответственного исполнителя исследований ГСЗ от Центра «ГЕОН» А.В. Егоркина. Тем не менее в монографии С.Л. Костюченко и др. [49] присутствует существенно иная схема без каких-либо пояснений.

На рис. 10 показаны разрезы земной коры по району СГ-4, полученные по существенно различным технологиям и представлениям о границе М. Для Красноуральского профиля мощность земной коры вместе с переходным слоем составляет примерно 55 км, для геотраверса Рубин-1 – 42 км. Увеличенная мощность земной коры в районе СГ-4 подтверждается данными по профилю ESPU, отработанному по международному проекту «Европроба», а также по профилю Вижай–Орск, расположенному по простиранию центральной мегазоны Урала. Особо следует подчеркнуть, что из таких различий делаются принципиально разные геологические выводы: существует пограничная рифтовая структура континентальной коры полициклического развития за счет преимущественно эндогенных процессов в верхней мантии [18] или

удваивается океаническая кора в результате крупных горизонтальных перемещений [48].

По геологическим представлениям в активных структурах континентальной коры вполне вероятно проникновение перидотитов или других пород верхней мантии в нижние горизонты земной коры и усложнение ее строения. Поэтому модель с наличием переходной зоны от пород нижней коры к слабоизмененным породным комплексам верхней мантии является, на наш взгляд, более реальной моделью, чем выделение нескольких мантийных границ. Если за границу М принимают верхнюю границу, то по аналогии с Калтасинским авлакогеном могут быть допущены значительные ошибки в определении мощности земной коры, возможная величина которой приведена выше.

Итак, чтобы уменьшить неоднозначность в этом вопросе, вводится понятие основного сейсмогеологического раздела ($М_{сг}$), ниже которого расположены породы слабоизмененной верхней мантии с V_p=8,15±0,25 км/с. Одновременно $М_{сг}$ является второй выдержанной поверхностью раздела верхней части литосферы. Интересно отметить, что при таком подходе наблюдаются примерно одинаковые вариации глубин залегания этих поверхностей раздела: 15–17 км для $К_{01}$ и 13–22 км для $М_{сг}$. В ряде случаев ниже поверхности $М_{сг}$ в значительном временном интервале прослежены отражающие границы, а по данным подземных ядерных взрывов – и преломленные, свидетельствующие о крупной расслоенности верхней мантии, но в основном в пределах указанного диапазона скоростей.

Какие исследования можно рекомендовать для уменьшения неоднозначности в вопросе об основном сейсмогеологическом разделе М ($М_{сг}$), в частности для Уральского региона?

- Проведение сейсмических исследований с использованием комплексного подхода: система широкоугольных многократных перекрытий отраженными волнами, добавленная дискретной системой ГСЗ с удлиненными годографами 300–400 км. Для примера следует указать на международный геотраверс

Урсейс, расположенный несколько южнее Троицкого профиля ГСЗ и отработанного в 2000 г. [6]. Целесообразно изучить общую глубинную точку (ОГТ) на прежних профилях ГСЗ. По результатам анализа и обобщения ранее полученных разрезов на геотраверсах, отработанных Центром «ГЕОН», следует рекомендовать в качестве первоочередных профиль Агат-2, который, как и Агат-1, пересекает крупную нефтяную структуру, приуроченную к Печорской рифтовой зоне. Но она в отличие от других слабо проявлена на разрезах, составленных в Центре «ГЕОН». Возможная причина – значительное осреднение информации о глубинном строении по принятой в этой организации технологии. На этот вопрос должны ответить наблюдения по системе многократных перекрытий отраженными волнами. В морской, транзитной части Печорской структуры такие работы уже проводятся и дали результаты, существенно отличные от данных по Агат-1. Целесообразно провести их на геотраверсе Кратон Центра «ГЕОН», который пересекает районы Западно–Сибирской геосинеклизы, перспективные на обнаружение новых месторождений УВ.

- Выполнение аналогичных работ методом МОВЗ и МТЗ по плотным системам на указанных геотраверсах. Одновременно нужно переинтерпретировать данные по МОВЗ на Уральском геотраверсе [43], расположенном вблизи Красноуральского профиля ГСЗ. Для этого надо решить вопрос о поправках, связанных с параметрами земной коры при томографических исследованиях верхней мантии. На существующих разрезах поправки вводились за мощность коры 42 км против величины в 55 км, установленной на Красноуральском профиле по району СГ-4 для основного сейсмогеологическом раздела М. Как при этом изменится томографический разрез по верхней мантии? Решение данного вопроса необходимо в связи с расширением томографических сейсмологических исследований верхней мантии на всех регионах Земли.

- Использование структур верхней части коры, таких, к примеру, как Калтасинский авлакоген, в качестве естественных моделей для сравнения волновых картин (наблюдаемых и теоретических) для поверхностей раздела $К_{01}$ и $М_{сг}$ в отрицательных структурах верхней части литосферы.
- Интерпретация временных аномалий на встречных годографах, полученных с ПЯВ на геотраверсах Центра «ГЕОН», пересекающих УСП, например, геотраверсы Кварц и Рубин-1, и установление их связи с рельефом основного сейсмогеологического раздела $М_{сг.}$

В сейсмических моделях присутствует так называемый базальтовый слой со значением скорости 6,6–7,2 км/с. После неудачи вскрытия его Кольской СГ-3 и неуверенным проявлением волн от него в первых вступлениях поверхность сейсмического базальтового слоя «сместилась» вниз до глубин H=25–30 км (Павленкова Н.И. [63]). В предлагаемой методике сейсмокартирования земной коры вводить такой слой без привязки к определенному подразделению геологической среды нецелесообразно. Следует обратить внимание, что в пределах приподнятого залегания поверхности древнего кристаллического фундамента (H=2–5 км) ряд особенностей сейсмического разреза указывает на возможное присутствие более древнего возраста (протокора) начиная с глубин 8–12 км нижнего этажа кристаллической коры. Ему соответствует на сейсмических разрезах раздел $К_2$ с преобладающим значением скорости 6,4–6,5 км/с, т.е. опять наблюдается противоречие между принятой сейсмической моделью и ее геологическим содержанием. Добавим, что выделение сейсмического базальтового слоя на глубине 25–30 км по данным стандартного ГСЗ весьма проблематично. Тем не менее потенциальное обнаружение высокоскоростного объекта, согласованного с результатом интерпретации потенциального поля Δg, может указывать на повышенную основность отдельных участков нижней коры. В представленных на рис. 12 сейсмогеологических моделях на границе двух частей кристаллической коры

предположено присутствие тонкорасслоенной пачки пород, приуроченной, возможно, к смене фаций метаморфизма.

Решение проблемы сейсмогеологического раздела $К_2$ возможно при постановке на одном из поднятий древнего кристаллического фундамента специальных исследований комплексом сейсмических методов с бурением сверхглубокой скважины глубиной до 8–9 км. Наиболее подходящим является район Ново-Елховской скважины. Необходимое условие – тщательный выбор участка бурения для того, чтобы избежать попадания скважины на больших глубинах в тектонический разлом. Именно этот фактор стал основным препятствием для достижения проектных глубин на СГ-4, СГ-6, СГ-8, КТБ, Ново-Елховской и для сохранности скважин, особенно самой глубокой из них СГ-3.

Поверхность $К_2$ как кровля нижней коры выделена на профилях ГСЗ, отработанных в Баженовской геофизической экспедиции и Институте геофизики УрО РАН. Но в объемных моделях ВЧЛ кристаллическая кора представлена объединенным подразделением ($К_{01}$–$М_{сг}$). Это обусловлено двумя причинами: незначительным различием структурных и физических параметров, неоднозначностью их проявления в потенциальных полях особенно при создании 3D–моделей по совокупности редкорасположенных разрезов ГСЗ. Переходный мегакомплекс (К–М) в процессе плотностного моделирования также вошел в общую характеристику кристаллической коры; значительная изменчивость его физических параметров (скорость V=7,7±0,3 км/с, плотность σ=3,22±0,08 г/см^3) учитывалась при корректировке первоначально заданной плотностной модели кристаллической коры.

В заключение рассмотрим результаты «своеобразной проверки» информации о строении земной коры, полученной по ранее выполненным Уральскими геофизиками работами. Для этого подходит международный геотраверс Урсейс, исследования по которому выполнены на современном уровне [6]. До начала работ по этому профилю составлен прогнозный разрез

земной коры, на рис. 4 он дан в сравнении с фактическим разрезом. Основные особенности глубинного строения для структур первого порядка нашли подтверждение. Различие в деталях вполне объяснимо, так как при работах на Урсейсе использовались на порядок более плотные системы наблюдений. Но достоверность детальной информации пока не известна и требует специального рассмотрения.

В порядке обсуждения на рис. 17 представлены сейсмические разрезы по одному из участков геотраверса Уралсейс: фрагмент *а* соответствует прогнозному разрезу, составленному по данным близкорасположенного Троицкого профиля ГСЗ; *б* – составлен по первичной информации ОГТ, обработанной по программе рассеянных (вторичных) волн; *в* – по данным стандартного ОГТ с взрывными источниками [6]. Из их сравнения следует, что наблюдаются подобие двух первых, отвечающих разломно-блоковой модели, и существенно иной характер внутренней картины кристаллической коры на последнем. Это может быть связано с существованием в волновой картине вторичных отражений (рассеянных волн). Неучет этого фактора, вероятно, вносит искажение в сейсмический разрез ОГТ, который в представленном виде является основным объектом для геологической интерпретации [6].

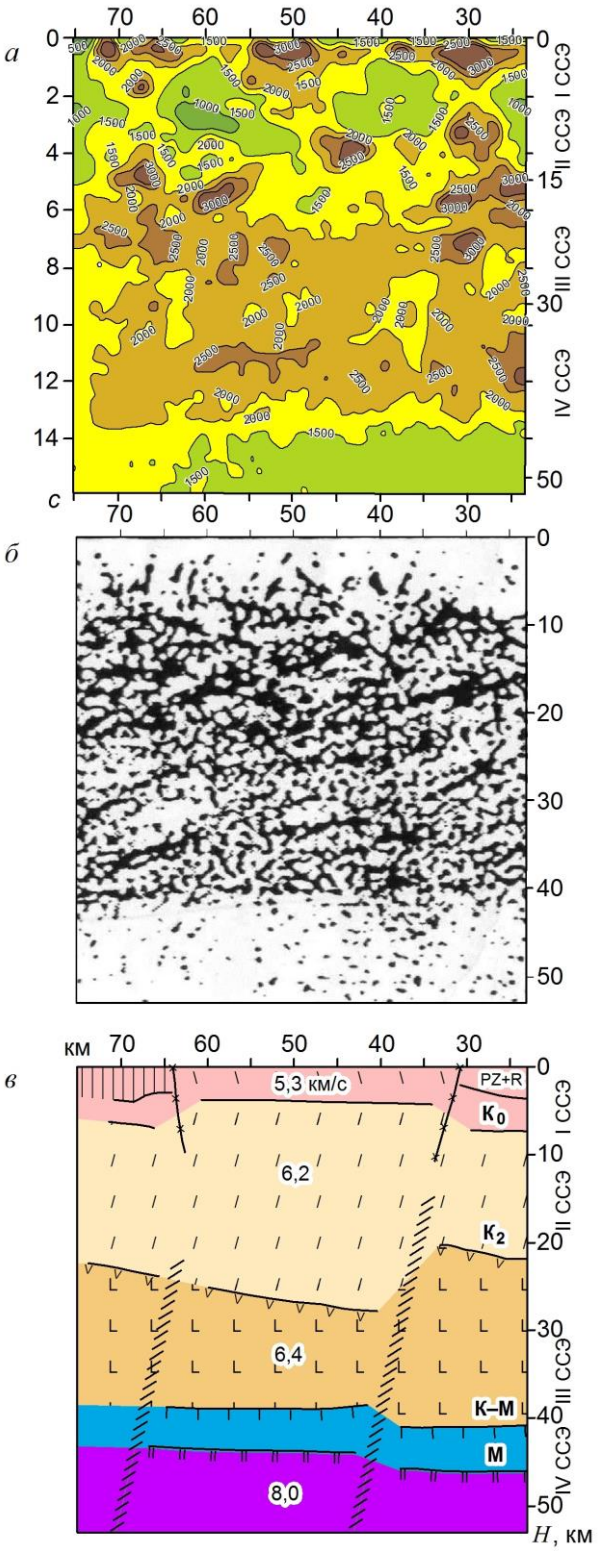


Рис. 17. Схема изоамплитуд поля рассеяния фрагмента (*а*) с мигрированным разрезом Уралсейс (*б*) в сопоставлении с прогнозным разрезом ГСЗ (*в*).

Справа на рисунках отмечены границы сейсмоструктурных этажей, построенные по данным ГСЗ [6].

2.2. Геофизические модели верхней части литосферы

2.2.1. Основные особенности сейсмоплотностного моделирования

Создание комплексной объемной геолого-геофизической модели глубинного строения земной коры и верхней мантии является одним из главных направлений в науках о Земле. Такие модели позволяют делать обоснованные выводы о вещественном составе, условиях образования и тектонического развития геологических структур. Основу геолого–геофизической модели составляет плотностная модель, так как плотность породы наиболее тесно связана с вещественным составом. Для построения моделей применяется метод гравитационного моделирования. Впервые комплексную интерпретацию грави– и сейсмометрических данных по профилю ГСЗ выполнил в 1940-х гг. Г.А. Гамбурцев, который по праву считается основоположником метода сейсмогравитационного моделирования [75]. Г.Я. Голиздра первым предложил использовать вариационный метод при комплексной интерпретации сейсмических и гравитационных данных [10]: строить по профилю ГСЗ градиентно-слоистую плотностную модель земной коры до поверхности М по скоростному разрезу, подобранному в результате кинематического моделирования. Слои земной коры разбивались на блоки, и решалась прямая задача гравиметрии. В целях согласования вычисленного и наблюдаемого поля Δg уточнялась зависимость плотности пород от скорости продольных упругих волн $\sigma = f(V_p)$. По такой методике построены плотностные модели по большей части профилей ГСЗ, выполненных на территории Урала.

В дальнейшее развитие методов сейсмогравитационного моделирования в профильном варианте для построения плотностных моделей земной коры и верхней мантии большой вклад внесли Е.Г. Булах и др. [3], В.И. Старостенко [74], В.Н. Страхов, Т.В. Романюк [76], С.С. Красовский и др. [51]. Так, Т.В. Романюк определяет параметры разломно-блоковой модели земной коры и верхней мантии при условии ее изостатической уравновешенности. При этом принимается, что каждому блоку соответствует постоянная плотность.

Несмотря на то что гравитационное моделирование стало применяться с 1940-х гг., до настоящего времени не сложилось единого подхода к птаким исследованиям. Различия существуют как в методике, так и технике вычислений. Среди ученых нет единого мнения о глубине, до которой строится плотностная модель, а также о средней плотности, относительно которой выполняется гравитационное моделирование. Граница М часто принимается за поверхность изостатического выравнивания.

Методика и технология построения плотностных моделей основаны на использовании сейсмических данных по профилям ГСЗ (распределения скорости упругих волн в земной коре, структурно-тектонических параметров земной коры и глубины залегания поверхности М). В сложившейся практике построения моделей предполагаются градиентно-слоистое изменение плотности с глубиной и однородность верхней мантии [50, 51]. Параметризация модели выполняется с учетом общей корреляционной зависимости $\sigma = f(V_p)$. Однако ее применение для всех пород земной коры может привести к ошибкам, так как она определяется комплексом параметров: литостатическим давлением, температурой, минералогическим составом пород, степенью метаморфизма и т.д., поэтому при моделировании часто встречаются отклонения от общей корреляционной зависимости. Существенную ошибку вносит также двумерная аппроксимация трехмерных структур.

Градиентно-слоистая плотностная модель – первое приближение к реальному строению земной коры, она является слишком обобщенной и не позволяет решать многие задачи определения особенностей строения и вещественного состава объектов. Так, в слое устанавливается интегральное значение скорости, соответственно – плотности, что не позволяет детализировать плотностной разрез по латерали. Следует также отметить, что по данным ГСЗ осредненные скоростные параметры коры в основном определяются по методу рефрагированных волн только до глубины 25–30 км. При этом степень надежности вычисления зависит от отсутствия в

консолидированной среде скоростных аномалий, превышающих среднее значение на 3% и более. Излом годографа первых вступлений, соответствующий преломленной волне от поверхности М, затушевывает картину распределения скоростей в более глубоких горизонтах. При отсутствии надежной информации по отраженным докритическим волнам рассчитанные по ним плотностные модели принимались в качестве первого приближения. Осложняющий фактор – неоднозначность определения положения подошвы земной коры при наличии переходного мегакомплекса (К–М). Таким образом, отмеченные недостатки градиентно-слоистой плотностной модели могут привести при изучении сложнопостроенных геологических структур, например Урала, к значительным ошибкам и неправильным представлениям о среде.

Известно, что решение обратных задач гравиметрии неоднозначно. Формальное количественное совпадение наблюдаемого и расчетного полей является необходимым, но не достаточным условием для получения достоверного решения, оно лишь показывает, что получено еще одно из множества эквивалентных решений. Критерий достоверности решения – наилучшее соответствие параметров рассчитанной модели геолого–геофизическим данным о свойствах и структуре изучаемой среды. Построение объемных плотностных моделей по комплексу геолого-геофизических сведений существенно ограничивает множество эквивалентных решений обратной задачи гравиметрии. В 1980–2012 гг. украинскими и уральскими исследователями (С.С. Красовским и др. [51], В.С. Дружининым и др. [20], П.С. Мартышко и др. [57, 58]) разработаны методики построения трехмерных плотностных моделей земной коры и верхней мантии на основе комплексной интерпретации данных ГСЗ, гравитационного и магнитного полей. Основная методическая особенность гравитационного моделирования – расчет поля от всей изучаемой геосреды (ВЧЛ). В этом случае нет необходимости разделения гравитационного поля на региональную и локальную составляющие. Однако при составлении начальной («стартовой») объемной плотностной модели надо

иметь представление о строении и свойствах геосреды, распределении плотности относительно некоторого среднего значения. Поскольку эти данные всегда известны приближенно, то расчеты ведутся с учетом совокупности, установленных с той или иной степенью точности фактических материалов и более или менее обоснованных предположений. Таким образом, успешное решение задачи зависит в первую очередь от квалификации исследователя, его опыта и интуиции.

Результаты построения трехмерных плотностных моделей земной коры и верхней мантии Украинского щита и Урала представлены в работах [24, 26, 29, 30, 40, 42, 54, 57, 58].

2.2.2. Профильные и объемные сейсмоплотностные модели

В целях уменьшения неоднозначности решения задачи построения плотностной модели по профилям ГСЗ применяется следующая методика.

Плотностная модель строится в рамках разломно-блоковой модели, наиболее адекватной геологической среде. Согласно этой модели верхняя часть литосферы состоит из блоков горных пород разных размеров, подчиняющихся иерархической последовательности. Блоки, образующие систему, разделены разломами [76].

Используется методика глубинного геокартирования геологической среды, согласно которой основными элементами строения континентальной коры являются сейсмогеологические этажи, различающиеся по структурно–тектоническим особенностям, физическим параметрам и геодинамике [26, 30]. Этажи разделены поверхностями раздела, две из которых реперные. Первая поверхность соответствует поверхности нижнеархейского гранитогнейсового фундамента ($К_{01}$). Второй региональный репер – сейсмогеологический раздел М между нижней корой и верхней мантией.

Плотностная модель строится до глубины 80 км. В пользу выбора этого глубинного уровня свидетельствуют следующие фактические данные.

– В пределах Урала рельеф сейсмологического раздела М изменяется от 35 до 60 км. По сейсмическим и сейсмологическим данным установлено, что верхняя мантия неоднородна, поэтому уровень изостатической компенсации должен находиться на глубине > 60 км.

– По данным ГСЗ в Уральском регионе отмечаются две границы на глубине 80 и 100–120 км [22].

–Г.А. Павленкова для Центрально-Уральской и Восточно-Уральской мегазон выделила границу на глубине 80 км [63].

– Для Урала и Западной Сибири на глубинном уровне ≈ 100 км наблюдается существенная смена распределения скоростей по сравнению с уровнем 60 км.

– Аналогичная картина расслоенности верхней мантии с наличием зоны пониженных значений скорости в интервале 70–100 км отмечается и по другим регионам [7, 67].

– По сейсмологическим данным на глубине 70 км выделяется граница, разделяющая мелкофокусные землетрясения и землетрясения, гипоцентр которых располагается на глубине от 70 до 300 км [55]. Как считают авторы, уровень 70 км представляет собой нижнюю границу гидросферы.

– Согласно представлениям геологов, разломы в литосфере могут достигать глубины 80–100 км и, следовательно, блоковая делимость геосреды прослеживается до такого же уровня [66].

Таким образом, выбор глубинного уровня 80 км согласуется с имеющимися сейсмическими и сейсмогеологическими данными.

Предполагается, что ниже уровня 80 км верхняя мантия в пределах одного региона однородна и аномальное поле Δg формируется только плотностными неоднородностями, расположенными выше этого уровня. Существует много способов исключения из аномалий регионального поля, но все они некорректны и их применение приводит к появлению фиктивных источников. Предложенная методика не нуждается в разделении поля на региональную и локальную составляющие, так как вычисляется эффект от всей геологической среды.

Использование модельных представлений об изучаемой среде при большой роли неформализованного анализа геолого-геофизической априорной информации предопределяет выбор модели первого приближения, в рамках которой и ведутся все дальнейшие исследования.

По данным ГСЗ, разработанной технологии сейсмогеокартирования земной коры и построения 2D–плотностных моделей составляются сейсмогеоплотностные разрезы М 1:1000 000. При этом учитываются результаты построения скоростных и плотностных разрезов земной коры для глубин 20–30 км исходя из аппроксимации среды градиентной моделью.

По данным ГСЗ строятся скоростные разрезы и плотностные модели в рамках градиентно-слоистой среды до глубины 30 км, а по разработанной технологии сейсмогеокартирования земной коры – сейсмогеологические и сейсмогеоплотностные разрезы верхней части литосферы.

Построение стартовой плотностной разломно-блоковой модели осуществляется с использованием сейсмогеологических и скоростных разрезов, градиентно-слоистых скоростных и плотностных моделей, корреляционных зависимостей $\sigma = f(V_p)$ для разных сейсмогеологических этажей. В модель может вводиться любая новая информация о неоднородностях в пределах земной коры и верхней мантии включая зоны инверсии. Размеры однородных блоков увеличиваются с глубиной: горизонтальная мощность блока должна быть соизмерима с глубиной залегания его кровли или больше нее. Форма блоков – многоугольник произвольной формы. Вычисляется средневзвешенное по всем блокам стартовой модели значение плотности, относительно которой проводится гравитационное моделирование.

Используется вся возможная дополнительная информация геологического, геофизического и петрологического характера в виде ограничений на параметры модели, что существенно сужает класс эквивалентных решений обратной задачи гравиметрии.

В стартовой плотностной модели закрепляются параметры осадочного слоя, детально изученного геофизическими и геологическими методами, а также параметры верхней мантии в принятых пределах скоростей и соответственно плотностей: V_p=8,15±0,25 км/с, σ = 3,32±0,02 г/см^3. К верхней мантии относятся породы с $V_p \geq 8{,}0$ км/с и плотностью $\sigma \geq 3{,}30$ г/см^3, расположенные ниже сейсмогеологического раздела М. Для устранения краевых эффектов горизонтальные размеры блоков на концах профиля увеличиваются на 500 км.

Территория Урала, особенно Среднего и Южного, покрыта сетью профилей ГСЗ, что позволяет создавать объемные разломно-блоковые плотностные модели. Основой для их создания служат построенные плотностные разрезы по профилям ГСЗ, схематические карты поверхности кристаллического фундамента и сейсмологического раздела М, плотности осадков и пород верхней части кристаллического фундамента, тектоники и районирования исследуемой территории, гравитационное поле в редукции Буге.

Стартовая плотностная 3D–модели строится до глубины 80 км. В районах, территория которых недостаточно освещена сейсмическими данными, контуры приповерхностных блоков стартовой модели определяются с учетом регионального районирования по гравитационному и магнитному полям и типа исследуемой геологической структуры с определенными глубинными характеристиками (см. подраздел 2.3). Гравитационное моделирование проводится относительно среднего значения плотности для всех профилей ГСЗ, расположенных на изучаемой площади.

Моделирование всей геосреды рассматриваемого района с учетом глубинных неоднородностей смежных территорий позволяет устранить краевые эффекты. Для этого размеры территории 3D–моделирования увеличиваются во всех направлениях на 500 км.

Гравитационное 2D– и 3D–моделирование проводится по сети 5·5 км с использованием математического обеспечения, разработанного в Институте геофизики УрО РАН, и геоинформационного пакета ArcGIS. Программы

составлены в оболочке Delphi, имеют удобный интерфейс и позволяют достаточно быстро проводить подбор наблюденного гравитационного поля как в ручном, так и в автоматическом варианте, когда известные параметры части блоков (размеры, плотность) жестко закрепляются, а диапазон изменения параметров другой части блоков устанавливается в наиболее вероятных пределах.

2.3. Геолого-геофизические объемные модели верхней части литосферы

Известно, что иерархическая блоковость геологической среды является одной из основных ее характеристик [71]. Каждый блок континентальной коры имеет набор физических параметров, отличный от такового соседних объектов. В приповерхностной части геологической среды им соответствуют разнородные геологические структуры. Но фактор блоковости практически не учитывается при составлении геологических карт: контуры структурно-вещественных подразделений имеют сглаженные непрерывные или изолированные формы. Этот пробел должен быть устранен в развиваемом направлении сейсмогеокартирования земной коры. В первую очередь это относится к 3D–разломно-блоковой модели верхнего сейсмогеологического этажа. В табл. 1 приведены параметры кристаллической коры (КРК) для основных структур Уральского региона.

Анализ данных позволяет прийти к следующим выводам.

- Южно-Татарский свод (ЮТС), соответствующий древнейшему поднятию восточной окраины ВЕП, и Ханты-Мансийский срединный массив ЗСГБ, несмотря на их принадлежность к разным геологическим подразделениям, имеют близкие значения параметров; Салдинское поднятие Уральской складчатой системы незначительно отличается от них большей мощностью кристаллической коры и увеличенной глубиной залегания поверхностей раздела $M_{сг}$ и К–М.

• Отрицательные структуры рельефа поверхности кристаллической коры имеют существенные различия в соответствии с типом развития и возрастом. Например, Калтасинский авлакоген выделяется как аномальная структура, отличаясь от соседнего Южно-Татарского поднятия и аналогичных по форме подразделений Урала и Западной Сибири. Центрально-Уральская мегазона, возможно, рифтовой природы и полициклического развития характеризуется увеличенными значениями основных параметров. В Уренгойской рифтовой мегазоне по аналогии с ЦУМЗ, возможно присутствует переходный мегакомплекс, и кристаллическая кора характеризуется повышенной основностью, но остальные параметры существенно меньше, чем на Урале.

Таблица 1

Характеристика кристаллической коры Уральского региона

№	Геологическая структура / Параметр	Кристаллическая кора				Переходный мегакомплекс – низы кристаллической коры		
		Глубина залегания $M_{сг}$, км	Мощность КРК, км	Скорость V_p, км/с	Расчетная плотность, г/см^3	Положение верхней границы К–М	Мощность, км	Тип модели
1	Волго-Уральский геоблок	Южно–Татарский свод Н-Е СГ	38–42	6,45–6,5	2,86–2,87	36–39	2–3	Тонкорассло-енная инверсионная пачка
2		Калтасинский авлакоген	33–37	6,25–6,35	2,83–2,85	31–33	1–3	
3	Уральский геоблок-складчатая система	Центрально–Уральская мегазона, СГ-4	53–58	6,72–6,82	2,92–3,05	38–42	13–17	Сложноустро-енная толща с инверсией скорости
4		Восточно–Уральская мегазона, Салдинское поднятие	45–50	6,40–6,50	2,86–2,88	41–44	3–6	
5	Западно-Сибирский геоблок	Ханты–Мансийский мегаблок	36–40	6,30–6,50	2,86–2,88	32–35	2–5	Градиентная среда
6		Уренгойская мегазона СГ-6	39–42	6,50–6,65	2,88–2,93	29–32	8–12	

Таким образом, наличие подобных характеристик (параметров) для поднятия кристаллической коры дает основание для корректировки осредненных сейсмических разрезов на геотраверсах Центра «ГЕОН» при

реализации глубинного геокартирования по всему Уральскому региону. Выделяются два подтипа: 1 – древнейшие поднятия платформ и 2 – срединные поднятия УСС, подвергшиеся влиянию активизации литосферы в Центрально-Уральской рифтовой мегазоне.

Аномальность в строении континентальной коры, проявленная в отрицательных структурах, зависит от возраста и продолжительности их развития в режиме повышенной активности эндогенных процессов. При этом выстраивается своеобразная цепочка от относительно простых форм к сложным: авлакогены древних платформ, относительно молодые рифты Тимано-Печорской плиты (Pz) и Западно–Сибирского геоблока (PZ–T), затем Печенгский рифт (PR_1). Рассматриваемую последовательность завершает Уральская рифтовая мегаструктура, которая отличается от подобного ей по составу Печенгского рифта продолжительностью активных эндогенных процессов в течение PR_1–PZ и соответствует увеличенным значениям параметров для этого типа структур. Т.е. вероятно, существует связь специфики строения отрицательных континентальных структур от активности и продолжительности эндогенных процессов в литосфере. Во многом это определяется положением наиболее значительных из них в пограничных пространствах между древними платформами. Большая часть из них имеет подобные черты строения. Это отчетливо видно из сравнения Уральской и Енисейской структур (рис. 18). Первая из них является пограничной мегазоной между Восточной частью ВЕП и Западно–Сибирским геоблоком, вторая – между ЗСГБ и Восточно-Сибирской древней платформой [68].

В целом совокупность блоков на разных глубинных уровнях определяет тип геологической структуры, а их подобие в общих чертах свидетельствует о наличии связи между разными глубинными уровнями и о преобладающей роли эндогенных процессов в развитии континентальной коры.

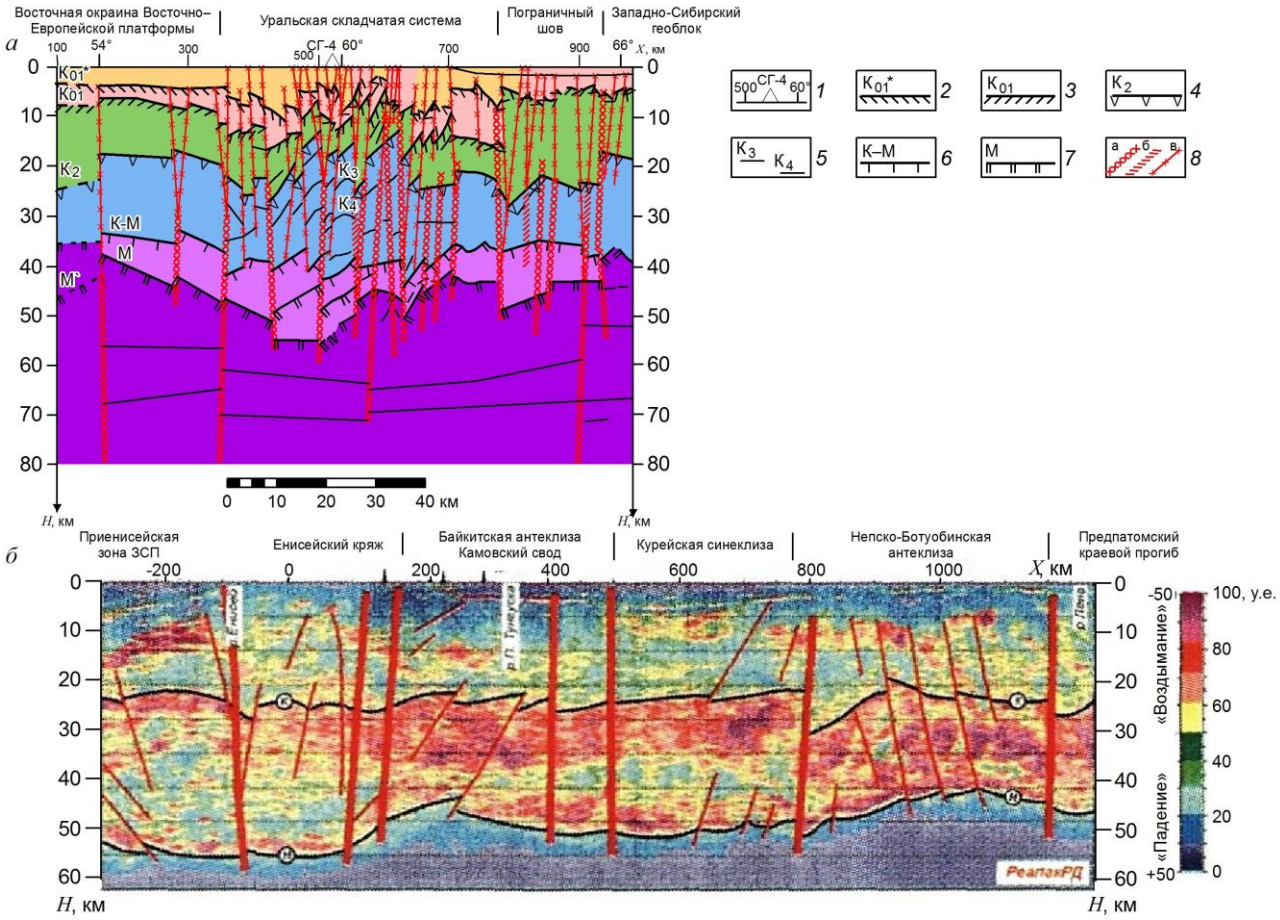


Рис. 18. Сейсмогеологический разрез по Красноуральскому профилю ГСЗ [18] (*а*) и сейсмическая глубинная модель по геотраверсу Батолит-1-СБ [68] (*б*).

Условные обозначения. *1* – линия профиля с пикетами, градусной привязкой и положением Уральской сверхглубокой скважины СГ-4; *2* – поверхность нижнего комплекса I сейсмогеологического этажа; *3* – поверхность древнего кристаллического фундамента, подошва I СГЭ; *4* – поверхность нижней коры – III СГЭ; *5* – промежуточные границы кристаллической коры; *6* – положение переходного мегакомплекса в низах коры; *7* – поверхность основного сейсмогеологического раздела Мохоровичича; *8* – зоны глубинных разломов (а), возможные нарушения в кристаллической коре (б), в верхней части консолидированной коры (в). Соотношение вертикального и горизонтального масштабов 1:8

Отсутствие подобной картины на сейсмических разрезах (в частности на геотраверсе Центра «ГЕОН») обусловлено значительным осреднением сейсмических данных, не сопоставимых с детальностью информации о приповерхностных структурах. К этому следует добавить игнорирование при

составлении итоговых разрезов ГСЗ имеющейся геологической информации, прежде всего по участкам сверхглубоких и глубоких скважин, и современных данных, полученных по системе многократных перекрытий отраженными волнами.

Важным элементом разломно-блоковой модели являются глубинные разломы земной коры, которые обладают аномальными чертами строения по сравнению с соседними блоками, отвечая пограничным зонам между ними.

В волновой картине им соответствуют дифрагированно-отраженные, вторичные рассеянные волны от локальных резких неоднородностей; изменение амплитудно-частотных характеристик опорных сейсмических горизонтов, которые отчетливо проявляются при непрерывных наблюдениях по системе ГСЗ, МПВ, МОВ, как это было на Свердловском профиле [38], и по данным глубинного ОГТ на международном геотраверсе Урсейс [6].

Объединение совокупности аномальных объектов на сейсмическом разрезе дает представление о положении зоны разломов, ее глубинности и горизонтальных размерах. Для уменьшения степени неоднозначности учитывается дополнительный признак глубинного разлома как пограничной структуры между блоками кристаллической коры. При постановке работ ГСЗ и использовании систем точечного или дискретного профилирования этот признак становится определяющим, хоть и недостаточным для выделения и картирования зоны глубинного разлома.

Наличие разломов в верхней коре установлено результатами бурения сверхглубоких скважин с архейских до верхнепалеозойских пород включительно. Т.е. их присутствие до глубин 15 км можно считать доказанным фактом. Следует особо отметить, что скважинами сверхглубокого и глубокого бурения не удалось подсечь листрические разломы, которым отводится приоритетная роль в плиттектонике. Наглядным примером являются КТБ, СГ-3, СГ-8, СГ-4, Кулгунинская глубокая скважина на Башкирском рифейском поднятии Южного Урала (рис. 19).

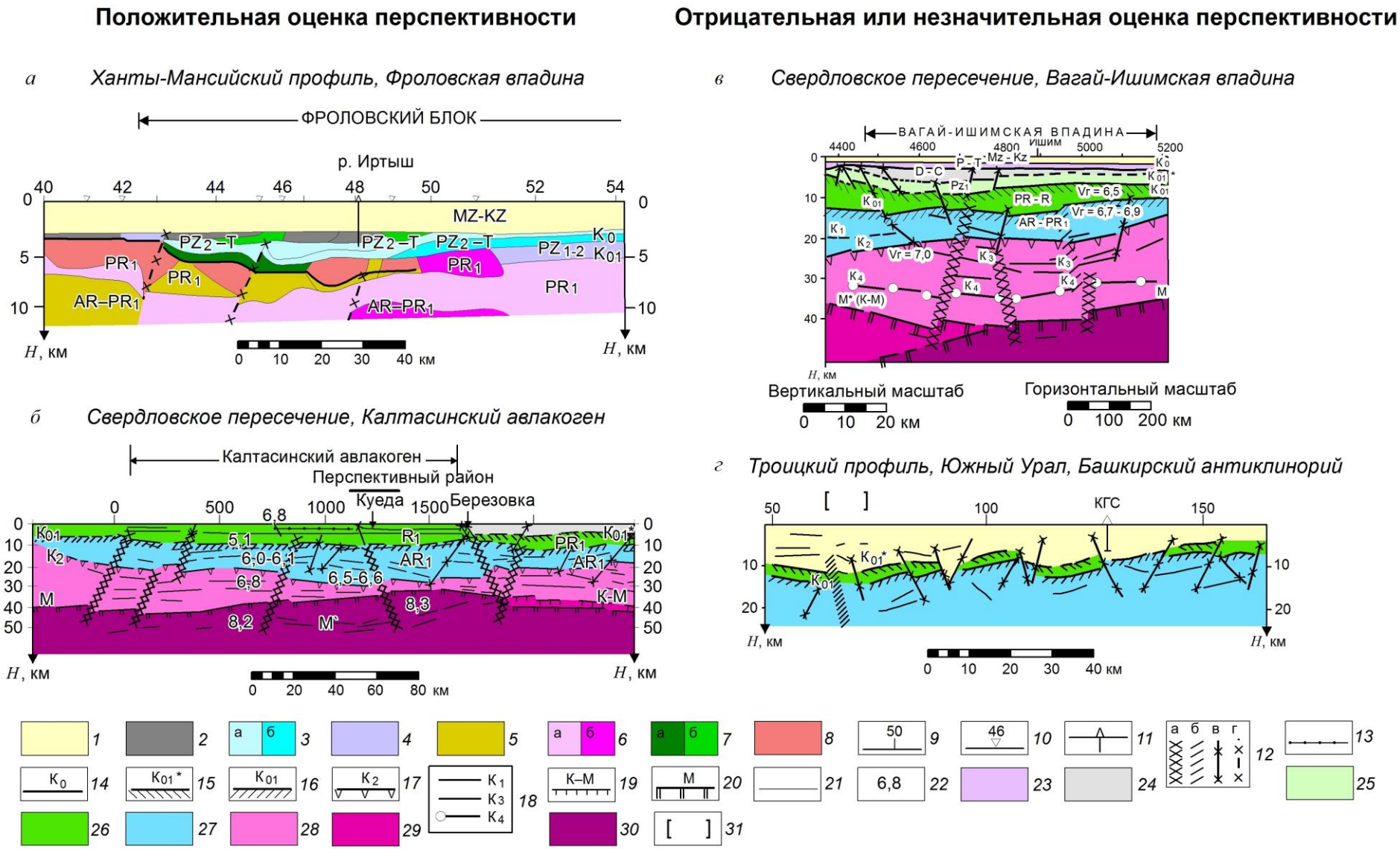


Рис. 19. Примеры оценки нефтегазоперспективности геологической среды по данным профильных исследований ГСЗ, подтвержденные последующими поисковыми геолого-геофизическими работами [27, 29].

Условные обозначения: *1* – осадочные мезокайнозойские отложения; *2* – обломочные и терригенные отложения (песчаники, сланцы) с подчиненными прослоями карбонатных и туфогенных пород, σ = 2,55–2,62 г/см^3; *3* – терригенно-карбонатные (а) и карбонатные (б) породы, σ = 2,65–2,70 г/см^3; *4* – метаморфический комплекс, σ = 2,72–2,75 г/см^3 (иногда 2,78 г/см^3); *5* – гранитогнейсы, гнейсы, σ = 2,72–2,78 г/см^3; *6* – гнейсы и сланцы амфиболитовые, на востоке профиля возможны джеспилиты (а), амфиболиты с подчиненными им парасланцами, гранулиты (б), σ = 2,80–2,85 г/см^3 и σ = 2,88–2,90 г/см^3; *7* – эффузивный комплекс преимущественно основного состава (а) и кайнотипные базальты триаса (б), σ = 2,80–2,90 г/см^3 и σ = 2,62–2,65 г/см^3; *8* – интрузивные породы кислого состава (σ = 2,60–2,68 г/см^3); *9* – пикеты наблюдений; *10* – пункты взрыва; *11* – поисково-параметрическая скважина; *12* – зоны глубинных разломов (а), возможные нарушения в кристаллической коре (б), верхней части консолидированной коры (в), то же, менее уверенно (г); *13* – положение древнего фундамента по данным КМПВ; *14* – поверхность консолидированной коры (Pz_{1-2}); *15* – поверхность нижнего комплекса первого СГЭ (PR_1–R); *16* – поверхность древнего кристаллического фундамента, подошва первого СГЭ; *17* – поверхность нижней коры - третьего сейсмогеологического этажа; *18* – промежуточные границы кристаллической коры; *19* – положение переходного мегакомплекса в низах коры; *20* – поверхность основного сейсмогеологического раздела Мохоровичича; *21* – отражающие границы кристаллической коры; *22* – значение скорости продольных волн V_p, в км/с; *23* – вулканогенно-терригенные отложения P–T; *24* – вулканогенно-осадочные отложения D–C; *25* – вулканогенно-осадочные метаморфизованные отложения PZ_1; *26* – гнейсоамфиболитовый комплекс PR–R (нижний комплекс I СГЭ); *27* – кристаллическая кора (II СГЭ); *28* – III СГЭ; *29* – переходный мегакомплекс в низах кристаллической коры; *30* – верхняя мантия; *31* – пограничная зона между Предуральским прогибом и Западно-Уральской структурой

Продолжая анализ, приведенный в главе 1, укажем, что при выделении (показе) листрического разлома на временных разрезах ОГТ, как правило, объединялись различно ориентированные элементы, соответствующие разным неоднородностям среды. Особенно настораживает выделение пологопадающих разломов по всей земной коре, которые крайне нечетко проявлены на временных разрезах. Этот факт также противоречит характеристике разлома

как совокупности локальных неоднородностей с аномальными акустическими характеристиками.

Дополнительные критерии для выделения глубинных разломов и их картирования по площади. Геологические признаки: резкое изменение контуров, состава и возраста крупных геологических тел, наличие интрузивных тел основного и ультраосновного состава, закартированных тектонических нарушений. Геофизические признаки: линеаменты потенциальных полей и результативных карт по космоснимкам, цепочки локальных магнитных аномалий, повышенные концентрации гелия в подземных водах. Активность глубинного разлома на современном этапе развития определяется геофизическим мониторингом движения верхней части разреза по наличию мантийного гелия и регистрацией сейсмических событий, включая высокочастотные импульсы, источники которых расположены в зоне глубинного разлома.

В ряде случаев принятая технология получения сейсмических материалов, и их интерпретация не позволяют выделять глубинные разломы. Одной из причин является корректировка первичных сейсмических результатов путем кинематического моделирования лучевым методом (например на геотраверсах Центра «ГЕОН»). Но он применим только для сред с небольшим изменением скорости по глубине и горизонтали.

Наличие глубинных разломов с аномальной характеристикой не дает возможности реализовать такой подход. Поэтому вопреки реальности на разрезах по геотраверсам отсутствуют глубинные разломы. Показанные контакты смены значений скорости иногда находятся в пределах точности их определения и поэтому не могут быть приняты за глубинные разломы.

Существенным элементом сейсмокартирования земной коры являются субширотные дислокации и диагональные (наклонные) глубинные разломы. Их роль в тектонике приповерхностных структур несомненна. Наличие подобных элементов вносит дополнительный искажающий фактор при обычных

профильных исследованиях. На геологических картах Урала и сопредельных территорий субширотные дислокации показаны лишь в соответствии с характером потенциальных полей, но их роль никак не учитывается в тектонике и динамике геологической среды. Их присутствие в ВЧЛ подтверждено разрезом по меридиональному профилю Вижай–Орск, расположенному вдоль Центрально-Уральской мегазоны, и субмеридиональным профилем Сев. Сосьва–Ялуторовск в пределах Приуральской части Западно-Сибирской равнины (рис. 20). Несколько диагональных разломов сдвиговой природы показаны на геологических картах. Но этот формальный подход не изменил содержания карт. Таким образом, невзирая на разломно-блоковую структуру ВЧЛ, информация о субширотных дислокациях игнорируется при составлении геологических и тектонических карт. Поэтому требуется их совершенствование за счет учета рассмотренной основной характеристики геологической среды.

Еще одним параметром сейсмогеокартирования земной коры является определение петрофизических характеристик блоков, комплексов, интрузивных массивов. В основном это относится к верхней части коры до глубины 15 км. Для этих целей использовался набор физических параметров: скорость, расчетная плотность, магнитная восприимчивость и сравнительный анализ этой информации с подобными характеристиками для известных породных комплексов. Фактор глубинности не учитывался, так как по данным сверхглубоких скважин не установлено существенных изменений свойств пород одного состава (кроме механических) в указанном интервале глубин.

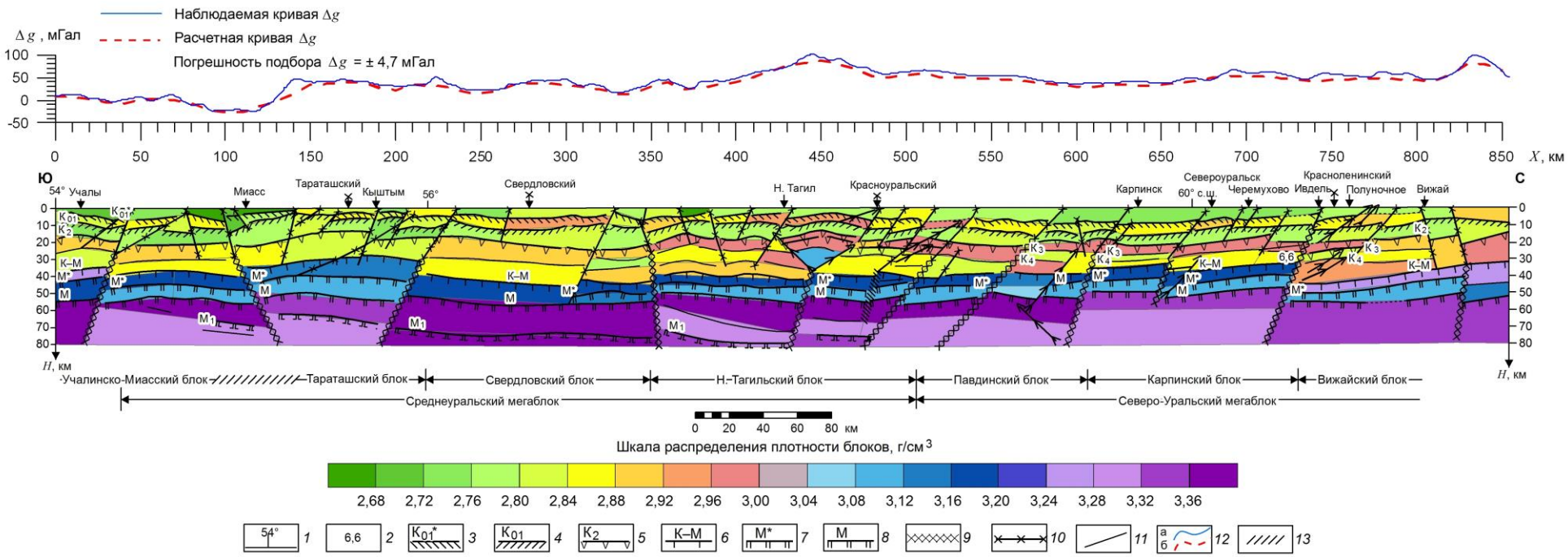


Рис. 20. Сейсмогеоплотностной разрез верхней части литосферы по профилю Вижай–Орск [30].

Условные обозначения: *1* – линия профиля с градусной привязкой; *2* – скорости продольных (в числителе) и поперечных (в знаменателе) волн, в км/с; *3* – поверхность нижнего мегакомплекса I СГЭ; *4* – поверхность комплексов древнего кристаллического фундамента II СГЭ; *5* – поверхность комплексов нижней коры, так называемый «базальтовый слой»; *6* – поверхность комплексов переходного мегакомплекса (зоны) в низах коры; *7* – поверхность в пределах переходной зоны промежуточных комплексов с относительно пониженными скоростными параметрами; *8* – поверхность основного сейсмогеологического раздела Мохо между породами земной коры и относительно слабоизмененными породами верхней мантии (перидотит), без индекса приведены промежуточные границы; *9* – основные зоны глубинных разломов; *10* – глубинные разломы и разломы в земной коре; *11* – секущие отражающие элементы; *12* – наблюдаемая (а) и расчетная (б) кривые аномального гравитационного поля Δ*g*; *13* – участки, где неоднозначно положение границы между глубинными структурами

* * *

1. Для решения задач региональной геологи и геодинамики необходимо ориентировать глубинные геофизические исследования на сейсмогеокартирование земной коры, основное содержание которых рассмотрено выше.

2. Существующие разнородные и неодинаковых полноты, и качества сейсмические данные о строении ВЧЛ Уральского региона могут быть обобщены на основе предложенной технологии СКЗК. Для этого потребовалась некоторая корректировка в соответствии с типом исследуемой структуры и результатами плотностного моделирования сейсмических разрезов по геотраверсам, выполненным в Центре «ГЕОН», реализованная путем составления однотипных сейсмогеологических разрезов.

3. Для дальнейшего развития глубинного сейсмогеокартирования земной коры необходимо продолжить геолого-геофизические работы, направленные на получение дополнительной информации о древнем кристаллическом фундаменте (раздел $К_{01}$) и основном сейсмогеологическом разделе $М_{сг}$ и, возможно, $К_2$ между верхней и нижней корой, и ввести эти понятия в практику региональных исследований.

4. Дальнейшее совершенствование методики составления объемных геофизических разломно-блоковых моделей строения верхней части литосферы.

Глава 3. СТРОЕНИЕ И ТЕКТОНИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ЛИТОСФЕРЫ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА

Впервые для Уральского региона выполнено обобщение большого массива сейсмической информации о строении земной коры с единой методикой построения сейсмогеологических разрезов. На основе этой информации и разработанной технологии созданы объемные геолого-геофизические модели верхней части литосферы, представленные вначале для каждого сегмента региона с последующим их объединением в рамках единой модели для территории с координатами 54–67° с.ш., 50–70° в.д. Рассматриваемым в монографии исследованиям предшествовала работа по обобщению сейсмических данных по профилям ГСЗ, выполненным Уральскими геофизиками. Их результаты, в частности, опубликованы в ДАН СССР и ряде зарубежных журналов [22, 17, 19, 45, 84, 85]. С результативными материалами итогового обобщения и построения схем тектонического районирования по каждому сегменту и в целом по Уральскому региону можно ознакомиться в рецензируемых журналах ДАН России, «Отечественная геология», «Геология и геофизика», «Литосфера», «Разведка и охрана недр», «Геология, геофизика и разработка…».

3.1. Информация о глубинном строении по данным профильных исследований

В результате исследований составлены сейсмогеологические, а на их основе плотностные разрезы верхней части литосферы до глубины 80 км (первый региональный уровень изостатической компенсации) масштаба 1:1000 000. Разрезы ВЧЛ выполнены в соответствии с методикой сейсмогеокартирования земной коры, основными особенностями которой являются: а) разделение ВЧЛ на три крупных подразделения (сейсмогеологических этажа с обоснованием

наличия в континентальной коре двух СГЭ) регионально выдержанных поверхностей раздела – древнего (нижнеархейского) кристаллического фундамента ($К_{01}$) и поверхности основного раздела М между породами земной коры, включая переходный мегакомплекс в ее нижней части и комплексами верхней мантии с преобладающими значениями скорости продольных волн V_p =8,15 км/с ± 0,25; б) разломно-блоковая модель. По масштабности выделены мегаблоки, блоки и в пределах УСС – мегазоны, зоны. Мегаблоки входят в состав геоблоков. Все вместе взятое является основным содержанием составленных разрезов.

В монографии в виде альбома приведены сейсмогеоплотностные и сейсмогеологические разрезы верхней части литосферы (приложение 1). К нему прилагаются список разрезов и условные обозначения. На представленных рисунках расчетные плотностные модели совмещены с сейсмогеологическими разрезами; показано тектоническое районирование ВЧЛ с выделением мегаблоков и мегазон как структур первого порядка; блоков и зон – как структур второго порядка, разделенных разномасштабными элементами дизъюнктивной тектоники; разрезы увязаны между собой на участках пересечения профилей.

Основное назначение сводки глубинных разломов – показать содержание профильной информации, положенной в основу построения объемных геолого–геофизических моделей ВЧЛ. Описание отдельно каждого разреза слишком громоздко в текстовом плане, а интересующую информацию можно получить из альбома.

В данной главе более подробно рассмотрена новая сейсмическая информация по Полярно-Уральскому сектору УСС, полученная Баженовской геофизической экспедицией при участии в качестве соисполнителя Центра «ГЕОН» ФГУП ВНИИГеофизика [43, 49]. Остановимся также на покровных, надвиговых структурах и листрических разломах земной коры, привлекаемых сторонниками плиттектоники в качестве одного из аргументов в пользу

крупных горизонтальных перемещений как основной движущей силы развития литосферы Земли. В работе [49] в качестве подтверждения этой позиции приведены Южно-Уральский, Средне–Уральский и Полярно-Уральский трансекты глубинного ОГТ.

3.2. Строение земной коры Полярного сектора Уральской складчатой системы

Появление новых сейсмических данных ГСЗ, МОВЗ и их согласуемость с созданной в результате обобщения объемной моделью по Полярно-Уральскому трансекту и макетом тектонического районирования верхней части литосферы [24, 30] позволяют составить схемы рельефа основных поверхностей раздела $К_{01}$ и $М_{сг}$ и сводный сейсмогеологический разрез земной коры УСС протяженностью 450 км начиная с восточной части Тимано-Печорского мегаблока (рис. 21).

Разрез по ГОГТ (главное звено трансекта) малоинформативен и представлен отдельными скоплениями отражающих элементов, расположенных в разных частях профиля и на разных глубинах (рис. 22).

Помимо основных поверхностей раздела на сводном профиле показано положение поверхности нижней коры ($К_2$), промежуточных границ в земной коре и поверхности переходного мегакомплекса К–М. Разрез в М 1:1000 000 составлен в рамках разломно-слоисто-блоковой модели глубинного строения как наиболее вероятной и современной.

По особенностям глубинного строения в пределах УСС в Западно–Уральской мегазоне выделены два блока: Косью–Роговский, соответствующий Предуральскому прогибу, и Западно-Уральский, отвечающий аналогичной по названию зоне складчатости. Центрально-Уральской мегазоне соответствует два блока; из них западный тождествен поднятию под аналогичным названием, восточный – Тагильскому прогибу.

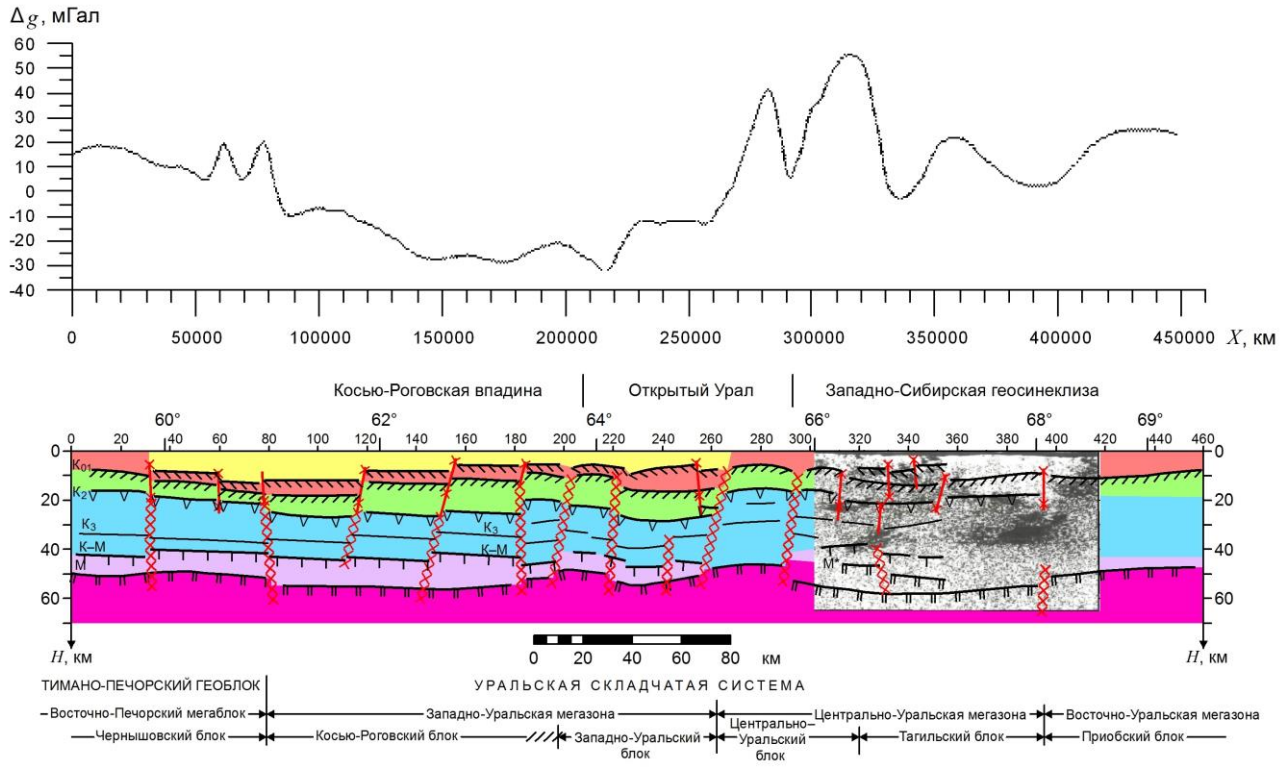


Рис. 21. Сводный субширотный сейсмогеологический разрез земной коры Полярного сектора Уральской складчатой системы.

Над разрезом показана кривая наблюдаемого гравитационного поля Δg, а под разрезом – элементы тектонического районирования УСС с учетом специфики глубинного строения. Условные обозначения см. на рис. 20

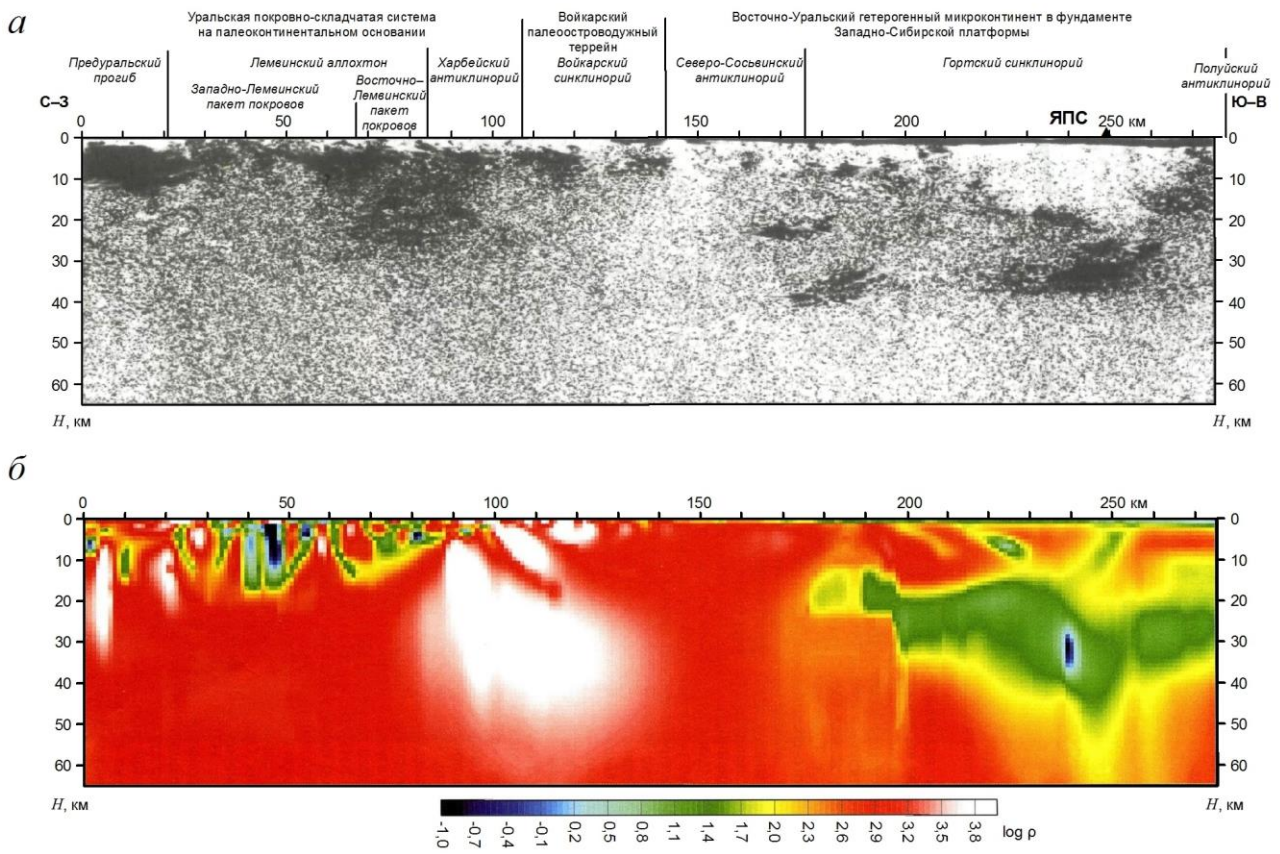


Рис. 22. Сейсмический разрез (усовершенствованный вариант) по профилю Полярно-Уральский трансект по данным МОГТ (*а*) [69], геоэлектрический разрез по данным МТЗ (*б*) [49].

К востоку от 68° в.д. находится Приобский блок Восточно-Уральской мегазоны. Рельеф основных поверхностей раздела изменяется в широких пределах по М от 46 до 60 км, нижней коры от 16 до 28 км, древнего кристаллического фундамента – от 7 до 17 км. Мощность II СГЭ, заключенного между поверхностями раздела $К_{01}$ и $К_2$, составляет в отрицательных структурах 5–8 км, на поднятиях древнего кристаллического фундамента увеличена до 12–13 км. Мощность нижней коры (III СГЭ), включая переходный мегакомплекс в ее подошве, существенно больше и изменяется от 23 км до 36 км. Нижняя кора разделена на несколько мегакомплексов, включая указанную переходную толщу (поверхность К–М). Блоки разграничены глубинными крутопадающими

разломами. Кроме того, к ним приурочена смена скоростных параметров разреза, как это установлено по Полярно-Уральскому трансекту (рис. 23, *а*).

Западнее УСС находится Чернышовский блок поднятий земной коры, относящийся к пограничной структуре Тимано-Печорского геоблока. Аналогичная ситуация характерна для всех более южных пересечений Урала [30]. Поэтому данный вариант тектонического районирования более предпочтителен, чем ранее нами предлагаемый, который не совпадал с геологическими представлениями о Косью-Роговской впадине как возможного аналога Предуральского прогиба. При этом горизонтальные размеры Западно–Уральской мегазоны увеличены в сечении сводного разреза до 180–200 км. Подобный факт обусловлен присутствием в интервале широт 66–68° своеобразного «кармана» за счет возможных сдвигов блоков Западно–Уральской мегазоны в противоположных направлениях: на юге рассматриваемой территории в северо-восточном со сменой на 67° с.ш. на северо-западное.

Интересен вопрос о положении структурных подразделений под мезокайнозойским чехлом ЗСП, восточнее 66° в.д., совпадающей в рассматриваемом сечении с западной границей Тагильского блока.

По мере продвижения на юг эта граница смещается на восточные структуры УСС; на широте 67° параллели она совпадает с западной границей Тюменско-Кустанайского прогиба, являющегося, по материалам обобщения, восточной пограничной структурой собственно уралид. Такое положение западной границы осадочного бассейна обусловлено, вероятно, особенностями активизации геодинамических процессов в Западно–Сибирском геоблоке в позднем палеозое и в последующие периоды развития.

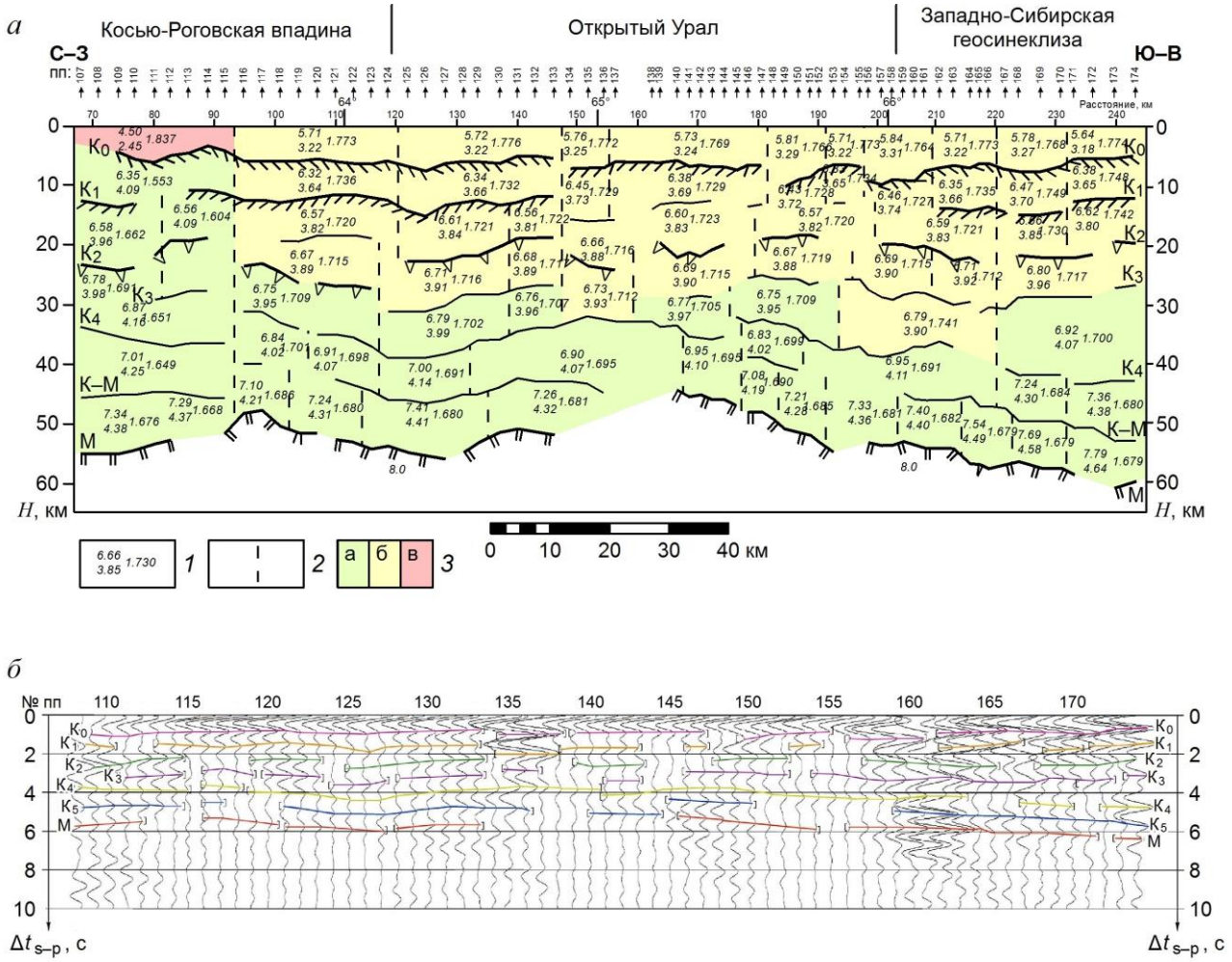


Рис. 23. Сейсмические разрезы по профилю Полярно-Уральский трансект по данным ГСЗ (*а*), МОВЗ (*б*) [42].

Условные обозначения: *1* – скорости продольных, поперечных волн в км/с и их отношение; *2* – границы блоков; *3* – градации коэффициента $K(V_p/V_s)$ (существенно заниженные значения $K \leq 1{,}71$ (а), средние значения $K = 1{,}72–1{,}78$ (б), повышенные значения $K \geq 1.79$ (в)). Остальные условные обозначения см. на рис. 20.

В авторский вариант разреза [42] фрагмент *а* внесены изменения в название структур в соответствии с расположением осадочных бассейнов; цифровые обозначения границ как в работе [25]

Весьма показательна информация об упругих параметрах, полученная на Полярно-Уральском трансекте (см. рис. 23, *а*). На фоне в целом пониженных значений коэффициента $K=V_p/V_s$, равных 1,71±0,06, наблюдается существенная аномалия этого параметра для нижней коры по сравнению с другими

пересечениями Урала, где проводились многоволновые исследования. Пониженные значения коэффициента K не соответствуют предполагаемому основному составу пород этой части разреза. Подобные аномалии на сравнительно небольших горизонтальных блоках отмечались на Троицком профиле и международном трансекте Урсейс [6].

Были предприняты попытки объяснить это явление процессами гранитизации. Это соответствовало наблюдаемым над этими блоками отрицательным аномалиям гравитационного поля, указывающим на присутствие ограниченного по глубине гранитоидного массива. Но в случае ПУТ такая гипотеза не проходит по двум признакам: широкий интервал аномалии (практически весь профиль) и отсутствие явно выраженных отрицательных аномалий Δg. Возможная причина рассматриваемого эффекта – расположение трансекта в субширотной зоне глубинных дислокаций, которая сопровождается пространственно ориентированной микротрещиноватостью и соответственно аномалиями значений скорости продольных (уменьшение) и поперечных (увеличение) волн.

Ограниченная по времени запись отраженных волн на разрезе ОГТ, возможно, также обусловлена повышенной раздробленностью коры, особенно ощутимой для ее нижней части. Аналогичное явление отмечено на трансекте Урсейс и других пересечениях Центрально-Уральской мегазоны для переходного сложноустроенного мегакомплекса К–М. Как правило, достаточно отчетливая запись отраженных волн на ближних удалениях от источника упругих колебаний зарегистрирована до поверхности переходной зоны, а поверхность основного сейсмогеологического раздела М выделена только по преломленным и закритическим отраженным волнам, зарегистрированным на значительном удалении от источника. Подобная картина установлена для всех структур Полярного сектора УСС, попадающих в полосу субширотной дислокации. Здесь в отличие от ОГТ получен достаточно полноценный разрез ГСЗ и МОВЗ. Тем самым еще раз подтверждена эффективность многоволновой

сейсмики с использованием волн разного класса и зарегистрированных в широком диапазоне расстояний от источника упругих колебаний, необходимых для изучения I СГЭ и всей коры, включая поверхность основного сейсмогеологического раздела М при глубинах залегания ее от 35–40 до 60 км. Обширная область повышенной электропроводности, выделенная по данным МТЗ в восточной части трансекта в интервале глубин от 15–20 км до 30–40 км (см. рис. 22, *б*), и отсутствие отражающих элементов выше расположенной части разреза могут быть обусловлены положением профиля в зоне повышенной трещиноватости и обширной гранитизации с образованием гранитного массива, перекрытого осадочным чехлом. Повышенный тепломассопоток из верхней мантии, возможно, является источником гранитизации и области повышенной электропроводности. Интересно положение этих аномалий в зоне пограничного разлома Центрально-Уральской мегазоны.

Основные элементы составленной разломно-блоковой модели земной коры совпадают с положением геологических структур и разломов, показанных на тектонической карте, составленной под редакцией Т.Н. Спижарского, выкопировка из которой (в упрощенном виде) дана на рис. 24.

В то же время основные элементы геодинамических обстановок формирования Тимано-Урало-Пайхойской коллизионной области [49]: Хорейверский микроконтинент (террейн), аналог Восточно-Печорского мегаблока по нашей схеме тектонического районирования, область аккрецированных и тектонически совмещенных элементов океанических обстановок по С.Л. Костюченко, соответствуют Уральской складчатой системе в составе трех мегазон. Образование и тектонические условия формирования данной области (системы) подлежат дальнейшему изучению с помощью составления объемной модели земной коры Полярного сектора Уральского региона.

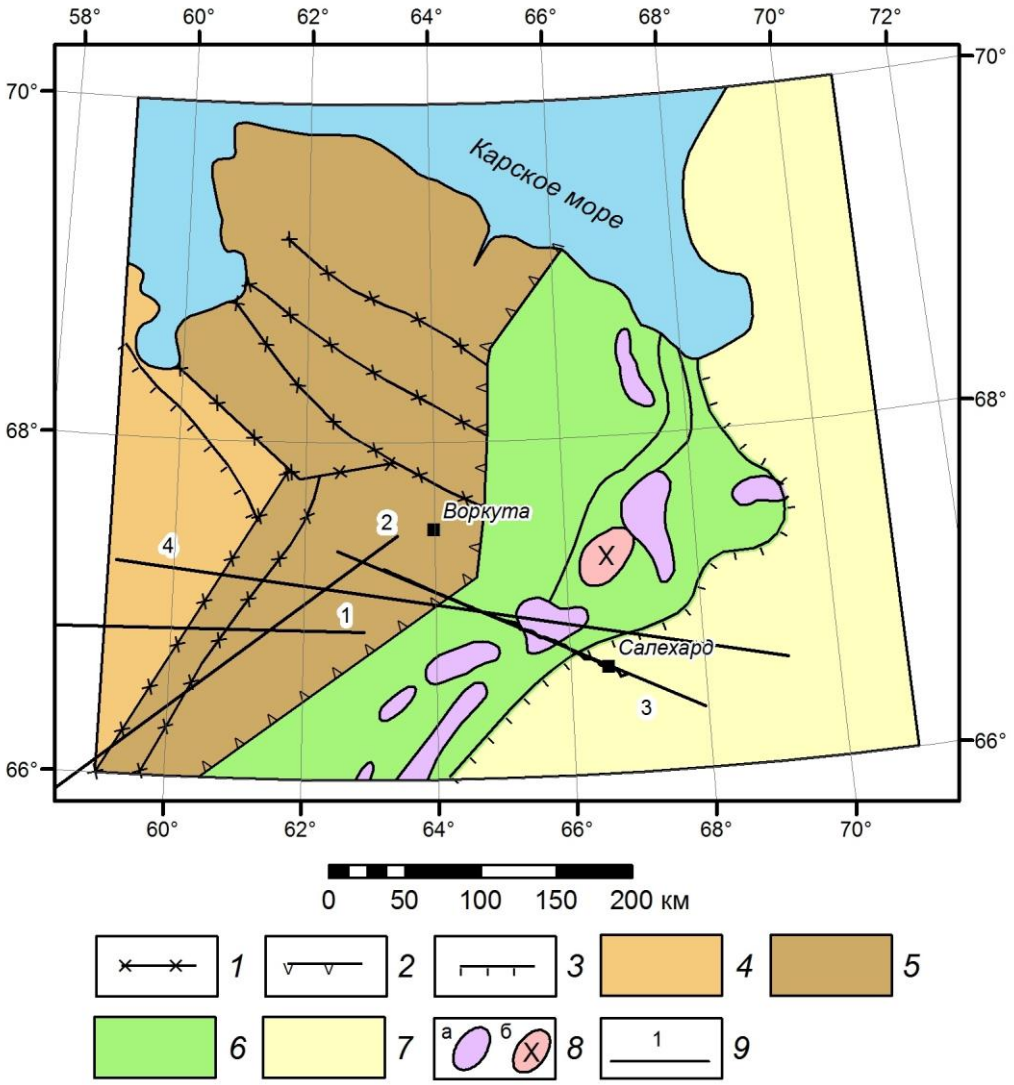


Рис. 24. Выкопировка из тектонической карты под редакцией Т.Н. Спижарского, 1979 [77].

Условные обозначения: *1* – разломы; *2* – главный Уральский разлом; *3* – контуры открытого Урала. Дополнительные знаки: *4* – осадочные отложения Тимано-Печорской плиты; *5* – осадочные отложения Предуральского прогиба и складчатые комплексы Западного Урала; *6* – вулканогенные и интрузивные комплексы Центрально-Уральского поднятия и Тагильского прогиба; *7* – осадочные отложения Западно-Сибирской геосинеклизы; *8* – интрузивные комплексы основного и ультраосновного состава (а), гранитоидные комплексы (б); *9* – профили ГСЗ (Агат-2 (1), Купянск–Воркута (2), Полярно-Уральский трансект ГСЗ, МОВЗ (3), положение сводного разреза по полярной части Уральской складчатой системы (4))

Отметим только, что, по представлению С.Л. Костюченко и др., географическое положение двух основных полярных структур Уральского региона оставалось неизменным в течение всего палеозоя и раннего мезозоя, несмотря на предполагаемое изменение движения литосферных плит. Все рассмотренное может свидетельствовать о наличии прямой связи приповерхностных структур с особенностями глубинного строения. Полученные данные не подтверждают наличия *глубинных листрических разломов*; горизонтальные перемещения, вероятнее всего, происходят по разного рода субвертикальным сдвигам блоков земной коры [30].

Важное значение для региональной геологии имеет решение вопроса о продолжении собственно уралид к востоку от исследуемых районов. Не исключено, что восточнее 72° пограничная структура сменяется зоной глубинных дислокаций восточно-северо-восточного направления, которая отделяет Заполярный сектор от остальной территории Западно–Сибирского осадочного бассейна (рис. 25). Помимо характерных особенностей потенциальных полей на это указывают результаты бурения Ень-Яхинской сверхглубокой скважины СГ-7, расположенной в 170 км северо-северо-западнее Тюменской СГ-6. В нижней части разреза обнаружена достаточно мощная толща базальтов триаса от 6820 м до 8250 м (забой скважины) явно мантийной принадлежности [2]. Район СГ-7 приходится на пересечение Уренгойского субмеридионального поднятия с предполагаемой субширотной дислокацией.

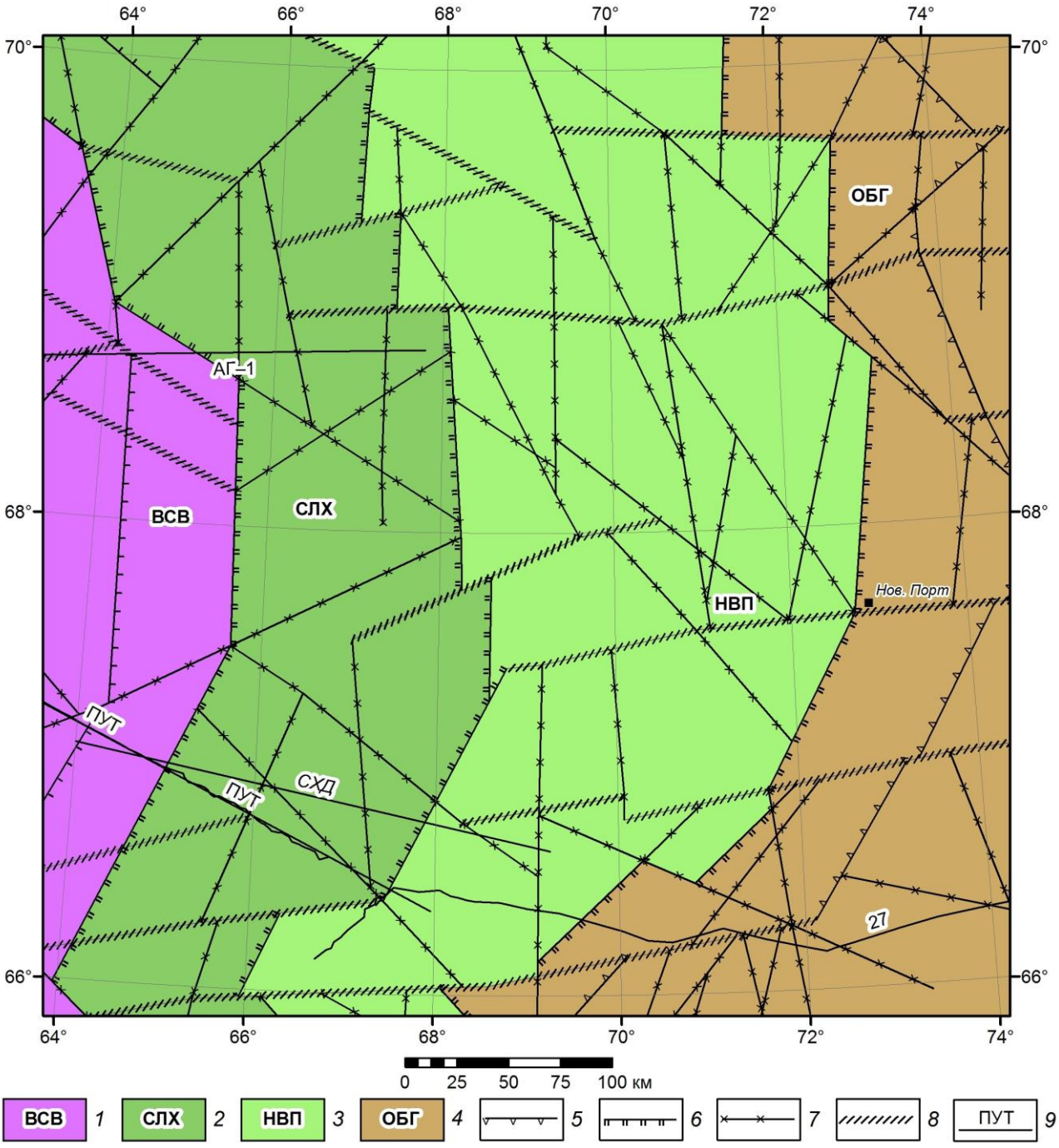


Рис. 25. Схема тектонического районирования консолидированной коры Ново–Портовско–Салехардского района Западно-Сибирской геосинеклизы.

Условные обозначения. Блоки (*1–4*): *1* – ВСВ – Войкаро-Сыньинский (ЦУП), *2* – СЛХ – Салехардский (Тагильский прогиб), *3* – НВП – Ново-Портовский (Зауральское поднятие), *4* – ОБГ – Обско-Губинский (ЗСГБ); *5* – западное ограничение Западно–Сибирского геоблока; *6* – контуры Центральной структуры УСС; разломная тектоника (*7*, *8*): *7* – глубинные разломы, *8* – субширотные дислокации; *9* – линии профилей ГСЗ, ОГТ: Агат-1 (АГ-1), Полярно-Уральский трансект (ПУТ), Салехардский (СХД), региональный профиль ОГТ 27

3.3. Особенности глубинного строения и схема тектонического районирования Уральского региона

Значительная территория исследований позволила уточнить положение Уральской складчатой системы как пограничной мегаструктуры или крупного мегашва ВЧЛ между геоблоками Евроазиатского континента: Восточная окраина ВЕП, Тимано-Печорская плита (ТПП), принадлежащая, возможно, к южному окончанию Баренц-платформы, Западно–Сибирская платформа и Казахстанская плита. Влияние перечисленных кратонов сказалось на специфике глубинного строения УСС, размеры и взаимоотношение входящих в ее состав структур первого и второго порядков. При общем субмеридиональном простирании выделены секторы Южный, Средний, Северный (Приполярный), Полярный, разграниченный субширотными дислокациями в районах 55–56°, 59–60° и 64–65° с.ш. В ряде случаев они объединяют узловые объекты диагональных дислокаций северо-западного и северо-восточного направлений.

3.3.1. Контуры Уральской складчатой системы

Западная граница. Предуральский прогиб, входящий по специфике глубинного строения в Западно–Уральскую мегазону, на западе граничит с основными подразделениями восточной окраины ВЕП и ТПП. Определение положения этой границы севернее 64° с.ш. затруднено в связи существенной перестройкой структурно-тектонического плана Уральского региона на неотектоническом этапе развития и, возможно, в более позднее время. На это указывает разворот структурных подразделений ТПП с северо–северо–западного на северо–северо–восточное направление [26], разворот в северо-восточном направлении Центрально-Уральской мегазоны и структур Западно–Уральской мегазоны в противоположном северо-западном направлении в

сторону Пай-Хоя. За счет предполагаемых крупных сдвигов образовался своеобразный «карман» в контурах границы между ТПП и УСС в пределах 66–68° с.ш. Положение Предуральского прогиба уточнено при рассмотрении дополнительной информации по Полярно-Уральскому трансекту, приведенной в подразделе 3.2.

Затруднения в прослеживании западной границы УСС имеются на уровне 61–59° с.ш., где происходит сочленение Тимано-Печорской плиты и восточного мегаблока Восточно-Европейской платформы с Уральской складчатой системой. Согласно схемам тектонического районирования, основная роль в сближении указанных структур принадлежит выступу в восточном направлении Коми-Пермяцкого мегаблока ВЕП. За счет этого замыкаются структуры Тимано-Печорского геоблока при относительно выдержанном субмеридиональном простирании УСС. Тиманское поднятие при этом следует относить к Южно-Тиманскому блоку, расположенному в трансрегиональной зоне субширотных дислокаций. Южнее параллели 60° в положении западной границы выделены два «кармана» в районах Камского водохранилища и н.п. Кунгур. Между ними находится Пермский выступ. Образование этих структур, возможно, также произошло за счет сдвиговых деформаций северо-западного и северо-восточного направлений. Наиболее значительный выступ в положении границы наблюдается южнее н.п. Нязепетровск, соответствующий Тараташскому поднятию УСС в пределах 56–55° с.ш. Затем намечается смещение рассматриваемой границы в западном направлении до 56° в.д. на 54° с.ш. Таким образом, в пределах 68–54° на фоне общего северо–северо–восточного направления западной границы Уральской складчатой системы отмечены значительные осложнения, связанные с крупными северо–западными и северо–восточными сдвигами.

Восточная граница. Положение восточной границы более надежно определяется в местах сочленения УСС через пограничный шов с древними срединными поднятиями (Надымским, Ханты-Мансийским, Шаимско-

Кузнецовским) западной части Западно–Сибирской платформы. На юге, начиная с 58° с.ш. рассматриваемой территории, пограничный шов разделяет УСС и мегаблок Северного Казахстана. В полярном секторе контуры центральной и восточной мегазон, перекрытые осадками MZ–KZ, значительно смещены на восток–северо–восток до 72–74° в.д.; соответственно меняет положение пограничный шов. К северу от 67° с.ш. наблюдается разворот указанных структур в противоположном направлении, что соответствует поведению западной границы УСС. Более подробно этот вопрос рассмотрен в следующем подразделе.

В пределах широт 61–66° восточная граница уралид имеет юго–юго–западное простирание, субпараллельное ее западной границе, в результате чего УСС характеризуется выдержанными поперечными размерами 350–400 км (см. рис. 27). Положение восточной границы также осложнено глубинными разломами, возможно, сдвиговой природы, а южнее 64° с.ш. – северо–западными дислокациями, которые разделяют Надымский и Ханты-Мансийский мегаблоки и соответствующие им срединные поднятия. В интервале 61–58° с.ш. наблюдаются значительные осложнения в положении восточной границы. Они приурочены к Шаимско–Кузнецовскому массиву, значительно выдвинутому в западном направлении. Отметим, что сложный характер восточной границы УСС в интервале 61–58° с.ш. отчетливо проявлен в положении западной границы мезокайнозойского осадочного бассейна. В районе широты 58° намечается смещение границ УСС в противоположных направлениях и связанное с этим обстоятельством расширение УСС до 600 км. Такая аномалия может указывать на присутствие здесь субширотной трансрегиональной дислокации, к которой приурочены аномалии структурно-тектонического плана за пределами Уральского региона. К югу от нее простирание восточной границы до широты 54° характеризуется юго-юго-западным направлением, осложненное диагональными и глубинными разломами.

Анализ положения контуров Уральской складчатой системы на разных глубинных уровнях верхней части литосферы подчеркивает значительную глубину ее заложения и субвертикальность ограничивающих ее дислокаций. Это отчетливо видно на представленной схеме тектонического районирования ВЧЛ.

3.3.2. Особенности строения верхней части литосферы основных подразделений Уральского региона

Схемы тектонического районирования для трех основных подразделений верхней части литосферы представлены на рис. 26. Кристаллическая кора в отличие от 2D–моделей дана без детального разделения на II СГЭ, представленный комплексами нижнеархейского фундамента; III СГЭ (нижняя кора, возможно, протокора), в которую включен переходный мегакомплекс К–М в низах кристаллической коры. Схематические карты рельефа основного сейсмогеологического раздела М ($М_{сг}$) даны на рис. 27, рельефа нижнеархейского кристаллического фундамента ($К_{01}$) – на рис. 28. В результате профильных исследований установлена значительная изменчивость структурных и плотностных параметров нижней коры и переходного слоя, что, естественно, относится к межпрофильному пространству и разнообразию их проявления в наблюденном поле Δg. Поэтому на данной стадии построения 3D–моделей ограничились одним общим подразделением – кристаллической корой (рис. 29).

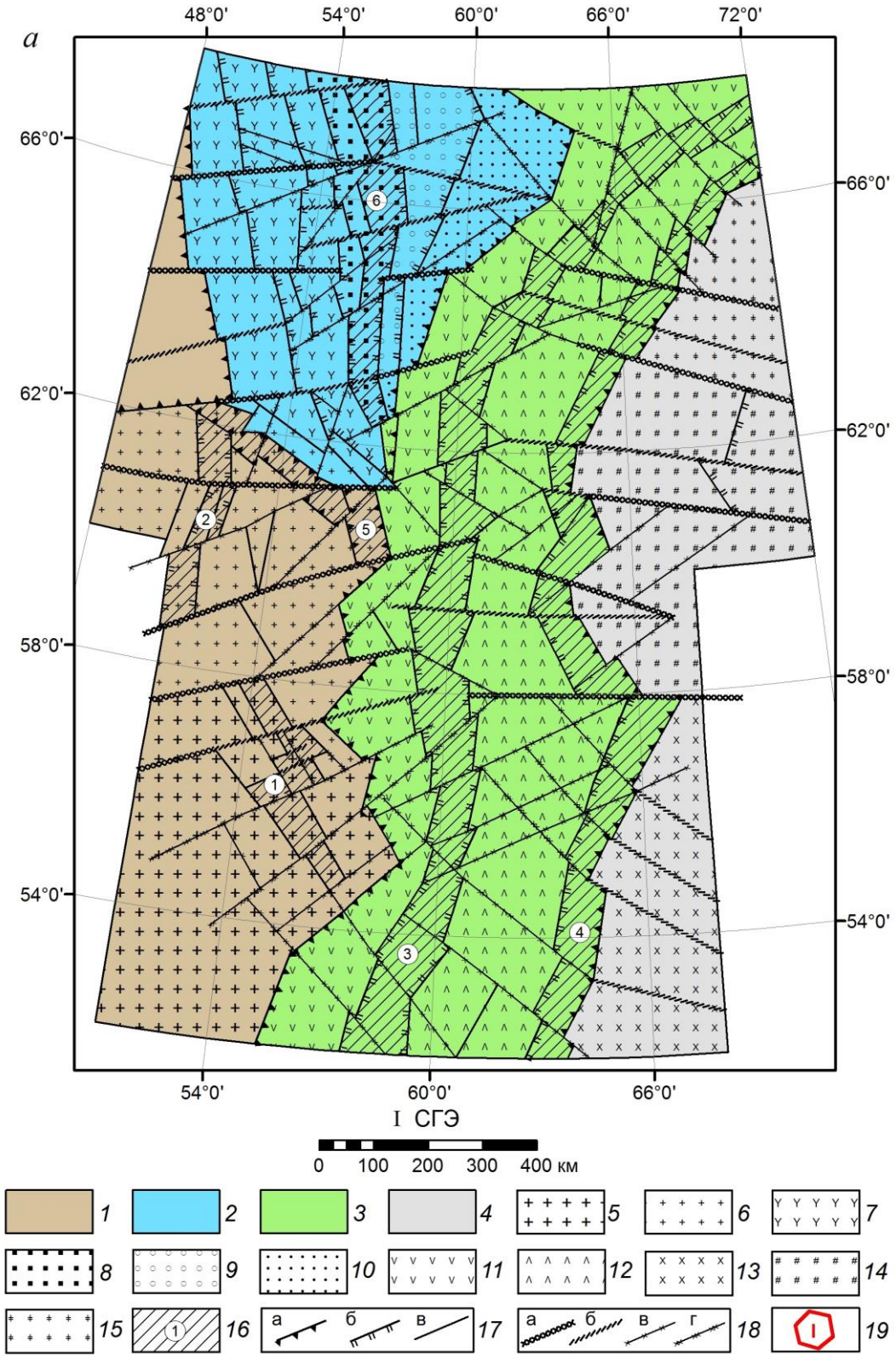
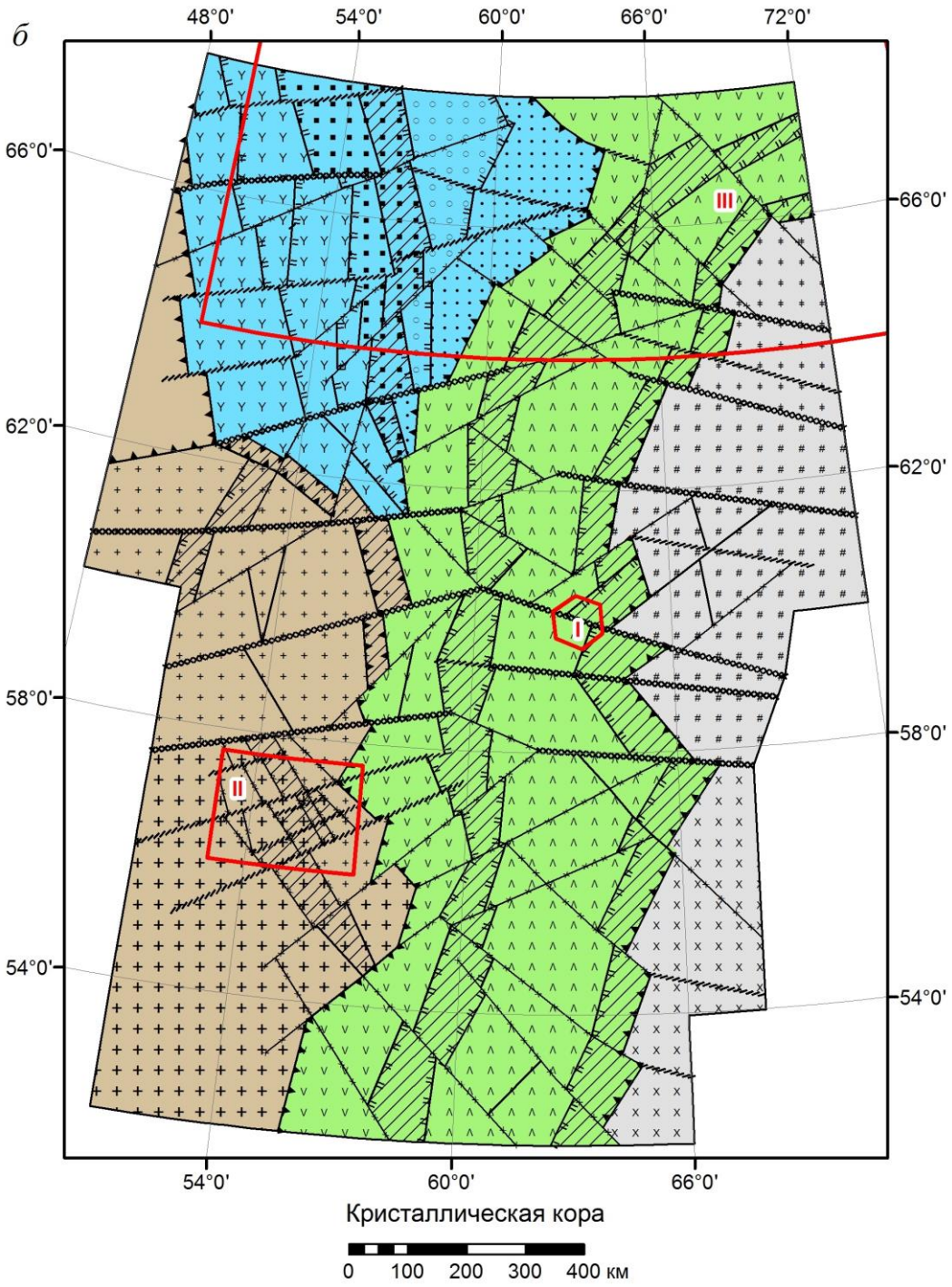
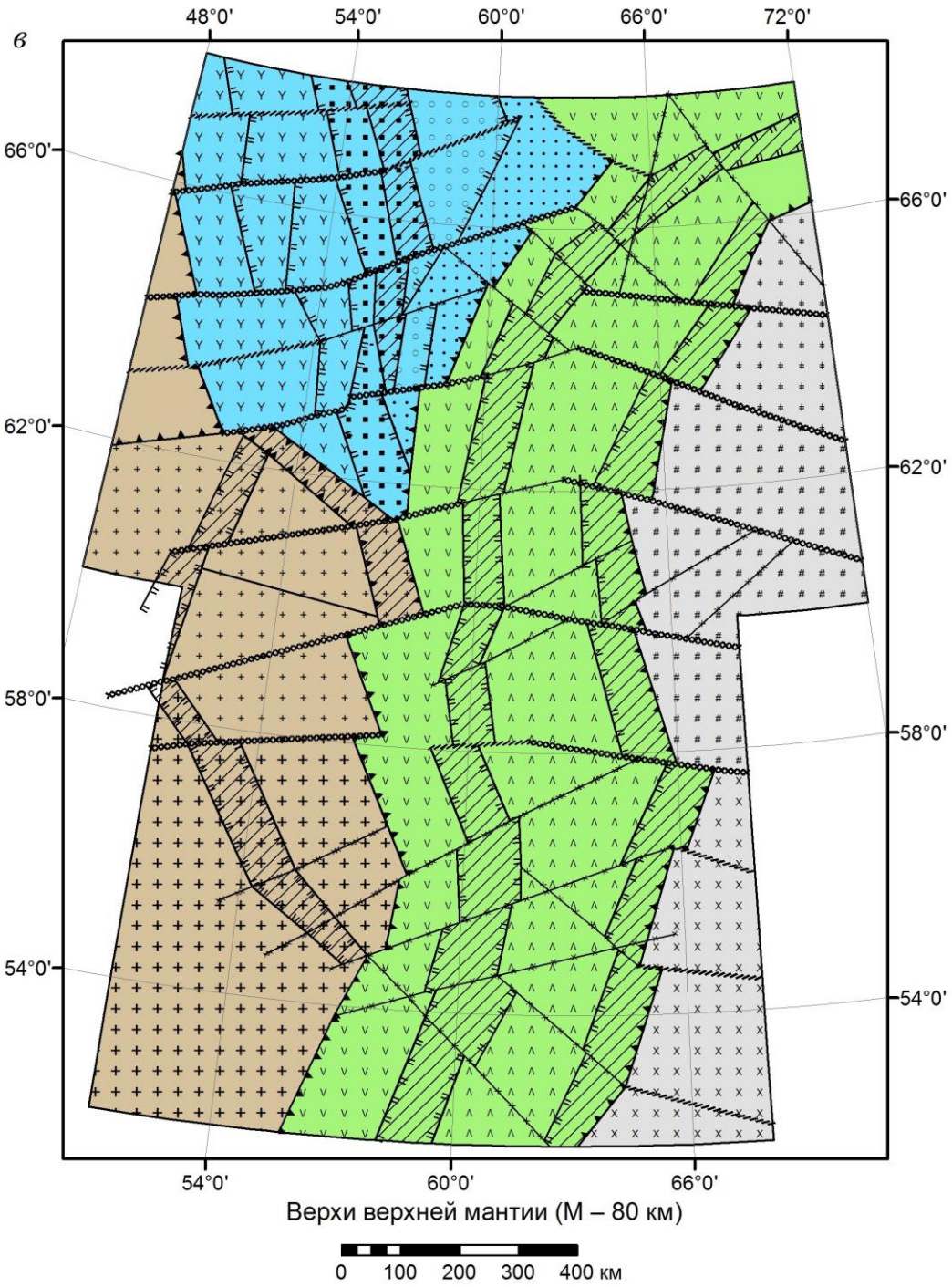


Рис. 26. Схематическая карта тектонического районирования верхней части литосферы:

а – первого сейсмогеологического этажа ($К_0$–$К_{01}$), *б* – кристаллической коры ($К_{01}$–$М_{ст}$), *в* – верхи верхней мантии (М–80 км) [29, 30].


б
48°0'
54°0'
60°0'
66°0'
72°0'
66°0'
62°0'
58°0'
54°0'
I
II
III
Кристаллическая кора
0 100 200 300 400 км


в
48°0'
54°0'
60°0'
66°0'
72°0'
66°0'
62°0'
58°0'
54°0'
Верхи верхней мантии (М – 80 км)
0 100 200 300 400 км

Условные обозначения. Геоблоки (*1–4*): *1* – Восточно-Уральский (ВУГБ), *2* – Мезенско-Беломорский (МБГБ), *3* – Уральская складчатая система (УСС), *4* – Западно-Сибирский и Казахстанский (ЗСГБ, КЗГБ); мегаблоки (*5–15*): *5* – Татаро-Камский (ТКМБ), *6* – Коми-Пермский (КПМБ), *7* – Ижма-Тиманский (ИТМБ), *8* – Печерский (ПЧМБ), *9* – Хорейвейско-Чернышевский (ХЧМБ), *10* – Косьва-Роговский (КРМБ), *11* – Западно-Уральская мегазона (ЗУМЗ), *12* – Восточно-Уральская мегазона (ВУМЗ), *13* – Северо-Казахстанский (СКМБ), *14* – Ханты-Мансийский (ХММБ), *15* – Надымский (НДМБ); *16* – контуры предполагаемых палеоактивных структур верхней части литосферы, цифрами в кружках обозначены: Калтасинский рифт-авлакоген (1), Кировско–Кажимский авлакоген (2), Центрально-Уральская мегазона (3), Пограничный шов – восточная граница УСС (4), Пограничный шов между ВУГБ и ТПГБ (5), Центрально-Печерская мегазона; *17* – контуры геоблоков (а) и мегазон (б), контуры блоков, соответствующие глубинным разломам первого–третьего порядков; *18* – разломная тектоника: субширотные дислокации первого (а) и второго (б) порядков; преимущественно диагональные разломы (в), возможно, сдвиговой природы (г); *19* на схеме *б* – контуры: I – Ереминской площади, II – Бардымской площади, III – Ново–Портовско–Салехардского района

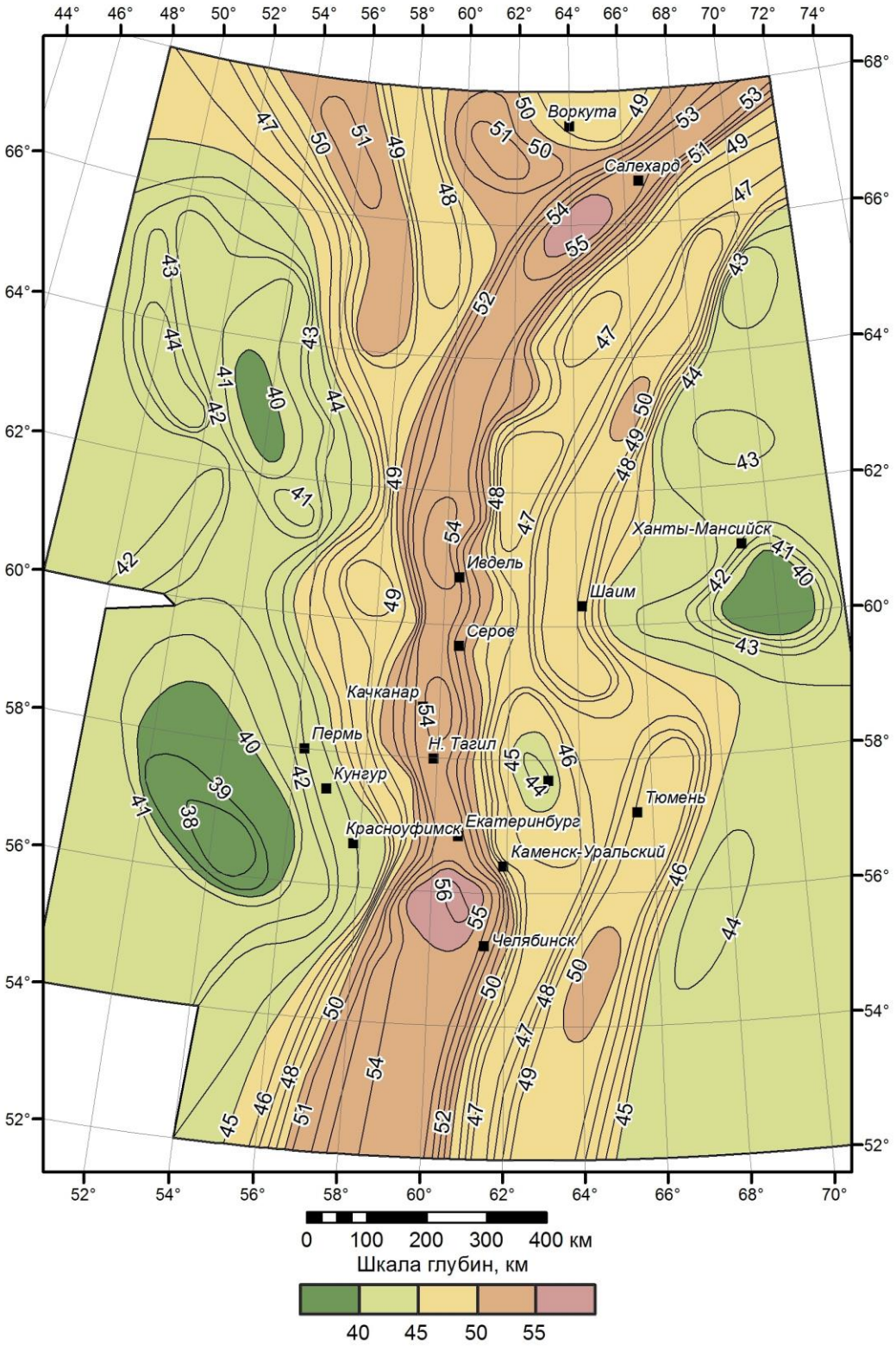


Рис. 27. Схематическая карта рельефа основного сейсмогеологического раздела М [29].

Линиями с цифрами обозначены изогипсы основного сейсмогеологического раздела М, км

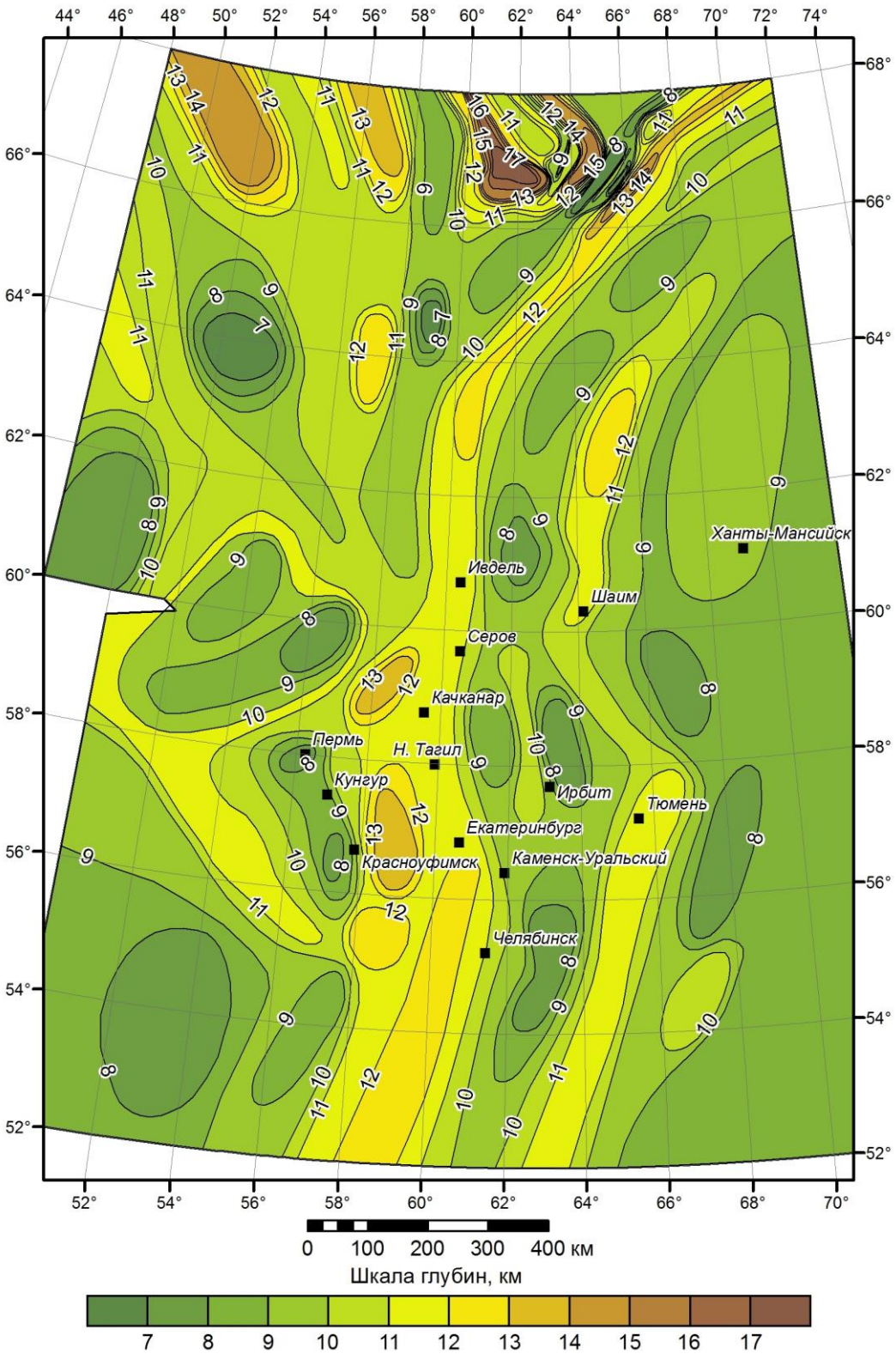


Рис. 28. Схематическая карта рельефа древнего кристаллического фундамента $К_{01}$ [29].

Линиями с цифрами обозначены изогипсы древнего кристаллического фундамента $К_{01}$, км

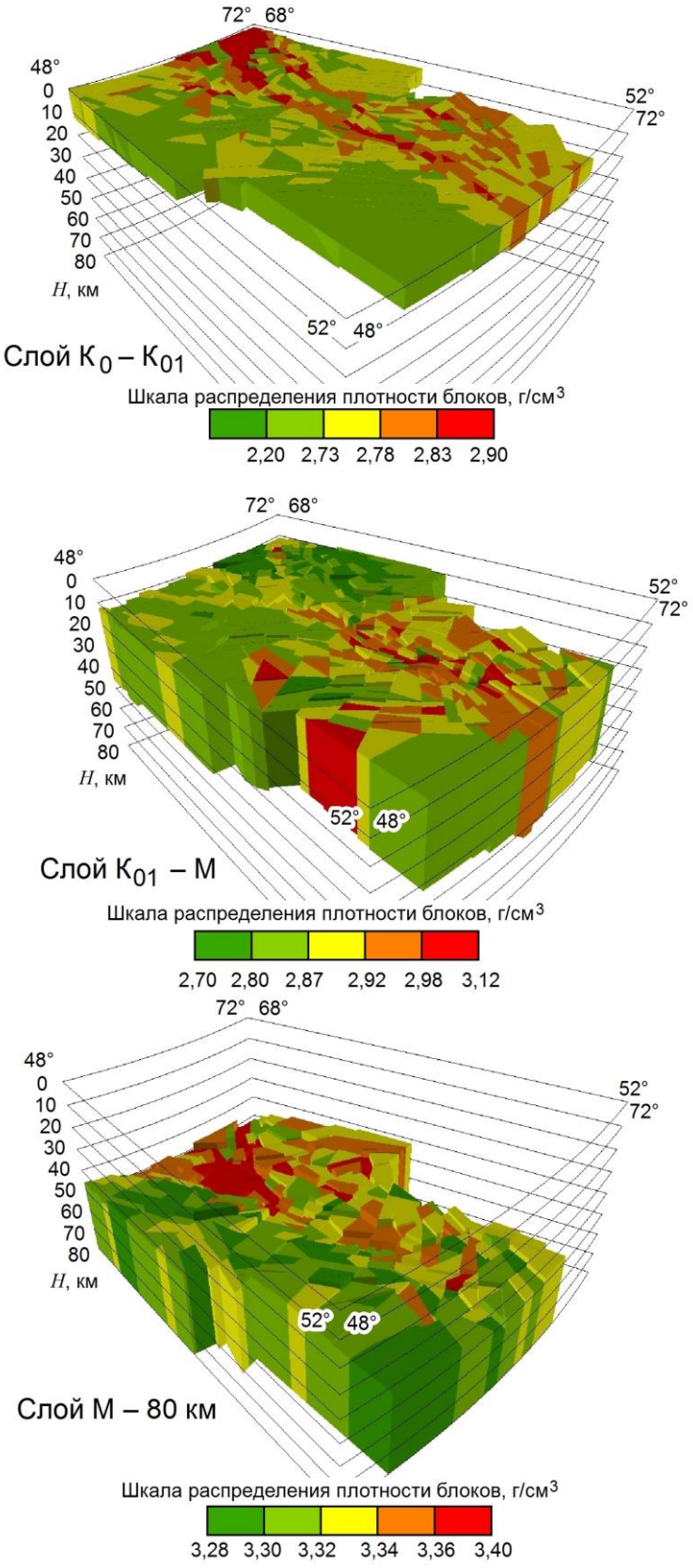


Рис. 29. Плотностная 3D–модель северной и центральной частей Уральского региона [29].

Центрально-Уральская мегазона Уральской складчатой системы. Данная структура значительно отличается по глубинному строению ВЧЛ от окружающих кратонов: увеличенной мощностью земной коры в среднем на 15 км; преимущественно повышенной основностью; присутствием в низах коры специфического сложноустроенного мегакомплекса повышенной мощности до 15–20 км со значительными вариациями значений скорости продольных волн (7-8 км/с); повышенными скоростными параметрами для верхов верхней мантии. Соседние мегазоны УСС (Западно–Уральская и Восточно–Уральская) характеризуются промежуточными значениями. Подобное глубинное строение пограничных швов характерно для зоны сочленения (сопряжения) Западно–Европейской и Восточно-Европейской платформ (линия Торнквиста–Тессейра), Западно–Сибирского и Восточно-Сибирского кратонов Евразийского континента. Указанные особенности активных в тектоническом плане пограничных макроструктур не согласуются с положением плиттектоники, в частности, о наличии крупных шарьяжей. Полученные результаты требуют обсуждения, тем более что до сих пор нет конкретных сведений о наличии таких шарьяжей. Ссылки на предполагаемый сценарий развития структур Земли в прошлом носят в основном гипотетический характер.

Восточная окраина ВЕП. Представлена мегаблоками: на западе Татаро–Камским и Коми–Пермским, на востоке – Пермско-Башкирским, относящимися к различным по строению структурам кристаллического фундамента: нижнеархейского и нижнепротерозойского возраста соответственно. Присутствие нижнеархейского фундамента (поверхность $К_{01}$) предполагается и в Пермско-Башкирском мегаблоке по аналогии с карелидами Балтийского щита. Активные тектонические структуры ВЧЛ представлены Калтасинским рифт-авлакогеном с аномальными чертами глубинного строения. Для него характерно северо–западное направление простирания с расширением контуров до 100 км в районе 56°20'–57°20' с.ш. за счет глубинных сдвигов. Второй

структурой является Кировско-Кажимский авлакоген северо-северо-восточной ориентировки, сочленяющийся в районе 62° с.ш. с пограничным швом между Волго–Уральским и Тимано–Печорским геоблоками.

Основная характеристика параметров ВЧЛ следующая: мощность земной коры варьирует от 33 км до 44 км, глубина залегания нижнеархейского фундамента от 4–8 км на поднятиях до 12–13 км в отрицательных структурах, мощность нижней коры изменяется от 7–10 км в области Калтасинской аномальной структуры до 15–25 км на большей части территории; расслоенность верхней части мантии по сейсмическим и сейсмологическим данным.

Тимано-Печорский геоблок. По особенностям глубинного строения подразделяется на четыре мегаблока и Центрально-Печорскую рифтовую зону (см. рис. 27). Более подробно этот вопрос рассмотрен в работе [26]. Максимальные размеры геоблока (до 700 км) наблюдаются на широтах 66–67° с.ш., минимальные (до 250 км) на юге в районе 62° с.ш. Мощность земной коры изменяется от 38 км до 50–55 км, поверхность древнего нижнеархейского кристаллического фундамента $К_{01}$ может находиться на глубинах 7–8 км на приподнятых блоках и до 15 км в отрицательных структурах. В связи с существенным сужением контуров ТПП южнее 64° усложняются глубинное строение и прослеживание основных подразделений геоблока. Значительное количество субмеридиональных глубинных разломов, субширотных дислокаций и диагональных наклонных разломов, возможно, сдвиговой природы является существенным препятствием для познания специфики глубинного строения ТПП, особенно при слабой изученности территории глубинными сейсмическими исследованиями. Поэтому, несмотря на продолжительную историю геолого-геофизических исследований плиты, многие принципиальные вопросы тектоники, геодинамики по-прежнему остаются проблематичными, в том числе главный из них – к какой

надпорядковой геологической структуре относится ТПП: северо–восточной части ВЕП или южному клинообразному сегменту Баренц-платформы. Согласно полученным данным, Тимано–Печорский геоблок – самостоятельное подразделение континентальной коры. Вряд ли его можно рассматривать в составе Восточно-Европейской платформы, поскольку он отличается от ВЕП в первую очередь масштабностью и разнотипностью тектонических процессов в протерозойско-рифейский период развития с активностью геодинамических режимов в раннем и позднем протерозое, а затем в палеозое вплоть до неогена, не исключая современный этап развития. Существенная перестройка в приполярных и полярных широтах тектонического плана помимо ТПП наблюдается также в УСС и Западно–Сибирском геоблоке, что может указывать на существование глобального энергетического источника. Не исключено, что образование СЛО на месте древнего континента (одна из гипотез) причинно связано с предполагаемыми глобальными событиями.

Информация о глубинном строении Печорского и Карского морей показывает, что они не имеют существенных отличий от соответствующих северных приарктических зон Тимано-Печорского и Западно–Сибирского геоблоков. Поэтому в качестве предположения нами высказывается мнение о том, что геоблок ТПП – это южное продолжение (сегмент) Баренц-платформы, который обладает сложным внутренним устройством, в том числе в связи с его положением между соседними макрогеоструктурами.

Западно–Сибирский геоблок. Изучена только его самая западная часть, представленная преимущественно срединными поднятиями, которым соответствуют блоки ВЧЛ с характерными особенностями глубинного строения, отличными от блоков УСС и подобным древним сводовым поднятиям Восточной окраины ВЕП. К ним относятся такие показатели, как сокращенная мощность земной коры (38–42 км), что по сравнению с центральной частью УСС на 15 км меньше, а с учетом осадочных отложений

MZ–KZ разница будет еще больше; приподнятое положение поверхности древнего кристаллического фундамента и сокращенная мощность пород домезозойского основания; повышенная степень деструкции коры в отдельных зонах с наличием метаморфизованных комплексов, интрузивных тел основного, ультраосновного и кислого составов, причем гранитоидные массивы, возможно, отвечают стадии регранитизации древних гранитогнейсовых куполов. Верхи верхней мантии существенно расслоены по сейсмическим параметрам. Субширотными дислокациями западная часть Западно–Сибирской платформы разделена на мегаблоки: Северо-Казахстанский на юге, Ханты–Мансийский в средней части и Надымско–Новопортовский на севере (см. рис. 26).

При сравнении приведенного макета тектонического районирования с существующими тектоническими картами, выкопировки из которых представлены на рис. 2, 3, особо следует отметить значительную разницу по восточной части Уральского региона в границах собственно уралид; наличие наряду с широтной зональностью и меридиональную, глубинных разломов северо-западного и северо-восточного простирания, возможно, сдвиговой природы. Эти расхождения объясняются различием используемой информации: только приповерхностные структуры, рассматриваемые с позиции плиттектоники или преимущественно на основе разломно-блоковой модели верхней части литосферы. Примеры тектонического районирования относятся ко второй половине XX в. В основе оно осталось неизменным, о чем свидетельствуют публикации по этому вопросу [65]. Но приведенная ранее информация свидетельствует о том, что структуры континентальной коры и, прежде всего первого порядка, имеют глубокое заложение.

3.3.3. Проблемные вопросы тектоники и эволюции геоструктур Уральского региона

На основе обширной информации о строении ВЧЛ Уральского региона обсуждаются некоторые проблемные вопросы тектоники и эволюции входящих в ее состав четырех крупных подразделений. К ним прежде всего относятся следующие.

– Содержание и контуры Уральской складчатой системы, собственно уралид.

– Что представляет собой Западно–Сибирский мегаблок – древнюю платформу или молодую плиту, образованную на месте окружающих складчатых систем или коре океанического типа?

– Что является движущими силами развития геологических структур?

– Что принимать за фундамент в отрицательных структурах древних платформ, плитах, складчатых системах?

– Наличие (или отсутствие) связи между приповерхностными глубинными структурами.

– Почему нельзя считать, что картина глубинного строения ВЧЛ современна, т.е. отображает последнюю стадию развития континентальной коры?

Замечания (пояснения) по этим вопросам приводим далее.

Термин «собственно уралиды» введен для комплексов пород, входящих в состав Уральского подвижного пояса. Это особое образование литосферы, соответствующее пограничному шву между двумя платформами Евразийского континента. Данный термин подчеркивает уникальность Уральской складчатой системы [65]. Специфический облик этой структуры создан в результате активных тектонических процессов, происходящих в литосфере преимущественно в верхнеордовикско-нижнесилурийское время (Средний и Северный Урал). На Южном Урале временной диапазон расширен за счет $D_{1–2}$. Последующие процессы носили рассредоточенный характер, захватывая более обширные территории. Мегакомплекс, соответствующий активному этапу развития УПП, сложен преимущественно вулканитами основного состава со

значениями плотности σ = 2,80–2,88 г/см^3, присутствует в Тагильско-Магнитогорском прогибе, где его мощность достигает 6–8 км; в других отрицательных структурах УСС данные отложения развиты не так масштабно. Верхний мегакомплекс возраста S_2–C (герциниды) в отличие от предыдущего имеет широкое распространение в Уральском регионе и характеризуется существенно меньшими значениями мощности и осредненными значениями плотности на 0,05–0,12 г/см^3, меньше, чем в нижнем подразделении. В его состав входят главным образом вулканиты среднего, кислого состава, карбонатно-терригенные породы, сланцы различного состава. Внешние контуры УПП, возможно, представлены пограничными структурами второго порядка.

Западная граница. Предуральский пермский прогиб унаследовал отрицательную рифт-авлакогенную структуру (см. рис. 5), образованную на месте Западного склона Урала в PR–R период развития рассматриваемой территории. Поэтому западный борт этого прогиба и является указанной границей. Восточная граница собственно уралид совпадает с пограничным швом, который окончательно сформировался в послесилурийское время на месте западной части Тюменско-Кустанайского прогиба. К востоку от него расположены древние срединные массивы Западно–Сибирского геоблока (Тобольско-Убаганский, Ханты-Мансийский, Надымский). В южной части рассматриваемой территории пограничный шов отделяет УПП от Северо–Казахстанского мегаблока.

Отличительные особенности глубинного строения («корни») УСС по данным ГСЗ, МОВЗ, прослежены до глубины не менее 200 км, что, несомненно, указывает на преобладающую роль в развитии этого пояса эндогенных процессов в верхней мантии. Не исключено, что на некоторых стадиях она формировалась как рифтовая структура.

Сравнение моделей земной коры для однотипных, но разновозрастных структур (см. табл. 1), разрезы для верхней части которых представлены на рис.

12, показали, что такие параметры, как мощность коры, включая переходный мегакомплекс и его мощность, мощность вулканических образований и их физические параметры, зависят от возраста и продолжительности развития структуры. Рассмотрим это положение для ЦУМЗ и Уренгойской зоны рифта. При подобии специфики глубинной модели пограничных структур различия между ними составляют по первому параметру примерно 15 км, по второму – около 10 км, третьему – 6–7 км. При одинаковом химическом составе вулканитов основного состава уральские палеозойские базальты (O–S) отличаются от уренгойских (P–T) по значениям скорости на 1,0–1,5 км/с и плотности на 0,05–0,07 г/см^3. Активные процессы в верхней мантии, создавшие рассматриваемый тип пограничных структур, начались на Урале в $PR_{1–2}$, максимум активности пришелся на O–S и $D_{1–2}$, в Уренгойской зоне S_2–D и P–T. Если сравнить их с подобными структурами за пределами Уральского региона, к примеру Печенгской зоны Балтийского щита, то получается, что современный облик континентальной коры УСС есть результат всего предшествующего развития и цикличности активных процессов в верхней мантии, которые в свою очередь зависят от масштабности геологических подразделений окружения, сопряженных с рассматриваемым типом геологической среды.

Глубинный разлом под названием Главный Уральский, возможно, существует в действительности, но его затруднительно проследить в нижней коре вследствие значительной раздробленности геологической среды и непостоянства его положения по глубине и простиранию, установленных на субширотных разрезах ГСЗ. ГУР принято считать западной границей Тагило–Магнитогорского прогиба [6, 65]. Но контуры осевой части УСС существенно больше. Поэтому правильно считать его не ГУР, а, например, Западно-Тагильским или Западно-Магнитогорским на юге, к которому приурочена цепочка массивов габбро-перидотитов. По геофизическим данным этот глубинный разлом отождествляется с супермаксимумом гравитационного поля (термин введен Е.М. Ананьевой) со значениями поля Δg от 40 до 100 мГал, что

может быть обусловлено дискретным характером расположения массивов по простиранию УСС. Такие особенности гравитационного поля осложняют картирование глубинного разлома в промежутках между массивами.

Горизонтальные напряжения проявлены в смещениях блоков земной коры (и отдельных ее частей) по сдвигам, соответствующим сбросам (взбросам) по субвертикальным глубинным разломам преобладающих северо-восточного и северо-западного направлений. Крупных шарьяжных структур не отмечено. Глубинные надвиги, намечаемые на временных разрезах стандартного ОГТ иногда по всей мощности коры, сомнительны, поскольку происходит объединение предполагаемых отражающих элементов на фоне невыразительной волновой картины, присущей неоднородным дискретным средам. Бурение ряда глубоких и сверхглубоких скважин не подтвердило прогнозные разрезы, построенные по данным ОГТ. Сошлемся на результаты бурения Кулгунинской скважины на Башкирском антиклинории Южного Урала, которая должна была вскрыть аллохтон на глубине менее 4,0 км. Скважина пробурена до *H*=5,1 км. Установлен нормальный разрез рифейской толщи, суммарная мощность которого может быть определена в 7,0–8,0 км. Именно на этой глубине по данным ГСЗ на Троицком профиле (см. рис. 19, *г*), прослежена поверхность древнего кристаллического фундамента ($К_{01}$). Не установлены элементы надвиговой тектоники по итогам бурения Уральской СГ-4. Нормальный разрез вулканических отложений нижнесилурийского возраста вскрыт до глубины 6,2 км. В основных чертах подтвержден прогнозный разрез, составленный на основе разномасштабных региональных сейсмических работ по ГСЗ [21]. Четкая блоковость строения всей земной коры, установленная по данным профильных наблюдений ГСЗ в Уральском регионе, не согласуется с постулатами плиттектоники. Например, две соседние основные структуры ЦУМЗ (Тагильский прогиб и Салдинское поднятие) и соответствующие им блоки земной коры на Красноуральском профиле ГСЗ значительно различаются по строению и физическим параметрам.

Показательны для рассматриваемого вопроса также результаты бурения Германской сверхглубокой скважины (КТБ). Она была запроектирована для обнаружения на глубине 2,5–3,0 км поднадвиговых осадочных отложений, перекрытых кристаллическими породами. Эта ситуация прогнозировалась по данным сейсмических наблюдений методом ОГТ. Достигнув глубины 9,2 км, скважина так и не вскрыла прогнозируемый аллохтон. Глубинный разлом оказался крутопадающим под углом ~70°. Таким образом, нет убедительных доказательств в виде однозначно трактуемых фактов наличия в континентальной коре крупных шарьяжных структур.

Вопрос о древнем нижнеархейском фундаменте континентальной коры. Нуклеарная стадия развития Земли завершилась в AR_1 образованием специфического планетарного суперкомплекса, так называемых серых гнейсов, за счет повсеместных процессов ультраметаморфизма первично базальтовых пород. Древний архейский цоколь должен обладать близкими значениями физических параметров, прежде всего скорости и плотности. Это и наблюдается в действительности и позволяет предположить существование регионально выдержанной поверхности нижнеархейского кристаллического фундамента. Частично это отображено на рис. 12 для положительных и отрицательных структур. Благодаря бурению сверхглубоких и глубоких скважин и современным работам ОГТ на региональных профилях на территории ВЕП можно считать доказанным наличие нижнеархейского фундамента в отрицательных структурах: авлакогенах, впадинах и нижнепротерозойских шовных структур, таких как Печенгский рифт. В пределах Уральской складчатой системы он, вероятно, присутствует, по данным ГСЗ, на западном склоне Урала, что косвенно подтверждено бурением глубокой скважины. Выделение его в ЦУМЗ более проблематично из-за сложного строения и широкого развития интрузивной и вулканической деятельности. Но большинство интрузивных тел расположены в верхних горизонтах коры, а ниже, согласно скоростным разрезам, могут находиться

комплексы с близкими значениями – серые гнейсаы (V_p=6,2±0,2 км/с). Не исключено, что древний мегакомплекс частично переработан активными интрузивными процессами. В прогнозной модели Уральской СГ-4 (см. рис. 12) древний кристаллический фундамент показан на глубине 12,0±1,0 км. Укажем также, что роль СГ-3 в решении вопроса о нижнеархейском фундаменте очевидно недооценена.

Западно–Сибирский геоблок существенно отличается по глубинному строению литосферы до глубины, по крайней мере, 150 км (на рис. 30 представлены данные интерпретации длинных годографов, полученных при регистрации подземных ядерных взрывов на геотраверсах, отработанных Центром «ГЕОН» [63]) от соседних обрамляющих его складчатых систем. Причем установлено, что западная пограничная система (УСС) и Енисейский кряж на востоке (см. рис. 18) имеют подобные черты глубинного строения, которые в редуцированном виде проявлены только в отдельных рифтовых зонах ЗСП, например в Уренгойской структуре. Другой возможной особенностью строения ЗСГБ является широкое присутствие древних срединных массивов, строение которых подобно древним щитам Восточно–Европейской и Восточно–Сибирской платформ. В частности, укажем на сходство глубинной структуры Южно-Татарского свода архейского возраста и Ханты-Мансийского срединного массива. Во всех трех крупных геологических подразделениях континентальной коры присутствуют отложения промежуточного комплекса: возраста R_1–V на ВЕП, R_1–Cm на ВСП и P–T в Западной Сибири. Приведенная информация позволяет предположить, что Западно–Сибирский осадочный бассейн (включая отложения промежуточного комплекса) заложился на древней платформе, которая начиная с верхнесилурийского времени подверглась влиянию активных процессов в мантии.

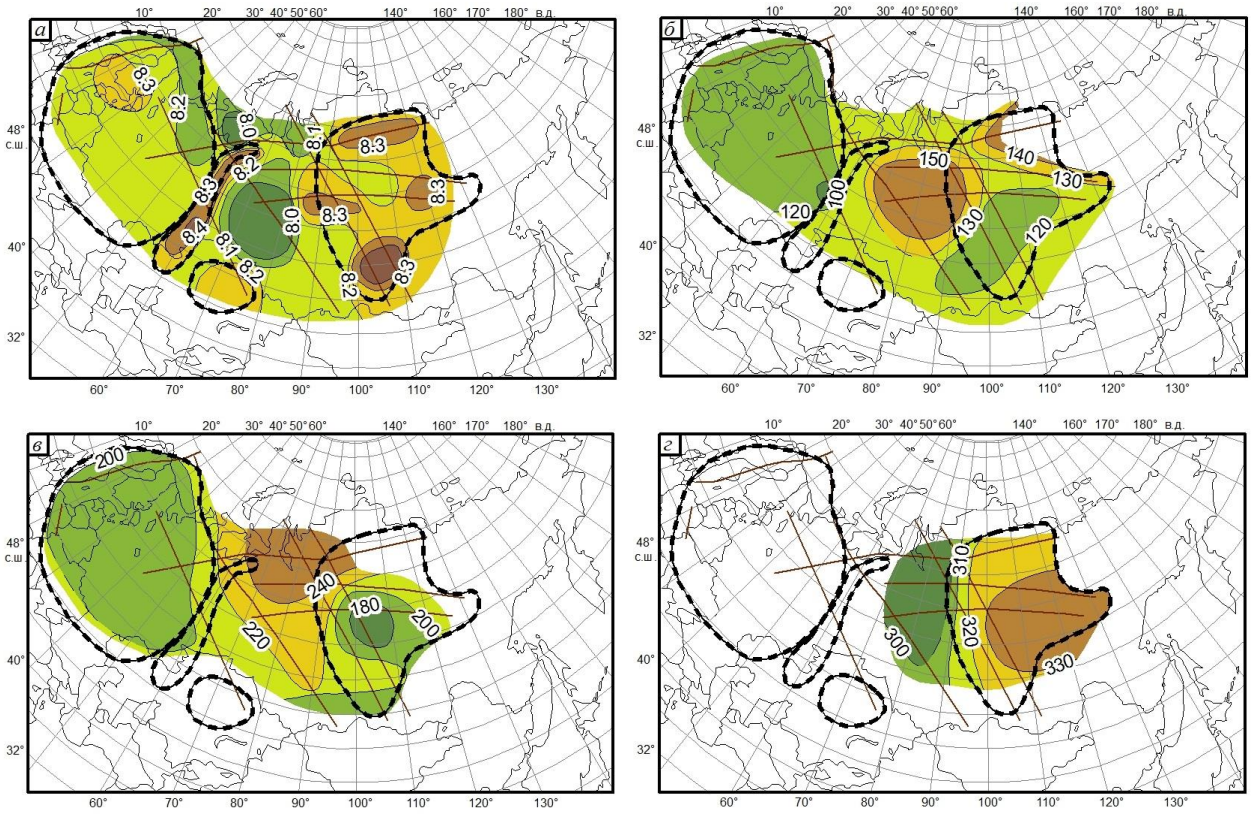


Рис. 30. Трехмерная модель верхней мантии Северной Евразии [63]:

а – схема распределения скоростей, км/с, в верхах мантии на глубине 60 км; *б–г* – схемы глубин, км, до опорных сейсмических границ №2, *L* и *M* соответственно, граничная скорость, км/с: *б* – 8,4, *в* – 8,5, *г* – 8,6. Штриховые линии – контуры основных тектонических структур, сплошные – сейсмические профили

В предшествующие периоды Западно–Сибирская мегаструктура, по нашему мнению, развивалась под влиянием активных динамических процессов в окружающих складчатых системах, что наложило отпечаток на возраст, состав и метаморфизм древних комплексов. Во многих регионах Западно–Сибирского ГБ отмечено присутствие домезозойских (палеозойских) осадочных комплексов (северная, юго-восточная части). Соответственно ЗСГБ в ретроспективном плане следует рассматривать как древнюю платформу с наличием в земной коре древнего кристаллического фундамента. По данным профильных наблюдений ГСЗ, выполненных уральскими геофизиками, он находится в интервале глубин от 5–7 км на поднятиях до 15 км в отрицательных структурах.

На рис. 12 представлена прогнозная модель для Тюменской СГ, расположенной в районе Уренгойской зоны. Использовались данные по Уренгойскому субширотному профилю и специальные площадные наблюдения в районе СГ-6 преломленными волнами.

Вопрос о наличии древнего кристаллического фундамента Западно–Сибирского осадочного бассейна и его картировании может быть решен с помощью бурения глубоких скважин на выделенных древних массивах. Более подходящим районом для этих целей является Ханты-Мансийский мегаблок, где при глубине скважины 7–8 км может быть вскрыт и изучен этот мегакомплекс. Прослеживание поверхности $К_{01}$ возможно с использованием специальной системы многократных перекрытий в комплексе с МОВЗ. Вопрос о фундаменте Тимано–Печорского геоблока также решается в пользу присутствия древнего кристаллического фундамента в основании докембрийского мегакомплекса, сложенного породами различного состава, возраста и генезиса.

В заключение следует отметить, что перечисленные замечания основываются на информации о строении верхней части литосферы Уральского региона и частично других районов континентальной коры. Многие из них не согласуются с принятыми представлениями. Но их нельзя игнорировать, тем более что прогресс в области наук о Земле возможен за счет всестороннего и согласованного анализа геолого-геофизической информации. Это также необходимо для решения прикладных задач, связанных с повышением уровня регионального прогноза на поиски новых месторождений и новых объектов, сейсмотектоники и геодинамики.

* * *

Связь приповерхностных и глубинных структур проявлена в специфике строения ВЧЛ (прежде всего для структур первого порядка), приуроченности

интрузивных тел к глубинным разломам, подобию глубинного строения для определенного типа структур.

Характер продольной и поперечной зональности строения ВЧЛ увязывается с контурами и особенностями геологического строения УСС и древних структур обрамления собственно уралид. Тем самым подчеркивается нелинейность развития УСС и под влиянием эндогенных процессов, на что указывает большая глубина заложения Центральной мегазоны и древнейших массивов Восточно-Европейской платформы, Западно–Сибирской плиты, Казахстана, а в Полярном секторе – мегаблоков Арктического пояса.

Преобладают субвертикальные и крутопадающие разломы, отвечающие пограничным структурам между основными подразделениями ВЧЛ; не установлено присутствие листрических разломов и соответственно крупных пластин и покровов, по крайней мере, в современной картине строения земной коры.

3.4. Модель докембрия Тимано-Печорского геоблока

Составлена схема тектонического районирования докембрийского мегакомплекса, расположенного между подошвой осадочных платформенных отложений ($К_0$) и поверхностью нижнеархейского кристаллического ($К_{01}$) фундамента. На рис. 31–33 представлены схемы рельефа этих границ и разность в глубинах залегания (изопахиты мощности) докембрийского мегакомплекса. Структурно-фациальные зоны выделены с привлечением аномального гравитационного поля, а также имеющейся информации о моделях докембрия по районам сверхглубоких и глубоких скважин. Всего выделено семь структурно-формационных зон от PR_1 до R включительно (рис. 34).

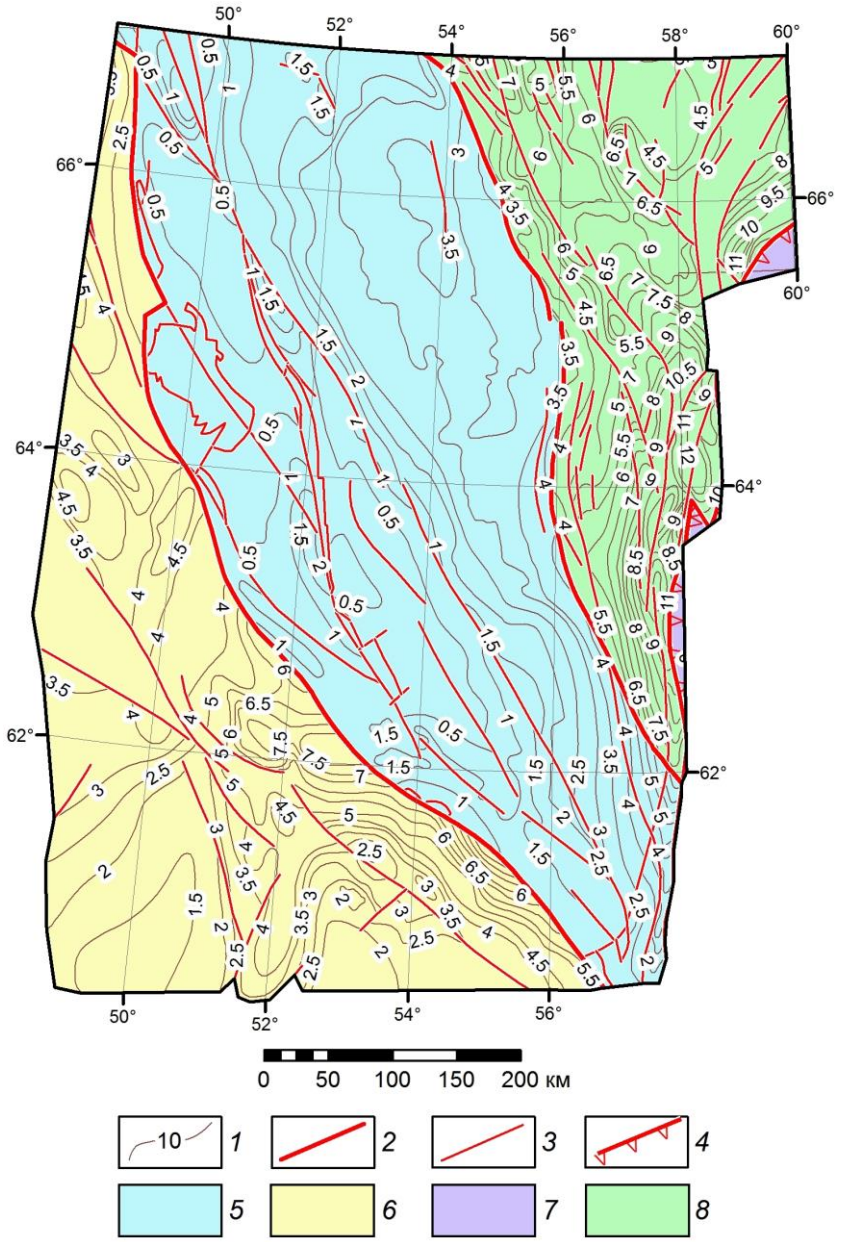


Рис. 31. Структурно-тектоническая карта фундамента Тимано–Североуральского региона и прилегающих районов Русской плиты (Институт геологии Коми НЦ УрО РАН) [70, 80].

Условные обозначения. *1* – изогипсы поверхности фундамента, км: карельского на Русской плите, рифей-вендского в Тимано-Североуральском регионе; разломы (*2*, *3*): *2* – глубинные, определяющие границы плит и геоблоков Тимано-Печорской плиты, *3* – прочие, различного проникновения; *4* – фронтальная граница системы надвигов, восточнее которой в Западно–Уральской мегазоне не определена глубина залегания поверхности допозднекембрийского фундамента; *5* – Тиманский геоблок; *6* – Волго–Уральский, Мезенский геоблоки; *7* – Северо–Уральская складчатая система; *8* – Печорский геоблок

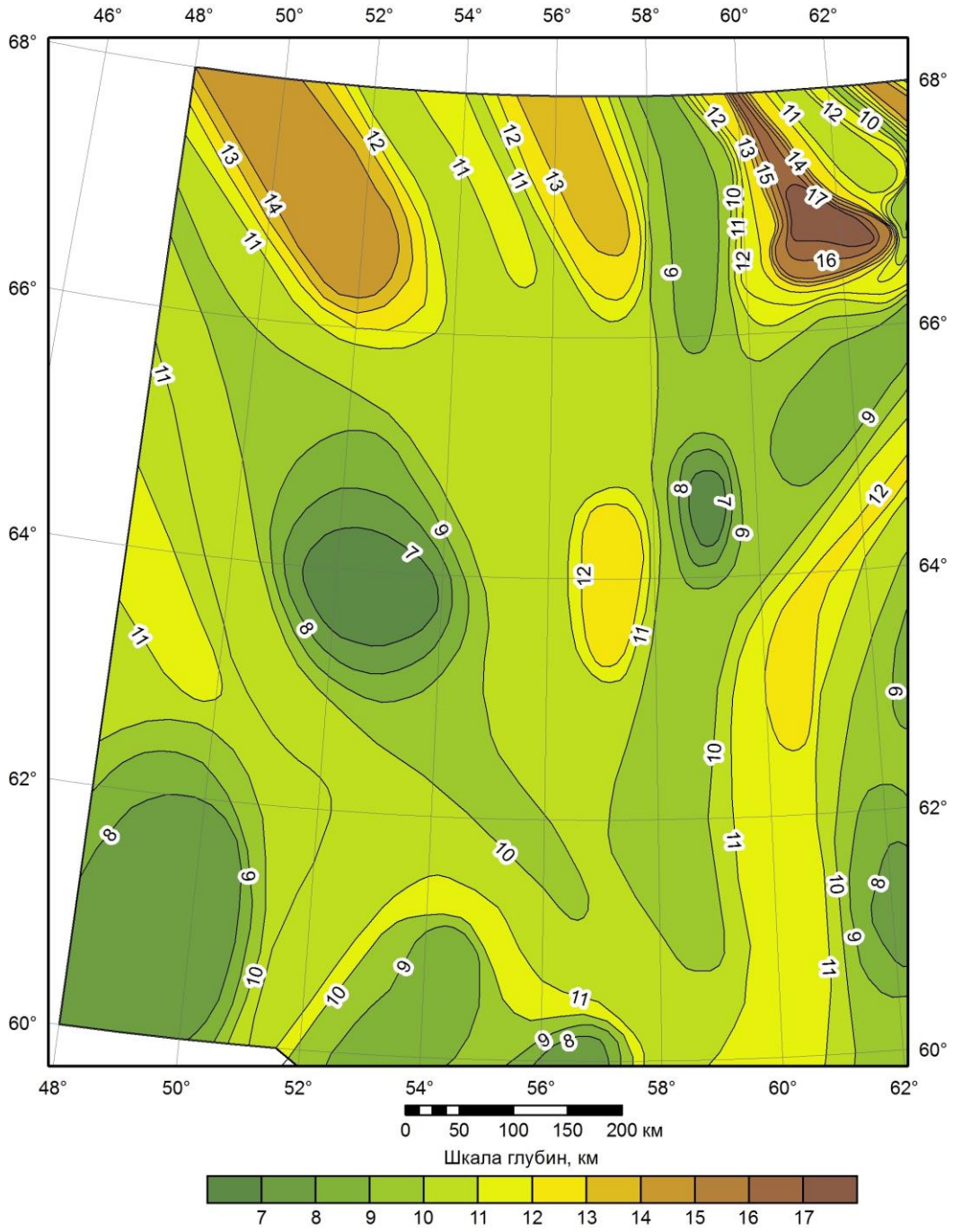


Рис. 32. Схематическая карта рельефа древнего кристаллического фундамента $К_{01}$.

Линиями с цифрами обозначены изогипсы древнего кристаллического фундамента $К_{01}$

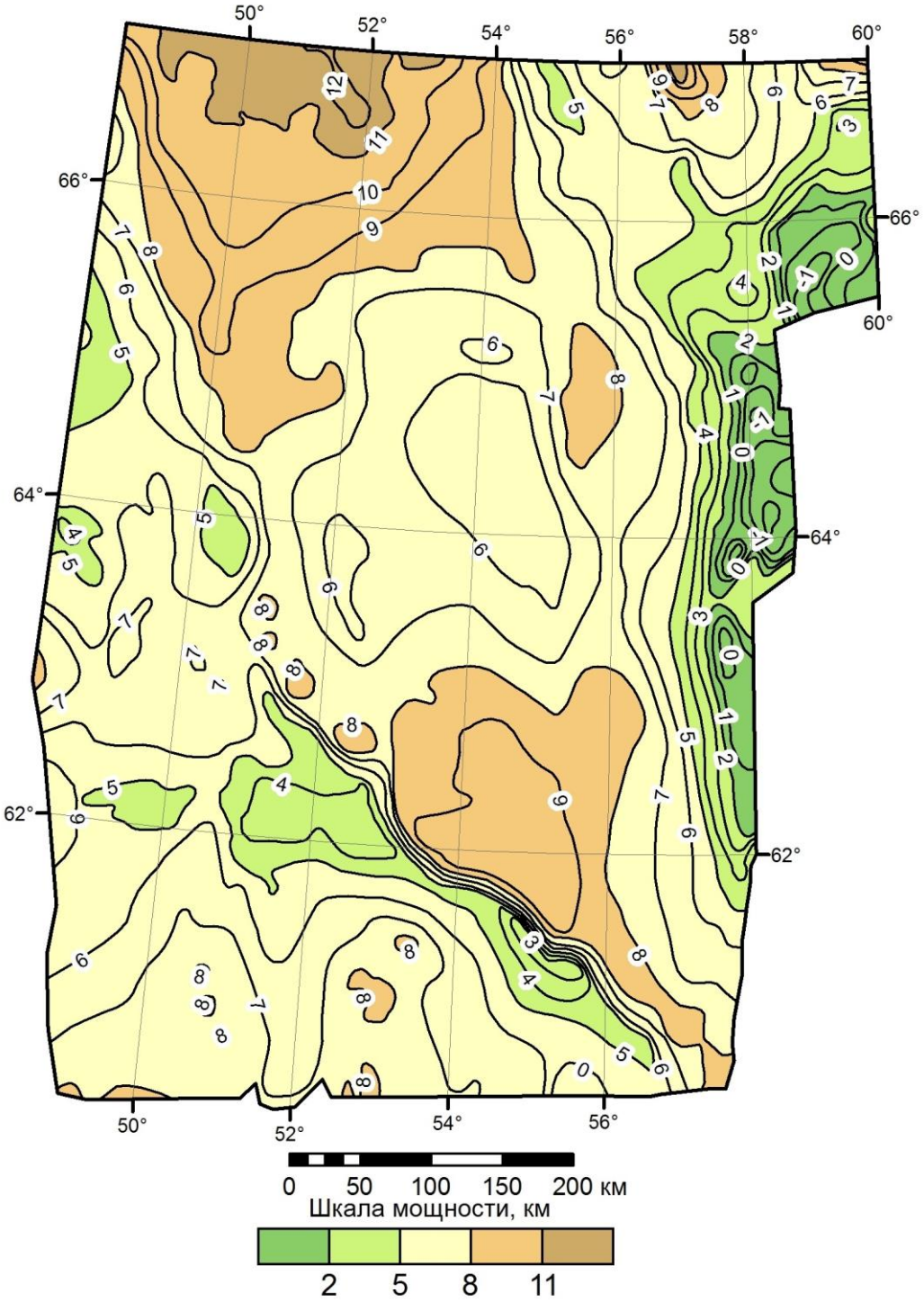


Рис. 33. Схематическая карта изопахит докембрийских отложений.

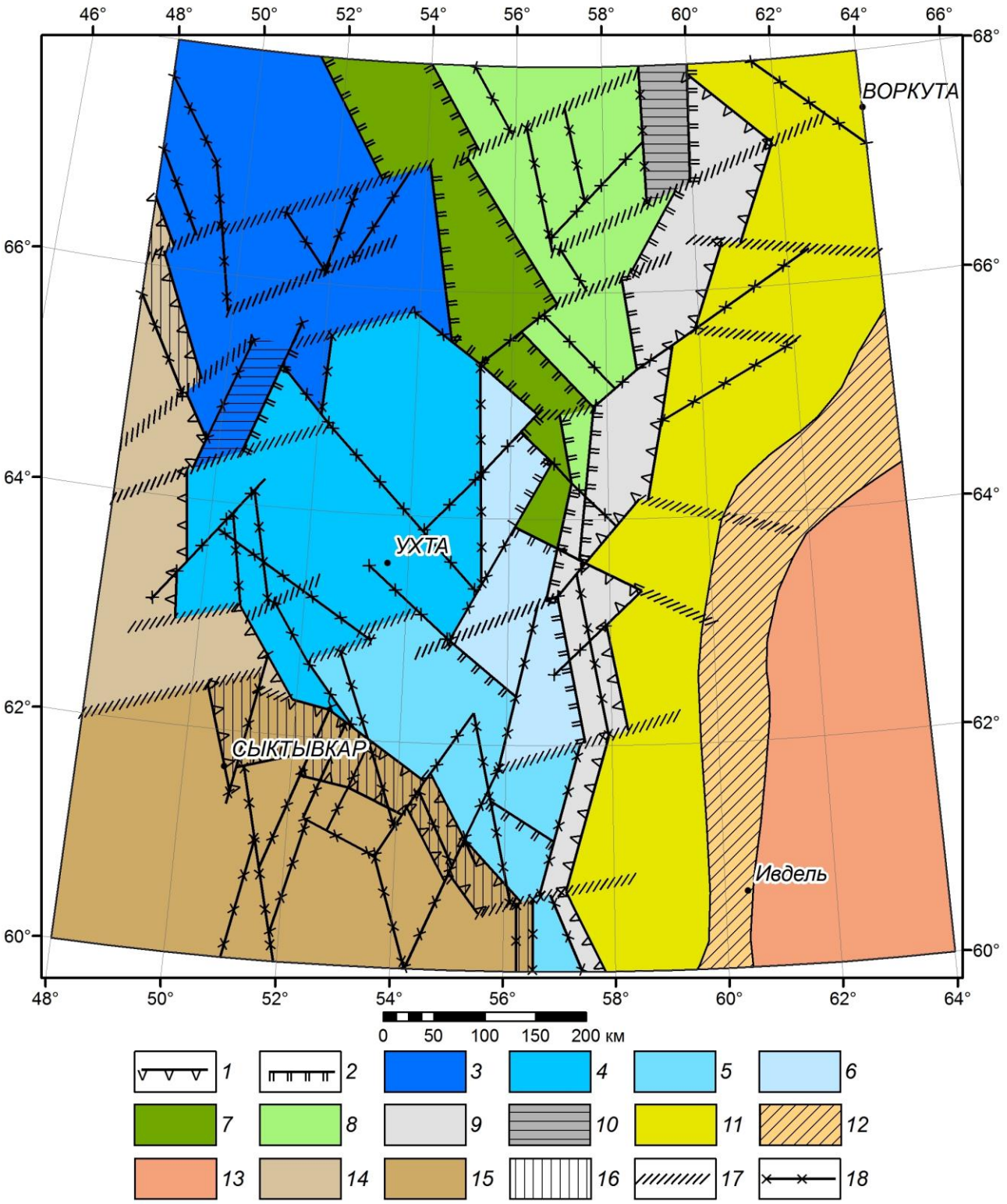


Рис. 34. Схема тектонического районирования докембрийского основания Тимано-Печорского осадочного бассейна и сопредельных структур [25].

Условные обозначения. *1* – контуры Тимано-Печорской плиты; *2* – контуры мегаблоков и мегазон (разделение на мегаблоки и мегазоны сделаны с учетом предполагаемой мощности докембрийского мегакомплекса, степени расслоенности допалеозойских отложений на сейсмических разрезах, характера аномального гравитационного поля, схемы тектонического районирования кристаллической коры [30]); Тимано-Печорская плита (*3–9*): *3* – Ижма–Печорский мегаблок, представленный, вероятно, карелидами (в нижней части) и выше расположенными мезонеопротерозойскими отложениями на северной части и рифейскими складчатыми частично гранитизированными комплексами на юге, *4* – Средне-Тиманский мегаблок, представленный складчатыми частично гранитизированными комплексами рифея, *5* – Южно–Тиманский мегаблок – складчатые комплексы рифея с интрузивными телами кислого и основного составов, *6* – Омра–Лузский мегаблок примерно с аналогичными комплексами, как для ЮТМБ и ЗТМБ, *7* – Западно–Печорская мегазона, представленная рифейскими комплексами с интрузивными телами основного состава на западе, терригенно–карбонатными отложениями на востоке, *8* – Центрально-Печорская мегазона, в состав которой могут входить на севере – рифейские складчатые комплексы с интрузивными телами основного состава, на юге – нижнерифейские частично гранитизированные комплексы и субплатформенные отложения, *9* – Восточно–Печорская мегазона, возможно, представленная субплатформенными отложениями R_{1-2}; *10* – Чернышевский блок; структуры обрамления (*11–13*): *11* – Западно-Уральская мегазона складчатых комплексов палеозоя и допалеозоя, *12* – Центрально-Уральская мегазона, возможно, пограничная структура, *13* – Восточно-Уральская мегазона; северо-восточная окраина ВЕП (*14–16*): *14* – Мезенский мегаблок, *15* – Коми-Пермяцкий мегаблок (преимущественно карелиды восточной окраины ВЕП), *16* – пограничная структура (Предтиманский прогиб) между ТПП и восточной окраиной ВЕП; *17* – субширотные дислокации, в основном соответствующие подобным зонам кристаллической коры; *18* – субвертикальные и диагональные разломы

По данным бурения Кольской сверхглубокой скважины СГ-3 и результатам работ по ГСЗ [7, 30, 46], нижнепротерозойские комплексы Балтийского щита (карелиды) представлены в основном метавулканитами с увеличенными значениями скорости и плотности. Они расположены в отрицательных шовных структурах нижнеархейского кристаллического фундамента и характеризуются повышенными положительными аномалиями Δg. Предположено, что подобные

структурно-формационные зоны (СФЗ) с аналогичными характеристиками существуют в пределах северо-восточной и восточной частей ВЕП. В частности, это относится к Ижма-Печорскому и Коми-Пермяцкому мегаблокам. Различие между ними наблюдается в глубинах залегания поверхности нижнепротерозойских отложений и соответственно в мощности и составе верхнего мегакомплекса докембрия. В Ижма-Печорском мегаблоке они перекрыты складчатыми отложениями рифея, и разница в мощности двух поверхностей Ф и $К_{01}$ составляет 10–12 км, а в пределах Коми–Пермяцкого поднятия, при отсутствии или малой мощности рифейских отложений 5–7 км.

Расположенные между ними Средне-Тиманский и Южно-Тиманский мегаблоки характеризуются повышенной гранитизацией древних докембрийских отложений в нижнерифейское время с образованием своеобразной структурной формационной зоны тиманид. Им соответствуют отрицательные гравитационные аномалии и спокойное магнитное поле. Вопрос о присутствии нижнепротерозойских комплексов особенно в среднем мегаблоке остается открытым. Имеющиеся в незначительном количестве определения возраста указывают на преобладающий рифейский возраст тиманид [47, 78].

Разница в глубинах залегания поверхностей $К_{01}$ и Ф в пределах Центрально–Печорской мегазоны (пограничной структуры) обусловлена присутствием в нижней части докембрийского мегакомплекса субплатформенных отложений рифея, имеющих сложное строение за счет их значительной тектонической раздробленности, сопровождаемой внедрением интрузивных тел преимущественно ультраосновного состава, что отмечается положительными аномалиями магнитного поля. Специфика глубинного строения пограничной структуры четко проявлена на составленном сейсмогеологическом разрезе (рис. 35). Она во многом подобна Калтасинской рифей-авлакогенной структуре [25, 32, 33].

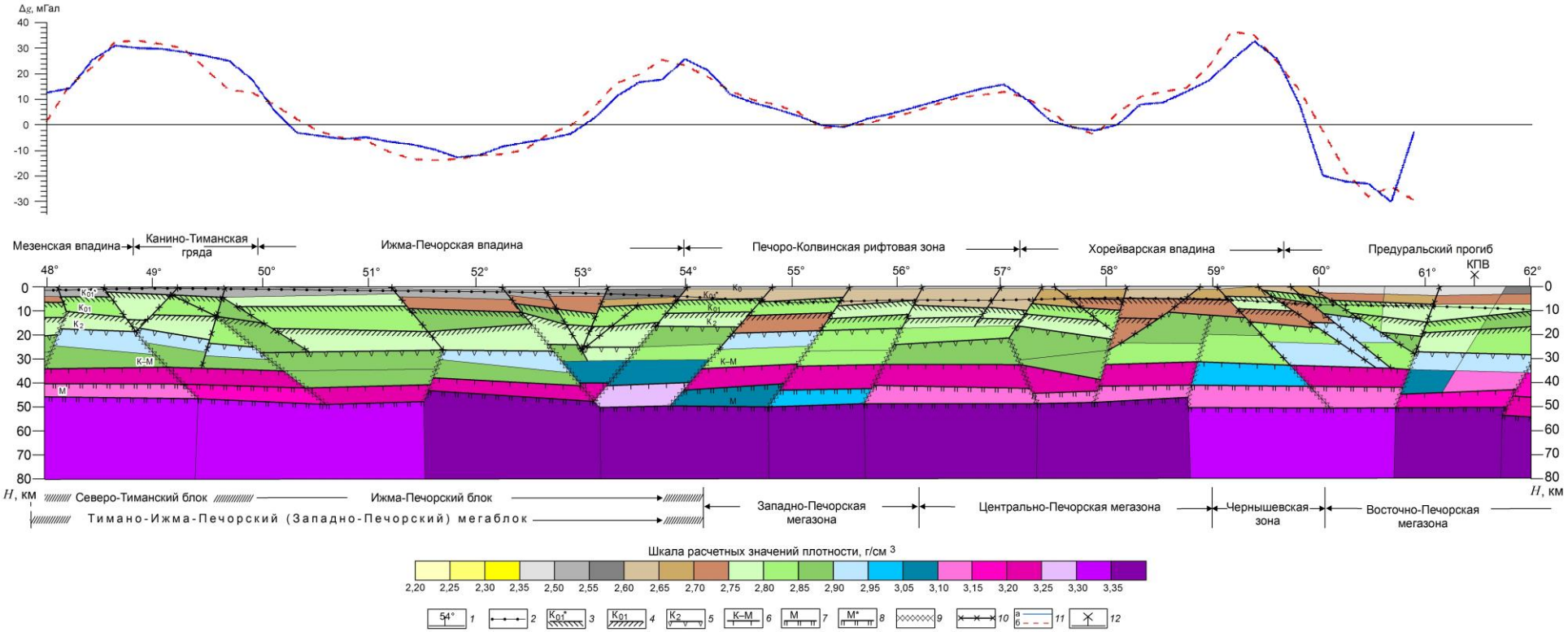


Рис. 35. Сейсмогеоплотностной разрез верхней части литосферы по геотраверсу Агат-2.

Условные обозначения. *1* – линия профиля с градусной привязкой и участок пересечения с геотраверсом Купянск–Воркута (КПВ); *2* – подошва палеозойского мегакомплекса, или поверхность докембрийских отложений, ее положение согласовано со схемой на рис. 31; *3* – поверхность докембрийского мегакомплекса, возможно возраста PR_1–R на западе и R_1–MHPR (мезонеопротерозой) – на востоке; *4* – поверхность нижнеархейского кристаллического фундамента; *5* – поверхность нижней коры; *6* – поверхность переходного мегакомплекса в низах коры; *7* – основной сейсмогеологический раздел между породами земной коры и относительно слабоизмененными породами верхней мантии; *8* – поверхность нижнего комплекса переходной зоны предположительно с пониженными значениями скорости относительно таковых для пород верхней мантии; *9* – основные зоны глубинных разломов; *10* – глубинные разломы; *11* – наблюдаемая (а) и расчетная (б) Δg; *12* – участки пересечения профилей

Над разрезом показаны геологические структуры [78], внизу разреза – районирование по особенностям глубинного строения, нечеткое определение границ между подразделениями показано наклонной штриховкой

Особого внимания в связи с проблемой поисков месторождений УВ в глубокопогруженных отложениях Тимано-Печорской нефтегазовой провинции заслуживает восточная прибортовая часть ТПГБ. Она характеризуется сравнимыми глубинами залегания границ $К_{01}$ и Ф с разницей глубин в пределах 0–3 км и отрицательными значениями Δg. Такие особенности указывают на присутствие в данной структуре ниже палеозойских горизонтов расслоенной толщи, представленной субплатформенными отложениями рифея–венда.

Таким образом западная, наиболее крупная, часть ТПГБ и соседнего с юга часть Коми–Пермяцкого мегаблока ВЕП представлены более древними образованиями начиная с нижнего протерозоя.

Возможно, в восточной части ТПГБ рифейско-вендские комплексы, за исключением отдельных зон, непосредственно залегают на поверхности нижнеархейского кристаллического фундамента. В таком случае Печорская зона является пограничной структурой между двумя крупными подразделениями континентальной коры.

Аналогичное положение занимает Калтасинский рифт-авлакоген, расположенный южнее и являющийся пограничной зоной между нижнеархейским фундаментом Татарского свода и нижнепротерозойским основанием Пермско-Башкирского мегаблока [30]. Обе структуры образовались в нижнерифейское время.

Тектонический план докембрия отличается от прежних схем наличием субширотных дислокаций восточно-северо-восточного направления, которые разграничивают мегаблоки докембрия и соответствуют, как правило, глубинным структурам в кристаллической коре.

Более существенная роль принадлежит также диагонально расположенным глубинным разломам северо-восточного и меридионального направлений. Интересной особенностью составленной схемы является крупная линзовидная структура преимущественно субмеридиональной ориентировки, расположенная в центральной части территории в пределах широт 66–67° на севере и 62–63° на юге. Возможно, ее образование обусловлено крупными глубинными сдвигами, роль которых недооценена в существующих схемах.

Глава 4. РЕГИОНАЛЬНЫЙ ПРОГНОЗ НА ПОИСКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ С УЧЕТОМ СПЕЦИФИКИ СТРОЕНИЯ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ЛИТОСФЕРЫ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА

В Уральском регионе находятся три крупные нефтегазовые провинции. Основная из них по объему добываемого углеводородного сырья – Западно–Сибирская, затем Тимано–Печорская и Волго-Уральская.

Основные продуктивные горизонты в Западно–Сибирской НГП находятся преимущественно в мезозое в интервале глубин 1,2–3,5 км, который на данный момент хорошо изучен геолого-геофизическими методами, и поэтому открытие в пределах известных нефтегазовых районов крупных и суперкрупных месторождений УВ в этих горизонтах маловероятно. По мнению ряда ведущих ученых-нефтяников, высокой продуктивностью могут отличаться некоторые отрицательные структуры Приуральской части Западно–Сибирской равнины, такая, например, как Ляпинский мегапрогиб [61]. В целом пополнение ресурсной базы УВ в ЗС НГП проектируется за счет нижерасположенных горизонтов, в первую очередь субплатформенных домезозойских отложений и дезинтегрированной части фундамента (доюрское основание). Работы в этом направлении начались с середины 80-х гг. прошлого столетия, но значимых результатов не получено, за исключением отдельных объектов, в частности Рогожниковско–Ляминская зона на Красноленинском своде, Ново-Портовская группа месторождений на северо-западе ЗС НГП. Основными причинами, по-нашему мнению, являются: ориентирование при этих поисках на осадочно-миграционную теорию (ОМТ) генерации УВ и образования месторождений, на основе которой присутствие залежей нефти в доюрском фундаменте объясняется благодаря горизонтальной миграции УВ из продуктивных горизонтов осадочных бассейнов; неучет специфики глубинного строения и преимущественно вертикальной миграции – основных элементов развиваемой новой парадигмы нефтегазовой геологии [9, 79]; несовершенство технологии

поисковых работ, не учитывающей сложное строение среды и нетрадиционный характер расположения скоплений УВ.

Тимано-Печорская нефтегазовая провинция отличается широким возрастным интервалом нефтеносности осадочных пород – от силура до триаса включительно – и важнной ролью разломов в размещении месторождений УВ. Территория ТП НГП достаточно хорошо изучена, за исключением восточных и южных районов. Именно эти территории рассматриваются в качестве перспективных на поиски месторождений УВ. Предпринимаемые в данных направлениях значительные по объему регионально-зональные и поисковые работы существенных результатов не дали. Причины в основном те же, что и для ЗС НГП. К ним примешивается неопределенность отправной позиции о значительной перспективности внутренней зоны Предуральского прогиба и западных районов складчатого Урала [59].

Проблема поисков УВ в более глубоких горизонтах, ниже известных продуктивных горизонтов, а также на востоке в пределах перечисленных структур весьма актуальна для всей Волго-Уральской НГП, в том числе для Пермской и Башкирской НГО. Ситуация с поисками новых объектов здесь такая же, как и для ТПП.

В 2006–2012 гг. в Институте геофизики УрО РАН выполнены исследования по разработке методики и созданию объемной геолого-геофизической модели верхней части литосферы Уральского региона. Полученная новая информация позволила более обоснованно выполнить тектоническое районирование, а присутствие на рассматриваемой территории многочисленных месторождений УВ включая и крупные позволило выявить основные глубинные критерии их размещения. Это было осуществлено вначале в профильном варианте, а затем и в объемном.

4.1. Глубинные критерии при оценке нефтегазоперспективности геологической среды

В процессе профильных исследований ГСЗ определились два направления прогноза. Первое предложено Н.К. Булиным и А.В. Егоркиным [5]. Оно заключается в возможном контроле района известных месторождений УВ значениями скоростных параметров продольных и поперечных волн для нижних доменов земной коры, определенных по результатам многоволнового точечного зондирования на геотраверсах Центра «ГЕОН». Основное значение при этом отводилось скоростным контрастам. Принималась во внимание преимущественно разница в величинах по продольным волнам 0,2–0,4 км/с и отношению V_p/V_s=0,05–0,20. При использовании упрощенных систем наблюдений на геотраверсах такое различие значений этих параметров иногда находится на уровне погрешности их определения. К этому следует добавить, что структурно-тектонический фактор не рассматривался из-за отсутствия на приводимых примерах существенных различий в строении на участке месторождения и за его пределами, несмотря на то что сейсмическая информация (для подчеркивания этого эффекта) представлена в искаженных масштабах (1:10). Поэтому можно признать, что при работах на геотраверсах на примерах крупных месторождений УВ показана перспектива применения многоволновой сейсмики для регионального прогнозирования (выделения перспективных площадей размерами до 100 км). Но вряд ли по этим данным возможно предлагать конкретные участки для постановки бурения поисково-параметрических скважин, особенно для незначительных по размеру месторождений. Подтверждением служит пример с Кажимской площадью, выделенной данными авторами в качестве перспективной по результатам работ на геотраверсе Рубин-1 (рис. 36). Последующее бурение трех скважин не обнаружило присутствие залежи и авторам пришлось сместить перспективный участок на 100 км восточнее [4].

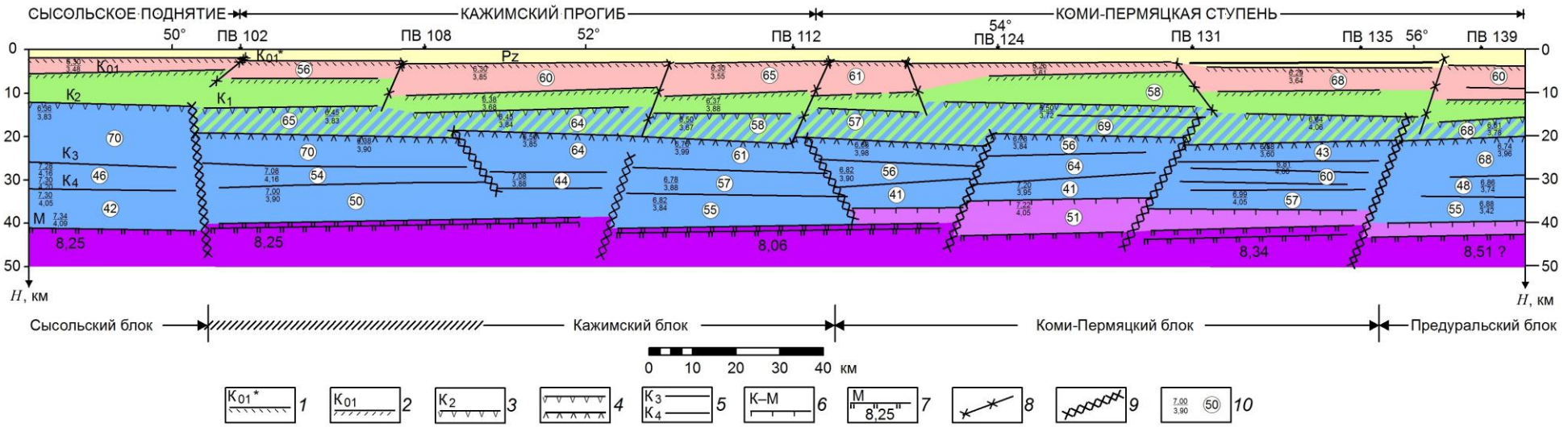


Рис. 36. Сейсмогеологический разрез, составленный по авторскому варианту разреза по геотраверсу Рубин-1 [29, 41].

Условные обозначения: *1* – поверхность нижнего мегакомплекса докембрия, возможно, нижнепротерозойского возраста; *2* – поверхность нижнеархейского кристаллического фундамента; *3* – поверхность нижнего мегакомплекса нижнеархейского кристаллического фундамента; *4* – поверхность кровли нижней коры; *5* – поверхности раздела в нижней коре; *6* – поверхность переходного мегакомплекса в низах коры; *7* – основной сейсмогеологический раздел Мохо; *8* – разломы в верхней части земной коры; *9* – глубинные разломы земной коры; *10* – скорости продольных (в числителе) и поперечных (в знаменателе) волн, км/с.

Цифрой в круге показано расчетное значение содержания SiO_2, вычисленное по отношению V_p/V_s. Над разрезом показано районирование по осадочному слою, под ним – глубинное районирование

Второе направление ориентируется на структурно-тектонический фактор. При этом специфические особенности строения земной коры и верхней мантии в районе известных месторождений УВ переносятся на другие объекты НГП. Прогноз основывается на результатах профильных исследований по достаточно плотным системам наблюдений, выполненных Баженовской геофизической экспедицией и Институтом геофизики УрО РАН. Морфологические признаки дополняются тектоническими (глубинные разломы, плотность разрывных нарушений и их характер на разных уровнях земной коры). Кроме того, учитываются контрастность значений физических параметров блоков земной коры и тип глубинной структуры. Для регионального прогноза в пределах территорий, указанных НГП, особое значение имеют объемная геолого–геофизическая модель верхней части литосферы и схемы тектонического районирования, составленные для трех основных подразделений ВЧЛ Уральского региона. Связь глубинного строения и типа геологических структур, созданных процессами, происходящими в верхней мантии и земной коре, изучим на примере положительных и отрицательных структур Уральского региона.

Своды и поднятия. Рассмотрим Южно-Татарский свод с уникальными месторождениями нефти и Коми-Пермяцкое поднятие с незначительной перспективностью. Обе структуры находятся в Волго-Уральской нефтегазовой провинции. Южно-Татарский свод относится к древнейшим структурам Восточно-Европейской платформы; преимущественно он развивался в режиме поднятия, что и отразилось на специфике его глубинного строения: ультрадеструктизированная кора, представленная в основном серыми гнейсами нижнего архея с относительно пониженными скоростными параметрами (6,0–6,5 км/с), с включениями интрузивных тел; повышение значений скорости (до 7,0 км/с) наблюдается с 30,0 км с постепенным переходом на уровень мантийных значений начиная с H=34,0–42,0 км. По данным глубинного ОГТ (по геотраверсу Гранит) в интервале глубин 20,0–45,0 км и 60,0–100,0 км (рис.

37) прослежена зона повышенной концентрации отражающих элементов [83]. Такие аномалии установлены для района двух супергигантских месторождений Ромашкинское и Ново-Елховское, разделенных глубинным разломом. Не исключено присутствие здесь глубинной флюидодинамической зоны мантийного заложения, что должно быть предметом дальнейших исследований.

Фундамент Коми-Пермяцкого свода сложен преимущественно протогеосинклинальными отложениями нижнего протерозоя, аналогичными карелидам Балтийского щита, разрез которых на глубину до 7 км вскрыт Кольской сверхглубокой скважиной СГ-3. Кристаллическая кора рассматриваемого поднятия подобна основной части ВЕП, отличаясь более высокими значениями физических параметров (скорости и расчетной плотности). Наиболее активные геодинамические процессы в нижнем протерозое сменились относительно спокойным развитием в последующее время. Несмотря на наличие глубинных разломов по данным ГСЗ, нефтегазоносность стандартных для востока ВЕП продуктивных горизонтов палеозоя мала, что подтверждается результатами выполненных в значительных объемах поисково-разведочных работ. Это обстоятельство необходимо учитывать также при поисках УВ в глубокопогруженных отложениях, например вендского возраста на данной территории. То же самое относится к западным мегаблокам Тимано-Печорской плиты (рис. 38).

Крупнейшее сводовое поднятие западной части Западно–Сибирского бассейна – Ханты-Мансийское по данным ГСЗ относится к поднятию, во многом подобному Южно-Татарскому древнейшему массиву. Оно перекрыто субплатформенными отложениями D–C и терригенно-базальтовым комплексом триаса. Предполагаемый состав и нефтегазоносность пород промежуточного комплекса были подтверждены разультатами бурения глубокой скважины на Горелой площади (на участке, совпадающим с рекомендуемым по данным исследованиям на указанном профиле [14, 27]).

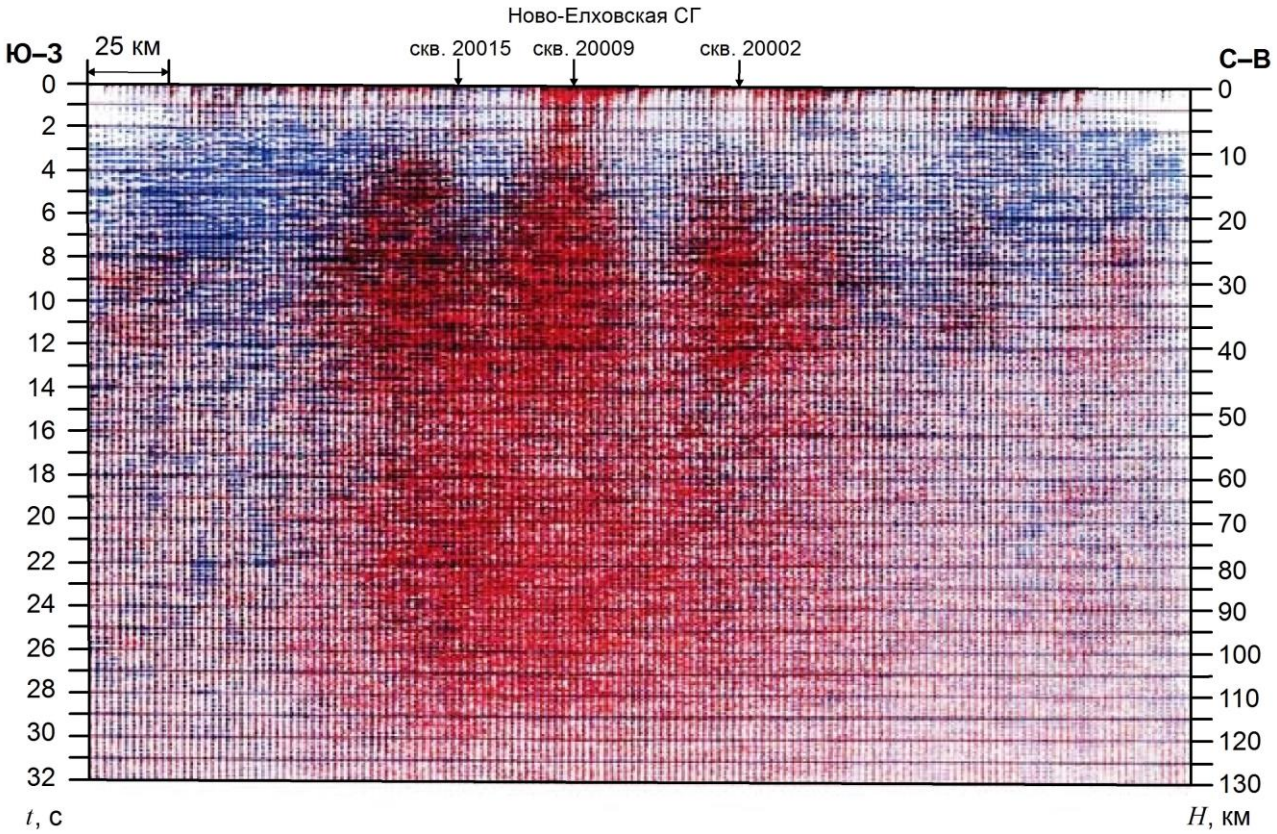


Рис. 37. Сводный сейсмический динамический разрез ЮТС по профилю Гранит [83].

Из этого следует, что крупные месторождения мезозоя и промежуточного комплекса имеют глубинную «привязку» и находятся, возможно, в районе глубинной флюидодинамической зоны, образованной за счет предполагаемых сдвиговых дислокаций.

В отличие от восточной окраины ВЕП Западно–Сибирский геоблок вступил в стадию активных глубинных геодинамических процессов в верхнепалеозойское время, и она сохраняется до сих пор в отдельных зонах региона. Прежде всего это зоны верхнепалеозойской гранитизации, к которым приурочены крупные инверсионные поднятия в рельефе домезозойского основания и свойственна повышенная нефтегазоносность геологических отложений. Примером является уникальное по запасам углеводородного сырья Уренгойское месторождение.

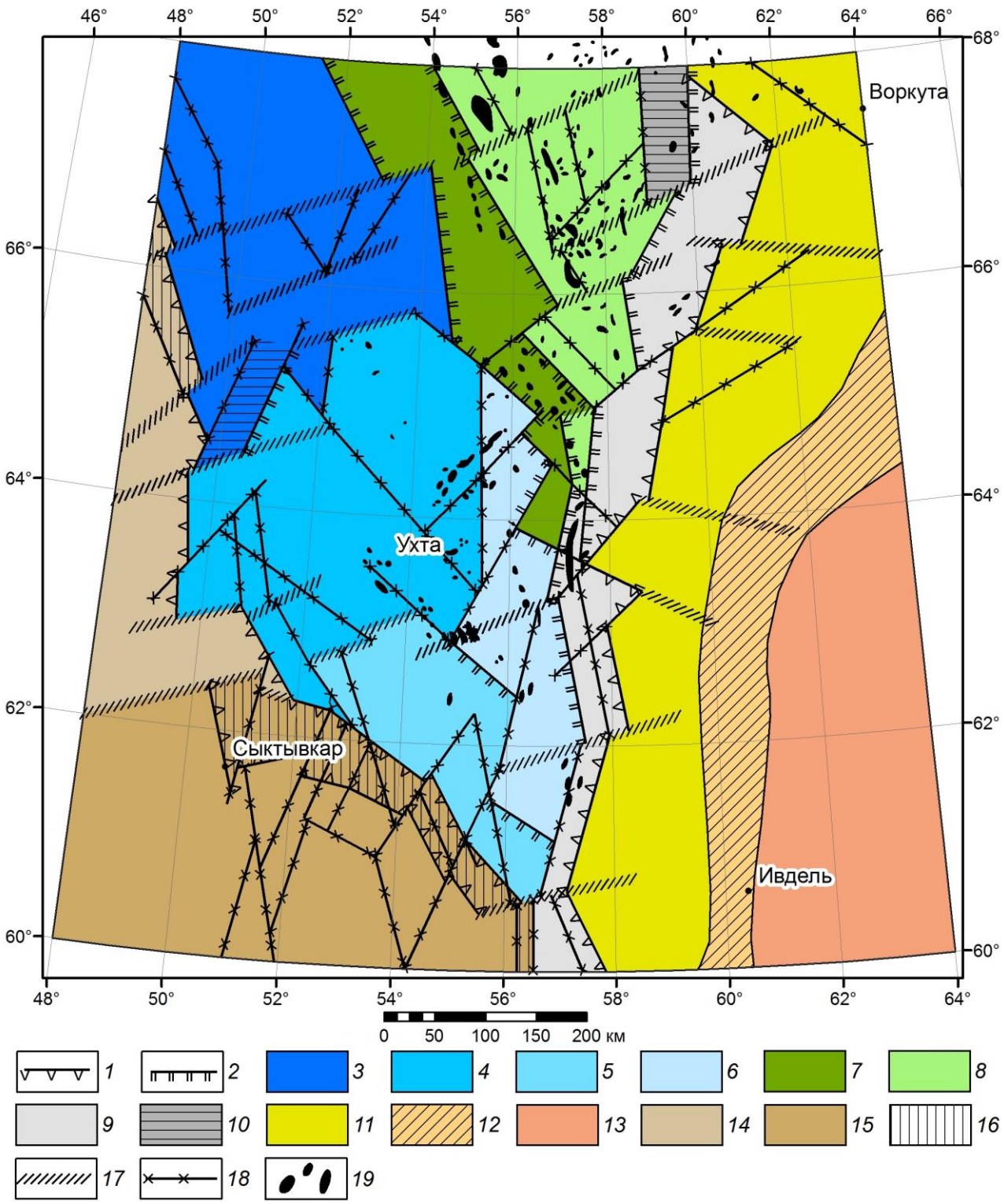


Рис. 38. Схема тектонического районирования докембрийского основания Тимано-Печорского осадочного бассейна и сопредельных структур, совмещенная с картой нефтегазоносности [25].

Условные обозначения. *1* – контуры Тимано-Печорской плиты; *2* – контуры мегаблоков и мегазон. Разделение на мегаблоки и мегазоны сделаны с учетом предполагаемой мощности докембрийского мегакомплекса, степени расслоенности допалеозойских отложений на сейсмических разрезах, характера аномального гравитационного поля, схемы тектонического районирования кристаллической коры. Тимано–Печорская плита (*3–9*): *3* – Ижма–Печорский мегаблок, представленный, вероятно, карелидами (в нижней части) и выше расположенными мезо-неопротерозойскими отложениями на северной части и рифейскими складчатыми, частично гранитизированными комплексами на юге, *4* – Средне–Тиманский мегаблок, представленный складчатыми частично гранитизированными комплексами рифея, *5* – Южно-Тиманский мегаблок – складчатые комплексы рифея с интрузивными телами кислого и основного состава, *6* – Омра–Лузский мегаблок примерно с аналогичными комплексами, как и для ЮТМБ, так и ЗТМБ, *7* – Западно–Печорская мегазона, представленная рифейскими комплексами с интрузивными телами основного состава на западе, терригенно–карбонатными отложениями на востоке, *8* – Центрально-Печорская мегазона, в состав которой могут входить на севере – рифейские складчатые комплексы с интрузивными телами основного состава, на юге – нижнерифейские частично гранитизированные комплексы и субплатформенные отложения, *9* – Восточно–Печорская мегазона, возможно представленная субплатформенными отложениями $R_{1–2}$; *10* – Чернышевский блок; структуры обрамления (*11–13*): *11* – Западно–Уральская мегазона складчатых комплексов палеозоя и допалеозоя, *12* – Центрально–Уральская мегазона, возможно, пограничная структура, *13* – Восточно–Уральская мегазона; Северо-восточная окраина ВЕП (*14–16*): *14* – Мезенский мегаблок, *15* – Коми–Пермяцкий мегаблок, преимущественно карелиды восточной окраины ВЕП, *16* – пограничная структура (Предтиманский прогиб) между ТПП и восточной окраиной ВЕП; *17* – субширотные дислокации, в основном соответствующие подобным зонам кристаллической коры; *18* – субвертикальные и диагональные разломы; *19* – месторождения углеводородов

Не исключено присутствие здесь месторождений нефти в низах мезозойских отложений и дезинтегрированной части домезозойского основания. В рассматриваемых случаях крупные положительные структуры – результат активизации глубинных процессов. Нефтегазоносность недр в пределах развития крупных интрузий основного состава на территории

Западно–Сибирской платформы мала, о чем свидетельствует отсутствие в этих районах сколько-нибудь значительных месторождений УВ.

Отрицательные структуры. Для восточной окраины ВЕП это авлакогены и впадины в рельефе докембрийского основания. Первый подтип – крупные отрицательные структуры нижнеархейского кристаллического фундамента, расположенные в пределах глубинных флюидодинамических зон (ГФДЗ), обладающие повышенной активностью как в рифейско-палеозойский этап развития, так, вероятно, и в современное время. Рассмотрим это положение на примере крупной Воткинско-Куединской впадины округлой формы с горизонтальными размерами 150·170 км. В состав этой структуры на юго–западе Пермского края и окраине Республики Башкортостан входят Калтасинский авлакоген с аномальными чертами глубинного строения и Воткинская впадина, находящаяся между Южно-Татарским сводом и указанной аномальной зоной. Именно на данной территории сосредоточены основные месторождения в продуктивных горизонтах карбона, форма расположения которых подчеркивает контуры предполагаемой ГФДЗ. За пределами Воткинско-Куединской впадины на продолжении Калтасинского авлакогена имеются только незначительные месторождения нефти. Исходя из активности геологической среды и, по-видимому, присутствия глубинного источника генерации УВ территория рассматриваемой впадины является весьма перспективной для поисков УВ в нижнеархейских доломитах в терригенно-карбонатных отложениях, залегающих здесь на относительно небольших глубинах 2,0–2,5 км. Причем решающее значение при регионально–зональном прогнозировании имеет тектонический фактор: расположение глубинных разломов и сдвигов разных направлений и различной активности, в том числе на современном этапе развития. Данный вопрос рассмотрен в нескольких наших публикациях.

Другой подтип авлакогенов образован в результате дифференциальных движений, преимущественно в виде сдвигов блоков в основном под воздействием внешних сил без явной связи с активностью верхней мантии в районах его расположения. Горизонтальные размеры таких структур, как правило, не превышают 25–50 км, мощность заполняющих осадков докембрия незначительна; протяженность зависит от размеров соответствующих блоков. В качестве примера сошлемся на Кажимско–Кировский авлакоген, расположенный в области развития нижнепротерозойских протогеосинклинальных комплексов на восточной окраине ВЕП (см. рис. 35). В аналогичной обстановке в пределах кристаллической коры с повышенными физическими параметрами и неблагоприятными условиями для масштабной генерации УВ находится Ижма–Печорская впадина Тимано–Печорского геоблока, Ляпинский прогиб и Вагай–Ишимская впадина Западно–Сибирского бассейна. На рис. 38 представлена схема (макет) тектонического районирования по северо-восточной части ВЕП и ТПГБ, где четко просматривается практически отсутствие месторождений УВ, несмотря на значительный объем выполненных геолого-поисковых работ. То же самое относится к Ляпинскому прогибу и Вагай–Ишимской впадине. Шеркалинский прогиб Приуральской части Западно–Сибирской НГП, соответствующий пограничному шву (рифту), между собственно уралидами и срединными поднятиями, такими как Ханты–Мансийский, относится к разряду зон с повышенным углеводородным потенциалом геологической среды.

Отрицательные результаты поисков месторождений УВ в пределах Центральной мегазоны Урала с корой фемического профиля, несмотря на присутствие осадочных бассейнов, таких как Челябинский грабен, Мостовская и Карпинская депрессии, Ляпинский прогиб и др.

Таким образом, нефтегазоносность осадочных бассейнов, включая глубоко погруженные отложения и дезинтегрированную часть фундамента, определяется глубинными процессами, приводящими к формированию

структур благоприятных для генерации и миграции углеводородов, и последующим образованием месторождений УВ в доступном интервале глубин до 6–7 км от дневной поверхности. Этому также способствуют глубинные разломы, особенно те из них, которые создают глубинные флюидодинамические зоны.

Приведем конкретные примеры такого прогнозирования в профильном и площадном вариантах.

4.2. Оценка нефтегазоперспективности при профильных работах

В подтверждение роли глубинных факторов на рис. 19 представленыены сейсмологические разрезы по участкам профилей ГСЗ, на которых впоследствии не зависимо от данных рекомендаций были проведены геолого–геофизические работы, в том числе на поиски месторождений УВ.

На рис. 39 показан разрез верхней части коры по восточному окончанию Ханты-Мансийского профиля ГСЗ, где было рекомендовано [14] бурение параметрической скважины для подтверждения наличия отложений промежуточного комплекса на срединном Ханты-Мансийском поднятии и оценки его перспективности. Это известная Горелая площадь. Данный прогноз в 1985 г. подтвердился.

Аномальный участок земной коры обнаружен на западной окраине Свердловского пересечения (см. рис. 19, *б*): крупный подъем поверхности М, увеличенная мощность осадочных отложений за счет нижнерифейских комплексов и пониженная основность кристаллической коры, которая сменяется к востоку от Чернушенского разлома (п. Березовка) блоком с повышенной основностью [38]. Поэтому было сделано предположение о большей перспективности района населенного пункта Куеда к западу от сравнительно незначительных месторождений Чернушки.

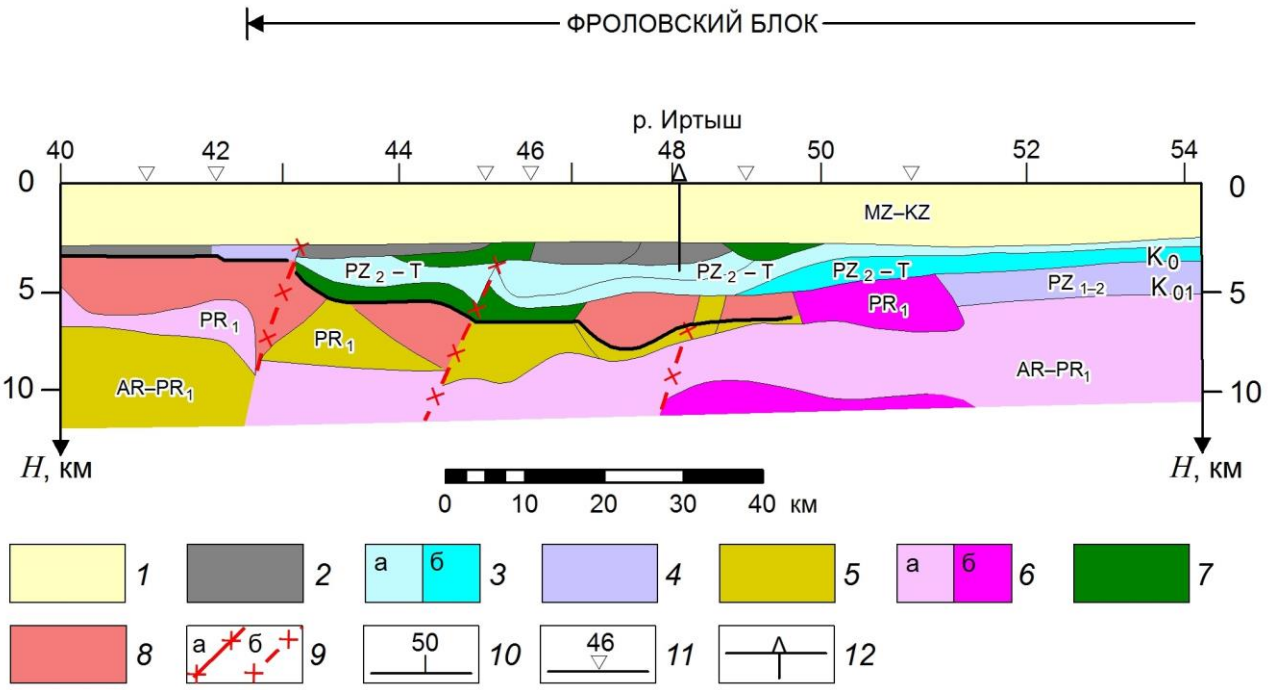


Рис. 39. Геолого-геофизический разрез верхней части коры по Ханты–Мансийскому профилю ГСЗ [14].

Условные обозначения: *1* – осадочные мезокайнозойские отложения; *2* – базальты и терригенные отложения (песчаники, сланцы) триаса, σ = 2,55–2,62 г/см^3; *3* – терригенно–карбонатные (а) и карбонатные (б) породы, σ = 2,65–2,70 г/см^3; *4* – метаморфический комплекс, σ = 2,72–2,75 г/см^3 (иногда 2,78); *5* – гранитогнейсы, гнейсы, σ = 2,72–2,78 г/см^3; *6* – гнейсы и сланцы амфиболитовые, на востоке профиля возможны джеспилиты (а), амфиболиты с подчиненными им парасланцами, гранулиты (б), σ = 2,80–2,85 г/см^3 и σ = 2,88–2,9 г/см^3; *7* – эффузивный комплекс преимущественно основного состава, σ = 2,8–2,9 г/см^3; *8* – интрузивные породы кислого состава, σ = 2,60–2,68 г/см^3; *9* – разрывные нарушения в верхней части земной коры (а), то же, менее уверенно (б); *10* – пикеты наблюдений; *11* – пункты взрыва; *12* – проектное положение поисково-разведочной скважины

В настоящее время это наиболее значительный район по добыче нефти (юго-запад Пермского края и соседний участок республики Башкортостан).

По данным ГСЗ, на востоке Свердловского пересечения обнаружена Вагай–Ишимская впадина, предположительно заполненная промежуточным комплексом возраста D–T (см. рис. 19, *в*). Но повышенное значение основности

кристаллической коры не позволило выделить ее в разряд нефтеперспективных объектов. Так оно и оказалось на самом деле, но уже после большого объема поисковых геолого-геофизических работ.

Другой пример относится к западному склону Южного Урала. В пределах Башкирского поднятия, сложенного породами рифея, была пробурена глубокая скважина более 5,0 км (по рекомендации М.А. Камалитдинова) в целях вскрытия палеозойских продуктивных горизонтов восточной окраины ВЕП, которые ожидались под рифейским комплексом R_1 мощностью 3,5–4,5 км. Шарьяж предполагался весьма значительным – до 70,0 км. Ничего подобного не просматривается на рис. 19, *г*.

Разрез верхней части земной коры по Троицкому профилю ГСЗ существенно нарушен тектоническими разломами противоположных направлений и сложным рельефом предполагаемой поверхности древнего кристаллического фундамента, расположенной в интервале глубин 5–14 км. На участке Кулгунинской скважины она находится на глубине 7–8 км. В соответствии с данными бурения установлен нормальный разрез рифейских отложений, суммарная мощность которых хорошо согласуется с глубиной залегания древнего кристаллического фундамента по данным ГСЗ по Троицкому профилю. Следует также отметить, что временные разрезы по профилю Уралсейс, находящемуся также в пределах Башкирского антиклинория, но в 70 км южнее, не противоречат ранее полученной информации по Троицкому профилю ГСЗ. Углубление скважин или перемещение участка бурения ближе к пограничной зоне, показанной на рис. 19, *г*, вряд ли прояснит ситуацию с поднадвиговой нефтью в Западно–Уральской мегазоне, по крайней мере, в Башкирском антиклинории на Южном Урале. Подчеркнем, что к такому заключению можно было прийти раньше при объективном анализе и учете информации о глубинном строении данного района.

4.3. Оценка нефтегазоперспективности геологической среды основных нефтегазовых провинций и областей Уральского региона

На основе объемной геолого-геофизической модели ВЧЛ выполнено тектоническое районирование исследуемой территории Уральского региона с разделением ее на три крупных подразделения: верхняя часть (I сейсмогеологический этаж), кристаллическая кора (от поверхности древнего фундамента до поверхности основного сейсмогеологического раздела М), верхи верхней мантии (от М–80 до регионального уровня изостатического выравнивания – 80 км). На рис. 40 в качестве примера представлена схема районирования кристаллической коры, совмещенная с известными месторождениями УВ для основных нефтегазовых провинций. Из анализа данных, представленных на рис. 40 следует, что большая часть месторождений приурочена к глубинным разломам ВЧЛ и участкам их пересечения (тектонический фактор). Среди них выделяются «продуктивные» зоны разломов, к которым тяготеют цепочки месторождений УВ.

К ним относятся разломные структуры Печорской рифтовой системы, Калтасинский рифт-авлакоген Волго-Уральского блока, пограничный шов по восточной границе собственно уралид. Большая роль в размещении известных месторождений принадлежит глубинным сдвиговым дислокациям, что стало возможно установить только из анализа объемной информации. Подобная ситуация, возможно, имеет место для древних архейских поднятий: Ханты–Мансийский, Южно–Татарский, и отрицательных структур: Калтасинский авлакоген, Печорская рифтовая структура. Перечисленные структуры характеризуются крупными месторождениями УВ. Ранее подобный вывод был сделан Г.Н. Гогоненко и А.И. Тимурзиевым для доюрского основания Западно–Сибирской НГП [9]. Согласно полученным нами данным они могут принадлежать к глубинным деформациям и представлять флюидо–динамические зоны верхней части литосферы, совмещенные с участками пересечений сдвиговых деформаций.

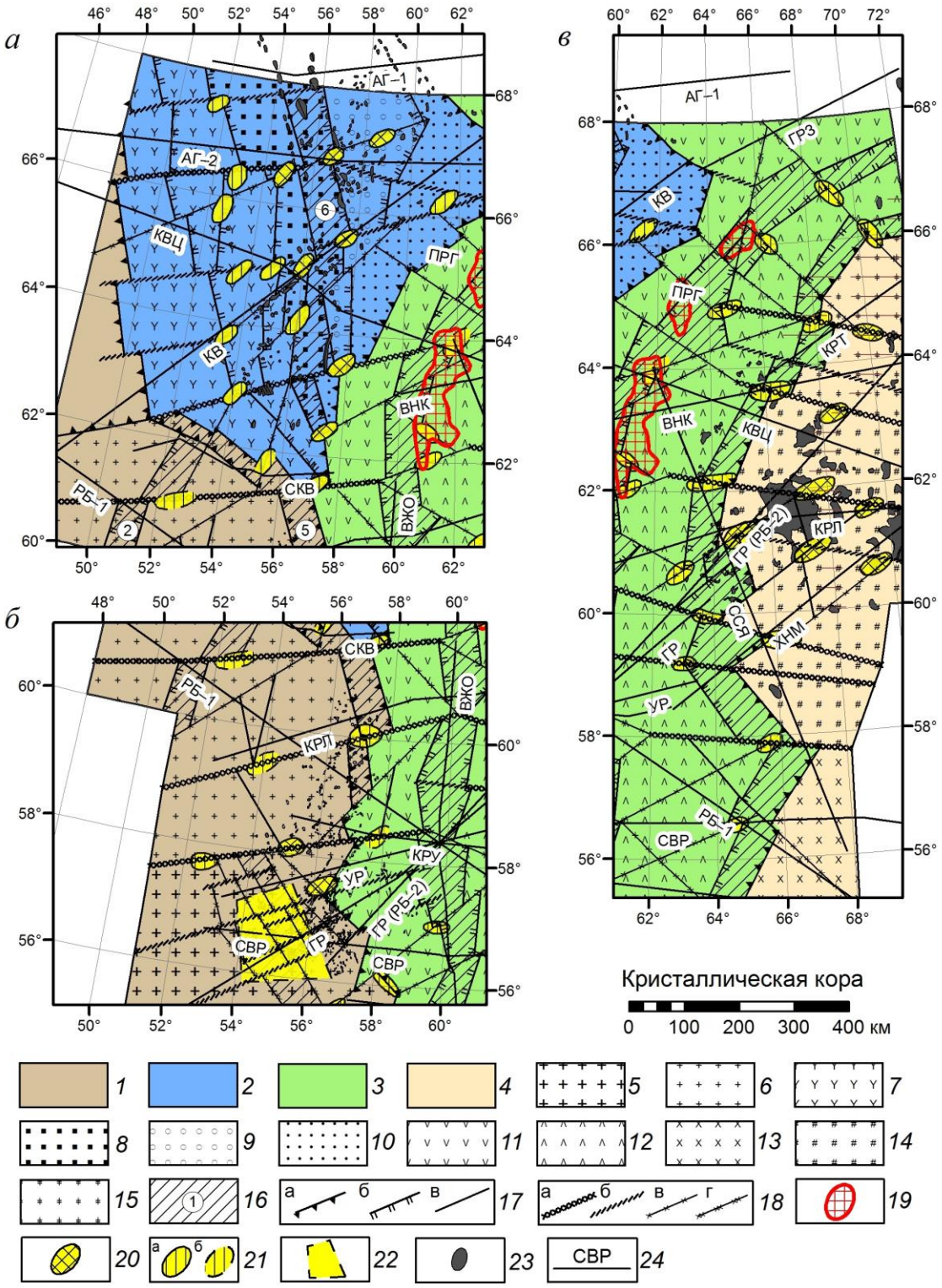


Рис. 40. Схематические карты оценки нефтегазоперспективности геологической среды Уральского региона на основе специфики строения верхней части литосферы [12, 26, 27, 32]:

а – Тимано-Печорская нефтегазовая провинция; *б* – Пермская нефтегазовая область; *в* – Приуральская область Западно–Сибирской нефтегазовой провинции.

Условные обозначения. Геоблоки (*1–4*): *1* – Восточно-Уральский (ВУГБ), *2* – Мезенско–Беломорский (МБГБ), *3* – Уральская складчатая система (УСС), *4* – Западно–Сибирский и Казахстанский (ЗСГБ, КЗГБ); мегаблоки (*5–15*): *5* – Пермско–Камский (ПКМБ), *6* – Коми–Пермяцкий (КПМБ), *7* – Ижма–Тиманский (ИТМБ), *8* – Печерский (ПЧМБ), *9* – Хорейвейско–Чернышевский (ХЧМБ), *10* – Косьва–Роговский (КРМБ), *11* – Западно–Уральская мегазона (ЗУМЗ), *12* – Восточно–Уральская мегазона (ВУМЗ), *13* – Северо–Казахстанский (СКМБ), *14* – Ханты–Мансийский (ХММБ), *15* – Надымский (НДМБ); *16* – контуры предполагаемых палеоактивных структур верхней части литосферы (цифрами в кружках обозначены: Калтасинский рифт–авлакоген (1), Кировско–Кажимский авлакоген (2), Центрально–Уральская мегазона (3), пограничный шов – восточная граница УСС (4), пограничный шов между восточной окраиной ВЕП и ТПГБ (5), Центрально-Печерская мегазона; *17* – контуры геоблоков (а) и мегазон (б), контуры блоков, соответствующие глубинным разломам первого – третьего порядков; *18* – разломная тектоника: субширотные дислокации первого (а) и второго (б) порядков; преимущественно диагональные разломы (в), возможно, сдвиговой природы (г); *19* – контур Ляпинского мегапрогиба; *20* – участки в пределах известных нефтегазовых районов на поиски УВ в основном в более глубоких горизонтах: на востоке ВЕП в допалеозойских отложениях, в Западно–Сибирской равнине – в кровле доюрского фундамента и промежуточном комплексе; *21* – новые перспективные участки с разной степенью обоснованности; *22* – контур Куединской площади, перспективной на поиски УВ в Калтасинском комплексе нижнерифейского возраста; *23* – месторождения углеводородов; *24* – геотраверсы и профили ГСЗ, МОВЗ (названия см. на рис. 1).

В вопросе регионального прогноза также имеют значение тип глубинной структуры, преобладающий состав консолидированной коры и характер развития структуры [32]. К примеру, поиски месторождений УВ бесперспективны в пределах Центральной мегазоны Урала, относящейся к палеорифтовой структуре с корой фемического профиля. Хотя здесь наблюдаются осадочные бассейны (Челябинский грабен, Мостовская и Карпинская депрессии, Ляпинский мегапрогиб и др.) и в пределах Коми-Пермяцкого, Ижма-Печорского мегаблоков, где фундамент, возможно, представлен карелидами повышенной основности (см. рис. 34).

Тимано-Печорская нефтегазовая провинция. Схема перспектив нефтегазоносности ТПП НГП с учетом тектонического районирования верхней части литосферы дана в статьях [25, 26, 27]. В результате анализа имеющихся геологических данных и особенностей глубинного строения составлен макет докембрийских отложений, являющихся фундаментом (основанием) осадочного палеозой-мезозойского бассейна. Он представлен несколькими комплексами, разными по возрасту и типу строения; более подробно это рассмотрено в подразделе 3.4.

При сопоставлении схемы тектонического районирования докембрия и расположения известных месторождений УВ оказалось, что геологическая среда западной части ТПГБ, соответствующая зоне развития в составе докембрия нижнепротерозойских образований повышенной основности (карелид), по-видимому, имеет незначительный углеводородный потенциал. Поэтому внесены коррективы в схему оценки нефтегазоперспективности: увеличена роль восточной части ТНГБ, где предполагается широкое развитие субплатформенных, иногда складчатых отложений нижнего рифея и мезонеопротерозоя; соответственно уменьшено значение западной части ТПГБ, включая Ижма-Печорскую впадину.

Перспективные участки для поисков месторождений УВ в более глубоко погруженных отложениях соответствуют узлам пересечения субширотных дислокаций восточно-северо-восточного направления с глубинными пограничными разломами между мегазонами; они расположены в пределах известных месторождений и объединены в перспективные районы (см. рис. 38). В восточной прибортовой зоне перспективными могут быть вышерасположенные породы палеозоя. Участки в пределах Средне-Тиманского и Южно-Тиманского магаблоков отнесены в разряд объектов с незначительной перспективностью. В заключение подчеркнем, что для выбора первоочередных 2–3 участков для детальных поисковых работ необходимо выполнить регионально-зональное прогнозирование с привлечением информации по

региональным профилям ОГТ, детальных съемок потенциальных полей, данных глубокого бурения, неотектоники и современной геодинамики.

При анализе нефтегазоперспективной Печоро-Колвинской системы следует иметь в виду, что активность динамических процессов, с которыми связано образование рифтовой системы, продолжалась в триасе (излияние базальтов), неокоме (разворот структурного плана с северо–северо-западного на северо–северо-восточное направление, приведшее к сдвиговым дислокациям). Возможно, активность Печорской мегаструктуры сохраняется и на современном этапе, что является положительным моментом при оценке перспективности глубокопогруженных отложений и новых районов.

Северо-западный сектор Западно–Сибирской геосинеклизы. В подразделе 3.2 приведена схема тектонического районирования Ново-Портовско–Салехардского района. Она составлена на основе информации по Полярно–Уральскому трансекту, данных ГСЗ по восточным частям геотраверсов Агат-1, Агат-2, Купянск–Воркута и материалов, любезно предоставленных ОАО «СибНАЦ» (сведений об аномальном поле силы тяжести, рельефе отражающего горизонта А, схем расположения поисковых скважин, месторождений УВ и сейсмического разреза ОГТ по региональному профилю 27). Ново-Портовское и Ярудейское месторождения, расположенные соответственно в породах домезозойского основания и нижней части осадочной толщи, находятся в пограничной структуре по восточной части УСС (возможный аналог Шеркалинского прогиба в южных широтах) и западному обрамлению Западно–Сибирского геоблока. Интерес могут представлять участки развития отложений промежуточного комплекса и массива гранитоидов. Продолжение поисков месторождений УВ в пределах Салехардского блока, аналога Тагильского прогиба, бесперспективны, несмотря на наличие значительной мощности MZ–KZ толщи и перспективных структурных форм.

Восточная часть Волго-Уральской нефтегазовой провинции. Наиболее перспективным районом с позиции информации о глубинном строении является Куединский район юго-западной части Пермского края (Бардымская площадь), который находится в пределах предполагаемой глубинной флюидо-динамической зоны, образованной на пересечении глубинных диагональных разломов, сопровождаемой, возможно, сдвиговыми дислокациями. На рис. 40, *б* обозначен штриховой линией. В геологическом плане по осадочному чехлу PZ к нему приурочено сочленение Калтасинского авлакогена и Камско–Кинельского прогиба. В его пределах нефтеносными могут оказаться нижнерифейские доломиты, залегающие на относительно небольших глубинах 2,5–2,7 км. Вследствие значительной раздробленности отдельных участков, тяготеющих к глубинным разломам, не исключено наличие трещиноватых коллекторов. Относительно меньшая глубина залегания доломитовой толщи на юго-западе Пермского края и на севере республики Башкортостан может значительно облегчить поиски и разведку подобного рода месторождений. Перспективными в данном районе могут также оказаться доманиковые отложения. Часть перспективных участков намечена вне границ указанного контура и находится в пределах рассмотренной сети глубинных ортогональных разломов.

Перспективы северной части Пермского края, которая, согласно схеме тектонического районирования (см. рис. 26), соответствует области развития нижнепротерозойских складчатых комплексов фемического профиля, аналогичных карелидам Балтийского щита, незначительны. Интерес для поисков УВ могут представлять отдельные участки Кажимского авлакогена и субширотной дислокации в районе 61-й параллели. К перспективному участку следует отнести район сочленения трех крупных структур Уральского региона: Волго-Уральского и Тимано-Печорского геоблоков и Уральской складчатой системы. Кроме отложений PZ здесь могут оказаться нефтеносными допалеозойские отложения. Перспективы покровно-складчатой зоны западного

склона Урала ограниченны, за исключением 2–3 участков, совпадающих с «карманами», образованными сбросо(взбросо)-сдвиговыми дислокациями. Это район Сабикской площади, определенной в качестве перспективной по результатам обобщения глубинных сейсмических данных и составления объемной геолого-геофизической модели по Шалинско-Михайловской площади [12]. По данным параметрического бурения в 2011 г. на востоке данной площади установлены значительные газопроявления в продуктивных для восточной окраины ВЕП горизонтах карбона, который имеет здесь повышенную мощность по сравнению с другими районами восточной части Предуральского прогиба. Подобная ситуация возможна для более северных участков. Выдвинутый нами тезис о небольшой перспективности покровно–складчатой зоны противоречит устоявшимся представлениям о высокой перспективности этой территории [59]. В подкрепление этого тезиса кроме приводимого примера для Южного Урала укажем на две характерные особенности Западного склона Урала: во-первых, отсутствие или незначительное развитие крупных пластин, созданных горизонтальными движениями; преобладают надвиговые структуры с малыми горизонтальными амплитудами по сравнению с вертикальными подвижками; во-вторых, геологическая среда ЗУМЗ как составная часть Уральской складчатой системы имеет сложное строение и обладает, особенно восточная часть, преимущественно металлогеническим потенциалом.

Западная и приполярная часть Западно–Сибирской нефтегазовой провинции. Наиболее перспективен северный сегмент рассматриваемой территории, геологическая среда которого обладает значительным углеводородным потенциалом, о чем свидетельствует наличие многочисленных крупнейших, крупных и средних месторождений УВ. Выделяемая нами перспективная полоса, в состав которой входят не менее 10 участков, совпадает с пограничным швом и Ханты-Мансийским и Надымским древними массивами

Западно–Сибирского геоблока. Принцип прогнозирования был такой же, как для Тимано-Печорской нефтегазовой провинции. При выделении перспективных участков учитывались возможная приуроченность уже известных месторождений к предполагаемым глубинным сдвиговым дислокациям, особенно значительным в пределах Ханты-Мансийского мегаблока, и подобие глубинного строения срединных поднятий ЗСП. Намечено несколько участков за пределами нефтяных районов, но основная часть выделена в пределах этих районов и ориентирована в основном на поиски месторождений УВ в переходном комплексе и дезинтегрированной части основания осадочного бассейна. Южнее 60-й параллели на продолжении рассматриваемой полосы определены несколько перспективных участков.

Перспективы Восточно-Уральской мегазоны и восточной части ЦУМЗ, несмотря на присутствие в северной части достаточных по мощности осадков мезокайнозоя (более 1,0–1,5 км), ограниченны. Предполагаемая, без учета специфики строения земной коры, высокая перспективность Ляпинского мегапрогиба не подтверждена последующими геолого-геофизическими поисковыми работами, значительными по объему и стоимости. Не были учтены выводы о небольшой перспективности этой структуры, сделанные еще при прохождении профиля ГСЗ Верхнильдино–Казым в 1986 г., и затем – при составлении объемной геолого-геофизической модели ВЧЛ для северо–западной части Западно–Сибирской равнины [24, 27, 29]. В качестве относительно перспективных определены несколько участков по восточному контакту ЦУМЗ в пределах соседней полосы поднятий ВУМЗ.

Непосредственное отношение к региональному прогнозированию имеет проблема древнего (нижнеархейского) фундамента Западно–Сибирского геоблока. Для приполярных широт Западно–Сибирской геосинеклизы на рис. 41 представлен сводный сейсмогеологический разрез верхней части земной коры, составленный на основе нескольких разрезов ГСЗ (рис. 42). Он расположен в пределах широт 63–66°; начинается на западе восточной части

Центрально–Уральской мегазоны (в районе Ляпинского мегапрогиба) и заканчивается восточнее Тюменской СГ-6.

Кроме поверхности древнего (архейского) кристаллического фундамента на разрезе приведено положение домезозойского основания, выше которого между отражающим горизонтом А и указанной границей, возможно, находятся базальт-терригенные отложения триаса со значениями скорости 4,6–5,0 км/с; регионально выдержанная граница – поверхность нижнего специфического комплекса ($К^{*}_{01}$), которая над поднятиями древнего фундамента располагается непосредственно под отражающим горизонтом А или перекрыта незначительными по мощности породами верхнего мегакомплекса. На разрезе показаны предполагаемый состав комплексов, положение разломов, а над разрезом указано тектоническое районирование с выделением основных элементов разреза мегаблоков и блоков (см. рис. 41).

Глубина залегания архейского фундамента в районе сводного разреза изменяется от 3–4 км на поднятиях УСС до 14–15 км в Уренгойском прогибе в районе Тюменской СГ-6.

Крупным положительным структурам соответствуют блоки: Сыртаньинско–Сосьвинский, Медвежье-Ямбурский, Уренгойский; интересна позиция более локальных поднятий, расположенных по краевым частям пограничного шва, отвечающего восточной границе уралид (Игримский и Ярудейский блоки), а также Хадыр-Яхинского блока по восточному обрамлению зоны Уренгойского рифта.

Отрицательные структуры поверхности древнего фундамента существенно различаются размерами и составом заполняющих их отложений разного возраста. Наиболее крупной из них является восточная часть Центрально–Уральской мегазоны, в которой находится Ляпинский мегапрогиб.

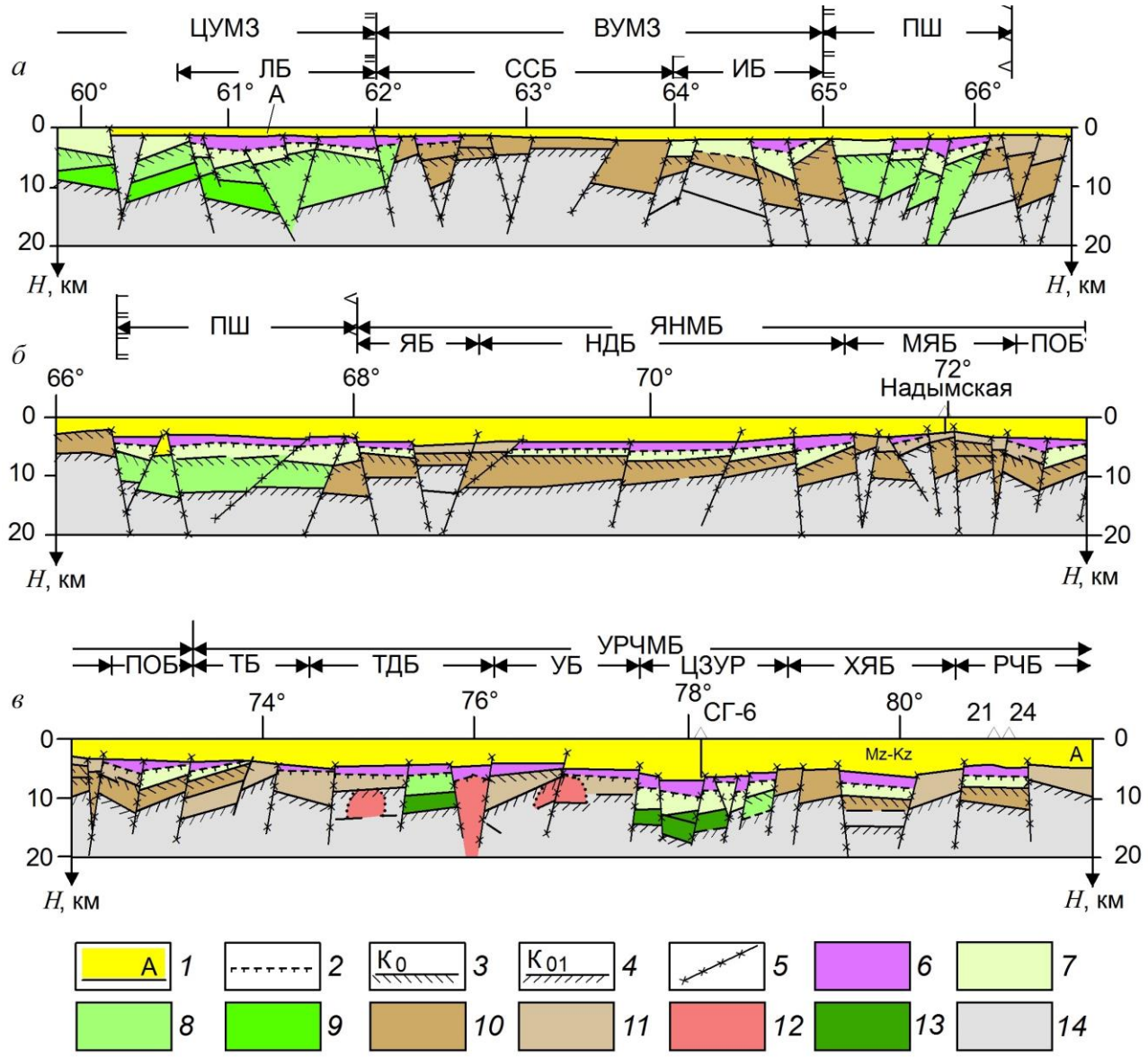


Рис. 41. Сводный сейсмогеологический разрез верхней части земной коры северного сектора ЗСГ, составленный по данным ГСЗ.

а – профиль Верхненильдино–Казым, *б* – геотраверс Кратон, *в* – Уренгойский профиль [29, 31].

Условные обозначения. *1* – отражающий горизонт А (подошва осадочного бассейна – по результатам обобщения информации по региональным профилям ОГТ, выполненного ОАО «СибНАЦ» под руководством Б.В. Монастырева и др., в 2008 г.); *2* – домезозойское основание Западно-Сибирского геоблока; *3* – поверхность нижнего мегакомплекса I сейсмогеологического этажа, состав и возраст которого не постоянны и зависят от типа структур; *4* – поверхность архейского кристаллического фундамента; *5* – тектонические нарушения; предполагаемые литологические комплексы (*6–13*): *6* – базальто–терригенный возраста T, *7* – вулканогенно-осадочный возраста D–C, *8* – вулканогенный O–S, *9* –

метаморфизованные вулканиты основного состава, *10* – гранитогнейсовый на древних поднятиях, *11* – гнейсосланцевый комплекс, *12* – гранитоиды, *13* – габброиды, *14* – структуры первого порядка: мегазоны УСС (ЦУМЗ – Центрально-Уральская, ВУМЗ – Восточно-Уральская, ПШ – пограничная структура (шов) – восточная граница развития собственно уралид); мегаблоки ЗСГБ: ЯНМБ – Ярудейско-Надымский, ЯБ – Ярудейский, МЯБ – Медвежье-Ямбургский, ПОБ – Правохетинский, УРЧМБ – Уренгойско-Русско–Часельский, ТБ – Танловский, ТДБ – Тоштыдзотинский, УБ – Уренгойский, ЦЗУР – Центральная зона Уренгойского рифта, ХЯБ – Хадырь-Яхинский, РЧБ – Русско-Часельский, ИБ – Игримский блок, ССБ – Сартыньинско-Сосьвинский блок, НДБ – Надымский блок, ЛБ – Ляпинский

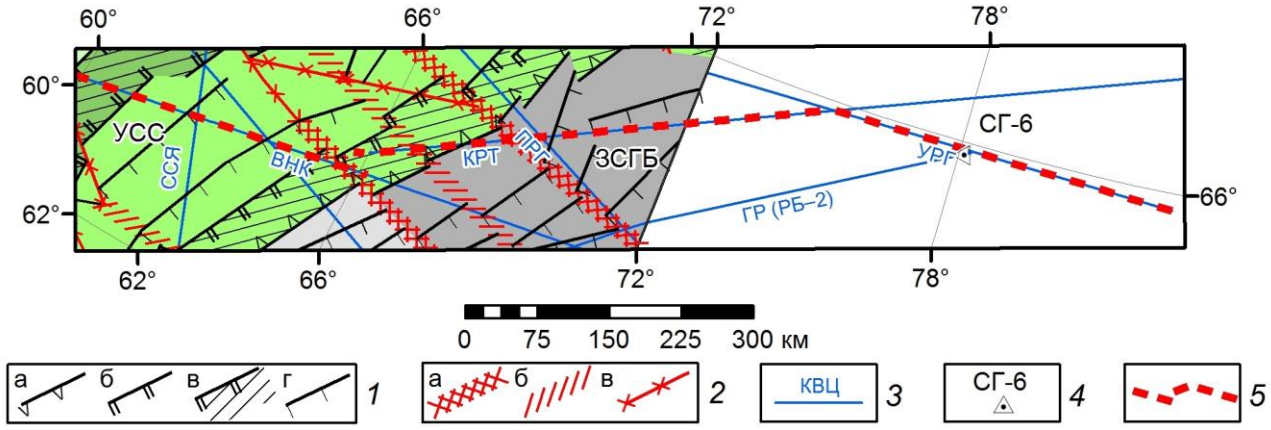


Рис. 42. Схема расположения профилей ГСЗ и сводного разреза, совмещенные со схемой тектонического районирования кристаллической коры северо-западной части Уральского региона [29, 31].

Условные обозначения. *1* – границы геологических структур: а – геоблоков (ПБГБ – Пермско-Башкирский, БМГБ – Беломорско-Мезенский, КЗГБ – Казахстанский (северная часть), ЗСГБ – Западно-Сибирский (западная часть), УСС – Уральская складчатая система), б – структур первого порядка и мегазон в пределах УСС, в – палеоактивных структур, г – блоков и зон; *2* – разрывная тектоника: а – субширотные дислокации первого порядка, б – второго порядка, в – глубинные разломы, возможно, глубинные сдвиги; *3* – профили ГСЗ и их названия: ССЯ – Сев. Сосьва–Ялуторовск, КВЦ – Кварц, ВНК – Верхненильдино–Казым, КРТ – Кратон, ПРГ – Прогнозный, ГР (РБ-2) – Рубин-2, УРГ – Уренгойский; *4* – Тюменская сверхглубокая скважина СГ-6; *5* – положение сводного сейсмогеологического разреза

Мощность верхней части консолидированной коры в пределах этого прогиба оценивается в 10–12 км, из них 3–5 км составляют базальт–терригенные отложения триаса и вулканогенно-осадочные породы девон-карбона. Нижний мегакомплекс представлен геосинклинальными комплексами, типичными для района Уральской сверхглубокой скважины.

Следующей на восток крупной отрицательной структурой является пограничный шов, который в данном сечении соответствует Шеркалинскому прогибу. В связи с разворотом УСС после 64–65° с.ш. в северо-северо–восточное направление геотраверс Кратон имеет размеры больше, чем на субширотном профиле Верхнильдино–Казым (см. рис. 42). Строение прогиба аналогично таковому восточной окраины ЦУМЗ. Перспективными на поиски УВ в доюрских отложениях могут быть относительно незначительные по размерам отрицательные структуры соседнего Игримского блока.

Восточнее Ярудейского поднятия в Надымском блоке находится крупная впадина в виде моноклинальной структуры с подъемом древнего фундамента в сторону Медвежье-Ямбурского поднятия.

Верхний комплекс D–T мощностью до 3 км в отличие от впадин УСС, расположен на породах допалеозоя соседнего поднятия. Поэтому нефтегазоперспективность доюрских отложений Нижненадымской впадины, как и западной части Медвежье-Ямбурского блока, может быть значительной.

В Уренгойско-Русско-Часельском мегаблоке находятся две крупные отрицательные структуры: первая соответствует Тоштыдзотинскому блоку, вторая – Центральной зоне Уренгойского рифта. Для обеих характерна неоднородность строения палеозойских и более древних толщ. В западной впадине перспективны отложения триаса на участках, тяготеющих к интрузиям кислого состава.

Глубинное строение Уренгойского прогиба не позволяет дать положительную оценку перспективности субплатформенным отложениям D–T, невзирая на их значительную мощность 3–5 км. Они расположены над

предполагаемым массивным телом габброидов и ультрабазитов. Кристаллическая кора также насыщена подобными телами.

Такой тип глубинной структуры характерен для Центральной мегазоны Уральской складчатой системы. Подобие заключается также в присутствии в низах коры переходного мегакомплекса со значениями скорости 7,2–7,7 км/с и, по данным А.В. Егоркина, с пониженным содержанием SiO_2, что характерно для фемических пород. Имеющиеся различия, в основном по мощности кристаллической коры, по-видимому, объясняются существенно более молодым возрастом Уренгойской рифтовой зоны. В плане нефтегазоперспективности доюрских комплексов более интересны сравнительно небольшие по размерам отрицательные структуры в пределах Хадыр-Яхинского блока; также перспективны базальт-терригенные отложения триаса в западной части Русско-Часельского блока.

Заканчивая описание разреза необходимо обратить внимание на то, что информация о строении доюрских отложений и положении архейского кристаллического фундамента приведена только по данным ГСЗ. Она должна быть проанализирована с учетом имеющихся геолого-геофизических материалов. Особенно это относится к выбору перспективных площадей для поисков УВ в нижерасположенных горизонтах.

4.4. Регионально-зональное прогнозирование

Следующая стадия оценки нефтегазоперспективности – регионально–зональное прогнозирование на основе специфики строения земной коры с использованием имеющейся информации о строении, тектонике, минерагении осадочного бассейна, включая глубокопогруженные отложения (ГПО). Основная цель исследований этого этапа – обоснование участков в пределах выделенных перспективных площадей на региональной стадии для постановки детальных геолого-геофизических поисковых работ. В качестве примера

рассмотрены три площади: Бардымская, Еременская и Ново-Портовско–Салехардская.

4.4.1. Бардымская площадь. Перспективы нефтегазоносности нижнепермского мегакомплекса Восточной окраины ВЕП

Юго-западная часть Пермского края является одним из основных нефтедобывающих районов Волго-Уральской нефтегазовой провинции. Его территория относительно палеозоя достаточно хорошо изучена геолого–геофизическими исследованиями [59] и ГСЗ (рис. 43). Глубокопогруженные горизоны осадочного слоя (к ним относятся субплатформенные докембрийские отложения) мало изучены. Но именно они считаются потенциальными объектами для пополнения ресурсной базы углеводородного сырья. Имеются ряд региональных профилей МОГТ и несколько глубоких скважин, которые вскрыли докембрийские породы в интервале глубин 2,0–5,5 км.

В результате исследований составлены: схематическая карта рельефа нижнеархейского кристаллического фундамента $К_{01}$ (рис. 44); схема изопахит нижнерифейского мегакомплекса (рис. 46) с учетом имеющейся карты рельефа фундамента AR–PR по данным ОГТ (рис. 45) и поверхности $К_{01}$; схема тектонического районирования Бардымской площади (рис. 47) на основе перечисленных материалов, результатов анализа потенциальных полей с учетом существующей схемы тектонического районирования кристаллической коры (рис. 48), масштаб схемы 1:500 000. Для выяснения глубинной тектоники с элементами неотектоники и современной динамики был привлечен анализ гидросети и результатов космодешифрирования.

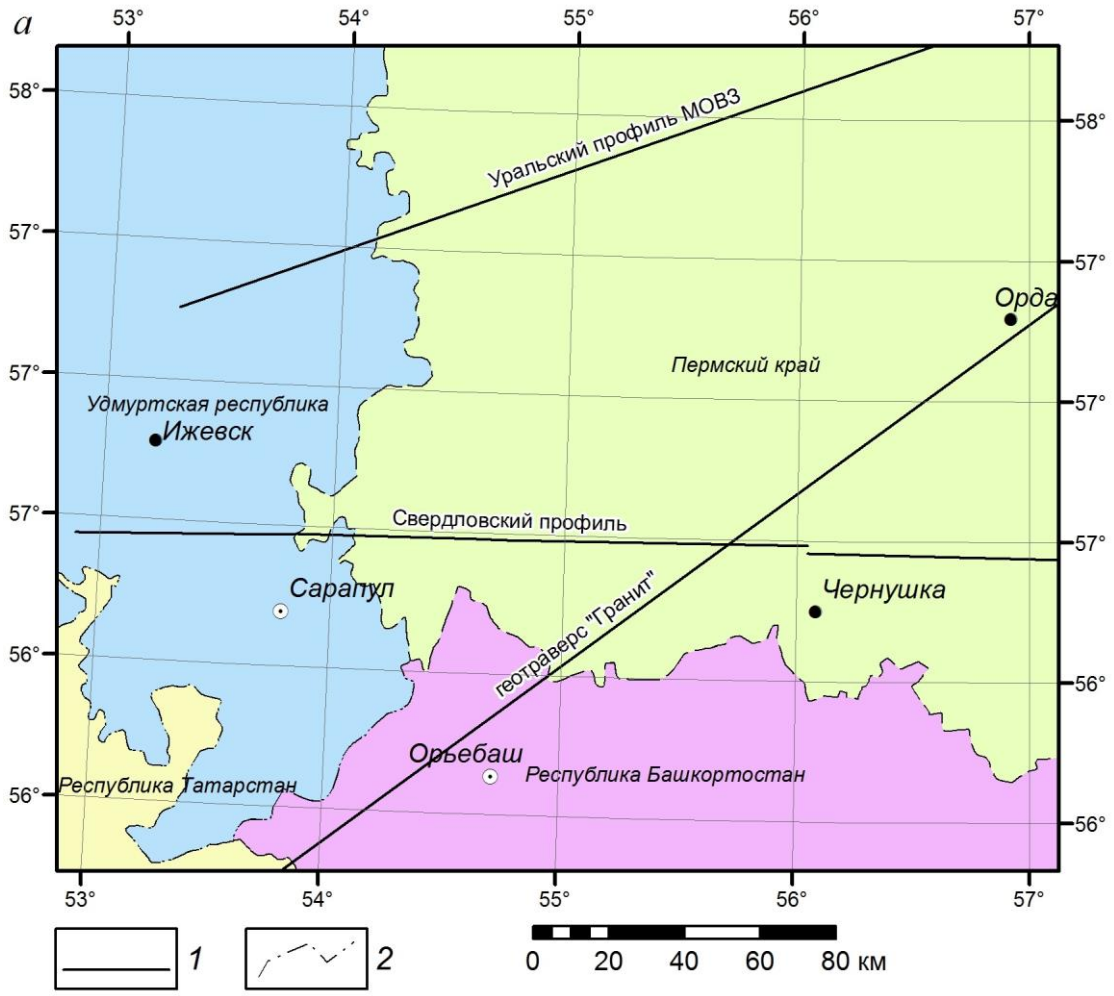
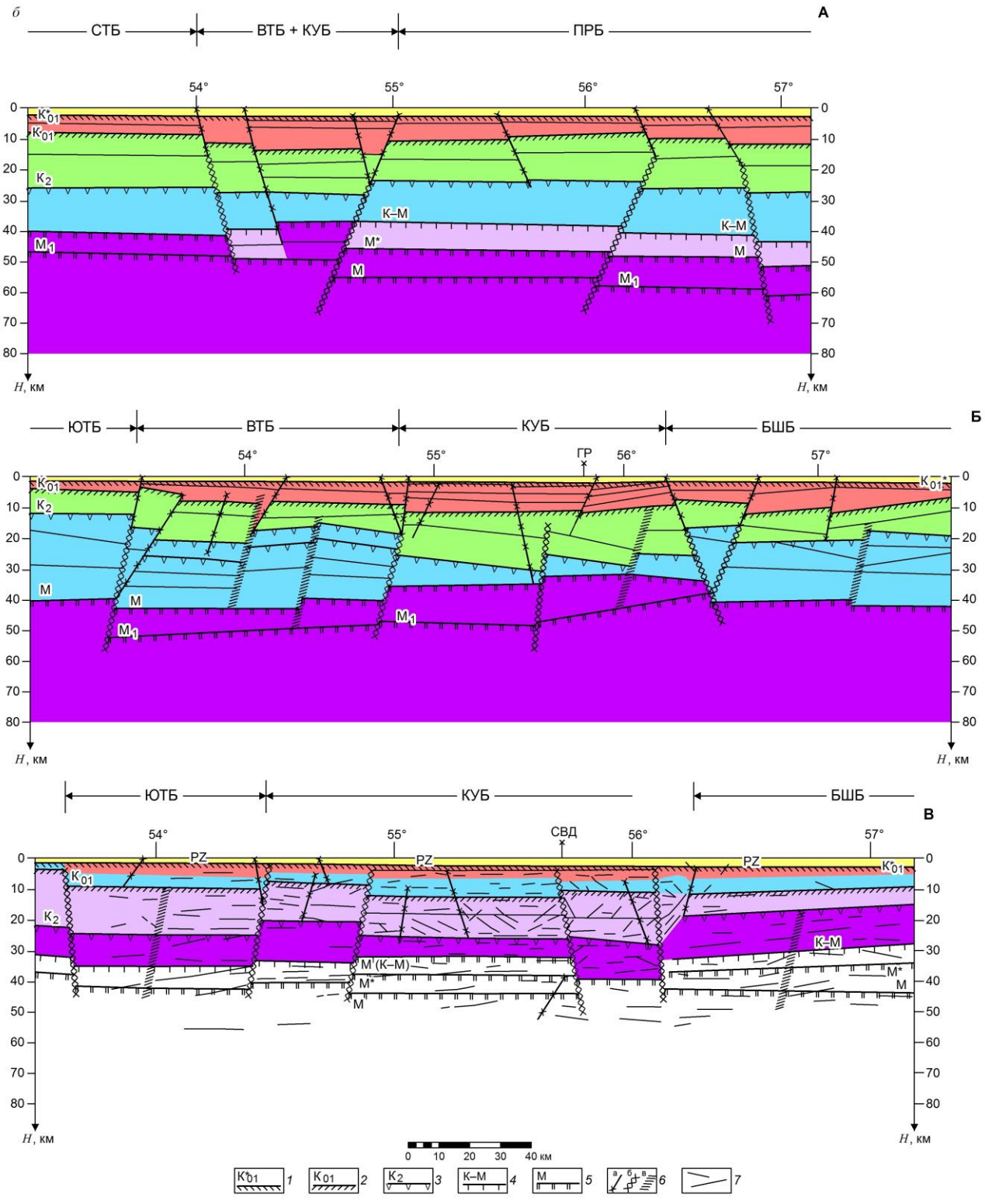


Рис. 43. Сейсмическая информация ГСЗ по юго-западной части Пермского края и Республике Башкортостан.

а – схема расположения профилей ГСЗ, местоположение Орьебашевской, Сарапульской глубоких скважин; *б* – сейсмогеологические разрезы земной коры.

А – Уральский профиль МОВЗ; **Б** – Свердловское пересечение; **В** – геотраверс Гранит


б
А
СТБ
ВТБ + КУБ
ПРБ
54°
55°
56°
57°
H, км
Б
ЮТБ
ВТБ
КУБ
БШБ
ГР
В
СВД
PZ
0 10 20 30 40 км
1
2
3
4
5
6
7

Условные обозначения. **К схеме *а*:** *1* – геотраверсы и профили ГСЗ, МОВЗ; *2* – административные границы субъектов Российской Федерации. **К схеме *б*:** *1* – поверхность нижнего мегакомплекса I сейсмогеологического этажа*, соответствующая в Калтасинской структуре (блоки ВТБ и КУБ) карбонатным, терригенно-карбонатным отложениям нижнего рифея; в пределах Куединского блока верхняя часть мегакомплекса представлена доломитами, ниже – метатерригенными отложениями и карбонатно-терригенными породами в подошве мегакомплекса; в блоках ПРБ и БШБ – протогеосинклинальному мегакомплексу карелид; *2* – поверхность древнего кристаллического фундамента $К_{01}$; *3* – поверхность нижней коры $К_2$; *4* – поверхность переходного слоя К–М; *5* – основной сейсмогеологический раздел М; *6* – разрывная тектоника: а – глубинные разломы, б – зоны глубинных разломов, в – то же менее уверенно; *7* – отражающие элементы на геотраверсе Гранит.

Районирование земной коры по особенностям глубинного строения. Блоки: СТБ – Северо-Татарский, ЮТБ – Южно-Татарский, ВТБ – Воткинский, КУБ – Куединский, ПРБ – Пермский, БШБ – Башкирский.

* Положение границы на разрезах ГСЗ показано с учетом карты рельефа отражающего горизонта $V_{вп}$ [60]

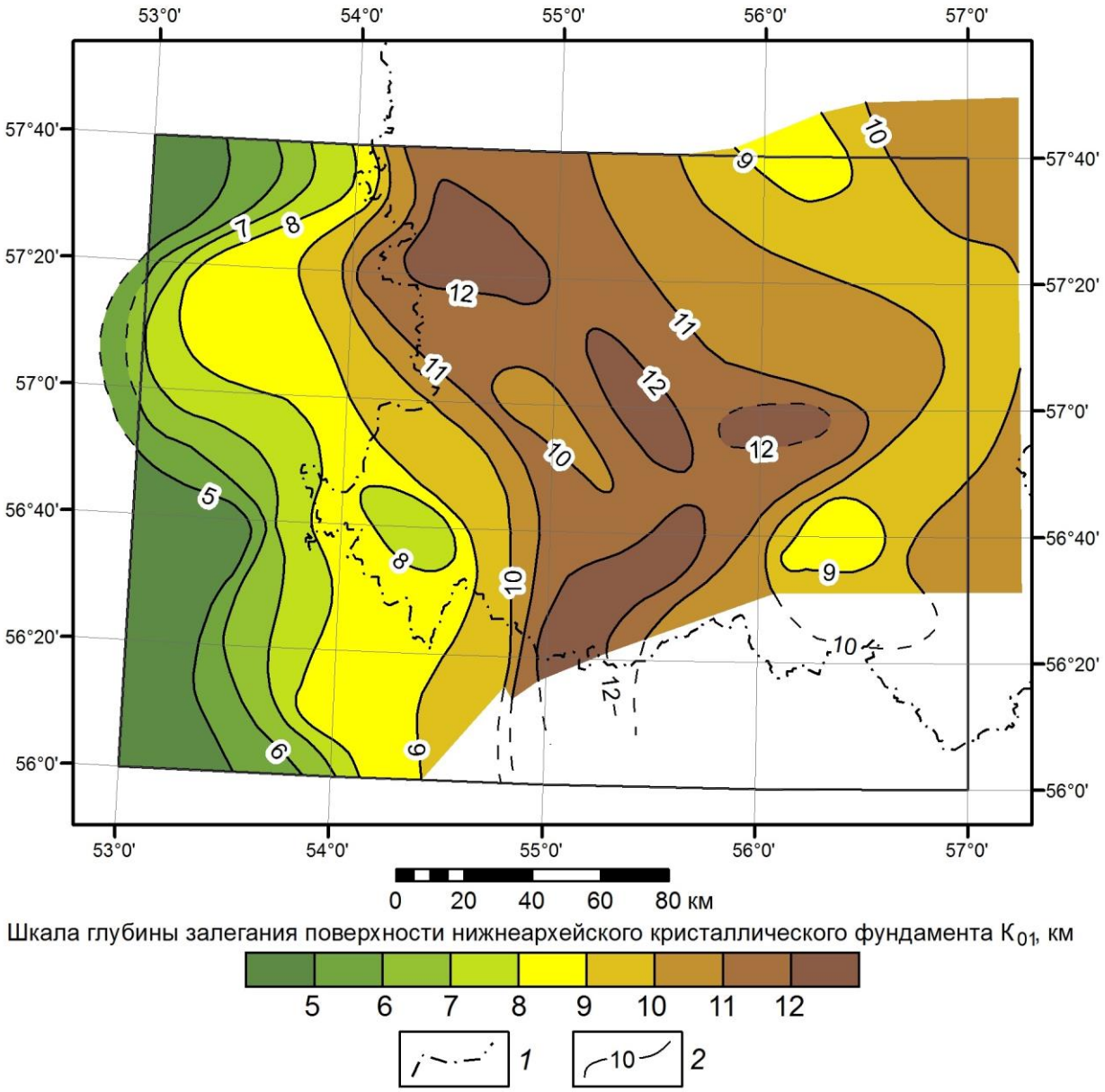


Рис. 44. Схематическая карта рельефа поверхности нижнеархейского кристаллического фундамента ($К_{01}$) [29, 34].

Условные обозначения: *1* – административная граница Пермского края; *2* – изогипсы рельефа нижнеархейского кристаллического фундамента $К_{01}$, км

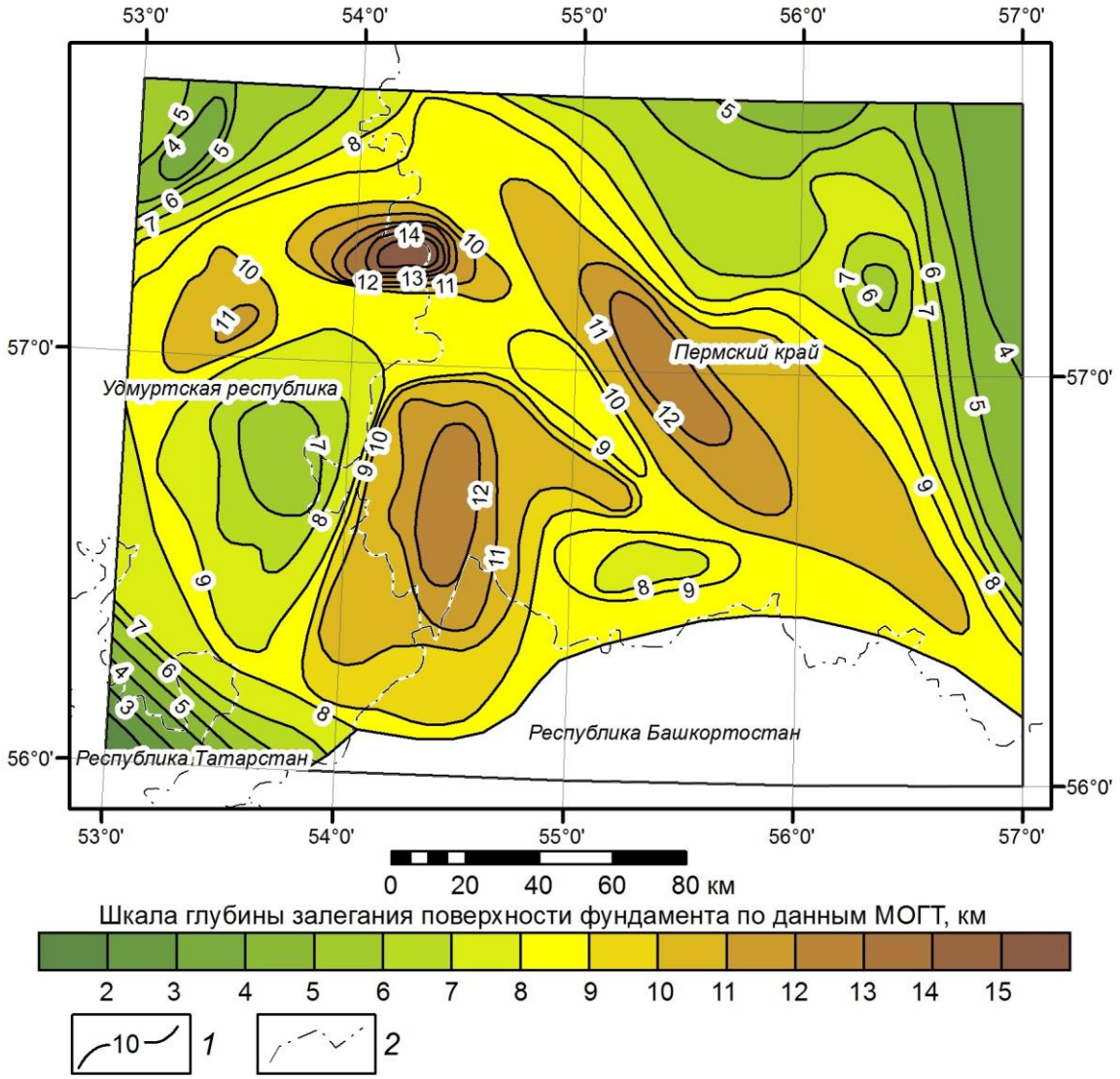


Рис. 45. Схема поверхности фундамента по данным сейсморазведки [59].

Условные обозначения: *1* – изогипсы поверхности фундамента, км; *2* – административные границы субъектов Российской Федерации

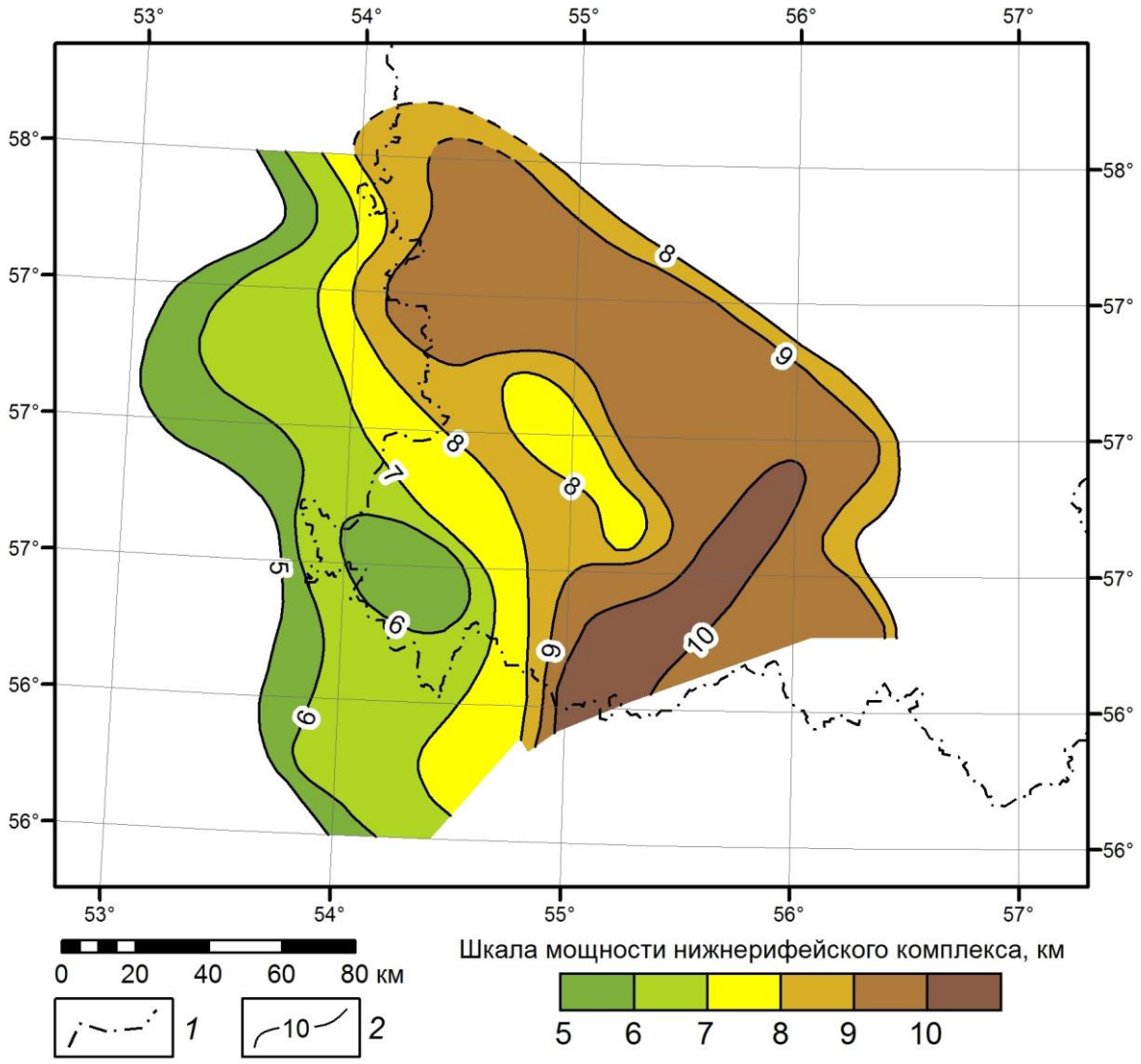


Рис. 46. Схема изопахит нижнерифейского комплекса в пределах Воткинского и Куединского блоков.

Условные обозначения: *1* – административная граница Пермского края; *2* – изогипсы нижнерифейского комплекса, км

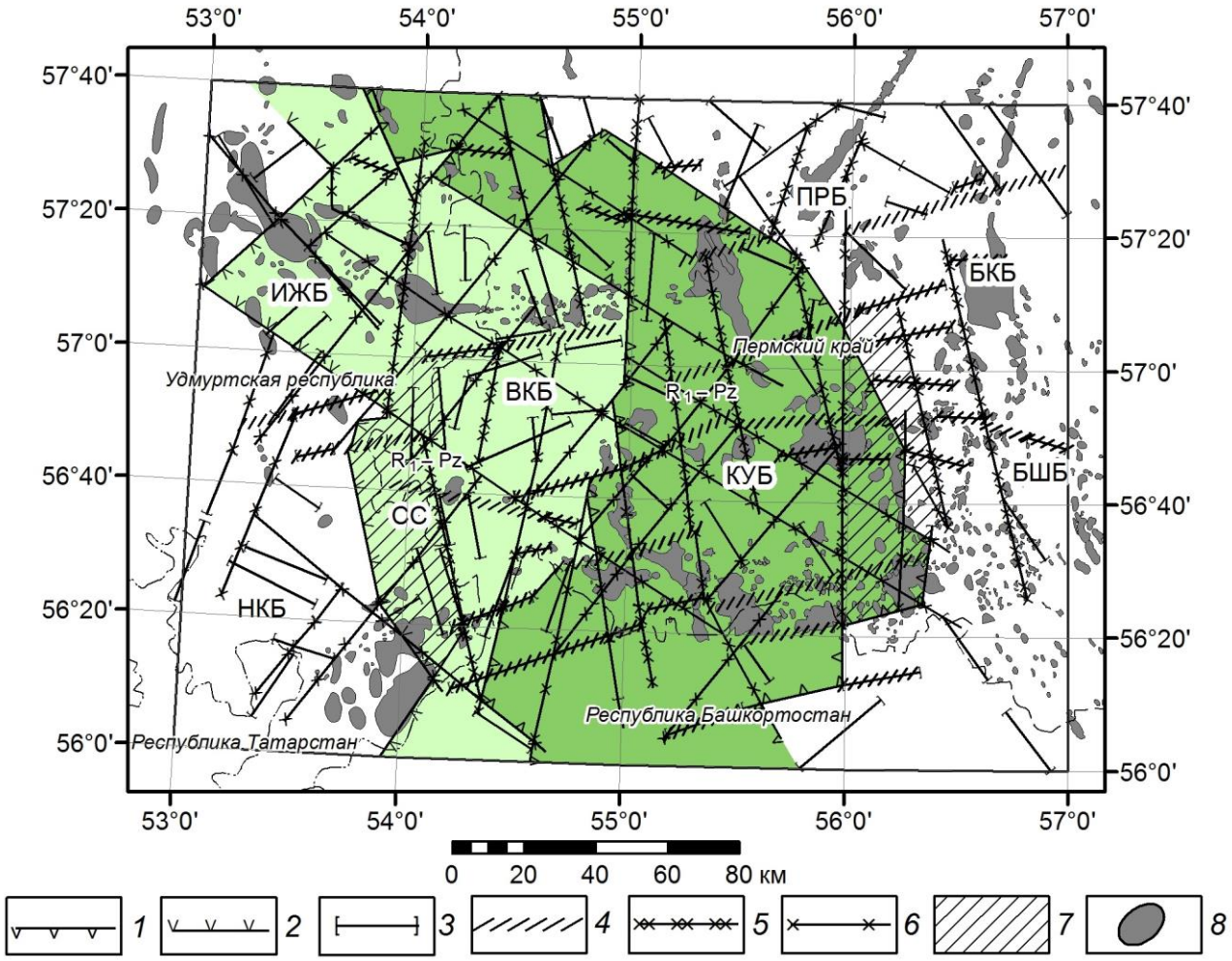


Рис. 47. Схема (макет) тектонического районирования (Бардымская площадь), с учетом элементов новейшей тектоники [29].

Составлена на основе глубинной информации с учетом данных по космодешифрированию, геоморфологии и геофизических линеаментов.

Условные обозначения. Блоки земной коры: ИЖБ – Ижевский, НКБ – Нижнекамский, ВКБ – Воткинский, КУБ – Куединский, ПРБ – Пермский, БКБ – Бымско-Кунгурский, БШБ – Башкирский, СС – Сарапульская структура; границы основных тектонических подразделений: *1* – Калтасинский блок; *2* – западная граница блоков с увеличенной глубиной залегания поверхности древнего кристаллического фундамента; дизъюнктивная тектоника: *3* – линеаменты новейшей тектоники; элементы глубинной тектоники: *4* – субширотные дислокации; *5* – субвертикальные разломы; *6* – основные составляющие сдвиговой тектоники; *7* – пограничные зоны; *8* – известные месторождения нефти [59].

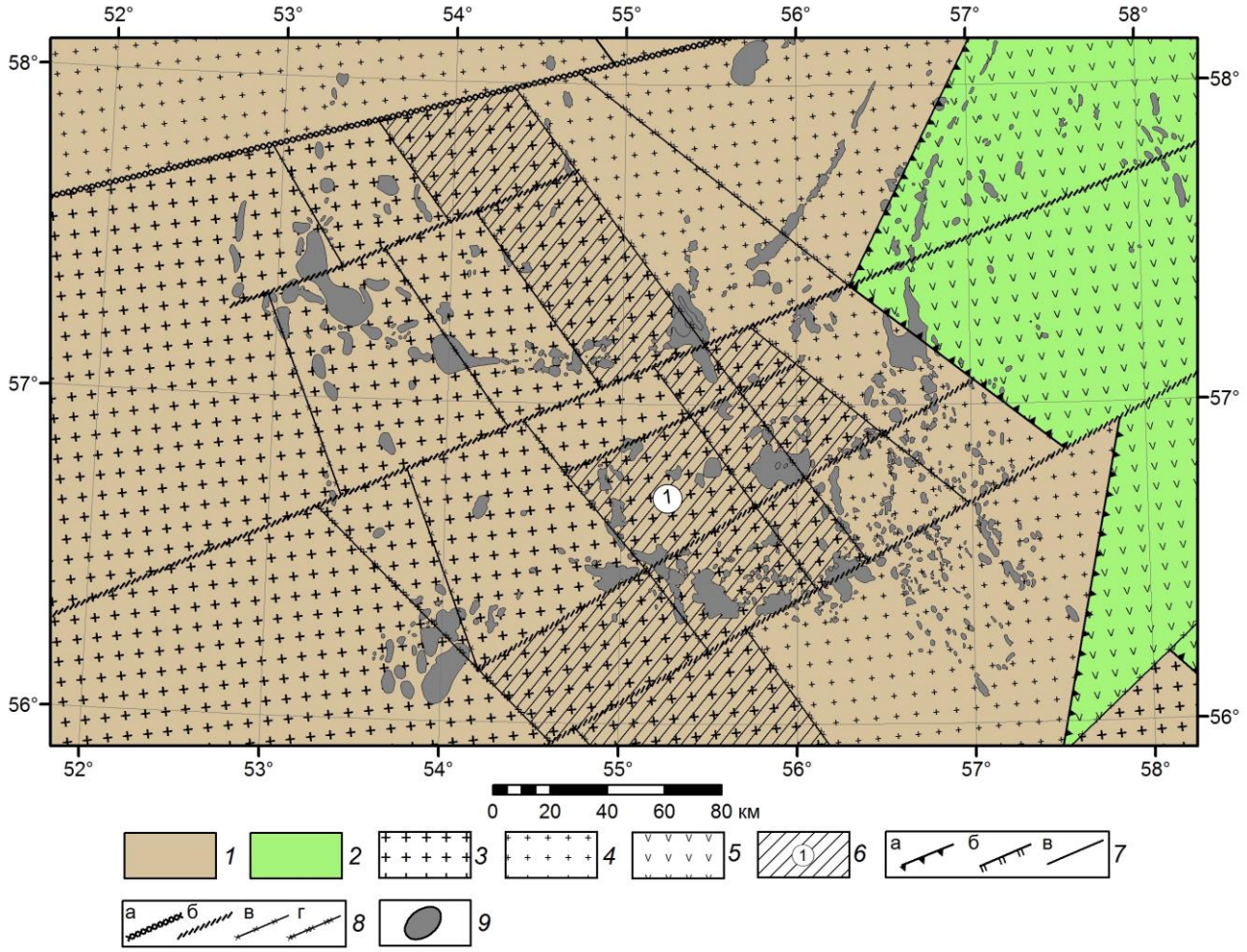


Рис. 48. Схема тектонического районирования кристаллической коры и расположения месторождений углеводородов [29].

Условные обозначения. Геоблоки (*1*, *2*): *1* – ВУГБ; *2* –УСС; мегаблоки (*3–5*): *3* – Пермско-Камский (ПКМБ), *4* – Коми-Пермяцкий (КПМБ), *5* – Западно-Уральская мегазона (ЗУМЗ); *6* – контуры предполагаемых палеоактивных структур верхней части литосферы, цифрой в кружке показан Калтасинский рифт-авлакоген (1); *7* – контуры геоблоков (а) и мегазон (б), контуры блоков, соответствующие глубинным разломам первого–третьего порядков; *8* – разломная тектоника: субширотные дислокации первого (а) и второго (б) порядков; преимущественно диагональные разломы (в), возможно, сдвиговой природы (г); *9* – известные месторождения нефти [59]

* * *

В отличие от предшествующих макетов тектонического районирования [30] отрицательная структура в поверхности нижнеархейского кристаллического фундамента (Воткинско-Куединская впадина) представлена двумя подразделениями земной коры: западным (Воткинский блок) и восточным (Куединский, который соответствует авлакогенной, возможно рифтовой структуре континентальной коры с аномальными чертами строения).

Расположение известных месторождений нефти в продуктивных горизонтах среднего палеозоя (рис. 49) относительно схем глубинного тектонического районирования по профилям ГСЗ и площади исследований свидетельствует о преобладающей роли тектонического фактора в генерации и образовании месторождений УВ. Важным моментом является возможное присутствие в данном районе глубинной флюидодинамической зоны верхней части литосферы. Именно с ее присутствием могут быть связаны: необычная форма Воткинско-Куединской впадины; формирование в Куединском блоке калтасинских доломитов в верхней части нижнерифейского комплекса за счет метаморфизма карбонатов при повышенных PT условиях при аномальных геодинамических процесах в верхней мантии; повышенный нефтегазогенерирующий потенциал недр Земли и более всего в районе Калтасинского авлакогена.

При выборе перспективных участков для постановки в их пределах детальных поисковых работ на обнаружение месторождений в нижнерифейских отложениях учитывались следующие моменты: пересечение субширотных дислокаций земной коры с субвертикальными и диагональными разломами земной коры; нео– и современная активность дизъюнктивов; расположение в окрестностях известных месторождений нефти, что само по себе предполагает вертикальную миграцию УВ из очага их генерации.

В нижнерифейском мегакомплексе образование месторождений УВ возможно при наличии двух традиционных факторов: коллектора и покрышки.

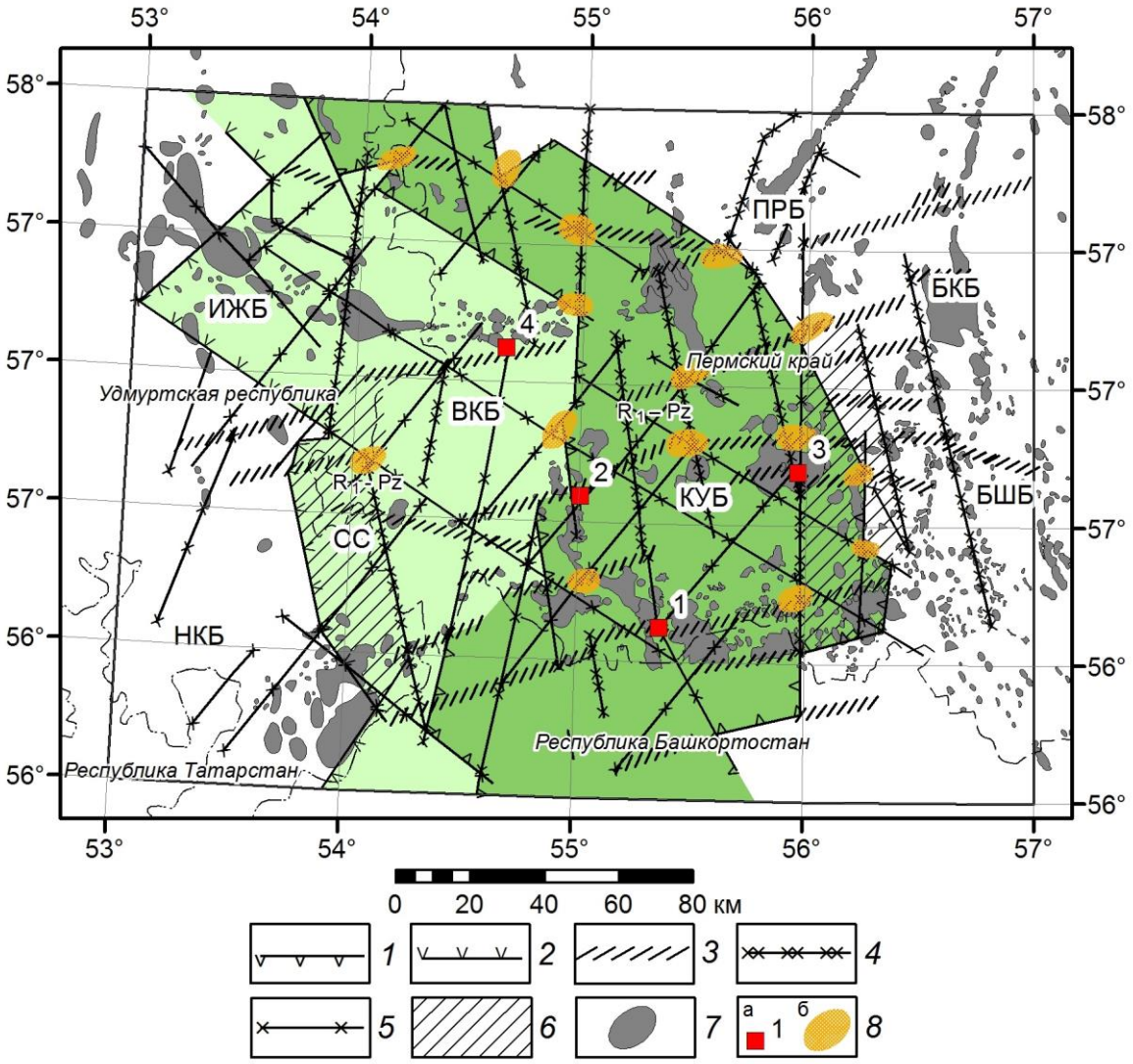


Рис. 49. Схема потенциальной нефтегазоперспективности нижнерифейских комплексов, расположенных на юго-западе Пермского края [28, 34].

Условные обозначения. Блоки земной коры: ИЖБ – Ижевский, НКБ – Нижнекамский, ВКБ – Воткинский, КУБ – Куединский, ПРБ – Пермский, БКБ – Бымско-Кунгурский, БШБ – Башкирский, СС – Сарапульская структура; границы потенциально перспективных блоков Бардымской площади (*1*, *2*): *1* – Куединский, *2* – западная граница отрицательной структуры; дизъюнктивная тектоника: *3* – субширотные дислокации; *4* – субвертикальные разломы; *5* – основные составляющие сдвиговой тектоники; *6* – пограничные зоны; *7* – известные месторождения нефти [59]; *8* – перспективные участки для постановки детальных исследований первой очереди (а), последующей стадии (б). Остальные пояснения см. в тексте

Более перспективны доломиты нижнего рифея на глубинах от 2,2 до 5,0 км (уровень освоенных глубин во многих нефтегазовых провинциях). Коллекторы в этих породах имеют узкососредоточенный характер и приурочены к участкам повышенной трещиноватости со специфическими гидротермальными условиями. Значительная раздробленность геологической среды глубинными разломами, среди которых преобладают сдвиги и субширотные дислокации, является положительным моментом в формировании многочисленных небольших по размерам (в плане) месторождений УВ в нижнерифейском карбонатно-доломитовом комплексе. При отсутствии региональных покрышек тектонические элементы выступают в качестве таковых на отдельных локальных участках среды.

Исходя из изложенного, прогнозные ресурсы глубокозалегающих отложений юго-запада достаточно высоки и по предварительной оценке могут составлять около половины запасов в известных продуктивных горизонтах. В соответствии с полученной региональной информацией могут быть намечены не менее двух десятков перспективных участков. Пока мало геолого-геофизических данных для выбора конкретного объекта для поисковых работ (велик риск пропуска цели). Поэтому предлагается следующая последовательность работ по решению проблемы глубинной нефти на рассматриваемой территории.

Выбор нескольких более перспективных участков (3–4), расположенных в разной тектонической обстановке для параметрического бурения глубиной до 5 км с обязательной постановкой наземно-скважинных геофизических наблюдений на площади в пределах участка. Технология таких работ должна учитывать специфику моделей глубокопогруженных отложений нижнего рифея и необходимость получения информации об их физико–механических параметрах.

За счет указанных мероприятий вносятся коррективы в строение верхней части нижнерифейского мегакомплекса, оценивается его перспективность,

создается объемная модель участка и совершенствуется технология геолого–геофизических работ на таких объектах. Таким образом, необходимым условием для повышения эффективности последующих работ по проблеме «глубинная нефть» является создание на основе объемной геолого–геофизической модели схематической тектонической карты докембрийских отложений и разработка технологий, ориентированных на прямые поиски месторождений УВ в ГПО Пермского края [1, 82].

При оценке прогнозных ресурсов нижнерифейских отложений учитывались: широкое площадное распространение тектонических элементов, контролирующих известные месторождения нефти в продуктивных горизонтах палеозоя; глубокое заложение разломов и расположение их в пределах флюидодинамической зоны ВЧЛ, обладающей, вероятно, значительным углеводородным потенциалом; преобладающая вертикальная миграция.

Доломиты нижнего рифея в Калтасинском авлакогене и частично карбонатно-терригенные отложения Воткинского блока мощностью до 2,0–2,5 км, расположенные в верхней части промежуточного мегакомплкса, относятся к высокопродуктивным горизонтам для поисков месторождений УВ. Аналогичные породы нижнего рифея, находящиеся на Северо–Китайской платформе, оказались продуктивными, здесь обнаружено крупное месторождение нефти на глубине 6,5 км [56]. Прогнозные ресурсы нижнерифейских отложений Бардымской площади по категории D–C могут составлять не менее половины от запасов нефти в известных продуктивных горизонтах PZ. Расположение перспективных участков в узлах пересечения разнородных тектонических элементов создает пеструю картину распределения коллекторов и покрышек и соответственно залежей УВ, возможно, приуроченных к участкам повышенной трещиноватости со специфическими гидротермальными условиями. Не исключено образование многочисленных небольших по горизонтальным размерам, но не по запасам, месторождений УВ.

Поэтому должна быть изменена технология поисковых работ по сравнению с принятой для продуктивных горизонтов PZ.

Первоначальной задачей является выбор участка (участков) для последующих детальных исследований и поисково-параметрического бурения скважин до 4–5 км. Должна быть проведена селекция намеченных участков с привлечением специалистов–нефтяников, которые владеют недоступной для нас информацией. Прежде всего это относится к предлагаемым четырем участкам, расположенным в разной тектонической обстановке (см. рис. 49). Это позволит уменьшить риск пропуска цели и ускорит решение проблемы поисков глубинной нефти.

Участки 1–3 находятся в пределах Куединского блока на территории известных крупных месторождений нефти юго-западной части Пермского края, где предполагается широкое развитие калтасинских доломитов мощностью до 2,0–2,5 км.

Участок 1 примыкает к Альняшскому месторождению Куединского вала. Он приходится на узел пересечения двух глубинных разломов северо–западной субмеридиональной направленности с субширотной дислокацией. Участок 2, находящийся в аналогичной тектонической позиции, что и 1, расположен вблизи Малоусинского месторождения Андреевского выступа. К нему приурочено смещение в широтном направлении западной границы Куединского блока. Участок 3 расположен на южной окраине Батырбайского месторождения в пределах выступа с таким же названием. Тектоническая обстановка отличается еще большей сложностью, чем на первых двух. Участок находится вблизи восточной границы Куединского блока. Участок 4, намеченный в соседнем Воткинском блоке во внешнем обрамлении Калтасинского авлакогена, расположен в пределах субширотной зоны дислокаций при пресечении ее с субмеридиональными разломами в 16 км к западу от н.п. Елово. По соседству с ним находится Опалихинское месторождение на берегу крупного Воткинского водохранилища. При выборе

технологии бурения параметрических скважин необходимо учитывать их нахождение в сложной тектонической обстановке и возможное присутствие в разрезе небольших интрузивных тел.

Размеры участков для выполнения детальных работ не более 40 км. Основная цель исследований: изучение структурно–тектонической обстановки глубокопогруженных горизонтов, прежде всего верхнего комплекса (доломитов, карбонатно-терригенных отложений); изучение физико–механических параметров (скоростных параметров, трещиноватости); возможное обнаружение и оконтуривание залежи УВ. Для получения такой информации необходимы специальные исследования по методике наземно-скважинной эмиссионной сейсмотомографии с регистрацией удаленных землетрясений (пассивные источники) большим количеством приемников, равномерно распределенных по территории участка, и специальными скважинными источниками, расположенными в параметрической скважине [1].

В этом случае отпадает необходимость в постановке 3D–сейсморазведки ОГТ, достаточно прохождения нескольких профилей; в совокупности с наземно–скважинной площадной съемкой появляется возможность построить объемную модель залежи [82] и не исключаются другие пути решения поставленных задач. Но без этого этапа трудно рассчитывать на открытие залежи в глубокопогруженных горизонтах, отличных от известных месторождений в PZ по строению, физико-механическим параметрам с локальным распределением коллекторов и покрышек.

4.4.2. Ереминская площадь. Приуральская часть Западно–Сибирской геосинеклизы

Ереминская площадь находится на 80–120 км юго-западнее нескольких групп месторождений нефти, приуроченных к Шаимскому мегавалу Внешнего тектонического пояса Западно–Сибирского осадочного бассейна. По схеме

тектонического районирования кристаллической коры М 1:2500 000, площадь попадает на сложный тектонический узел, образованный выступом контуров Ханты-Мансийского мегаблока на запад, сопровождаемый субширотной дислокацией, вертикальными и диагональными (наклонными) разломами.

Ереминская площадь рассматривалась в качестве перспективной в самом начале поисковых работ в Западной Сибири. В 60-е гг. прошлого столетия здесь был пробурен десяток скважин в мезозойских отложениях. После открытия крупнейшего месторождения нефти в Широтном Приобье поисковые работы на данной площади прекратились. В начале 1980-х гг. Баженовская геофизическая экспедиция выполнила специальную площадную съемку на Ереминской площади с использованием преломленных (слаборефрагированных) волн. На рис. 50 изображены сводный годограф и базовая модель верхней части разреза. На основе этих наблюдений и специальных программ, разработанных З.Р. Мишенькиной в Институте геологии и геофизики СО РАН, составлены объемные скоростные модели, представленные срезами для составляющих комплексов обобщенной модели (рис. 51, *а*). Разделение на комплексы подчеркивается также сменой азимутальной изменчивости скорости V_p (рис. 51, *б*). По результатам этих исследований создана схематическая геологическая карта доюрских комплексов, обоснована перспективность нижних интервалов мезозоя и терригенно–карбонатных отложений промежуточного комплекса возраста D–T [15]. Поисковые геофизические работы, сопровождаемые бурением скважин (первый этап), в 2003–2005 гг. вновь осуществлены ЗАО «Уралнефть»: в южной половине проведены профильные наблюдения по серии профилей ОГТ, а также гравитационная и магнитная съемки. В процессе рекогносцировки обнаружен самоизлив нефти в одной из ранее пробуренной скважины (см. на рис. 55 под номером 2), тем самым подтверждена перспективность Ереминской площади. Дальнейшая работа по организационным причинам была приостановлена.

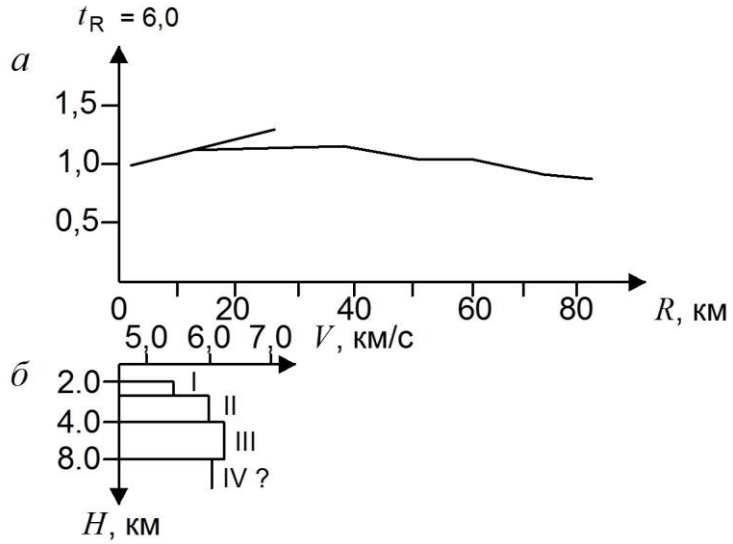


Рис. 50. Обобщенный редуцированный годограф (*а*) и скоростная модель (*б*).

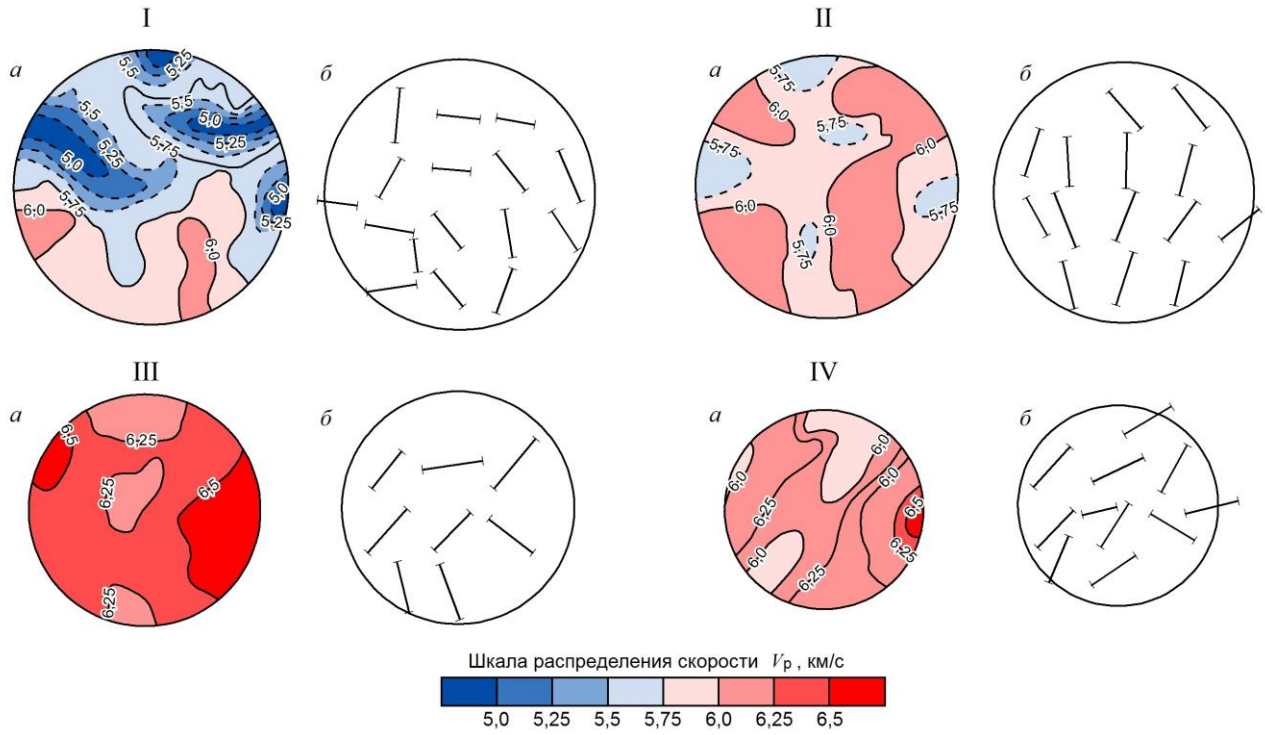


Рис. 51. Срезы объемной скоростной модели (*а*) и азимутальной изменчивости (*б*) по Ереминской площади [32].

I–IV – скоростные срезы, показанные в модели (см. рис. 50, *б*)

При обобщении и построении геолого–геофизических моделей, осуществленных в Институте геофизики в начале XXI в., вновь обратились к этой площади, сосредоточившись на создании схемы тектонического районирования М 1:500 000 с выделением перспективных участков для детальных поисковых работ с учетом специфики строения земной коры, более подробным анализом ранее выполненных исследований, частичным привлечением информации ЗАО «Уралнефть».

На рис. 52 представлена характеристика гравитационного и магнитного аномальных полей. На рис. 53 показана трансформация исходного магнитного поля на различную высоту и dT/dz. Здесь же изображены элементы неотектоники по характеру гидросети. По результатам исследований составлены схемы рельефа древнего кристаллического фундамента на Ереминской площади, тектонического районирования М 1:500 000 (рис. 54).

* * *

На основе уточненной скоростной модели домезозойского основания Ереминской площади выделены четыре комплекса, соответствующие сводному годографу первых вступлений. В состав верхнего комплекса входят терригенно–базальтовые отложения Т и осадочно–вулканогенные породы D–C. Второй и третий комплексы входят в состав геосинклинальных отложений Уральской складчатой системы. Наблюдаемые различия в скоростных параметрах этих толщ, возможно, отражают неоднородность строения (различия в моделях западной и восточной частями территории). Четвертый комплекс отличается от геосинклинального мегакомплекса пониженными значениями скорости и иным рисунком азимутальной изменчивости скоростей.

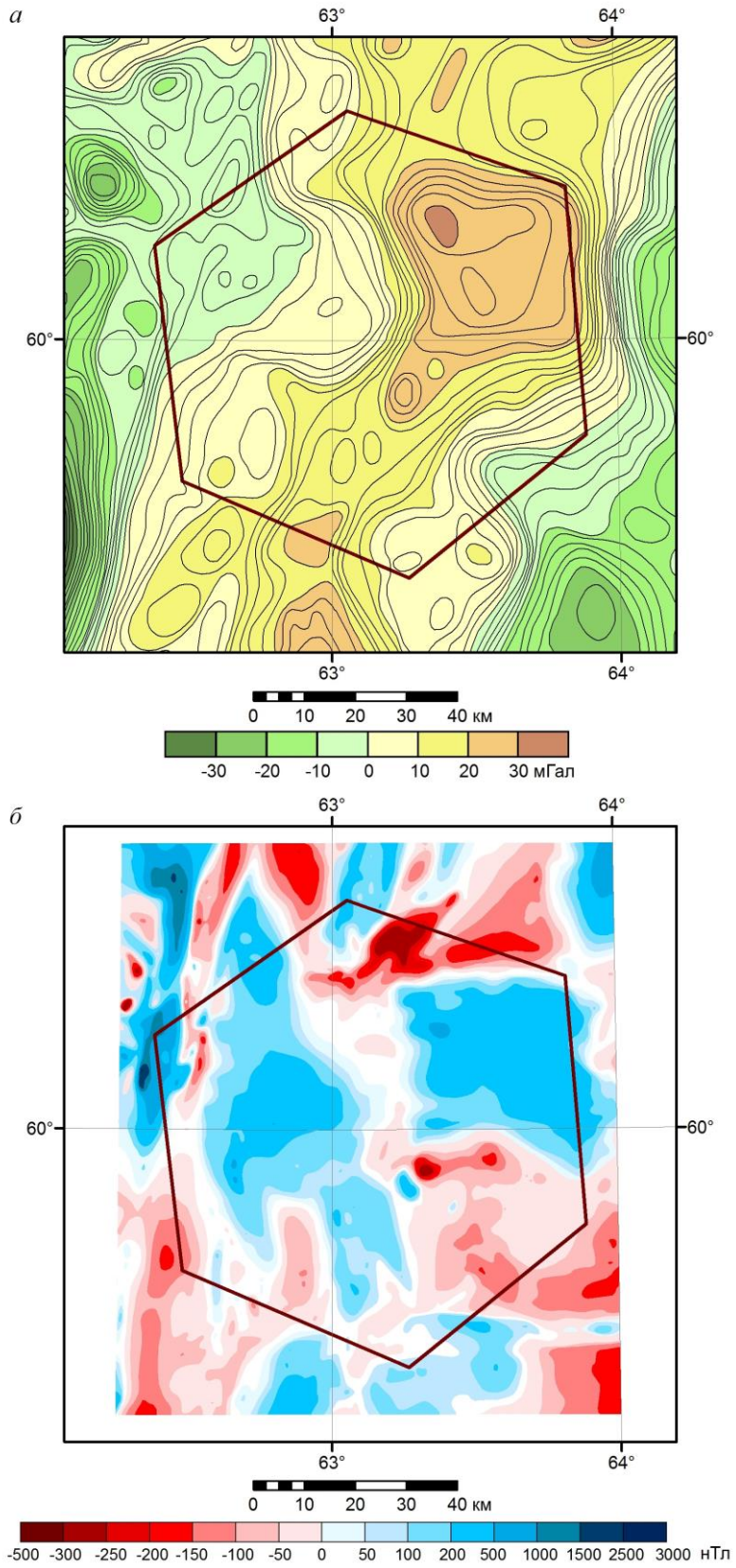


Рис. 52. Карты аномального гравитационного поля Δg (*а*) и магнитного поля (*б*) Еременской площади.

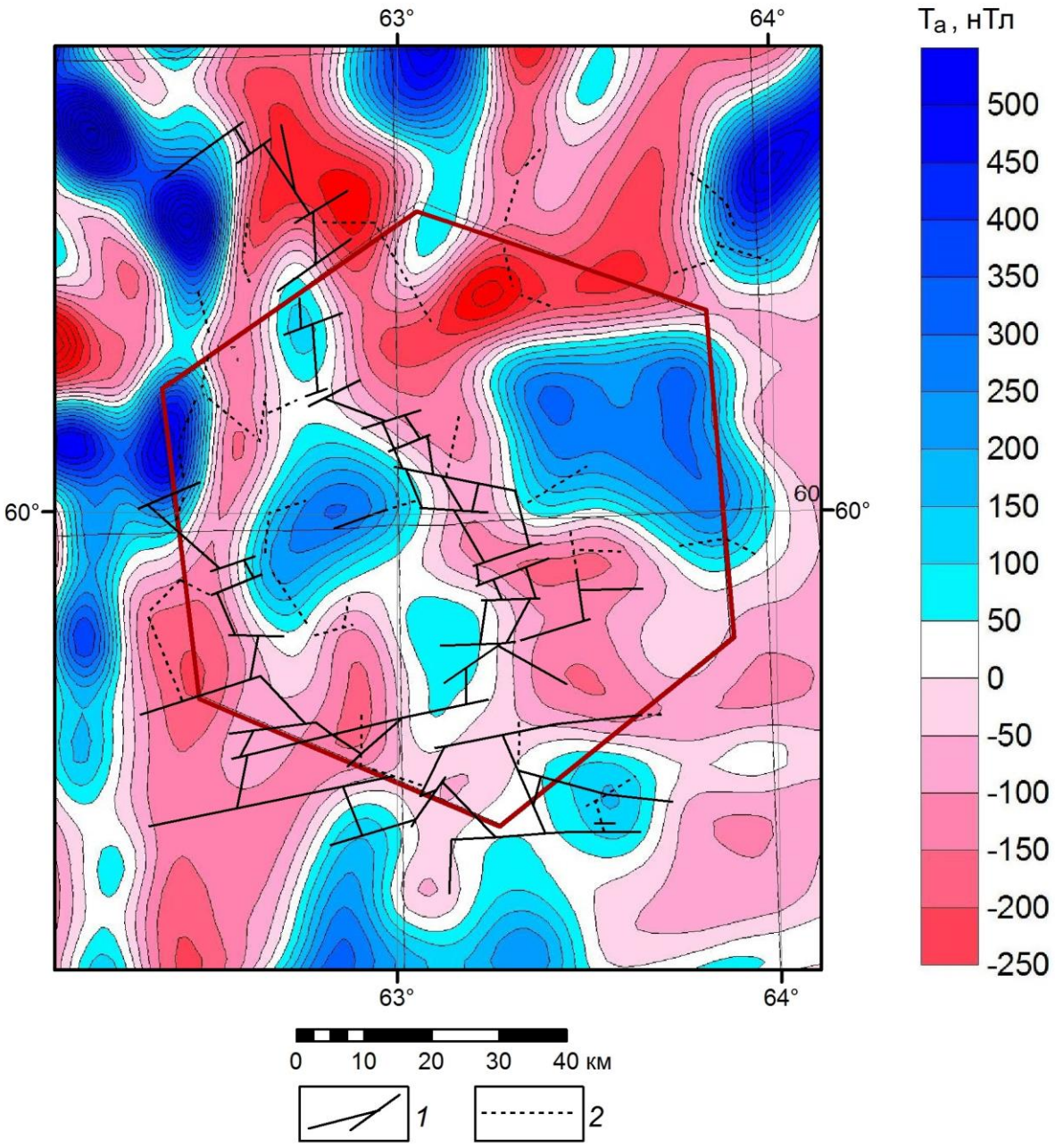


Рис. 53. Макет схематической карты новейшей тектоники Еремінской площади, совмещенная с картой магнитного поля, пересчитанного вверх 1–5 км.

Условные обозначения: *1* – элементы речной сети; *2* – элементы космодешифрирования

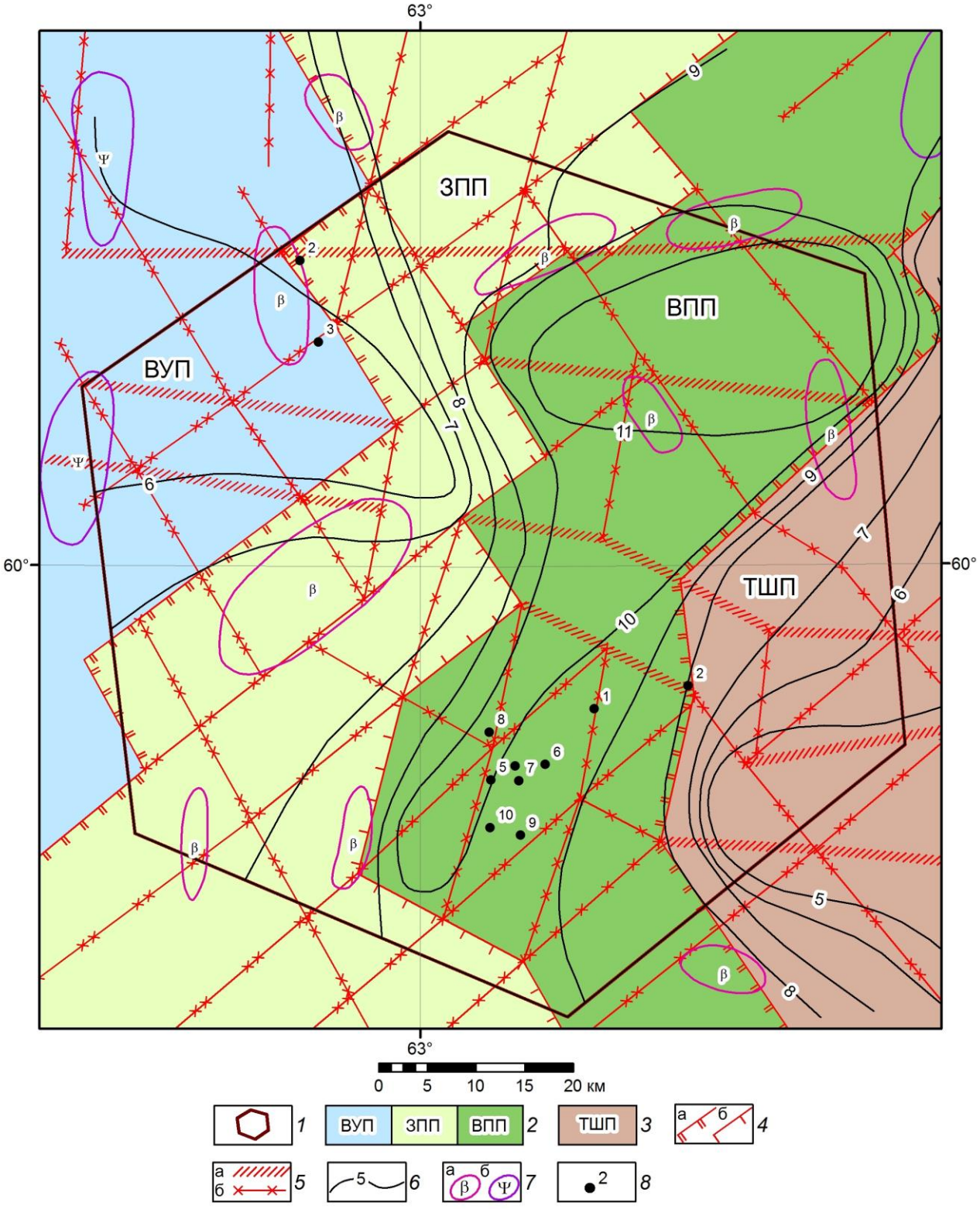


Рис. 54. Схема тектонического районирования, совмещенная с рельефом древнего кристаллического фундамента ($К_{01}$) Еременской площади [32].

Условные обозначения. *1* – контур площадных исследований с использованием преломленных волн; предполагаемое положение основных структур (*2*, *3*): *2* – Восточно–Уральская мегазона (ВУМЗ) (Восточно-Уральское поднятие (ВУП), Западно–Пелымский прогиб (ЗПП), Восточно–Пелымский прогиб (ВПП)), *3* – Тавдинско–Шаимское поднятие (ТШП); *4* – контуры структур второго (а) и третьего (б) порядков; *5* – диагональные (наклонные) и субширотные линеаменты, выделенные по геофизическим и геоморфологическим признакам (а), субвертикальные линеаменты, выделенные теми же признаками; *6* – изогипсы рельефа древнего кристаллического фундамента $К_{01}$, км; *7* – объекты с повышенной намагниченностью в интервале глубин 1–5 км по результатам трансформации наблюдаемого поля ΔТ; *8* – скважины поискового бурения

Глубина залегания древнего кристаллического фундамента (поверхность $К_{01}$) изменяется в интервале от 5,5 до 8,5 км. Характерными особенностями является присутствие двух поднятий в северо–западной и юго–западной частях Ереминской площади, а также крупной впадины в северо–восточном сегменте, переходящей южнее в более узкий прогиб между указанными поднятиями. Впадине соответствует увеличение мощности осадочной толщи MZ–KZ до 1,2–1,5 км.

Ереминская площадь, расположенная в пределах Восточно-Уральской мегазоны, на западе представлена восточными отрогами Восточно-Уральского поднятия и Пелымской отрицательной структурой в центральной части в составе Западно-Пелымского прогиба. Она сложена терригенно–карбонатными, вулканогенно–осадочными и сланцевыми отложениями в широком возрастном диапазоне от силура до триаса. Восточная часть прогиба в пределах изучаемой площади представлена преимущественно вулканитами основного состава. Самая восточная часть ЕРП приходится на северное продолжение Тавдинского гранитоидного массива Зауральской зоны гранитизации (ЗУЗГ), к которой, вероятно, относится и Шаимская группа, находящаяся к северо–востоку от рассматриваемого района. Пограничная зона собственно уралид и соответственно западный борт Ханты-Мансийского мегаблока ЗСП находится

восточнее ЕРП. Из-за расположения этой площади в сложном тектоническом узле, приуроченном к пересечению глубинной субширотной дислокации с разломами иных направлений, некоторые вопросы тектоники нуждаются в дополнительных экспериментальных исследованиях. Но бесспорным является выступ ЗУЗГ и вместе с ним Ханты-Мансийского мегаблока на запад. Если на 60° с.ш. (центральная линия ЕРП) гранитоиды находятся в пределах 63°30`–64°00` в.д., то на широте 58° и 61° – в районе 65–66° в.д. Особенно значительное смещение контуров ЗУЗГ на запад на 70–100 км приходится на южное звено ЗУЗГ, представленное Буткинским, Течинским и Тавдинским гранитоидными массивами (рис. 55).

Контуры перечисленных подразделений согласованы с намеченной тектонической схемой районирования кристаллической коры; несмотря на сложный характер, они подчеркивают северо-северо-восточную направленность структур. Глубинная субширотная дислокация, выделенная на схеме тектонического районирования кристаллической коры, представлена отдельными звеньями в районе 60-й параллели.

По результатам исследований, выполненных в 2012 г., выяснено, что недра Ереминской площади могут обладать значительным нефтеносным потенциалом по сравнению с другими районами Приуральской части Западной Сибири. Перспективными могут быть отложения в интервале глубин от 1,0 до 3,0–4,5 км (низы осадочного чехла, промежуточного комплекса и субплатформенные отложения второго комплекса).

Перспективность на поиски УВ (рис. 56) оценивалась с учетом тектонических факторов, контролирующих известные месторождения УВ, в частности, в Уральском регионе [27]; осредненных петрофизических характеристик выделенных подкомплексов; прямых признаков нефтегазоносности. На одной из поисковых скважин под номером 2 (на схеме обозначена особым знаком) происходил самоизлив нефти, вероятно из отложений тюменской свиты, в течение 40 лет.

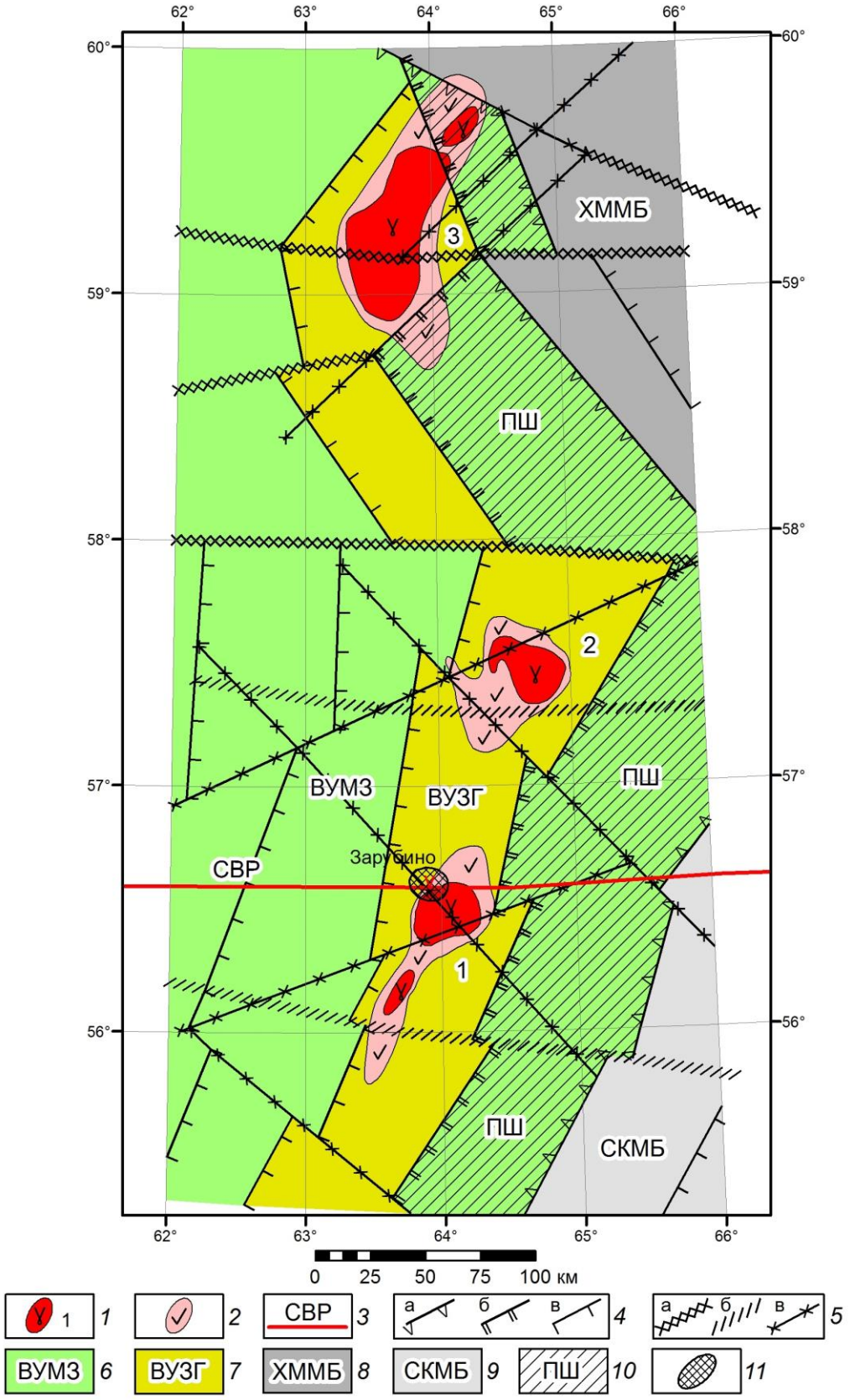


Рис. 55. Расположение гранитных массивов Зауралья на тектонической схеме кристаллической коры [73].

Условные обозначения. *1* – гранитные массивы: Буткинский (1), Тегинский (2), Тавдинский (3); *2* – вулканогенно-осадочные породы, зеленые сланцы, порфиты и их туфы; *3* – Свердловский профиль ГСЗ; *4* – контуры геоблоков (а) и мегазон (б), контуры блоков (в), соответствующие глубинным разломам первого–третьего порядков; *5* – разломная тектоника: субширотные дислокации первого (а) и второго (б) порядка; преимущественно диагональные разломы (в); *6* – Восточно-Уральская мегазона; *7* – Восточно-Уральская зона гранитизации; *8* – Ханты-Мансийский мегаблок; *9* – Северо-Казахстанский мегаблок; *10* – пограничный шов; *11* – перспективный участок для постановки детальных поисковых работ на обнаружение месторождений УВ.

Геологическая нагрузка с карты И.Д. Соболева, 1966 г. [73]

Согласно составленной схеме, она расположена на участке пересечения трех разломов на границе с Ханты–Мансийским срединным массивом.

Участок, выделенный южнее под номером 1, кроме благоприятной тектонической обстановки имеет контакт с возможным локальным массивом гранитов позднепалеозойского возраста, что увеличивает прогнозные ресурсы УВ–сырья за счет дезинтегрированной части таких пород.

Аналогичным образом определены перспективные участки 3–5, расположенные в пределах Пелымского прогиба, сложенного преимущественно вулканогенно–осадочными отложениями D–C и терригенно–базальтовым комплексом триаса. Перспективность этих участков повышается за счет пород промежуточного комплекса. Прогнозные ресурсы Ереминской площади могут быть приравнены к средним по запасам месторождениям ЗСНГП. Выбор первоочередного объекта или группы объектов для постановки детальных геолого–геофизических работ должен быть обсужден со специалистами нефтяниками, занимающимися территорией Приуральской части ЗСНГП, на основе анализа информации, представленной в отчете, и имеющихся в их распоряжении конкретных материалов по строению доюрских отложений.

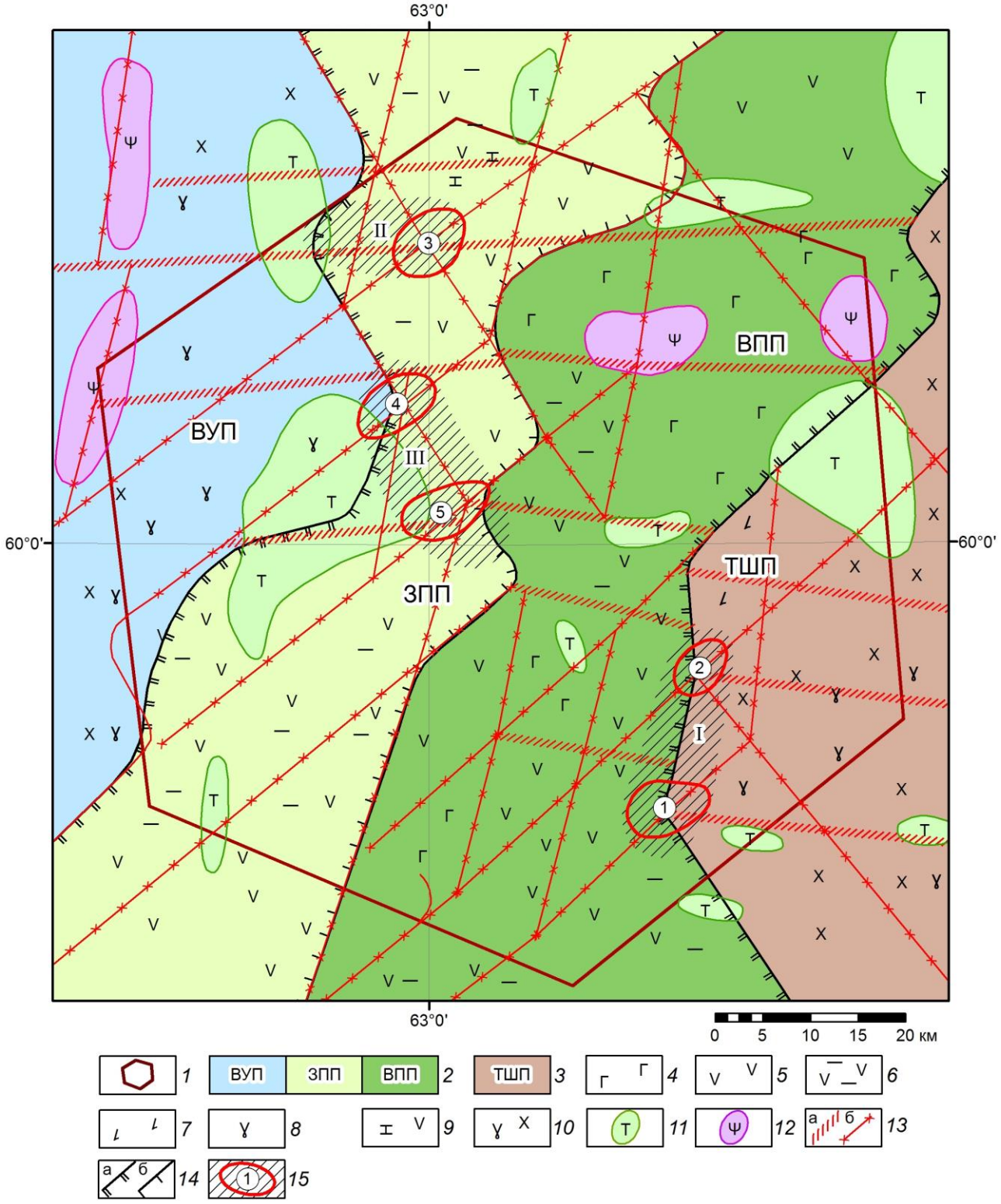


Рис. 56. Оценка нефтегазоперспективности, совмещенная со схематической тектонической картой домезозойского основания Ереминской площади.

Условные обозначения. *1* – контур площадных исследований с использованием преломленных волн; *2* – предполагаемое положение основных структур: Восточно-Уральская мегазона (ВУМЗ) (Восточно-Уральское поднятие (ВУП), Западно-Пелымский прогиб (ЗПП), Восточно-Пелымский прогиб (ВПП)); *3* – Тавдинско-Шаимское поднятие (ТШП); основные подкомплексы доюрского комплекса (ДЮК) (*4–12*): *4* – вулканогенный повышенной основности, возможно, массивы габбро, габброамфиболитов, $\sigma_р$=2,90±0,03 г/см^3; *5* – вулканогенно-осадочный, зеленые сланцы, порфириты, $\sigma_р$=2,82±0,03 г/см^3; *6* – вулканогенно-осадочный, $\sigma_р$=2,78±0,02 г/см^3; *7* – гнейсоамфиболиты, $\sigma_р$=2,78±0,03 г/см^3; *8* – гранитоиды, вулканиты кислого состава, сланцы, $\sigma_р$=2,67±0,03 г/см^3; *9* – терригенно–карбонатный, $\sigma_р$=2,72±0,03 г/см^3; *10* – метаморфизованные породы, гнейсы, сланцы разного состава, $\sigma_р$=2,76±0,03 г/см^3; *11* – вулкано-терригенные отложения триаса; *12* – серпентиниты; разломная тектоника: *13* – субширотные дислокации (а), глубинные разломы (б); *14* – контуры структур первого порядка ВУМЗ (а), второго (б); *15* – перспективные участки для постановки детальных работ на поиски месторождений углеводородов в низах осадочного мезозоя и породах домезозойского основания

В первую очередь по Рогожниковской и Горелой площадям Ханты-Мансийского нефтяного района, где месторождения нефти находятся в промежуточном комплексе ЗСП, а также месторождения УВ в низах юрских отложений на Иуеской площади, расположенных в сходной геологической обстановке и вблизи северной границы исследуемой территории.

Схемы расположения тектонических элементов на Еремінской площади и известных месторождениях углеводородов по ее окраине подчеркивают перспективность выделенных участков.

В заключение подраздела необходимо подчеркнуть, что успех регионально–зонального прогнозирования и последующих детальных поисковых работ во многом зависит от анализа имеющихся геолого–геофизических данных и прежде всего ОГТ в вариантах профильно-площадной и 3D–съемок, бурения и специфики глубинного строения, представленных в виде схем тектонического районирования глубокопогруженных горизонтов. Обязательно участие в анализе специалистов-нефтяников по конкретным территориям (площадям).

4.4.3. О нефтеперспективности гранитных массивов Зауралья

В данном подразделе дополнительно рассмотрен вопрос о возможности обнаружения скоплений нефти в гранитных массивах Приуральской части Западной Сибири. После открытия крупного месторождения Белый Тигр (Вьетнам) в гранитном массиве кайнозойского возраста [11] резко возрос поисковый интерес к подобного рода геологическим объектам. К настоящему времени во всем мире открыто 450 месторождений в гранитах, из них есть и гигантские, как указанное выше во Вьетнаме. Поскольку в пределах приуральской части Западно–Сибирской геосинеклизы имеется несколько крупных гранитоидных массивов (рис. 56) необходимо на региональном уровне оценить их перспективность исходя из следующих моментов (на примере Буткинского массива).

- Процесс сопровождается, по-видимому, аномально высокими температурным и энергетическим режимами. Все вместе взятое способствует образованию гранитоидов в положении in siti по осадочным и вулканогенно–осадочным породам и является положительным моментом для генерации УВ.
- Тектонический фактор. Наличие глубинных разломов и узлов пересечения разнонаправленных дислокаций. На это указывает преимущественно овальная форма и дискретное расположение Буткинского и более северных массивов в пределах одной структурно-фациальной зоны Уральской складчатой системы.
- Стратиграфический фактор. Время образования массива за счет активизации тектонического режима и его продолжения в новейшем и современном этапах развития.

Глубинное строение Буткинского массива установлено по данным Свердловского пересечения ГСЗ, разрез по которому представлен на рис. 57.

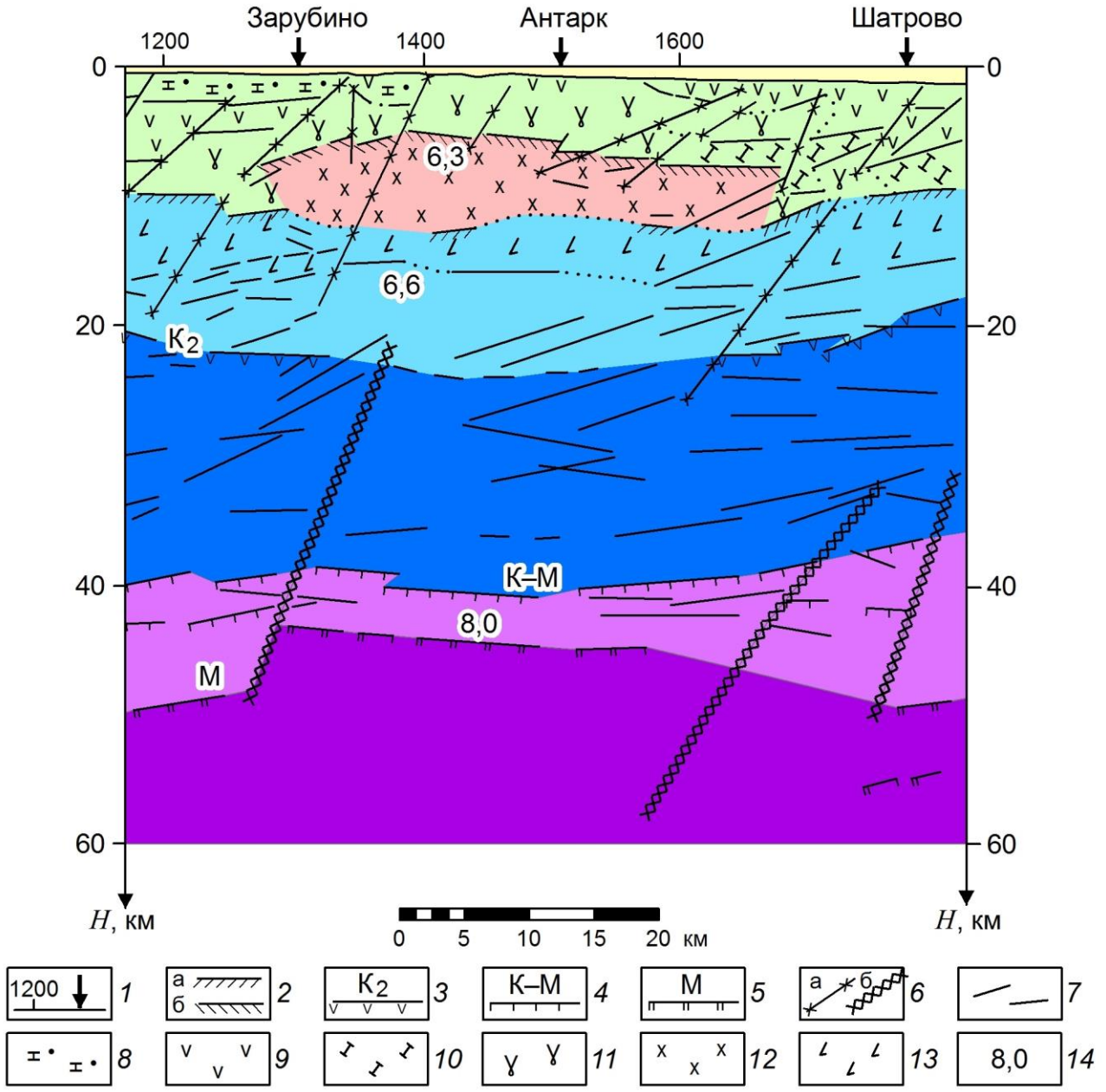


Рис. 57. Разрез земной коры в районе Буткинского гранитоидного массива [38].

Условные обозначения. *1* – линия профиля с пикетами и проекцией населенных пунктов; *2* – поверхности гранитогнейсовых комплексов (а), нижнего сейсмокомплекса первого сейсмогеологического этажа (б); *3* – третьего сейсмогеологического этажа или поверхности земной коры; *4* – переходного мегакомплекса в низах коры; *5* – поверхность М; *6* – глубинные разломы: верхняя часть коры (а), нижняя часть коры (б); *7* – отражающие элементы, возможное положение сейсмических границ; вещественные комплексы (*8–13*): *8* – терригенно-осадочные, *9* – осадочно-вулканогенные, *10* – сланцевые и метаморфизованные, *11* – граниты, *12* – гранитогнейсы, *13* – гнейсоамфиболиты; *14* – скорость продольных волн, км/с

Внешние параметры объекта близки к окружности радиусом 15 км; гранитоиды перекрыты сверху мезокайнозойскими отложениями незначительной мощности (0,4–0,6 км); он расположен в зоне развития субплатформенных осадочных и вулканогенно-осадочных отложений на границе с пограничным швом собственно уралид. Время образования – возможно, верхняя пермь. Массив неоднороден по составу и объединяет два комплекса: верхний мощностью 3–5 км, сформированный за счет гранитизации преимущественно осадочных пород возраста D–C и нижний мощностью 5–6 км – в результате, возможно, более ранней гранитизации нижерасположенных вулканогенно-осадочных, терригенно-сланцевых в разной степени метаморфизованных отложений додевонского возраста. Верхний комплекс осложнен локальными включениями вмещающих пород, а нижний имеет увеличенные размеры до 40–50 км и более изменчивые физические параметры по сравнению с первым. Такова общая характеристика Буткинского массива.

На рис. 55 в качестве перспективных дополнительно выделены площади двух более северных гранитоидных объектов: Тегинский массив (2), расположенный в 50 км западнее г. Тюмени, и Тавдинский массив (3) – пространственно совпадающий с юго-западным продолжением Шаимской группы гранитоидов Ханты-Мансийского мегаблока с приуроченными к этой зоне нефтяными месторождениями. Массивы 1 и 2 расположены на пересечении субширотных дислокаций и диагональных (наклонных) разломов к западу от пограничного шва.

Первоочередным объектом для более детальных исследований является Буткинский массив. Прежде чем начать бурение, здесь необходимо выполнить площадную съемку по технологии многоволновой сейсмометрии с использованием преломленных волн, что позволит: детально рассмотреть рельеф гранитного массива и прилегающих пород; определить сеймодинамические параметры верхней части массива на глубину 0,5–2,0 км; выбрать оптимальное расположение профилей и провести работы по системе

многократных перекрытий отраженными волнами для изучения структурно–тектонических параметров массива и специальные наблюдения по прямым поискам залежей УВ, а также определения положения и глубины параметрической скважины.

Большая часть положительных структур Западно–Сибирской геосинеклизы за пределами срединных массивов, приурочена к зонам гранитизации второго типа и представляет собой инверсионные поднятия, образованные в позднем палеозое. К ним приурочена значительная часть крупных месторождений УВ Западно–Сибирской НГП. Примером такого рода массивов является Уренгойское поднятие с его супергигантским месторождением газа в продуктивных горизонтах мезозоя. Не исключено наличие скоплений нефти в дезинтегрированной части гранитного массива.

В заключение данного подраздела следует подчеркнуть, что для повышения уровня регионального прогноза на поиски месторождений УВ необходимо использовать информацию о глубинном строении. Для этого нужно объединить оба направления: применение отношения значений скорости продольных и поперечных волн и структурно-тектонических признаков, дополненных по возможности петрофизической характеристикой составляющих элементов разломно-блоковой модели ВЧЛ. В данной работе не рассмотрены такие определяющие факторы для образования месторождений УВ, как возраст формирования залежи, наличие коллекторов и покрышек в осадочном слое, промежуточном мегакомплексе и дезинтегрированной части основания осадочных бассейнов. Для этого должна быть выполнена детализационная стадия прогнозирования масштаба 1:200 000 на перспективных площадях, выделенных на первом этапе исследований по анализу имеющейся геолого-геофизической информации. И только затем можно приступать к детальным поисково-разведочным работам на перспективных участках (участке) в пределах рассматриваемой площади.

* * *

- По разработанной технологии впервые создана объемная разломно–блоково-слоистая модель верхней части литосферы Уральского региона М 1:2500 000. Для территория с координатами 54–68° с.ш., 50–70° в.д.
- На основе этой модели составлены схемы тектонического районирования для трех сейсмогеологических этажей верхней части литосферы: верхний СГЭ до поверхности древнего кристаллического фундамента ($К_{01}$), кристаллическая часть коры, включая нижний переходный комплекс К–М, верхняя часть верхней мантии от поверхности основного сейсмогеологического раздела М до первого регионального уровня изостатической компенсации (80 км).
- Определены контуры собственно уралид по отношению к восточной окраине ВЕП и Тимано–Печорской плиты на востоке к Западно–Сибирскому и Казахстанскому геоблокам.
- В отличие от существующих тектонических схем Уральской складчатой области вместо девяти структур первого порядка выделено три мегазоны. Главная из них ЦУМЗ, где наиболее четко проявлена специфика строения УСС, и две смежные ЗУМЗ и ВУМЗ с переходными чертами глубинного строения между ЦУМЗ и древними платформами. Структуры первого порядка разделены на две–три зоны каждая.
- Блоковая структура верхней части литосферы проявлена по глубинам залегания основных поверхностей раздела ($К_{01}$, $К_2$, М), мощностям СГЭ, значениям скоростных параметров и расчетных плотностей, а также по степени и характеру расслоенности. По масштабности выделены мегаблоки (мегазоны для УСС), блоки разного размера. Пограничные структуры между блоками, возможно, соответствуют зонам глубинных разломов и глубинным разломам. Контуры крупных структур, осложненные субширотными дислокациями и глубинными диагональными (наклонными) разломами, возможно, сдвиговой природы.

- Установлена связь между приповерхностными структурами и особенностями строения верхней части литосферы. Она проявлена (за исключением отдельных случаев) в подобии основных элементов тектонического районирования по выделенным сейсмогеологическим этажам, включая разломные структуры. Это свидетельствует о наличии глубинных корней у основных подразделений верхней части литосферы Уральского региона и необходимости учета этого фактора при составлении тектонических схем по верхним горизонтам земной коры.

- Выделены палеоактивные структуры верхней части литосферы, обладающие аномальными чертами глубинного строения, как правило, мантийного заложения, разных возраста и продолжительности развития. К ним относятся пограничные структуры между платформенными гео– и мегаблоками. Они представлены: Уральским подвижным поясом (Уральской складчатой системы), расположенным между Восточно–Европейской и Западно–Сибирской платформами; Печорской рифт-авлакогенной структурой между двумя сегментами Тимано-Печорской плиты; Калтасинским рифт-авлакогеном, разделяющим два мегаблока восточной окраины ВЕП; и пограничным швом на восточной границе собственно уралид. Не следует относить к подобному типу отрицательные структуры, образованные в тылу крупных сдвигов земной коры и субвертикальных разломов, например Ляпинский прогиб в пределах восточной части Центрально-Уральской мегазоны. Масштаб проявления аномальных черт строения определяется масштабом входящих в контакт геологических структур.

- Намечено разделение в полярных широтах УСС на крупные части: северо–западную Пай-Хойскую, соответствующую ЗУМЗ, и восточно–северо–восточную, отвечающую ЦУМЗ и ВУМЗ, перекрытые осадочным мезокайнозойским чехлом мощностью 0,5–3,0 км. На уровне 67° широты намечен разворот обеих структур в противоположном направлении в сторону Байдарацкой губы.

- Контуры неотектонического Урала (нео-Урала, согласно терминологии В.Н. Пучкова) следует отнести к геоморфологическим структурам, соответствующим границам открытого Урала. Их положение не согласуется с тектоническим районированием кристаллической коры Уральской складчатой системы, что уменьшает значимость предлагаемого подхода к геодинамике УСС.
- Западная часть Тимано–Печорского геоблока относится к области развития нижнепротерозойского комплекса (карелид); а восточная – включая Центрально–Печорскую и Восточно–Печорскую мегазоны – к области преимущественно нижнерифейских мезонеопротерозойских складчатых и субплатформенных отложениий докембрия.
- Нижнеархейский кристаллический фундамент относится к региональным поверхностям раздела земной коры, ниже которой расположены комплексы, характеризующиеся выдержанными значениями физических параметров. В пределах Уральского региона фундамент находится на глубинах от 2,0 до 16 км, не исключено его присутствие и в активных пограничных структурах.
- Западно–Сибирская мегаструктура по специфике глубинного строения соответствует древнейшей континентальной структуре Земли, которая вступила в стадию активного развития процессов в литосфере начиная с верхнесилурийско–девонского времени. На это, в частности, указывают структура верхней мантии, подобие глубинного строения земной коры геоструктур обрамления (Уральского подвижного пояса и Енисейского горного сооружения) и уменьшенная мощность консолидированной коры 33,0±5,0 км.
- Современная разломно–слоисто–блоковая структура ВЧЛ, исследуемая геофизическими методами, сформировалась в течение послеархейских этапов развития Земли. Геодинамические обстановки формирования УСС, предлагаемые сторонниками плиттектоники, складываются из значительных (до нескольких сотен километров) горизонтальных перемещений по глубинным

листрическим разломам. Но их выделение по комплексу сейсмических данных *далеко неоднозначно*.

- Нефтегазоносность геологической среды нельзя рассматривать вне глобальной динамической системы мантия – земная кора – осадочные бассейны.
- Эффективность регионального прогнозирования поисков УВ во многом зависит от детальности и достоверности информации о строении ВЧЛ.
- Основными глубинными критериями нефтегазоносности: тип геологической структуры, глубинные разломы, реализуемые в форме сдвиговой тектоники, присутствие субплатформенных отложений ниже основных продуктивных горизонтов. Именно эти комплексы являются первоочередными объектами поисков месторождений углеводородов во всех трех нефтегазовых провинциях Уральского региона. В их пределах намечены перспективные площади и участки для дальнейших, более детальных, поисковых работ, которым должен предшествовать анализ имеющейся геолого-геофизической информации с установленными особенностями строения верхней части литосферы. То же самое относится к тематическим исследованиям по составлению геолого-геофизических моделей верхнего сейсмогеологического этажа М 1:200 000 – 1:500 000 и обоснованию перспективных участков для постановки детальных геолого-геофизических поисковых работ, включая прямые методы поисков промышленных скоплений УВ.

Заключение и рекомендации

Решение проблемы региональной геологии и минерагении затруднительно без учета специфики глубинного строения верхней части литосферы, которая может быть представлена объемной геолого-геофизической разломно-блоковой моделью. Разработанная для Уральского региона технология составления объемных геофизических и геолого–геофизических моделей верхней части литосферы рекомендуется для использования в других регионах России,

прежде всего для всей территории Западно–Сибирской платформы, включая транзитную и прибрежную зону Карского моря (широты 67–72°); новых райоов Тимано–Печорской НГП, включая Печорское море; дофанерозойских и палеозойских комплексов, возможно, продуктивных отложений Западного склона Урала и районов гранитных массивов.

Для повышения практической отдачи от подобных исследований необходимы совместная работа с ведущими специалистами по конкретной территории по увязке данных о глубинном строении с имеющейся геолого–геофизической информацией о приповерхностных структурах и построение итоговых схем тектонического районирования и нефтегазоперспективности с выделением участков для постановки детальных геолого–геофизических работ по поискам месторождений УВ.

Необходимо дальнейшее развитие работ по созданию комплексной геофизической модели верхней части литосферы (сейсмоплотностные и магнитные) с привлечением данных МТЗ, теплового поля, аэрокосмодешифрирования.

Для этих целей необходимо продолжить экспериментальные исследования МОВЗ и МТЗ для получения информации о глубинном строении в межпрофильном пространстве. Предусматриваются коррективы в созданной объемной модели верхней части литосферы после выполнения указанных исследований, а также с учетом сейсмической 2D–информации, получаемой в крайне ограниченном объеме по ОГТ, ГСЗ, МОВЗ с использованием современных технологий.

Геологическая среда известных нефтегазовых провинций Уральского региона, исходя из гипотезы преобладающей роли глубинного фактора в генерации УВ и образования месторождений нефти и газа, обладает значительными запасами УВ-сырья, существенно превышающими добытые (извлеченные?) на настоящий период. Поэтому поиски месторождений УВ в отложениях, расположенных ниже известных продуктивных горизонтов,

являются одной из основных *приоритетных комплексных научно-прикладных проблем*.

Эффективность поиска при этом зависит от соблюдения стадийности исследований и учета специфики строения верхней части литосферы, особенно на стадиях регионального и регионально-зонального прогнозирования. Основной задачей этих этапов является *обоснованный* выбор участков для постановки детальных поисковых работ. Но этого пока не происходит, месторождения в нижерасположенных отложениях открываются случайно и велика доля неудачных попыток, каждая из которых приводит к крупным денежным затратам и подрывает тем самым идею глубинной нефти. На стадиях поисковых, поисково-разведочных работ требуются разработка новой технологии прямых поисков скоплений УВ и изучение физико-механических параметров напряженного состояния среды, требуемые для создания объемных моделей месторождения и на этой основе – технологии разведки и эксплуатации залежей УВ.

Одновременно в рамках указанной проблемы нужно продолжить исследования по повышению надежности информации о строении верхней части литосферы прежде всего с учетом предложенной технологии создания объемных геолого-геофизических моделей на основе анализа и обобщения совокупности материалов по глубинному строению. Для этих же целей необходимо создание объемных моделей земной коры для районов с уже имеющимися скважинами сверхглубокого и глубокого бурения, на этой основе – создание обобщенной модели для разных типов структур верхней части коры, разработка целевой программы продолжения сверхгубокого бурения и технологии изучения комплексом сейсмических и других геофизических методов сложного слоисто-блокового строения земной коры.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Принятые сокращения 3
Предисловие 5
Введение 9
Глава 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕКТОНИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И ИЗУЧЕННОСТЬ ГЛУБИННЫМИ СЕЙСМИЧЕСКИМИ ИССЛЕДОВАНИЯМИ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА 13
1.1. Основные тектонические подразделения 13
1.2. Анализ информации о глубинном строении 30
Глава 2. МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАЗЛОМНО–БЛОКОВЫХ МОДЕЛЕЙ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ЛИТОСФЕРЫ 41
2.1. Основы способа сейсмогеокартирования земной коры 41
2.1.1. Поверхность древнего кристаллического фундамента архейского возраста 47
2.1.2. Основной сейсмогеологический раздел между земной корой и верхней мантией 58
2.2. Геофизические модели верхней части литосферы 66
2.2.1. Основные особенности сейсмоплотностного моделирования 66
2.2.2. Профильные и объемные сейсмоплотностные модели 69
2.3. Геолого-геофизические объемные модели верхней части литосферы 73
Глава 3. СТРОЕНИЕ И ТЕКТОНИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ЛИТОСФЕРЫ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА 84
3.1. Информация о глубинном строении по данным профильных исследований 84
3.2. Строение земной коры Полярного сектора Уральской складчатой системы 86
3.3. Особенности глубинного строения и схема тектонического районирования Уральского региона 96
3.3.1. Контуры Уральской складчатой системы 96

3.3.2. Особенности строения верхней части литосферы основных подразделений Уральского региона 99
3.3.3. Проблемные вопросы тектоники и эволюции геоструктур Уральского региона 111
3.4. Модель докембрия Тимано-Печорского геоблока 119
Глава 4. РЕГИОНАЛЬНЫЙ ПРОГНОЗ НА ПОИСКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ С УЧЕТОМ СПЕЦИФИКИ СТРОЕНИЯ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ЛИТОСФЕРЫ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА 129
4.1. Глубинные критерии при оценке нефтегазоперспективности геологической среды 131
4.2. Оценка нефтегазоперспективности при профильных работах 140
4.3. Оценка нефтегазоперспективности геологической среды основных нефтегазовых провинций и областей Уральского региона 143
4.4. Регионально-зональное прогнозирование 155
4.4.1. Бардымская площадь. Перспективы нефтегазоносности нижнепермского мегакомплекса Восточной окраины ВЕП 156
4.4.2. Ереминская площадь. Приуральская часть Западно–Сибирской геосинеклизы 170
4.4.3. О нефтеперспективности гранитных массивов Зауралья 183
Заключение и рекомендации 190
Список литературы 195
Список рисунков 205
Приложение. Альбом сейсмогеоплотностных разрезов верхней части литосферы Уральского региона 211

Список литературы

1. *Алексеев А.С., Сердюков С.В., Силаев В.А. и др.* Новая технология сейсмической разведки на основе источников колебания в глубоких скважинах с целью детального изучения и мониторинга месторождений углеводородов // Фундаментальный базис новых технологий нефтяной и газовой промышленности. Теоретические и практические аспекты. Тез. докл. Всерос. конф. 24–26 апреля 2007 г. С. 6–7.
2. *Бочкарев В.В., Брехунцов А.М.* Генеральные тектонические модели Западно–Сибирской геосинеклизы // Горные ведомости, 2008. № 3. С. 6–23.
3. *Булах Е.Г., Ржаницин В.А., Маркова М.Н.* Применение метода минимизации для решения задач структурной геологии по данным гравиразведки. Киев: Наук. думка, 1976. 220 с.
4. *Булин Н.К., Егоркин А.В., Золотов Е.Е., Ракитов В.А.* Перспективы нефтегазоносности Кажимской зоны на Русской платформе // Геология нефти и газа, 2002. № 5. С. 53–56.
5. *Булин Н.К., Егоркин А.В., Солодилов Л.Н.* Прогнозирование нефтегазоносности недр по глубинным сейсмическим профилям // Региональная геология и металлогения, 2000. № 10. С. 195–204.
6. Глубинное строение и геодинамика Южного Урала (Проект Уралсейс). / *Под ред. А.Ф. Морозова.* Тверь: Изд–во ГЕРС, 2001. 286 с.
7. Глубинное строение территории СССР. *Под ред. В.В. Белоусова.* М: Наука, 1991. 224 с.
8. Глубинное строение Урала. Монография. *Под ред. Л.Н. Овчинникова.* М: Наука, 1968. 370 с.
9. *Гогоненков Г.Н., Некрасов А.А., Тимурзиев А.И.* Пластические деформации осадочного чехла Западной Сибири в зонах горизонтальных сдвигов фундамента // Геология нефти и газа, 2011. № 3. С. 55–61.
10. *Голиздра Г.Я.* О комплексной интерпретации гравитационного и сейсмического полей // ДАН УССР. Сер. Б, 1975. № 12. С. 1065–1068.

11. *Донцов В.В., Лукин А.Е.* Об эндогенных факторах формирования нефтяных залежей в кристаллическом фундаменте Кыулонгской впадины на шельфе Южного Вьетнама // ДАН, 2006. Т 407. № 1. С. 64–67.
12. *Дружинин В.С., Начапкин Н.И., Осипов В.Ю.* Роль информации о строении земной коры для тектонического районирования и оценки нефтегазперспективности новых районов и новых объектов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, 2010. № 11. С. 10–16.
13. *Дружинин В.С.* Информация о строении земной коры – необходимый атрибут региональной нефтяной геологии (на примере Уральского региона) // Отечественная геология, 2009. № 6. С. 65–70.
14. *Дружинин В.С.* Особенности глубинного строения Западно–Сибирской плиты по Ханты-Мансийскому профилю ГСЗ // Геология и геофизика, 1983. № 4. С. 39–45.
15. *Дружинин В.С., Автонеев С.В., Турыгин Л.В., Шарманова Л.Н.* Изучение строения доюрского фундамента Западной Сибири с помощью трехмерной сейсмометрии // Советская геология, 1991. № 3. С. 80–87.
16. *Дружинин В.С., Вальчак В.И., Кашубин С.Н. и др.* Глубинное строение Урала в продольном сечении (по новым данным ГСЗ на меридиональном профиле Н. Тура–Орск) // ДАН СССР, 1984. Т. 277. № 3. С. 650–659.
17. *Дружинин В.С., Егоркин А.В., Кашубин С.Н.* Новые данные о глубинной структуре Урала и прилегающих к нему областей по данным ГСЗ // ДАН СССР, 1990. Т. 315. № 5. С. 1089–1090.
18. *Дружинин В.С., Каретин Ю.С.* О глубинном строении и геодинамической обстановке формирования подвижного пояса Урала // Разведка и охрана недр, 1995. № 5. С. 12–15.
19. *Дружинин В.С., Каретин Ю.С., Автонеев С.В., Рыжий Б.П.* Геолого–геофизическая модель земной коры района Уральской сверхглубокой скважины // ДАН, 1993. Т. 33. № 4. С. 507–509.

20. *Дружинин В.С., Каретин Ю.С., Начапкин Н.И., Бахвалов А.Н.* Использование результатов геофизических исследований на региональных профилях для глубинного геокартирования // Разведка и охрана недр, 2000. № 2. С. 2–6.
21. *Дружинин В.С., Каретин Ю.С., Песковский И.П. и др.* К вопросу об оценке эффективности наземной геофизической информации по данным бурения сверхглубоких скважин, расположенных в районе геотраверса «Гранит» // Урал. геофиз. вестн. 2003. № 5. С. 24–34.
22. *Дружинин В.С., Каретин Ю.С., Рыбалка В.М., Халевин Н.И.* Новые данные о глубинном строении Урала (по результатам исследований на Красноуральском профиле ГСЗ) // ДАН СССР, 1981. № 1. С. 173–176.
23. *Дружинин В.С., Кашубин С.Н., Сивкова Л.В. и др.* Опыт глубинных сейсмических зондирований на Урале. Свердловск: ИТО Горное, 1982. 72 с.
24. *Дружинин В.С., Колмогорова В.В., Начапкин Н.И., и др.* Карта доюрских вещественных комплексов северо-западной части Западно–Сибирской равнины на основе объемной модели земной коры // Отечественная геология, 2009. № 1. С. 104–112.
25. *Дружинин В.С., Мартышко П.С., Начапкин Н.И. и др.* Модель докембрия Тимано-Печорского геоблока // Вестн. Ин–та геологии Коми НЦ УрО РАН, 2013. № 9. С. 2–8.
26. *Дружинин В.С., Мартышко П.С., Начапкин Н.И. и др.* Оценка нефтегазоперспективности Тимано-Печорской плиты с учетом объемной модели верхней части литосферы // Отечественная геология, 2011. № 3. С. 22–29.
27. *Дружинин В.С., Мартышко П.С., Начапкин Н.И., Осипов В.Ю.* Региональный прогноз на поиски месторождений углеводородов с учетом специфики строения верхней части литосферы Уральского региона. // Разведка и охрана недр, 2013. № 1. С. 33–41. http://rion-journal.com/2013/01/1-2013-2/.

28. *Дружинин В.С., Мартышко П.С., Начапкин Н.И., Осипов В.Ю.* Региональные черты строения нижнерифейских отложений в связи с проблемой нефтегазоносности глубокопогруженных горизонтов юго–западной части Пермского края // ДАН, 2013. Т. 452. № 2. С. 181–184.
29. *Дружинин В.С., Мартышко П.С., Начапкин Н.И., Осипов В.Ю.* Решение задач региональной геологии среднего сегмента Уральского региона на основе объемной геолого-геофизической модели верхней части литосферы // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, 2012. № 1. С. 32–41.
30. *Дружинин В.С., Мартышко П.С., Начапкин Н.И., Осипов В.Ю.* Схема тектонического районирования Уральского региона на основе информации о строении верхней части литосферы // Отечественная геология, 2013. № 1. С. 43–58.
31. *Дружинин В.С., Начапкин Н.И., Осипов В.Ю.* О нижнеархейском кристаллическом фундаменте Евразийского континента // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2014. № 1. С. 14–25.
32. *Дружинин В.С., Осипов В.Ю., Начапкин Н.И.* О связи нефтегазоносности недр с особенностями геодинамики верхней части литосферы // Матер. конф. Седьмые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича. Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей. Екатеринбург, 8–13 сентября 2013. С. 106–111.
33. *Дружинин В.С., Осипов В.Ю., Начапкин Н.И., Силаев В.А.* Нижнеархейский кристаллический фундамент юго-западной части Пермского края // Вестн. Перм. ун–та, 2013. № 1. С. 8–16.
34. *Дружинин В.С., Осипов В.Ю., Начапкин Н.И., Силаев В.А.* Перспективные объекты на поиски месторождений углеводородов в нижнерифейских отложениях юго-запада Пермского края // Разведка и охрана недр, 2014. №6. С. 39–43.

35. *Дружинин В.С., Осипов В.Ю., Первушин А.В.* О поисках углеводородов в юго-западной части Свердловской области // Разведка и охрана недр, 2004. № 2. С. 29–33.
36. *Дружинин В.С., Рыбалка В.М., Соболев И.Д.* К проблеме связи верхних структур земной коры с глубинным строением Уральского региона // Советская геология, 1974. № 11. С. 42–55.
37. *Дружинин В.С., Рыжий Б.П., Каретин Ю.С., Ясюлевич Н.Н.* О тектоническом районировании Урала и сопредельных территорий на глубинной и геодинамической основе. // Сб. Глубина строения и развитие Урала: Матер. науч.-производ. конф., посвященной 50-летию Баженовской геофизической экспедиции. Екатеринбург: Наука, 1996.
38. *Дружинин В.С., Соболев И.Д., Рыбалка В.М.* Связь тектоники и магматизма с глубинным строением Среднего Урала по данным ГСЗ. М.: Недра, 1976. 158 с.
39. *Дружинин В.С., Соседков В.С., Карманов А.Б., Турыгин Л.В.* Строение верхней части земной коры в районе Тюменской сверхглубокой скважины // Сов. геология, 1988. № 7. С. 47–53.
40. *Егоркин А.В.* Строение земной коры по сейсмическим геотраверсам // Глубинное строение территории СССР. М.: Наука, 1991. С. 118–135.
41. *Егоркин А.В., Костюченко С.Л., Золотов Е.Е. и др.* Глубинное строение зоны сочленения Казахской складчатой области и Западно–Сибирской плиты // Геотектоника, 1991. № 3. С 59–67.
42. *Золотов Е.Е., Недядько В.В., Чернышев Ю.Г. и др.* Строение консолидированной коры и верхней мантии вдоль Полярно-Уральского трансекта // Тез. докл. Десятых геофиз. чтений им. В.В. Федынского. М.: Центр «ГЕОН», 2008. С. 20–21.
43. *Золотов Е.Е., Ракитов В.А., Солодилов Л.Н. и др.* Модель литосферы под профилем Уральский по наблюдениям объемных продольных и обменных волн // Разведка и охрана недр, 1994. № 10. С. 15–18.

44. *Иванов С.Н., Пучков В.Н., Иванов К.С.* Формирование земной коры Урала. М.: Наука, 1986. 243 с.
45. *Кашубин С.Н., Дружинин В.С.* Развитие метода ГСЗ на Урале // Физика Земли, 1999. № 7. С. 30–43.
46. Кольская сверхглубокая (*Под. ред. Е.А. Козловского*). М.: Недра, 1984. 490 с.
47. *Костюченко С.Л., Джи Д., Егоркин А.В., Сапожников Р.Б.* Структура и геодинамика земной коры северо-востока европейской части Восточной Европы. Результаты исследований по программе EURO PROBE. М.: Геокарт, Геос, 2006. С. 540–553.
48. *Костюченко С.Л., Егоркин А.В., Солодилов Л.Н.* Особенности строения литосферы Урала по результатам многоволнового глубинного сейсмического зондирования // Геотектоника, 1998. № 4. С. 3–18.
49. *Костюченко С.Л., Морозов А.Ф., Кременецкий А.А.* Тимано–Урало–Пайхойская коллизионная область. М.: Геокарт-ГЕОС, 2012. 210 с.
50. *Красовский С.С.* Гравитационное моделирование глубинных структур земной коры и изостазия. Киев: Наук. думка, 1989. 248 с.
51. *Красовский С.С., Куприенко П.Я., Красовский А.С.* Объемное гравитационное моделирование глубинных структур литосферы Украины // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Тр. Междун. конф. Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1998. С. 80–92.
52. *Крылов С.В., Мишенькин Б.П., Мишенькина З.Р., Шелудько И.Ф.* Детальные сейсмические исследования литосферы на P и S волнах. Новосибирск: Наука, Сиб. отд. 1993. 196 с.
53. *Кузнецов В.Л., Сальников А.С., Татаренко В.В.* Палеозойский нефтегазовый комплекс Западной Сибири по данным глубинных сейсмических исследований // Геофизика, 2011. № 4. С. 18–24.

54. *Куприенко П.Я., Макаренко И.Б., Старостенко В.И., Легостаева О.В.* Трехмерная плотностная модель земной коры и верхней мантии Украинского щита // Геофиз. журн., 2007. Т. 29. № 5. С.3–27.
55. *Левин Б.В., Родкин М.В., Сасорова Е.В.* О возможной природе сейсмической границы на глубине 70 км // ДАН, 2007. Т. 414. № 1. С. 101–104.
56. *Ли Юнхунь.* Характеристики природных резервуаров и нефтегазоносность Тахекского месторождения Таремского бассейна // Разведка и охрана недр, 2007. №1. С. 43–49.
57. *Мартышко П.С., Дружинин В.С., Начапкин Н.И. и др.* Методика и результаты создания объемной геолого-геофизической модели верхней части литосферы северного и среднего сегментов Уральского региона // Динамика физических полей Земли. М.: ИФЗ РАН, 2011. С. 9–30.
58. *Мартышко П.С., Дружинин В.С., Начапкин Н.И. и др.* Схематическое тектоническое районирование Уральского региона на основе разработанных алгоритмов и методики создания объемной геофизической модели верхней части литосферы // Литосфера, 2012. № 4. С. 208–218.
59. *Неганов В.М.* Сейсмогеологическая интерпретация геофизических материалов Среднего Приуралья и перспективы дальнейших исследований на нефть и газ. Пермь, 2010. 248 с.
60. *Неганов В.М., Родионовский В.И., Зотеев М.С.* Геологическое строение Пермского Прикамья по данным геолого-геофизических исследований // Геофизика, 2000. Спец. вып. С. 11–22.
61. *Нестеров И.И.* Извлечение из избранных трудов в семи томах. Т. 1. Тюмень, 2007. 234 с.
62. *Осипов В.Ю., Осипова А.Ю.* Тектоническое районирование юго-западной части Пермского края по особенностям строения земной коры // Сб. науч. матер. XIV Урал. молодеж. науч. шк. по геофизике. Пермь, 2013. С. 203–208.

63. *Павленкова Н.И.* Реологические свойства верхней мантии Северной Евразии, и природа региональных границ по данным сверхдлинных сейсмических профилей // Геология и геофизика, 2011. № 9. С. 1287–1301.
64. *Пронкин А.П., Савченко В.М. и др.* Основные районы работ ГНЦ ФГУГП «Южморгеология» в транзитных зонах акватории морей России // Геология нефти и газа, 2011. № 6. С. 21–31.
65. *Пучков В.Н.* Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: Полиграф сервис, 2010. 280 с.
66. *Пущаровский Ю.М.* Фундаментальные проблемы общей тектоники // М.: Науч. мир, 2001. С. 1–15.
67. Региональная геология и металлогения / *Под ред. А.Ф. Морозова*. СПб.: Изд–во ВСЕГЕИ, 2000. № 10. 255 с.
68. *Рудницкая Д.И., Вальчак В.И., Старосельцев Н.А. и др.* Изучения глубинного строения земной коры нефтегазоносных территорий Сибири // Геофизика, 2008. № 3. С. 13–17.
69. *Рыбалка А.В., Петров Г.А., Кашубина Т.В. и др.* Глубинное строение Урала по данным Полярно–Уральского трансекта // Региональная геология и металлогения, 2011. № 47. С. 25–36.
70. *Рыжов И.Н.* Неотектоника Европейского Севера СССР. Л.: Наука, 1988. 92 с.
71. *Садовский М.А., Писаренко В.Ф.* Дискретные иерархические модели геофизической среды // Комплексные исследования по физике Земли. М.: Наука, 1989. С. 9–26.
72. Сейсмология в Сибири на рубеже тысячелетий: Матер. Междунар. геофиз. конф. / *Под ред. С.В. Гольдина.* Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 396 с.
73. *Соболев И.Д.* Тектоническая схема Северного, Среднего и северо-восточной части Южного Урала М 1:2500 000 // Геология СССР, Т. XII. Приложение. М., 1966.

74. *Старостенко В.И.* Устойчивые численные методы в задачах гравиметрии. Киев: Наук. думка, 1978. 227 с.
75. *Страхов В.Н.* Вклад Г.А. Гамбурцева в теорию интерпретации гравитационных и магнитных аномалий // Развитие идей Г.А. Гамбурцева в геофизике. М.: Наука, 1982. С. 17–89.
76. *Страхов В.Н., Романюк Т.В.* Восстановление плотностей земной коры и верхней мантии по данным ГСЗ и гравиметрии // Физика Земли, 1984. № 6. С. 44–63; № 7. С. 64–80.
77. Тектоническая карта территории СССР М 1:1000 000, 1979. / *Под ред. Т.Н. Спижарского*.
78. *Тимонин Н.И.* Печорская плита: история геологического развития в фанерозое. Монография. Екатеринбург, 1998. 240 с.
79. *Тимурзиев А.И.* Современное состояние практики и методологии поисков нефти – от заблуждений застоя к новому мировоззрению прогресса // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, 2010. № 11. С. 20–32.
80. Фундамент Тимано–Печорского нефтегазоносного бассейна / *Л.Т. Белякова, В.И. Богацкий, Б.П. Богданов и др.* Киров: ОАО «Кировская областная типография», 2008. 288 с.
81. *Халевин Н.И.* Сейсмология взрывов на Урале (методика и результаты исследований). М.: Наука, 1975. 136 с.
82. *Чеботарева И.А., Рожков М.В., Тагизаде Т.Т., Ерохин Г.Н.* Способ микросейсмического мониторинга пространственного распределения источников эмиссии и рассеянного излучения и устройство для их осуществления. Патент РФ №2278401 от 27.12.2004.
83. *Шаров В.И.* Процессы самоорганизации в геосистемах по материалам сейсмического изучения диссипативных структур и флюидного режима в литосфере рудных и нефтегазоносных районов // Матер. конф. «Симпозиум

и школа. Синергетика геосистем», 2007. http:geo.web.ru/conf/SGS_2007/pdf/sharov.pdf

84. *Druzhinin V.S., Kashubin S.N., Kashubina T.V. et al.* The main features of the interface between the crust and the upper mantle in the Middle Urals (in the vicinity of the deep drillhole SG-4) // Tectonophysics, 1997, No. 269. P. 259–267.
85. *Ryzhiy B.P., Druzhinin V.S., Yunusov F.F., Ananyin I.V.* Deep structure of the region and its seismicity // Physics of the Earth and Planetary Interiors, 1992. No. 75. P. 185–191.

Список рисунков

	стр.
Рис. 1. Схема расположения профилей ГСЗ, МОВЗ, совмещенная с картой аномального гравитационного поля Δg.	11
Рис. 2. Фрагменты тектонических карт.	14
Рис. 3. Представление о тектоническом строении Урала и окружающих геологических структур.	16
Рис. 4. Сопоставление глубинных сейсмических разрезов по профилю «Уралсейс» (Южный Урал).	21
Рис. 5. Сейсмогеологический разрез по Свердловскому профилю ГСЗ в районе Предуральского прогиба и Западного склона Урала (откорректированный вариант [20]).	23
Рис. 6. Особенности методики дифференциальных зондирований МПВ–МОВ [23].	31
Рис. 7. Запись мантийной группы волн P^{M}_{0} на расстоянии 520-532 км от промышленного карьера «Асбест» в восточной части Свердловского профиля ГСЗ [38].	33
Рис. 8. Объемная скоростная модель района скв. 20009 и скв. 20000 [21].	34
Рис. 9. Результаты томографических исследований МОВЗ на профиле Уральский [43].	36
Рис. 10. Сейсмические и сейсмогеологические разрезы по району Уральской СГ-4.	38
Рис. 11. Геолого-геофизический разрез по Свердловскому пересечению [36].	42
Рис. 12. Схематические модели верхней коры Восточной окраины ВЕП (а), активные структуры Урала и Сибири (б) [26].	45
Рис. 13. Сейсмогеологический разрез по Свердловскому профилю ГСЗ по району Калтасинского авлакогена [38].	49
Рис. 14. Схема расположения сейсмических профилей в южной части оз.	

Байкал (а), сейсмический разрез по профилю II (Солзан-Посольское) вдоль длинной оси Южно-Байкальской котловины (б) [52].	51
Рис. 15. Сейсмогеологические разрезы верхней части коры по югу Восточной Сибири.	54
Рис. 16. Временной разрез по профилю 240706 [64].	57
Рис. 17. Схема изоамплитуд поля рассеяния фрагмента (*а*) с мигрированным разрезом Уралсейс (*б*) в сопоставлении с прогнозным разрезом ГСЗ (*в*).	65
Рис. 18. Сейсмогеологический разрез по Красноуральскому профилю ГСЗ [18] (а) и сейсмическая глубинная модель по геотраверсу Батолит-1-СБ [68] (б).	76
Рис. 19. Примеры оценки нефтегазоперспективности геологической среды по данным профильных исследований ГСЗ, подтвержденные последующими поисковыми геолого-геофизическими работами [27, 29].	78
Рис. 20. Сейсмогеоплотностной разрез верхней части литосферы по профилю Вижай–Орск [30].	82
Рис. 21. Сводный субширотный сейсмогеологический разрез земной коры Полярного сектора Уральской складчатой системы.	87
Рис. 22. Сейсмический разрез (усовершенствованный вариант) по профилю Полярно-Уральский трансект по данным МОГТ (а) [69], геоэлектрический разрез по данным МТЗ (б) [49].	88
Рис. 23. Сейсмические разрезы по профилю Полярно-Уральский трансект по данным ГСЗ (а), МОВЗ (б) [42].	90
Рис. 24. Выкопировка из тектонической карты под редакцией Т.Н. Спижарского, 1979 [77].	93
Рис. 25. Схема тектонического районирования консолидированной коры Ново-Портовско–Салехардского района Западно–Сибирской геосинеклизы.	95

Рис. 26. Схематическая карта тектонического районирования верхней части литосферы.	100
Рис. 27. Схематическая карта рельефа основного сейсмогеологического раздела М [29].	104
Рис. 28. Схематическая карта рельефа древнего кристаллического фундамента $К_{01}$ [29].	105
Рис. 29. Плотностная 3D–модель северной и центральной частей Уральского региона [29].	106
Рис. 30. Трехмерная модель верхней мантии Северной Евразии [63].	117
Рис. 31. Структурно-тектоническая карта фундамента Тимано–Североуральского региона и прилегающих районов Русской плиты (Институт геологии Коми НЦ УрО РАН) [70, 80].	120
Рис. 32. Схематическая карта рельефа древнего кристаллического фундамента $К_{01}$.	121
Рис. 33. Схематическая карта изопахит докембрийских отложений.	122
Рис. 34. Схема тектонического районирования докембрийского основания Тимано-Печорского осадочного бассейна и сопредельных структур [25].	123
Рис. 35. Сейсмогеоплотностной разрез верхней части литосферы по геотраверсу Агат-2.	126
Рис. 36. Сейсмогеологический разрез, составленный по авторскому варианту разреза по геотраверсу Рубин-1 [29, 41].	132
Рис. 37. Сводный сейсмический динамический разрез ЮТС по профилю Гранит [83].	135
Рис. 38. Схема тектонического районирования докембрийского основания Тимано-Печорского осадочного бассейна и сопредельных структур, совмещенная с картой нефтегазоносности [25].	136
Рис. 39. Геолого-геофизический разрез верхней части коры по Ханты–Мансийскому профилю ГСЗ [14].	141

Рис. 40. Схематические карты оценки нефтегазоперспективности геологической среды Уральского региона на основе специфики строения верхней части литосферы [12, 26, 27, 32].	144
Рис. 41. Сводный сейсмогеологический разрез верхней части земной коры северного сектора ЗСГ, составаленный по данным ГСЗ.	152
Рис. 42. Схема расположения профилей ГСЗ и сводного разреза, совмещенные со схемой тектонического районирования кристаллической коры северо-западной части Уральского региона [29, 31].	153
Рис. 43. Сейсмическая информация ГСЗ по юго-западной части Пермского края и Республике Башкортостан.	157
Рис. 44. Схематическая карта рельефа поверхности нижнеархейского кристаллического фундамента ($К_{01}$) [29, 34].	160
Рис. 45. Схема поверхности фундамента по данным сейсморазведки [59].	161
Рис. 46. Схема изопахит нижнерифейского комплекса в пределах Воткинского и Куединского блоков.	162
Рис. 47. Схема (макет) тектонического районирования (Бардымская площадь), с учетом элементов новейшей тектоники [29].	163
Рис. 48. Схема тектонического районирования кристаллической коры и расположения месторождений углеводородов [29].	164
Рис. 49. Схема потенциальной нефтегазоперспективности нижнерифейских комплексов, расположенных на юго-западе Пермского края [28, 34].	166
Рис. 50. Обобщенный редуцированный годограф (*а*) и скоростная модель (*б*).	172
Рис. 51. Срезы объемной скоростной модели (а) и азимутальной изменчивости (б) по Еременской площади [32].	172
Рис. 52. Карты аномального гравитационного поля Δg (*а*) и магнитного поля (*б*) Еременской площади.	174

Рис. 53. Макет схематической карты новейшей тектоники Ереминской площади, совмещенная с картой магнитного поля, пересчитанного вверх 1–5 км.	175
Рис. 54. Схема тектонического районирования, совмещенная с рельефом древнего кристаллического фундамента ($К_{01}$) Ереминской площади [32].	176
Рис. 55. Расположение гранитных массивов Зауралья на тектонической схеме кристаллической коры [73].	179
Рис. 56. Оценка нефтегазоперспективности, совмещенная со схематической тектонической картой домезозойского основания Ереминской площади.	181
Рис. 57. Разрез земной коры в районе Буткинского гранитоидного массива [38].	184

Приложение

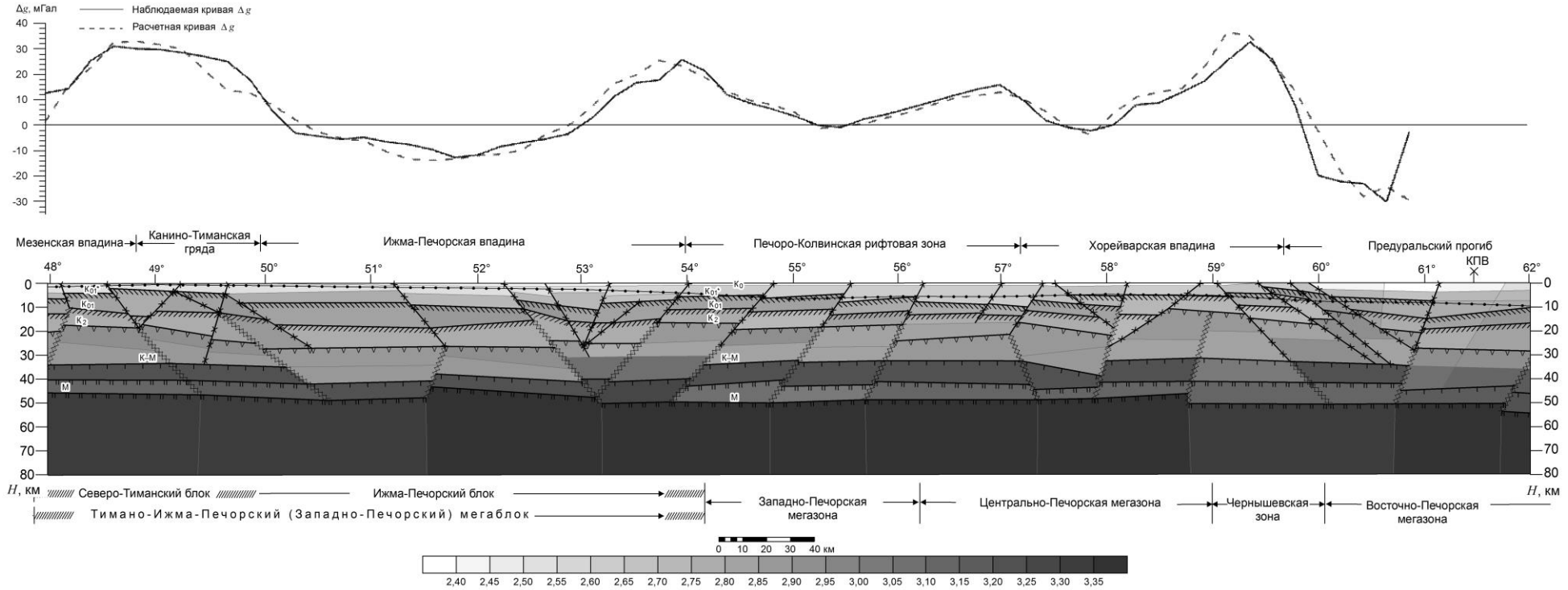
	стр.
Лист 1. Сейсмогеоплотностной разрез верхней части литосферы по профилю Агат-2	212
Лист 2. Сейсмогеоплотностной разрез верхней части литосферы по профилю Верхненильдино–Казым	213
Лист 3. Сейсмогеоплотностной разрез верхней части литосферы по профилю Вижай–Орск [26]	214
Лист 4. Сейсмогеоплотностной разрез по профилю Гранит (Рубин-2) [26]	215
Лист 5. Сейсмогеоплотностной разрез верхней части литосферы по профилю Кварц	216
Лист 6. Сейсмогеоплотностной разрез верхней части литосферы по профилю Красноленинский + Рубин-1	217
Лист 7. Сейсмогеоплотностной разрез верхней части литосферы по профилю Красноуральский–Ханты-Мансийский [26]	218

Лист 8. Сейсмогеоплотностной разрез верхней части литосферы по профилю Купянск–Воркута	219
Лист 9. Сейсмогеоплотностной разрез верхней части литосферы по профилю Рубин-1 [29]	220
Лист 10. Сейсмогеоплотностной разрез верхней части литосферы по профилю Свердловский [26]	221
Лист 11. Сейсмогеоплотностной разрез верхней части литосферы по профилю Сев. Сосьва–Ялуторовск	222
Лист 12. Сейсмогеоплотностной разрез верхней части литосферы по профилю Сыктывкарский	223
Лист 13. Сейсмогеоплотностной разрез по профилю Тараташский [26]	224
Лист 14. Сейсмогеоплотностной разрез по профилю Уральский МОВЗ, ГСЗ [26]	225

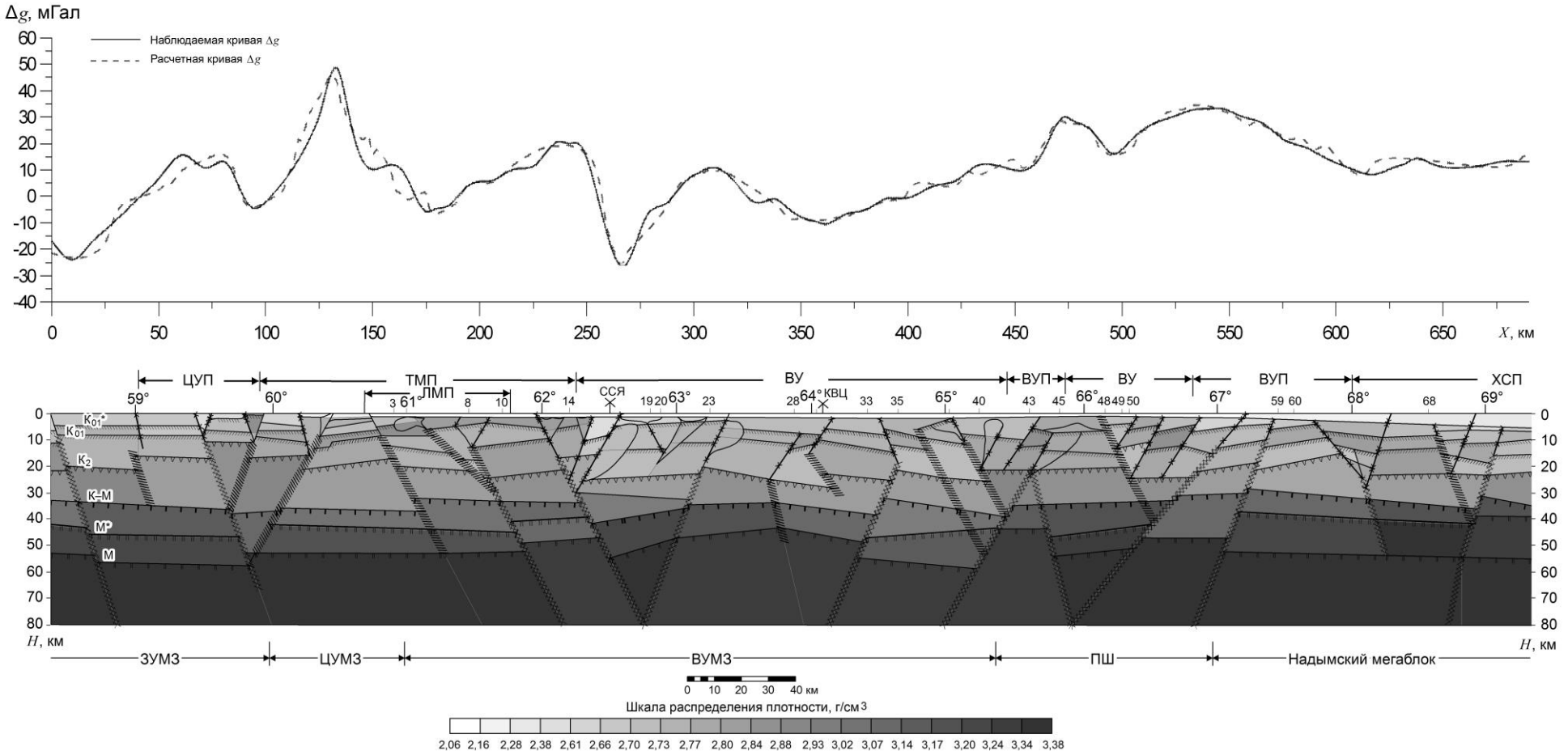
Приложение. Альбом сейсмогеоплотностных разрезов верхней части литосферы Уральского региона

Условные обозначения: *1* – линия профиля с градусной привязкой; *2* – подошва палеозойского мегакомплекса или поверхность докембрийских отложений, положение согласовано со схемой на рис. 31; *3* – поверхность докембрийского мегакомплекса, возможно, PR_1–R возраста на западе и R_1–MHPR (мезонеопротерозой) – на востоке; *4* – поверхность нижнеархейского кристаллического фундамента; *5* – поверхность нижней коры; *6* – поверхность переходного мегакомплекса в низах коры; *7* – основной сейсмогеологический раздел между породами земной коры и относительно слабоизмененными породами верхней мантии; *8* – поверхность нижнего комплекса переходной зоны предположительно с пониженными значениями скорости относительно пород верхней мантии; *9* – основные зоны глубинных разломов; *10* – глубинные разломы; *11* – наблюдаемая (а) и расчетная (б) кривая Δg; *12* – участки пересечения профилей.

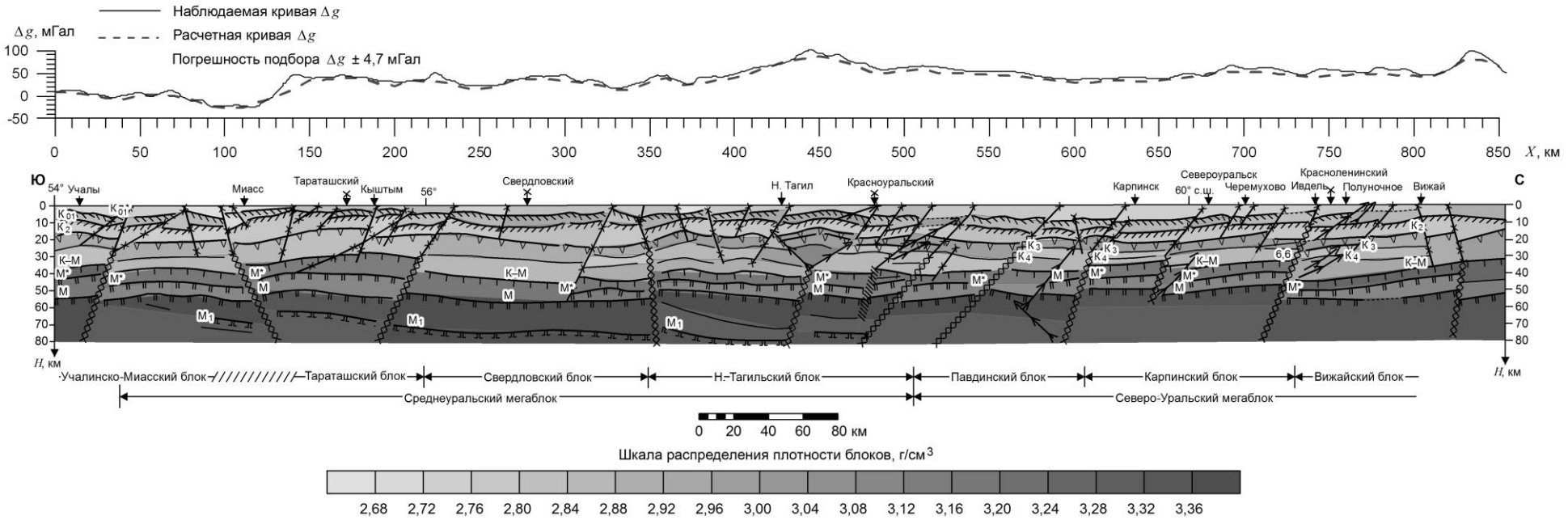
Над разрезом показаны геологические структуры [78], внизу разреза – районирование по особенностям глубинного строения



Сейсмогеоплотностной разрез верхней части литосферы по профилю Агат-2

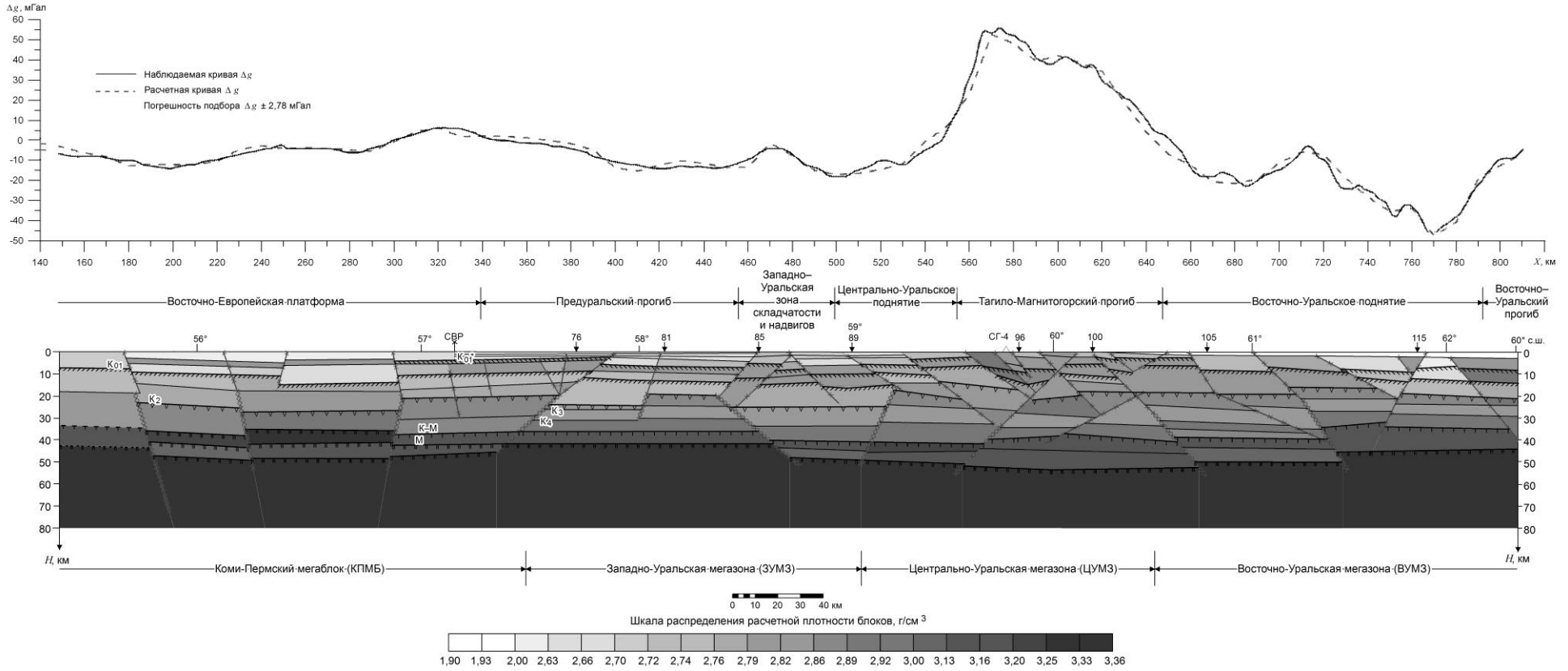


Сейсмогеоплотностной разрез верхней части литосферы по профилю Верхненильдино–Казым

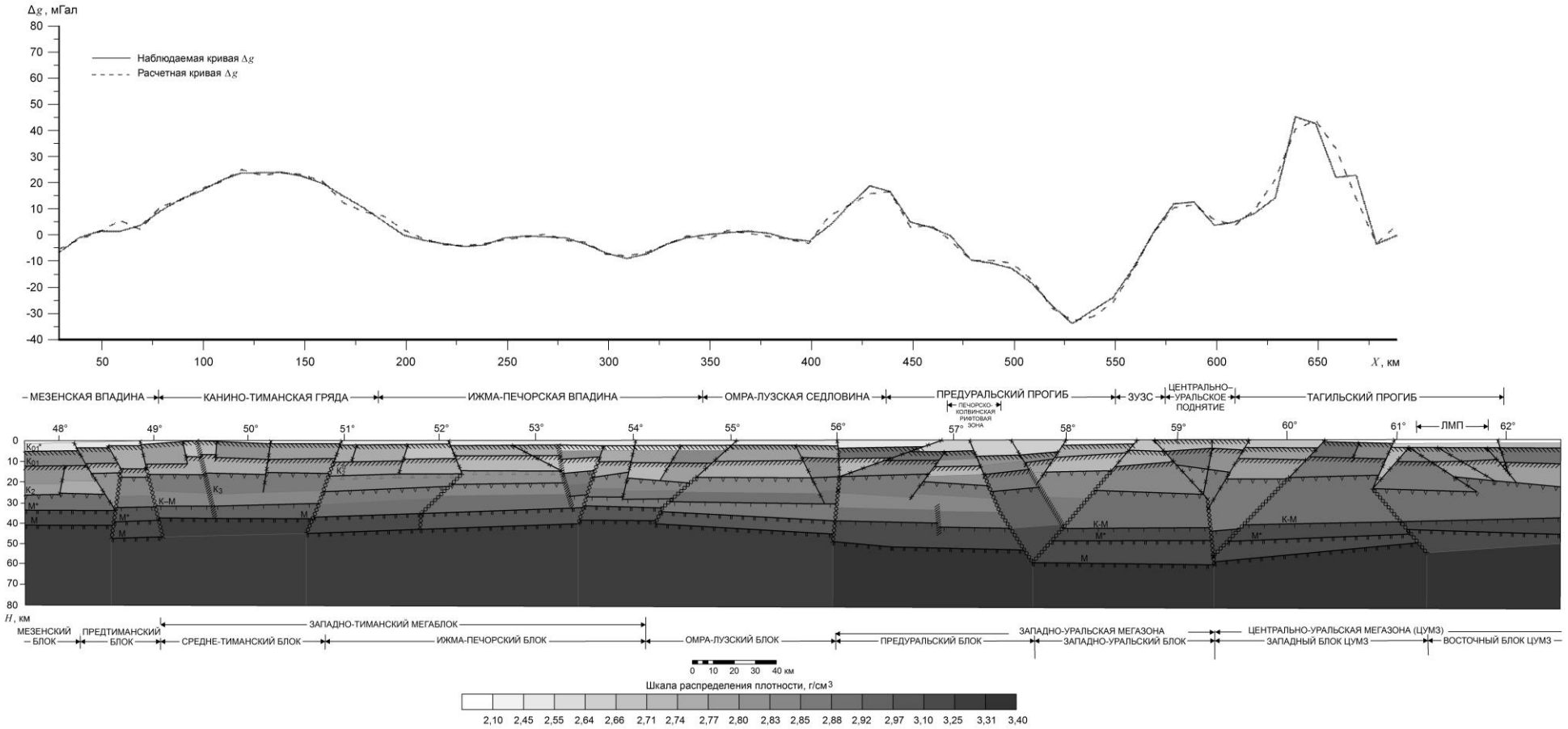


Сейсмогеоплотностной разрез верхней части литосферы по профилю Вижай–Орск [26]

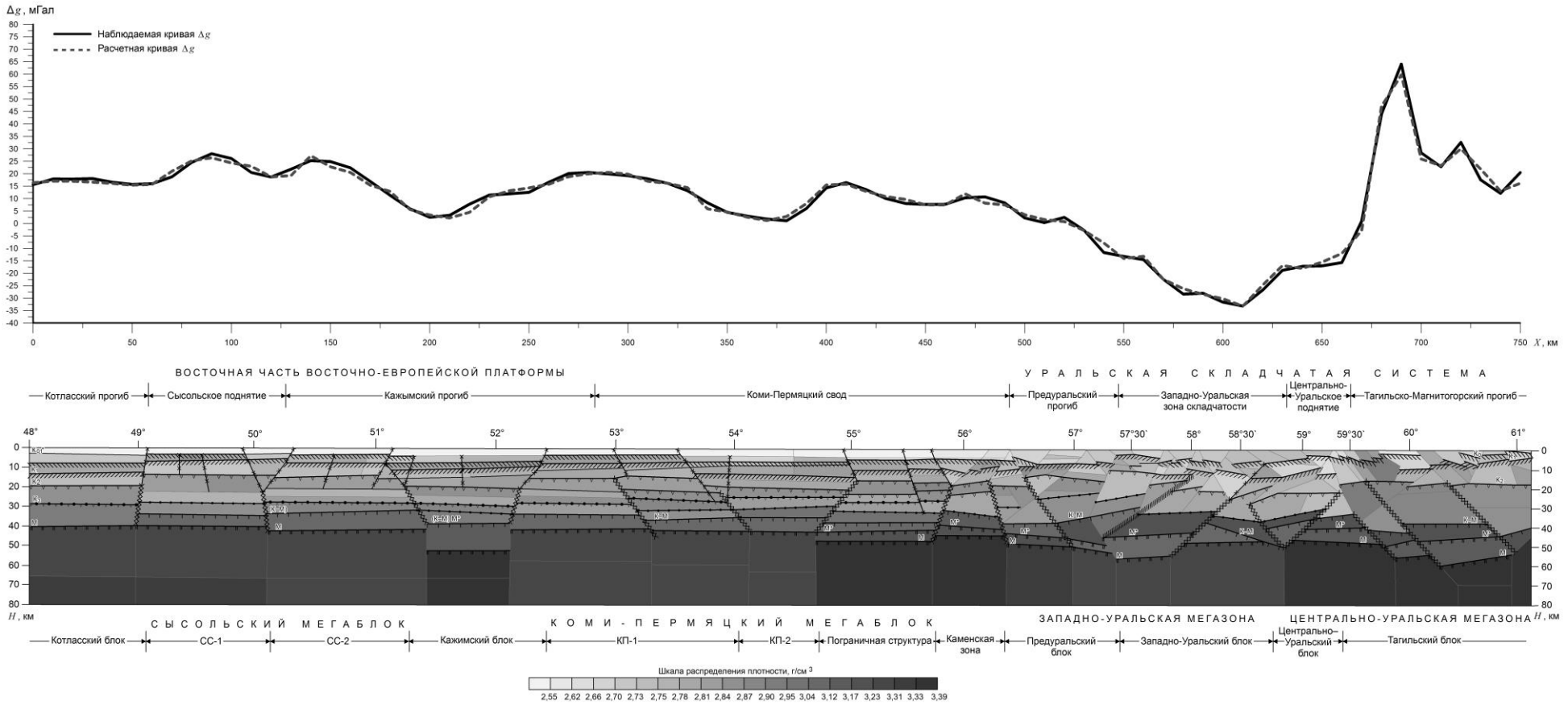
Под разрезом показано районирование ЦУМЗ в продольном сечении



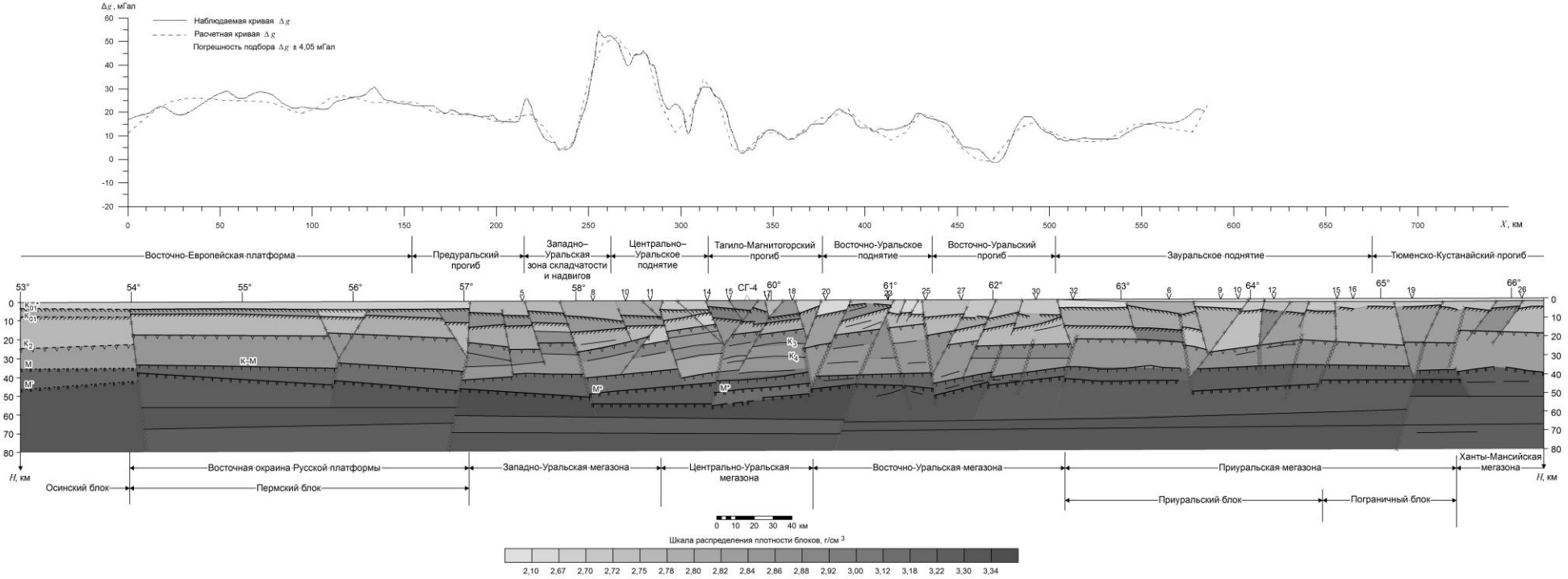
Сейсмогеоплотностной разрез по профилю Гранит (Рубин-2) [26]



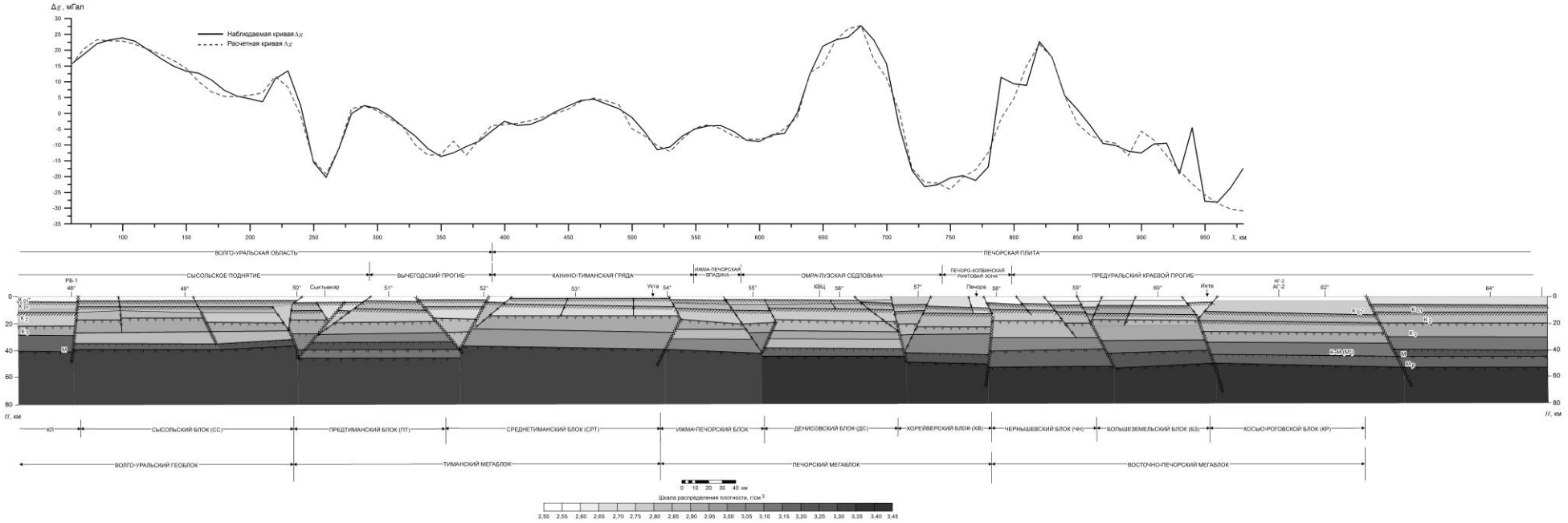
Сейсмогеоплотностной разрез верхней части литосферы по профилю Кварц



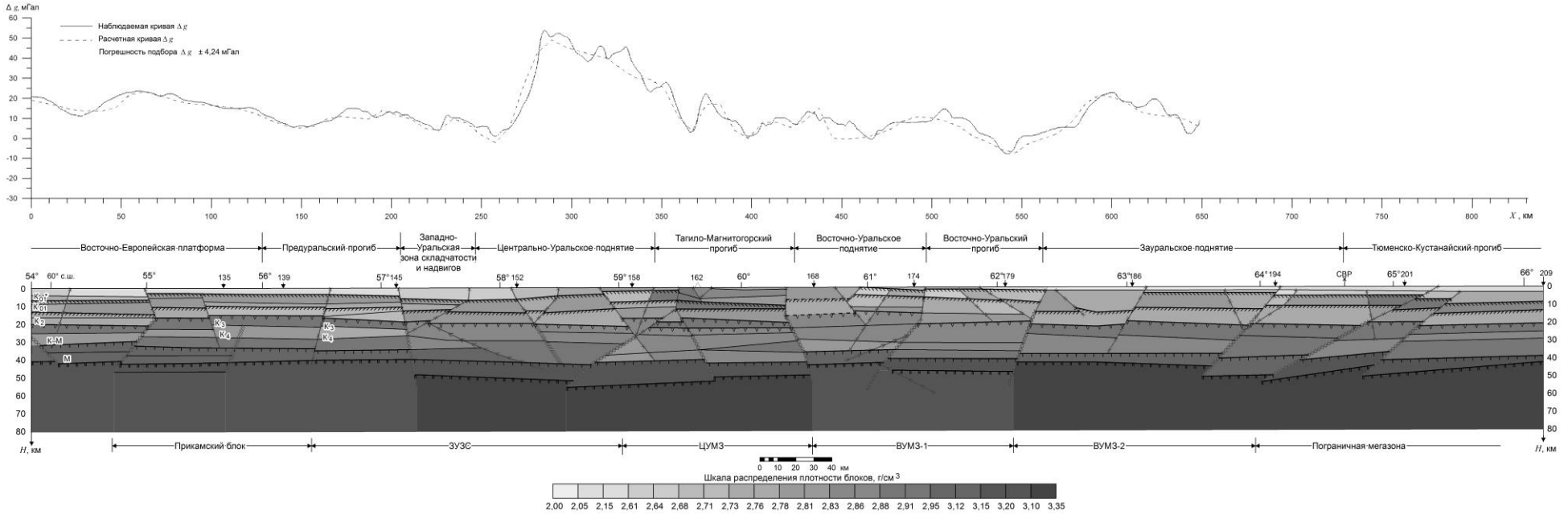
Сейсмогеоплотностной разрез верхней части литосферы по профилю Красноленинский + Рубин-1



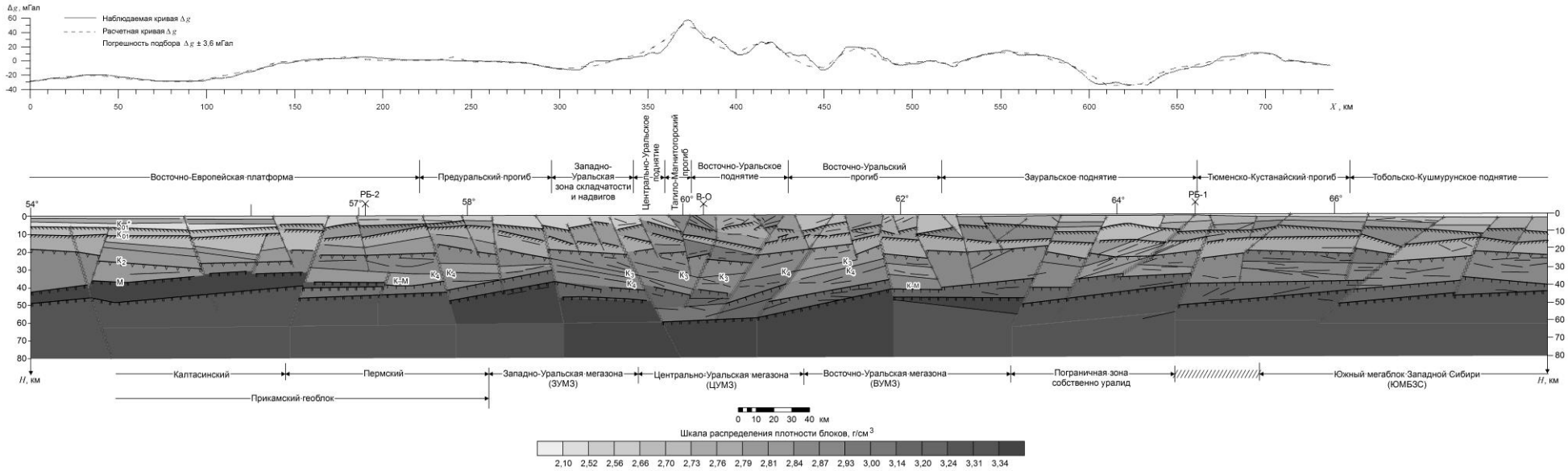
Сейсмогеоплотностной разрез верхней части литосферы по профилю Красноуральский–Ханты-Мансийский [26]



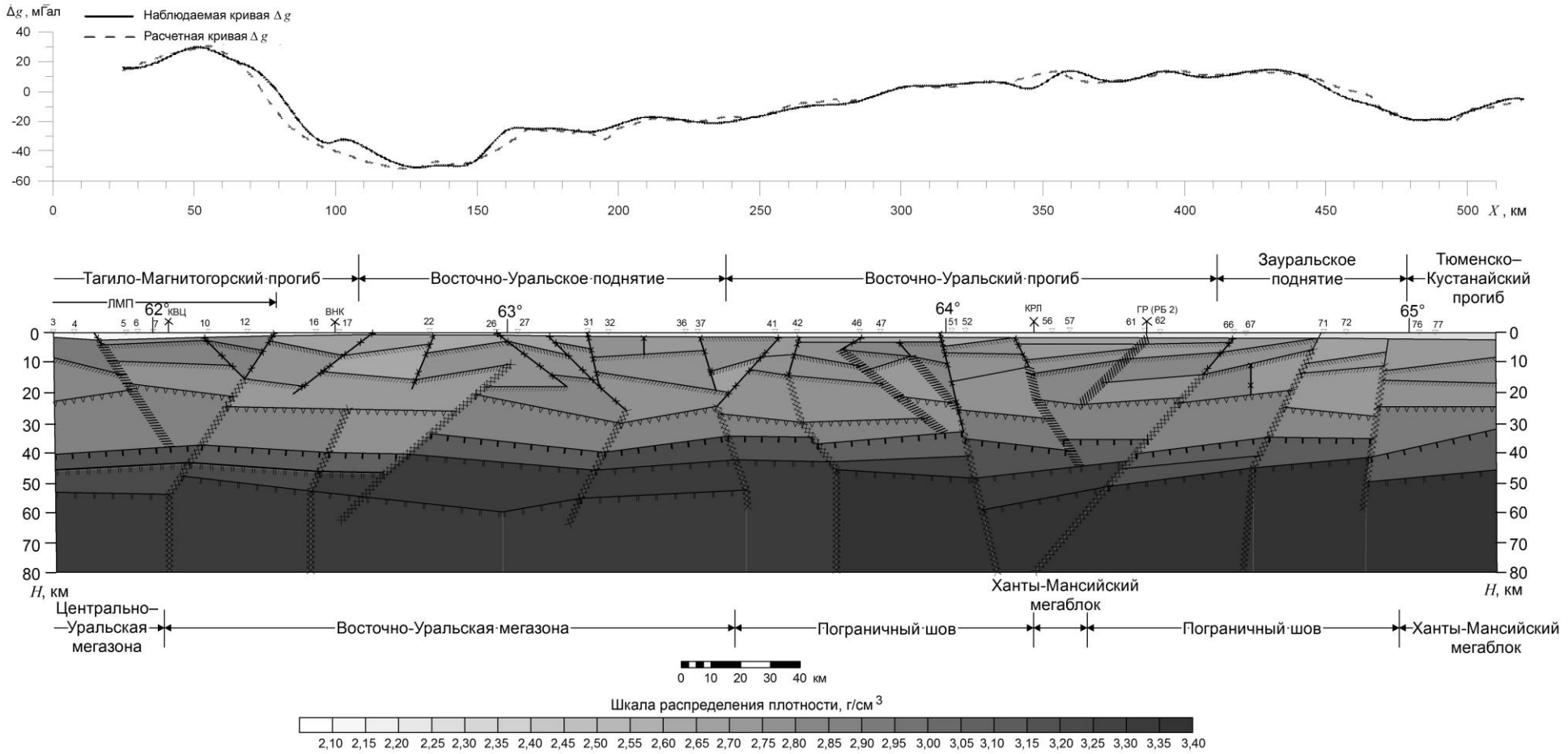
Сейсмогеоплотностной разрез верхней части литосферы по профилю Купянск–Воркута



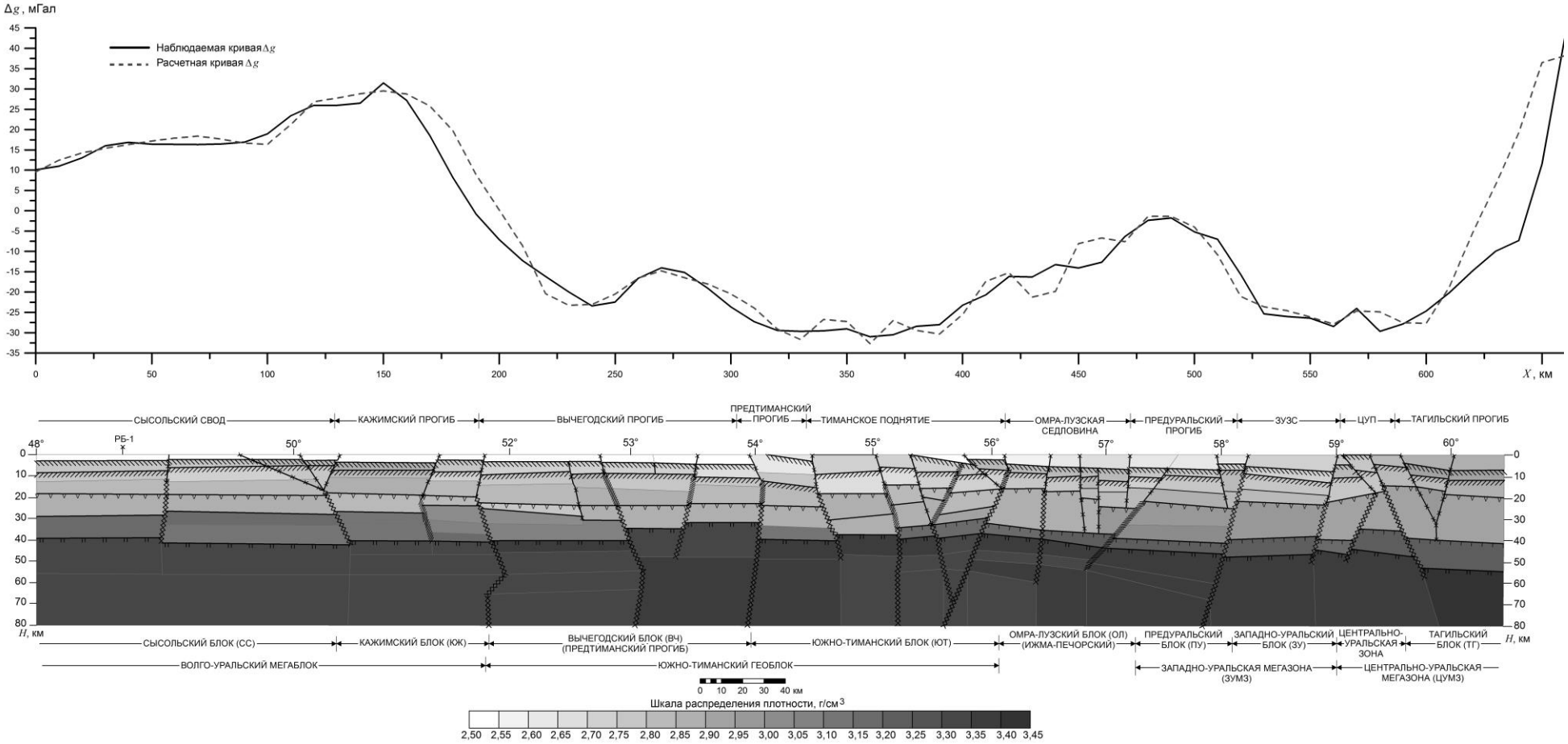
Сейсмогеоплотностной разрез верхней части литосферы по профилю Рубин-1 [29]



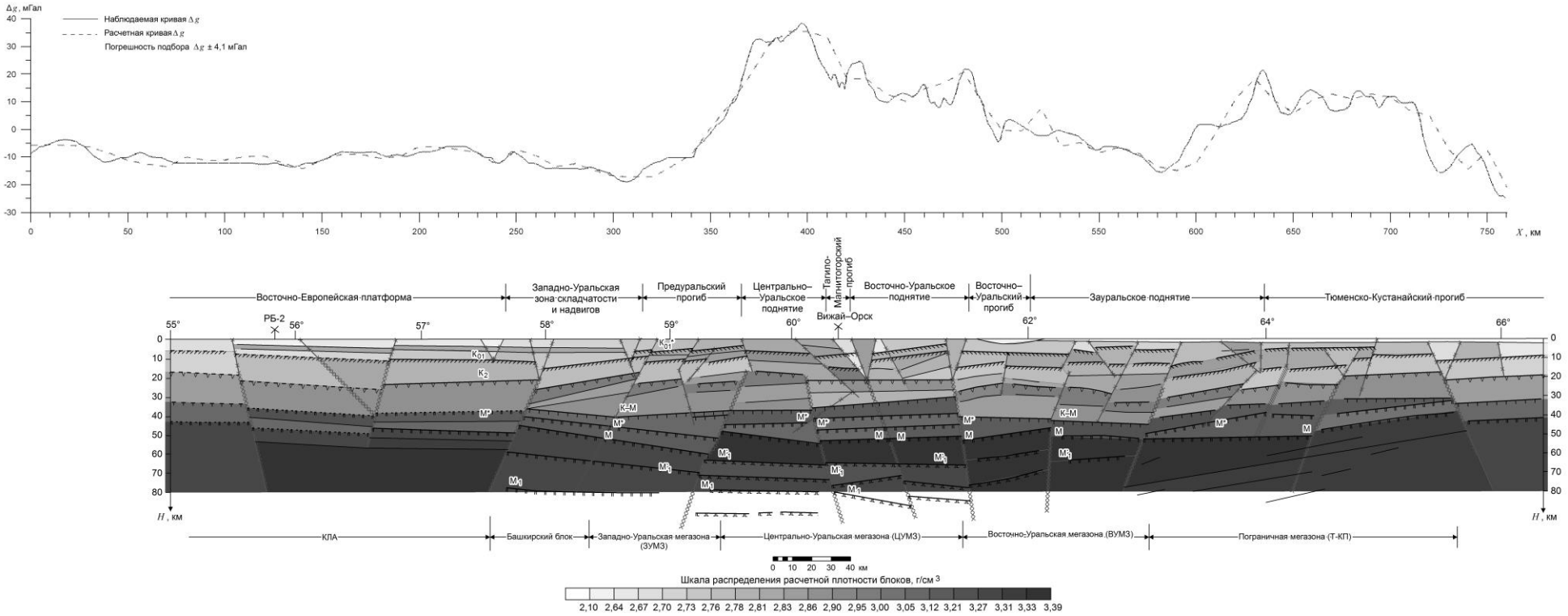
Сейсмогеоплотностной разрез верхней части литосферы по профилю Свердловский [26]



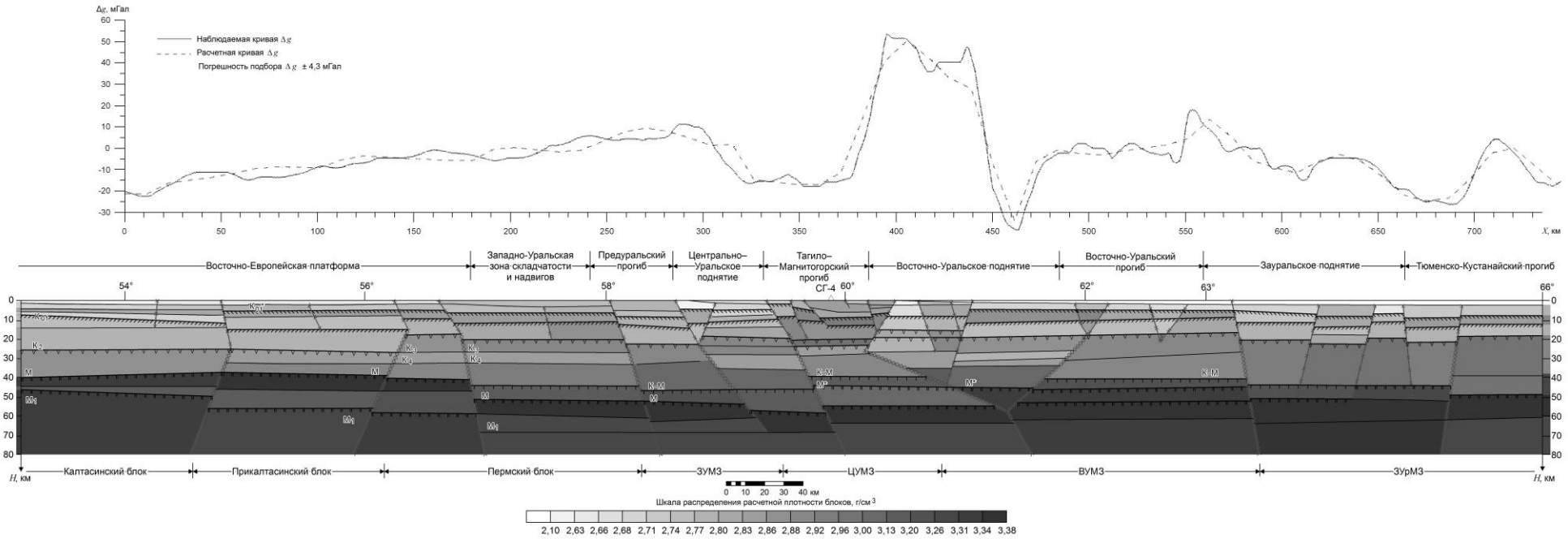
Сейсмогеоплотностной разрез верхней части литосферы по профилю Сев. Сосьва–Ялуторовск



Сейсмогеоплотностной разрез верхней части литосферы по профилю Сыктывкарский



Сейсмогеоплотностной разрез по профилю Тараташский [26]



Сейсмогеоплотностной разрез по профилю Уральский МОВЗ, ГСЗ [26]

Научное издание

Дружинин В.С., Мартышко П.С., Начапкин Н.И., Осипов В.Ю.

СТРОЕНИЕ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ЛИТОСФЕРЫ И НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ НЕДР УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА

Рекомедновано к изданию
Ученым советом Института геофизики и НИСО УрО РАН

Редактор М.О. Тюлюкова
Компьютерная верстка В.Ю. Осипов

ISBN 978-5-7691-2399-3

НИСО УрО РАН № 7(14)
Подписано в печать 25.07.2014. Формат… Бумага…
Усл. печ. л. … Уч.-изд. л. 15.
Тираж 300 экз. Заказ…

Адрес Института геофизики УрО РАН:
620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, 100.

Отпечатано в типографии ООО «ИРА УТК»
620146, г. Екатеринбург, ул. Шаумяна, 83. Тел. (343) 269-18-83