

УДК 550.834.3(571.1)

СХЕМАТИЧЕСКОЕ ТЕКТОНИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА НА ОСНОВЕ РАЗРАБОТАННЫХ АЛГОРИТМОВ И МЕТОДИКИ СОЗДАНИЯ ОБЪЕМНОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ЛИТОСФЕРЫ

© 2012 г. П. С. Мартышко, В. С. Дружинин, Н. И. Начапкин, И. В. Ладовский,
Д. Д. Бызов, В. Ю. Осипов, А. Г. Цидаев

*Институт геофизики УрО РАН
620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, 100
E-mail: mpsdir@mail.ru*

Поступила в редакцию 18.05.2012 г.

В статье рассмотрены основные элементы программно-алгоритмического комплекса для построения 2D и 3D сейсмоплотностных моделей верхней части литосферы. Построены 2D и 3D геолого-геофизические модели верхней части литосферы Среднего Урала. На основе 3D модели составлены схемы тектонического районирования для 3-х сейсмогеологических этажей верхней части литосферы. Внесены коррективы в существующие представления о тектонике Уральского региона и сопредельных территорий. Ключевые слова: *глубинное строение, верхняя часть литосферы, Средний Урал, методика и алгоритмы, 2D и 3D сейсмоплотностные и геолого-геофизические модели, тектоническое районирование.*

ВВЕДЕНИЕ

Для решения задач региональной геологии, таких как, тектоника, геодинамика и минерагения необходимы сведения о специфике строения верхней части литосферы как в профильном, так и, особенно, в объемном вариантах [3, 4, 12].

Построение региональных моделей глубинного строения верхней части литосферы (ВЧЛ) для обширных территорий нуждается в разработке новых компьютерных технологий двух- и трехмерного плотностного моделирования, способных обрабатывать многомерные числовые массивы входных данных в реальном режиме времени. Информационную базу плотностной модели в пределах исследуемой территории составляют профильные данные глубинных сейсмических исследований и площадные аномалии гравитационного поля [12]. Инструмент исследования – прямые и обратные задачи гравитационного моделирования с реализацией “быстрых” алгоритмов вычислений на сетках больших размерностей.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Построение объемных плотностных моделей верхней части литосферы

Современные технологии и требования к алгоритмам решения задач большой размерности требуют минимизации ручного труда на этапе подготовки исходных данных. Формализация данных геофизических исследований и их математическая

обработка на предварительном этапе должна способствовать созданию автоматизированных схем расчета и рационализации вычислительных процессов [13, 14].

Высокоэффективные алгоритмы “быстрого” решения прямых задач гравиметрии на сетках больших размерностей требуются для успешной реализации функциональных и итерационных схем решения обратных задач. Для сложно построенных сред множество многопараметрических решений некорректно поставленных обратных задач гравиметрии практически континуально. Именно поэтому для них так важны плотностные модели начального приближения. Такие модели должны отражать общие особенности распределения плотности, а соответствующее им аномальное гравитационное поле должно, в основных чертах, повторять морфологию наблюдаемых аномалий. И даже из многообразия допустимых на множестве корректности эквивалентных решений обратной задачи гравиметрии необходимо выбрать лишь конечное число вариантов, позволяющих построить геологически-содержательные модели глубинного строения земной коры и верхней мантии. Более устойчивое и содержательное решение обратной задачи можно получить, вычисляя отклонения “в малом” от начального распределения плотности модели нулевого приближения.

С учетом этих требований разработана методика построения плотностных моделей литосферы по новой “сеточной” технологии на основе сейсмогеологических скоростных разрезов. Методика рассмотрена на примере семи профилей в зоне сочле-

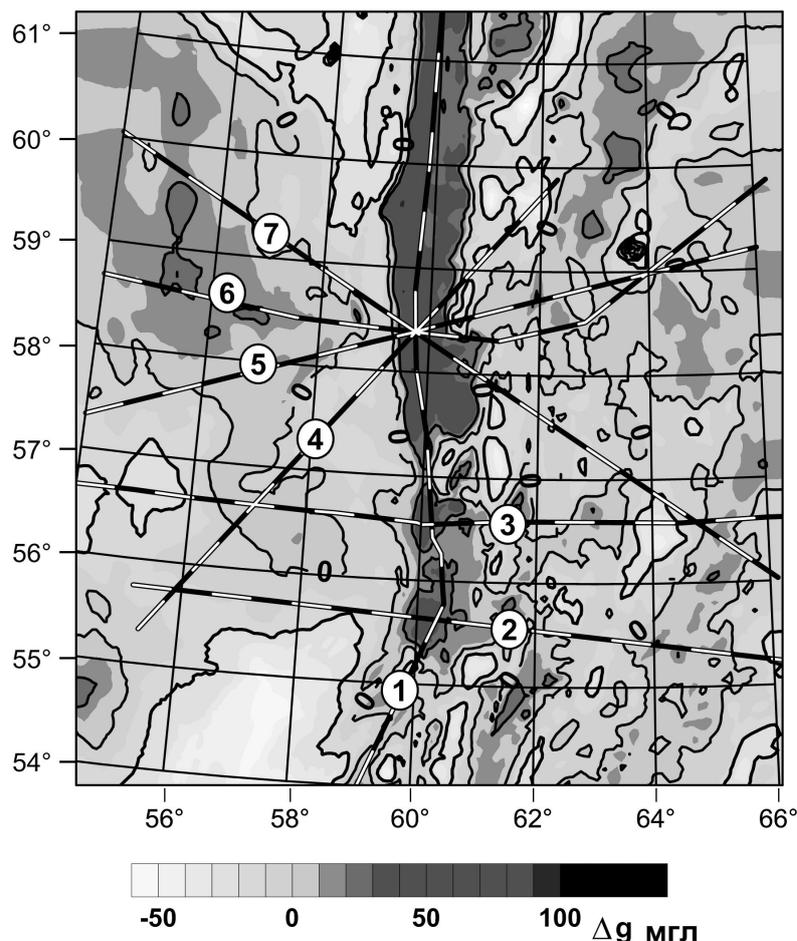


Рис. 1. Схема расположения профилей ГСЗ, МОВЗ, совмещенная с картой аномального гравитационного поля Δg .

Обозначения профилей: 1 – Вижай–Нижняя Тура–Орск, 2 – Тараташский, 3 – Свердловский, 4 – Рубин-2, 5 – Уральский МОВЗ, 6 – Красноуральский + Ханты-Мансийский, 7 – Рубин-1.

нения Среднего Урала и Западно-Сибирской плиты. На рис. 1 приведен фрагмент карты аномалий гравитационного поля в редукции Буге для исследуемой территории с координатами 54° – 61° с.ш., 54° – 66° в.д.

Начальная плотностная модель региона строится по разрезам опорных сейсмических профилей (геотравверсов), представленных либо дискретами континуальной (градиентной) скоростной модели [13], либо слоисто-блоковой конфигурацией [6, 8, 11]. Глубинные сейсмические разрезы были частично откорректированы в соответствии с разработанной методикой сейсмогеокартирования земной коры [8, 10]. Это позволило составить однотипные 2D сейсмоплотностные модели до глубины регионального уровня изостатического выравнивания – 80 км, ставших основой для построения 3D моделей верхней части литосферы. По разрозненным профильным сечениям невозможно воссоздать реальную конфигурацию аномальных объектов в трехмерном пространстве и построить объемное

распределение плотности. Оптимальный путь перехода к технологии трехмерного моделирования – преобразование двумерного распределения плотности слоисто-блоковых моделей в трехмерный массив сеточных функций с последующей его обработкой по предлагаемой схеме “грид” технологий.

Двумерные слоисто-блоковые цифровые модели формируются из одномерного упорядоченного массива однородных плотностей и двумерного массива координат вершин мозаичных многоугольников. Для этого изначально необходимо выполнить отображение формата данных слоисто-блоковой плотностной модели по сейсмическим профилям в формат сеточных функций. Такая операция проводилась со всеми упомянутыми выше профилями; на рис. 2 приведены схематичные изображения сеточных функций плотности по профилям Свердловский и Вижай–Орск.

Профильные 2D-данные сводятся на единый координатный цифровой планшет карты аномалий гравитационного поля. Граничные файлы форма-

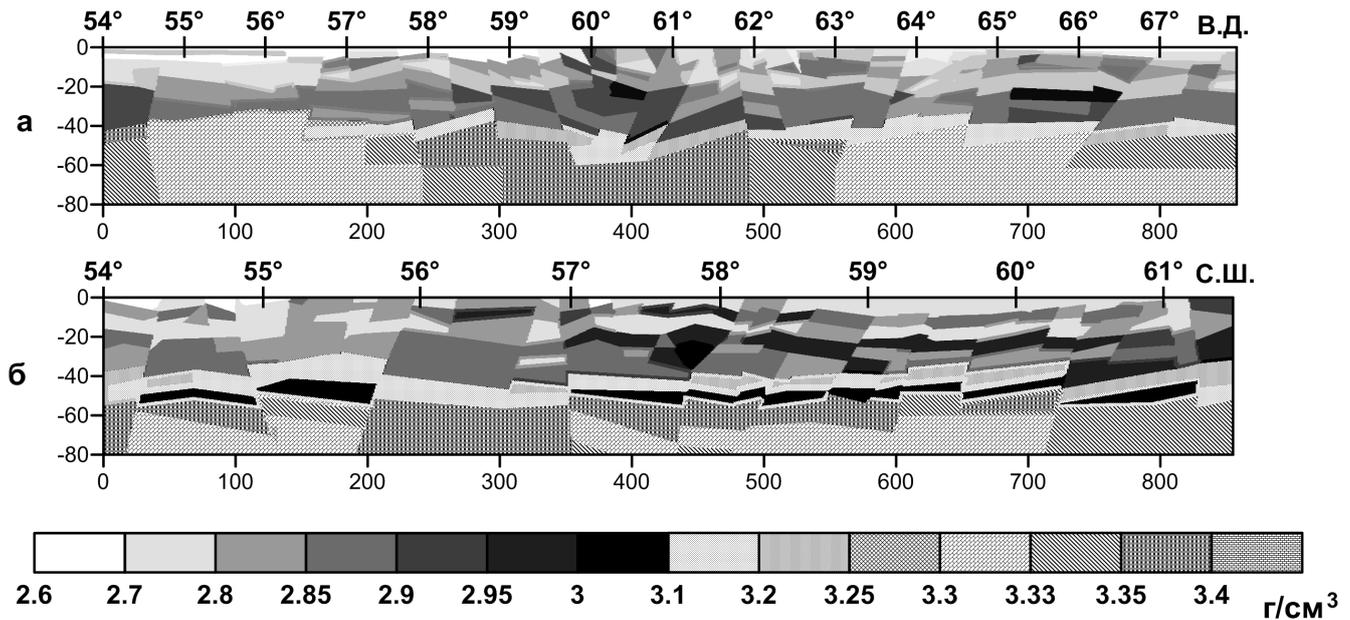


Рис. 2. Сеточные двумерные плотностные модели начального приближения слоисто-блокового строения земной коры и верхней мантии по двум ортогонально расположенным профилям ГСЗ: Свердловскому субширотному пересечению (а) и меридиональному трансекту Вижай–Орск (б);

та (.bln) задают положение каждого из профилей на планшете карты. С ними сопоставляется набор стандартных сеточных файлов формата (.grd) двумерных плотностных моделей. Таким образом, учитывается взаимное расположение разрезов в пространстве и происходит переход от двумерного массива координат вдоль профильных сечений (с учетом их кривизны) к трехмерному координатному массиву объемной модели. Программа визуализации экспортирует данные как трехмерный “грид”-

файл пакета Voxler и восстанавливает пространственную геометрию профильных сечений (рис. 3).

Далее по отдельным горизонтальным слоям выполняется интерполяция двумерных плотностей в межпрофильное пространство, и происходит процесс заполнения ячеек “сеточного куба” [18]. Мощности слоев определяются шагом дискретизации по оси глубин. Использовались две интерполяционные схемы пакета Surfer: метод обратных расстояний с большим (3 и более) степенным показателем и метод триангуляции с линейной интерполяцией. Первый метод ориентирован на восстановление изометрии пространственного положения локальных объектов, второй – на обрисовку протяженных линейных структур по их профильным подсечениям. Результатом работы программы на этом этапе является пакет сеточных “грид-файлов”, содержащих горизонтальные слои четырехмерного (x, y, z, σ) куба, и XML-файл, в котором каждому слою сопоставлена глубина, на которой он расположен. Построенный “цифровой куб” представляет собой трехмерную плотностную модель начального приближения для заданного участка площади и доступен для редактирования с возможностью получения информации по любому сечению вдоль образующей кривой граничного файла в формате (.bln). На его основе возможно построение карт горизонтальных срезов и структурных карт рельефа опорных плотностных границ. На рис. 4 представлены вертикальное сечение вдоль профиля Рубин-2 и карты плотностных срезов на глубинах 25 и 57 км.

Послойная организация сеточных “грид-файлов” интерполированной плотности позволяет авто-

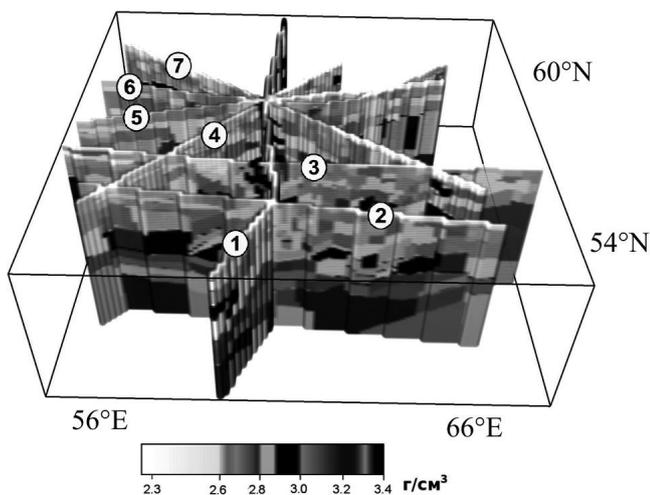


Рис. 3. Пространственное положение плотностных разрезов на координатном цифровом планшете карты аномалий гравитационного поля в координатах 54–61° с.ш., 54–66° в.д.

Обозначение профилей см. на Рис. 1.

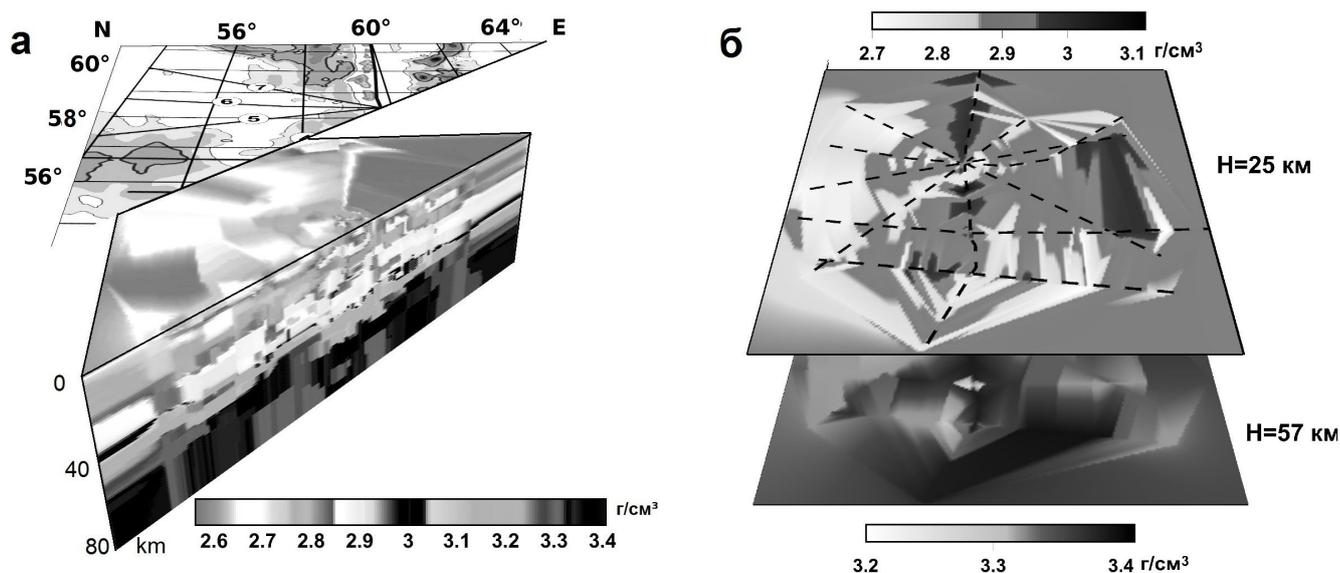


Рис. 4. Сечения цифрового куба плотностной модели начального приближения.

а – вертикальное по граничному “.bln”-файлу профиля Рубин-2; б – карты распределения интерполированных плотностей на разноглубинных срезах.

матизировать алгоритм продолжения масс за боковые грани плотностного куба. В качестве фоновой плотности “нормальной” модели принимается плотность, зависящая только от глубины. Ее можно получить, усредняя сеточные функции интерполированной плотности по каждому слою цифрового “куба” и продолжить усредненную плотность во внешность слоя. Такую плотность условно можно назвать гидростатической. В этом случае вычисленное гравитационное поле “нормальной” модели (фоновое поле) будет постоянной величиной, а аномальная часть гравитационного поля всегда отнесена к нулевому уровню. Краевой эффект продолжения масс во внешность слоя равен амплитуде гравитационной ступени на границе обрамляющего контура. Амплитуда гравитационной ступени пропорциональна разности между фактической плотностью внутри слоя и ее средним значением, продолженным во внешность. Чем меньше толщина слоя (шаг дискретизации по оси глубин), тем меньше величина краевых аномалий. Как правило, знак этих аномалий меняется случайным образом при переходе от слоя к слою. Сумма по всем слоям дает статистически усредненную оценку минимального краевого эффекта.

Трехмерная плотностная модель начального приближения, построенная в виде послойного цифрового куба, допускает применение автоматизированных алгоритмов решения прямых и обратных задач гравиметрии. Для приведения модельного поля к наблюдаемому использовался метод локальных поправок [16], модифицированный к условиям текущей задачи [1]. К дискретному распределению плотности начальной модели выполнялся итеративный подбор малых добавок.

О характере распределения плотности в итоговой модели, полностью соответствующей измеренному полю, можно судить по рис. 5, на котором представлены те же сечения, что и в плотностной модели начального приближения на рис. 4.

Разработка программно-алгоритмического комплекса трехмерного сейсмоплотностного моделирования позволяет оперативно тестировать различные структурные гипотезы строения исследуемого региона и создавать геологически содержательные модели глубинного строения земной коры и верхней мантии в реальном режиме времени.

Составление геолого-геофизических 2D и 3D разломно-блоковых моделей верхней части литосферы

Известно, что иерархическая блоковость геологической среды является одной из основных ее характеристик [17]. Каждый блок континентальной коры имеет свой набор физических параметров, отличный от соседних объектов. В приповерхностной части геологической среды им соответствуют разнообразные геологические структуры. Граница между блоками, по-видимому, соответствует глубинным разломам. Дополнительные геологические и геофизические признаки для их выделения и картирования следующие. Геологические: резкое изменение контуров, состава и возраста крупных геологических тел; наличие интрузивных тел основного и ультраосновного состава, закартированных тектонических нарушений. Геофизические: линейменты потенциальных полей и региональных карт дешифрирования космоснимков; цепочки локальных

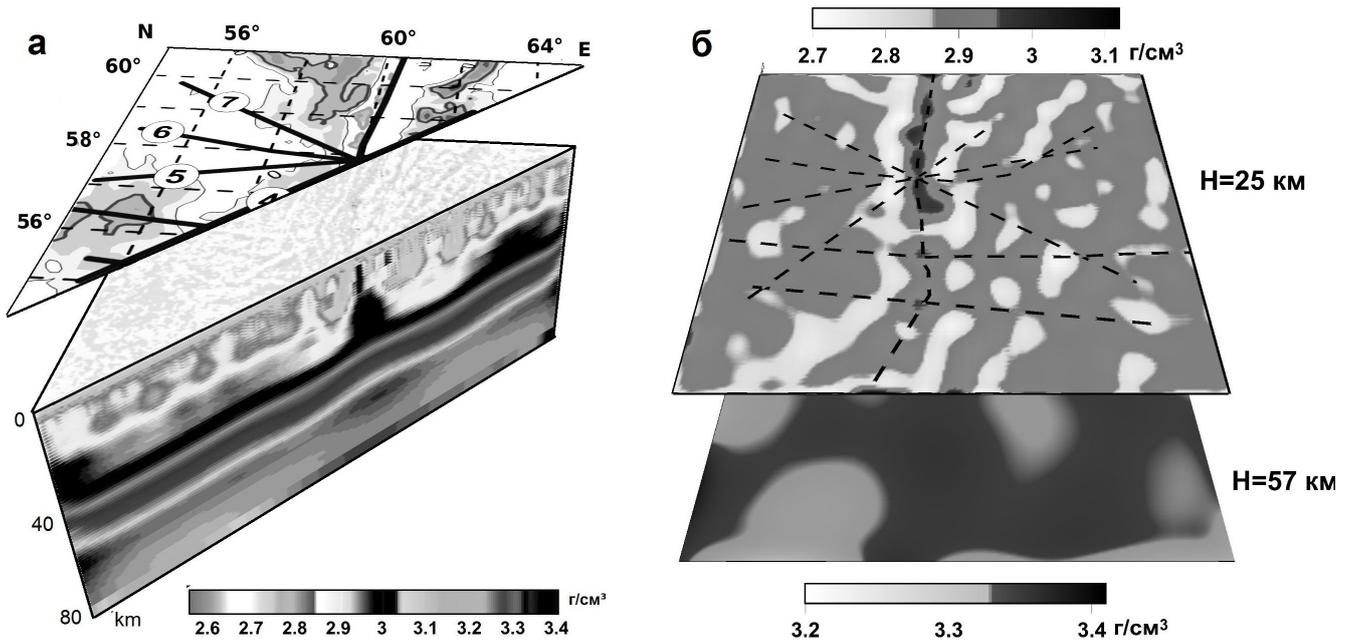


Рис. 5. Сечения цифрового куба подобранной плотностной модели.

а – вертикальное по граничному “.bln”-файлу профиля Рубин-2; б) карты распределения подобранных плотностей на разнотолщинных срезах.

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.

Существенным элементом сейсмокартирования земной коры являются субширотные дислокации и диагональные глубинные разломы. Их роль в тектонике приповерхностных структур несомненна. Игнорирование наличия подобных элементов вносит дополнительный искажающий фактор при обычных профильных исследованиях. Их присутствие в ВЧЛ подтверждено разрезами по меридиональному профилю Вижай–Орск, расположенному вдоль Центрально-Уральской мегазоны и субширотному Свердловскому профилю (рис. 6).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате выполненных исследований создана трехслойная объемная модель верхней части литосферы Уральского региона м-ба 1 : 2 500 000 для территории с координатами: 50–69° в.д., 52–66° с.ш. В работе рассмотрена основная часть площади: 54–66° в.д. 54–62° с.ш. На основе плотностной 3D-модели ВЧЛ, некоторые сечения которой представлены на рис. 5, построена схема тектонического районирования кристаллической коры, которая расположена между поверхностью архей-

ского кристаллического фундамента K_{01} и основным сейсмогеологическим разделом М, соответствующий поверхности комплексов пород с преобладающими мантийными значениями скорости $V = 8.2 \pm 0.3$ км/с (рис. 7).

На рис. 6 в качестве примера приведены разрезы на сеймоплотностных 2D моделях по двум ортогонально расположенным профилям ГСЗ: субширотному Свердловскому пересечению и меридиональному трансекту Вижай – Орск. В развиваемой методике глубинного сейсмогеокартирования основная роль отводится регионально выдержанным границам раздела K_{01} и М. В кристаллической коре на разрезах прослежен ряд мегакомплексов, разделенных поверхностями раздела, основными из которых являются поверхности нижней коры K_2 и переходного мегакомплекса между породами коры и верхней мантии К-М. Прослеживание промежуточных границ K_2 и К-М в межпрофильном пространстве затруднено из-за значительной изменчивости мегакомплексов по основным параметрам (вариации мощности в 15–20 км, скорости 0.5–0.7 км/с) и соответственно неоднозначности их проявления в гравитационном поле. К осложняющим факторам относятся и редкая сеть профилей ГСЗ, и существующая до сих пор проблема так называемого “базальтового слоя”, и неоднозначность определения положения основной поверхности раздела М при наличии сложно-расслоенного мегакомплекса в низах коры с промежуточными значениями скоростных параметров, в среднем меньших на 0.3–0.5 км/с, чем для основной массы пород верх-

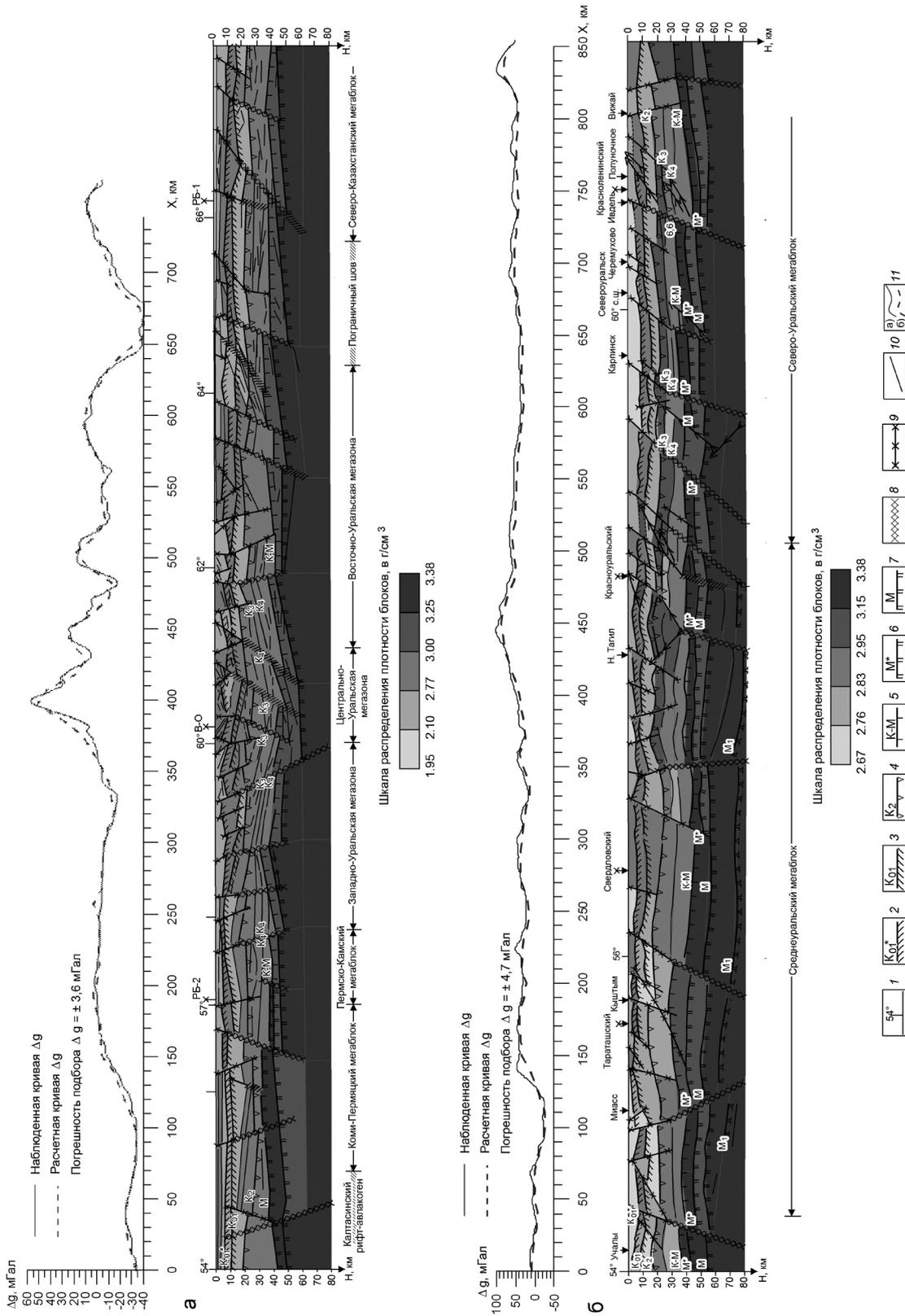


Рис. 6. Сейсмогеологические 2D модели верхней части литосферы по профилю Свердловский (а), по профилю Вижай–Орск (б).
 1 – линия прототипа с градусной привязкой; 2 – поверхность нижнего мегакомплекса 1 СГЭ; 3 – поверхность комплекса древнего кристаллического фундамента 2 СГЭ; 4 – поверхность комплексов нижней коры, т.н. “базальтовый слой”; 5 – поверхность мегакомплекса (зоны) в нижней коре; 6 – поверхность в пределах переходной зоны промежуточных комплексов, с относительно пониженными параметрами; 7 – поверхность основного сейсмогеологического разлома Мохо между породами земной коры и относительно слабоизмененными породами верхней мантии (перидотит), без индекса приведены промежуточные границы; 8 – основные зоны глубинных разломов; 9 – глубинные разломы и разломы в земной коре; 10 – секущие отражающие элементы; 11 – наблюдаемая (а) и расчетная (б) кривые аномального гравитационного поля Δg .

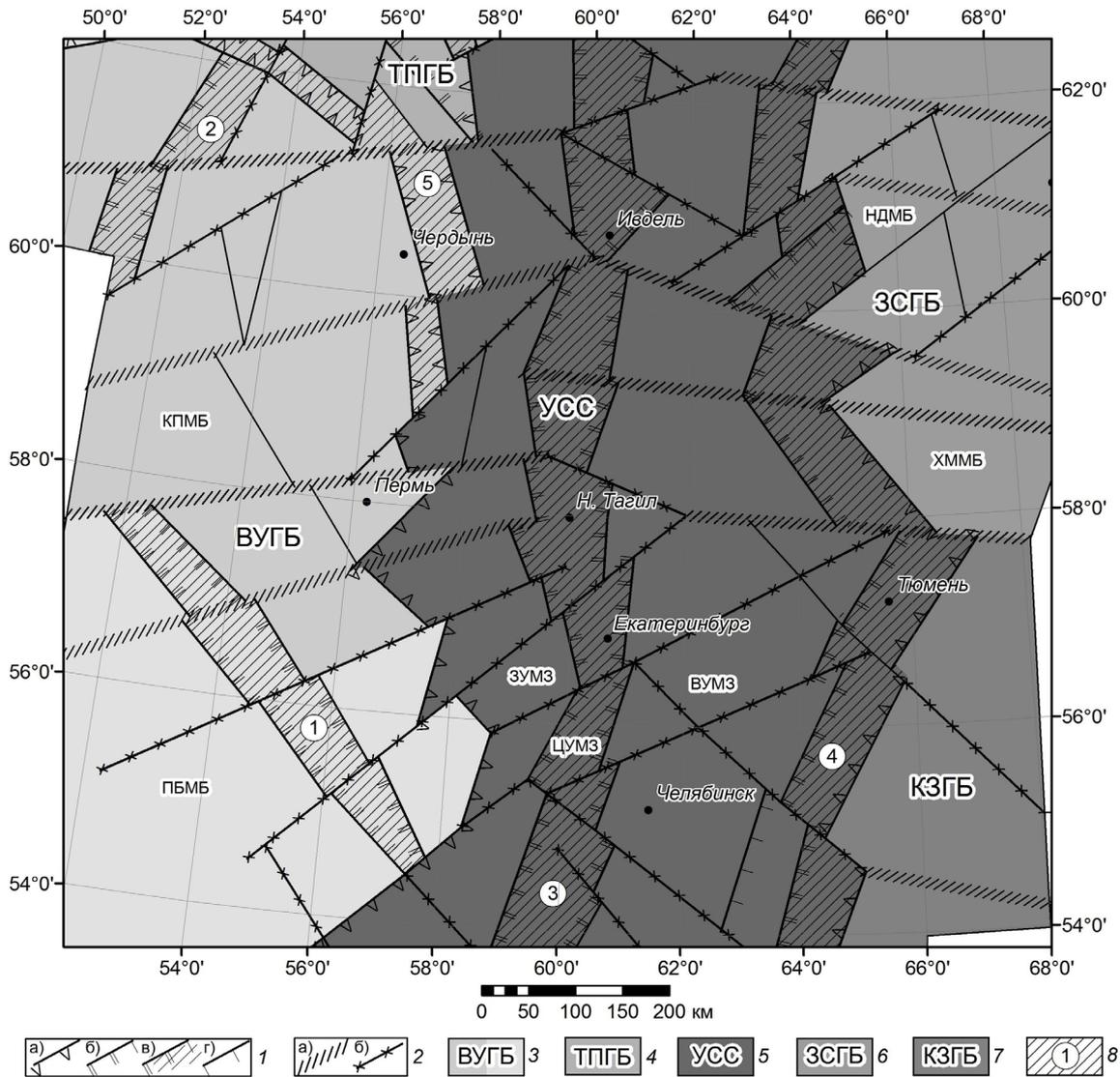


Рис. 7. Схематическая карта тектонического районирования кристаллической коры (слой K_{01-M}).

1 – границы геологических структур: а – геоблоков, б – структур первого порядка и мегазон в пределах Уральской складчатой системы, в – палеоактивных структур, г – блоков и зон; 2 – разрывная тектоника: а – субширотные дислокации, б – глубинные разломы, возможно глубинные сдвиги; 3–7 – геоблоки: 3 – Восточно-Уральский (ВУГБ) в составе мегаблоков: Коми-Пермяцкого (КПМБ), Пермско-Камского (ПКМБ); 4 – Тимано-Печорский (ТПГБ); 5 – Уральская складчатая система (УСС) в составе мегазон: Западно-Уральской (ЗУМЗ), Центрально-Уральской (ЦУМЗ), Восточно-Уральской (ВУМЗ); 6 – Западно-Сибирский (ЗСГБ) в составе мегаблоков: Надымского (НДМБ), Ханты-Мансийского (ХММБ); 7 – Казахстанский (КЗГБ); 8 – Контуры предполагаемых палеоактивных структур верхней части литосферы. Цифрами в кружках показаны: Калтасинский рифт-авлакоген (1), Кировско-Кажимский авлакоген (2), Центрально-Уральская мегазона (3), Пограничный шов – восточная граница УСС (4), Пограничный шов – восточная граница УСС (4), Пограничный шов – восточная граница УСС (4), Пограничный шов – восточная граница УСС (4).

ней мантии. Поэтому в представленной работе приведена схема тектонического районирования кристаллической коры K_{01-M} без разделения ее на мегакомплексы.

Исследования, проведенные на значительной территории, позволили:

– Уточнить положение Уральской складчатой системы (УСС) как пограничной супермегазоны между тремя крупными структурами континентальной коры (геоблоками): восточной окраиной Восточно-Европейской платформы (ВЕП), Тимано-

Печорской плиты (ТПП) и Западно-Сибирской платформой (ЗСП).

– Создать новую схему тектонического районирования на основе установленных особенностей глубинного строения.

– Составить схематические карты нефтегазоперспективности, способствующие повышению уровня прогнозирования УВ в новых районах и новых объектов.

– Выявить наличие прямой связи между приповерхностными и глубинными структурами верх-

ней части литосферы, что проявляется в присутствии специфических особенностей глубинного строения для каждой геологической структуры первого порядка.

– Показать, что главными тектоническими силами при формировании и эволюции УСС и соседних с ней геоблоков были эндогенные процессы, которые совместно с горизонтально ориентированными напряжениями создали все разнообразие тектонических структур, наблюдаемых в современной картине геологического строения Урала. Следовательно, в процессе эволюции преобладали силы, связанные с процессами в верхней мантии и в низах земной коры. Заметим, что нет надежных сведений о наличии в геологической среде глубинных разломов, выпажаживающихся с глубиной (листрические структуры). Кроме наших данных на это указывают результаты сверхглубокого бурения (например, Германская КТБ, Уральская СГ-4 [5], Криворожская СГ-8). Отмечаемые на глубинных разрезах ОГТ подобные разломы являются кластерными объединениями отражающих элементов, принадлежащих к пространственно разноориентированным и различной геологической природы геологическим объектам сложноустроенной гетерогенной среды. Свяzano это, прежде всего, с невозможностью прослеживания по стандартной методике ОГТ крутопадающих разломов на глубоких горизонтах земной коры.

Главный Уральский разлом (ГУР) не занимает главенствующего положения в специфике строения верхней части литосферы. Фактически, согласно полученным данным, он является пограничным разломом между западной (Центрально-Уральское поднятие – ЦУП) и восточной (Тагило-Магнитогорский прогиб – ТМП) частями центральной мегазоны Урала. Прослеживание его на глубину затруднительно, притом его падение меняется в разных широтах: от восточного до субвертикального и западного. Поэтому ГУР, выделяемый по супермаксимуму гравитационного поля Δg , в основном отображает наличие в верхней части коры габбро-перидотитов, развитых в виде изолированных массивов. Это было подтверждено сверхглубоким бурением Уральской СГ-4, которое не обнаружило наличия высокоплотного массива на глубинах 3–4 км, предполагаемого по интерпретации поля Δg .

Поэтому можно констатировать, что супермаксимум гравитационного поля, прослеженный по аномалиям поля Δg с модуляциями положительных значений этого поля от 40–50 до 100 мГал, отображает специфику геологической среды этого пояса в интегральном сглаженном виде. Выделение ГУР как пограничного разлома по сейсмическим данным на глубоких горизонтах ВЧЛ затруднительно из-за сложного глубинного строения Тагило-Магнитогорского прогиба. Впервые это было показано на примере Красноуральского профиля, исследова-

ования на котором выполнены по различным системам наблюдений (ГСЗ, МОВЗ, глубинное ОГТ). Это же явление отмечено на Троицком профиле и на геотраверсе Урсейс [2].

Основное содержание схемы тектонического районирования кристаллической коры Уральского региона

Западная граница Уральской складчатой системы

Затруднения в прослеживании западной границы Уральской складчатой системы имеются на уровне 59–61° с.ш., где происходит сочленение ТПП и восточного геоблока ВЕП с УСС. Согласно составленным схемам тектонического районирования, основная роль в сближении указанных структур принадлежит выступу в восточном направлении Коми-Пермяцкого мегаблока ВЕП. За счет этого происходит замыкание структур 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 60° с.ш. в положении западной границы выделены два “кармана” в районах Камского водохранилища и г. Кунгур. Между ними находится Пермский выступ. Можно предположить, что образование этих структур произошло за счет сдвиговых деформаций северо-западного и северо-восточного направлений. Наиболее значительный выступ в положении границы наблюдается южнее г. Нязепетровск, соответствующий Тараташскому поднятию УСС в пределах 55–56° с.ш. Затем намечается смещение рассматриваемой границы в западном направлении до 56° в.д. на широте 54° с.ш. Таким образом, в пределах 56–62° с.ш. на фоне общего север-северо-восточного направления западной границы Уральской складчатой системы отмечены значительные осложнения в контурах границы, возможно также связанные с крупными сдвигами, представленными субортгональными диагональными дислокациями.

Восточная граница Уральской складчатой системы (собственно уралид)

Положение восточной границы более надежно определяется в местах сочленения УСС через пограничный шов с древними срединными поднятиями (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 интервале 58–61° 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 58–61° с.ш. отчетливо проявлен в положении западной границы мезокайнозойского осадочного бассейна. В районе 58° с.ш. намечается смещение границ УСС в противоположном направлении и связанное с этим обстоятельством расширение УСС до 600 км. Такая аномалия может указывать на присутствие здесь субширотной трансрегиональной дислокации. К югу от нее простирание восточной границы до широты 54° характеризуется юго-юго-западным направлением, осложненное диагональными и глубинными разломами.

Более детальное деление рассматриваемой территории

Волго-Уральский геоблок состоит из двух мегаблоков: Коми-Пермского, возможно соответствующего карелидам Балтийского щита, и Пермско-Башкирского, относящегося к археидам. Уральская складчатая система объединяет три мегазоны: Западно-Уральскую (ЗУМЗ) – Предуральский прогиб и Западно-Уральская зона складчатости; Центрально-Уральскую (ЦУМЗ) – Тагило-Магнитогорский прогиб и краевые поднятия; Восточно-Уральскую, включая пограничный шов по восточной границе уралид (ВУМЗ) – западная часть Тюменско-Кустанайского прогиба, в северных широтах – Шеркалинский прогиб.

Выделены палеоактивные структуры верхней части литосферы. К ним относится Калтасинский авлакоген север-северо-западного простирания с расширением его контуров до округлых в юго-западной части Пермского края и соседней части республики Башкортостан. Не исключено образование здесь своеобразной геодинамической зоны за счет глубинных сдвиговых дислокаций. Кроме Калтасинского авлакогена в северной части находится Кажимский авлакоген, являющийся частью Казанско-Кировско-Кажимской зоны. Он имеет противоположное север-северо-восточное направление. Вся Центрально-Уральская мегазона отнесена к палеоактивным структурам глубокого заложения и продолжительного развития, начиная с нижнего протерозоя. Контур ЦУМЗ согласуются с тектоническим планом соседних платформенных структур.

Кроме субмеридиональных глубинных разломов, на схеме показаны субширотные дислокации и диагональные разломы возможно сдвиговой природы.

ВЫВОДЫ

По разработанной технологии созданы 2D и 3D плотностные и геолого-геофизические разломно-блоково-слоистые модели верхней части литос-

феры Уральского региона м-ба 1 : 1 000 000 и 1 : 2 500 000. На основе этих моделей впервые составлены схемы тектонического районирования для трех сейсмогеологических этажей (СГЭ) верхней части литосферы: верхний СГЭ до поверхности древнего кристаллического фундамента K_{01} ; кристаллическая кора, включая нижний переходный комплекс; 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 западе и к Западно-Сибирскому и Казахстанскому геоблокам на востоке.

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 смежных ЗУМЗ и ВУМЗ с переходными чертами глубинного строения между ЦУМЗ и древними платформами. Структуры первого порядка разделены на 2–3 зоны каждая.

Блоковая структура кристаллической коры проявлена по глубинам залегания основных поверхностей раздела K_{01} и М, соответственно мощности, значениям скоростных параметров и расчетных плотностей, а также степени и характеру расчлененности. По масштабности выделены мегаблоки (мегазоны для УСС), блоки и подблоки. Пграничные структуры между крупными блоками, возможно, соответствуют зонам глубинных разломов и глубинным разломам. Контур крупных структур осложнены субширотными дислокациями и глубинными диагональными разломами, предположительно сдвиговой природы.

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

Выделены палеоактивные структуры верхней части литосферы, обладающие аномальными чертами глубинного строения различного возраста, заложения и продолжительности развития. К ним относятся палеорифты и авлакогены. Наиболее представительной из них является ЦУМЗ, соответствующая палеорифтовой системе полициклического развития, начиная с PR до D, расположенного между двумя платформами Евразийского континента.

К ним также относится пограничный шов по восточной границе собственно уралид, Калтасинский и Кажимский авлакогены восточной окраины ВЕП.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Решение проблемы региональной геологии и минерагении затруднительно и неоднозначно без учета специфики глубинного строения верхней части литосферы, которая должна быть представлена объемной геолого-геофизической моделью. Разработанная для Уральского региона технология составления объемных геофизических и геолого-геофизических моделей верхней части литосферы может быть использована для других регионов России при составлении сводных карт по тектонике, геодинамике и минерагении для реализации Государственной программы Российской Федерации до 2020 г. “Воспроизводство и использование природных ресурсов”, подпрограммы “Воспроизводство минерально-сырьевой базы, геологическое изучение недр”.

Для повышения эффективности подобных исследований необходима совместная работа с ведущими специалистами по конкретной территории для увязки данных о глубинном строении с имеющейся геолого-геофизической информацией о приповерхностных структурах и построение итоговых схем тектонического районирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бычков С.Г. Методы обработки и интерпретации гравиметрических наблюдений при решении задач нефтегазовой геологии. Екатеринбург: Горный институт УрО РАН, 2010. 187 с.
2. Глубинное строение и геодинамика Южного Урала (Проект Уралсейс). Тверь: ГЕРС. 2001. 286 с.
3. Дружинин В.С. Информация о строении земной коры – необходимый атрибут региональной нефтегазовой геологии (на примере Уральского региона) // Отечественная геология. 2009. № 6. С. 65–70.
4. Дружинин В.С., Егоркин А.В., Кашубин С.Н. Новые данные о глубинной структуре Урала и прилегающих к нему областей по данным ГСЗ // Докл. АН СССР. 1990. Т. 315, № 5. С. 1089–1090.
5. Дружинин В.С., Каретин Ю.С., Песковский И.Д. и др. К вопросу об оценке эффективности наземной геофизической информации по данным бурения сверхглубоких скважин, расположенных в районе геотраверса “Гранит” // Уральский геофизический вестник. 2003. № 5. С. 24–34.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. Дружинин В.С., Начапкин Н.И., Осипов В.Ю. Роль информации о строении земной коры для тектонического районирования и оценки нефтегазоперспективности новых районов и новых объектов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2010. № 11. С. 10–16.
10. Дружинин В.С., Рыбалка В.М., Соболев И.Д. Проблемы связи верхних структур земной коры с глубинным строением Уральского региона // Советская геология. 1974. № 10. С. 12–55.
11. Егоркин А.В. Строение земной коры по сейсмическим геотраверсам. // Глубинное строение территории СССР. М.: Наука, 1991. С. 118–135.
12. Мартышко П.С., Дружинин В.С., Начапкин Н.И. и др. Методика и результаты создания объемной модели верхней части литосферы северного и среднего сегментов Уральского региона // Динамика физических полей Земли. М: ИФЗ РАН, 2011. С. 9–30.
13. Мартышко П.С., Ладовский И.В., Колмогорова В.В. и др. Методика сейсмо-плотностного моделирования верхней части литосферы по “сеточной” технологии // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. С. 246–248.
14. Мартышко П.С., Ладовский И.В., Колмогорова В.В. и др. Применение сеточных функций в задачах трехмерного плотностного моделирования // Уральский геофизический вестник. 2012. № 1. С. 30–34.
15. Мартышко П.С., Ладовский И.В., Цидаев А.Г. Построение региональных геофизических моделей на основе комплексной интерпретации гравитационных и сейсмических данных // Физика Земли. 2010. № 11. С. 23–35.
16. Пруткин И.Л. О решении трехмерной обратной задачи гравиметрии в классе контактных поверхностей методом локальных поправок // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1986. № 1. С. 67–77.
17. Садовский М.А., Нерсесов И.Л., Писаренко В.Ф. Иерархическая дискретная структура литосферы и сейсмический процесс. Современная тектоническая активность Земли и сейсмичность. М.: Наука. 1987. С. 182–191.
18. Цидаев А.Г. Опыт построения трехмерных плотностных моделей по сейсмическим данным // Двенадцатая Уральская молодежная научная школа по геофизике. Пермь: ГИ ПНЦ УрО РАН, 2011. С. 280–283.

Рецензент В.Н. Огородников

Schematic tectonic zonation of the Urals region on the basis of developed algorithms and techniques of the creation of volumetric geophysical model of lithosphere upper part

**P. S. Martyshko, V. S. Druzhinin, N. I. Nachapkin, V. Yu. Osipov, I. V. Ladovsky,
D. D. Byzov, A. G. Tsidaev**

Institute of Geophysics, Urals Branch of RAS

The basic elements of program-algorithmic complex for construction of 2D and 3D seismic-density models of the lithosphere upper part (UPL) are considered in the article. 2D and 3D geologic-geophysical models UPL middle part Urals are constructed. On the basis of 3D model the schematical tectonic regionalization for 3 seismogeological floors UPL are constructed. The amendments in existing idea about tectonic of the Urals region and adjacent territories are brought.

Key words: deep structure, lithosphere upper part, Middle Ural, technique and algorithms, 2D and 3D geologic-geophysical models, tectonic zonation.