

## Влияние скоростной структуры коры на результаты сейсмической томографии Украинского щита

© Л. А. Шумлянская, А. А. Трипольский, Т. А. Цветкова, 2014

Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

Поступила 25 декабря 2013 г.

Представлено членом редколлегии О. Б. Гинтовым

Побудовано модель кори по середніх швидкостях, вчислених за даними сейсмічних досліджень, виконаних за період від 1960-х років до 2000-х років. Створено шарувато-блокову модель земної кори Українського щита (УЩ). Модель не суперечить відомим раніше моделям і використана як поправка за кору під час розв'язання задачі сейсмічної томографії для мантиї УЩ.

Підтверджено залежність результатів розв'язку цієї задачі від міри освітленості земної кори і необхідність, по можливості, використання швидкісних моделей земної кори під час побудови сейсмотомографічних моделей мантиї.

**Ключові слова:** середні швидкості, блокова будова Українського щита, тривимірна швидкісна модель мантиї Українського щита.

**Введение.** Изучение глубинного строения и скоростных характеристик земной коры и верхней мантии — одна из важнейших задач геофизики. Для ее решения необходимо располагать скоростными разрезами мантии, при составлении которых следует по возможности учитывать особенности распределения скоростей в земной коре. В условиях Украины решение данной задачи серьезно осложняется следующими обстоятельствами.

Анализ системы наблюдений Мировой сети данных (бюлетени ISC), использованной для получения трехмерной модели мантии Евразии и ее окружения, показывает, что эта модель не позволяет получить данные о временах первых вступлений *P*-волн, необходимых для составления трехмерной модели коры. В подобной ситуации при составлении трехмерной скоростной модели мантии Евразии поправка, учитывающая скоростную модель коры, вводилась соответственно модели Джеффриса—Буллена, которая использовалась при общей обработке в Мировом центре данных с 1964 до 2006 г. Начиная с 2007 г. и до настоящего времени используется как модель АК 135, так и модель Джеффриса—Буллена.

Модель Джеффриса—Буллена является двухслойной и может быть представлена следующим образом:

$$\Delta H_1 = [6371 - 6356 \text{ км, или } 0 - 15 \text{ км}], \bar{V} = 5,57 \text{ км/с,}$$

$$\Delta H_2 = [6356 - 6338 \text{ км, или } 16 - 33 \text{ км}], \bar{V} = 6,50 \text{ км/с,}$$

где 6371 км — средний радиус Земли, принимаемой за сферу,  $\bar{V}$  — постоянная скорость в интервалах глубин 0—15 и 16—33 км.

К сожалению, данная модель не соответствует скоростным моделям земной коры докембрийских платформ, в частности Восточно-Европейской платформы (ВЕП) и Украинского щита (УЩ), полученным по результатам региональных сейсмических исследований методом глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ) и корреляционным методом преломленных волн (КМПВ). Так, для земной коры УЩ в интервалах глубин 0—15 км средняя скорость равна 6,24 км/с, в интервале глубин 16—33 км — 6,68 км/с.

Выходом из положения может быть расчет моделей средних скоростей распространения *P*-волн в земной коре с использованием всего объема результатов региональных сейсмических исследований методом ГСЗ-КМПВ на территории УЩ (рис. 1).

Таким образом, задача настоящей статьи — расчет и анализ осредненных двухслойных скоростных моделей земной коры различных

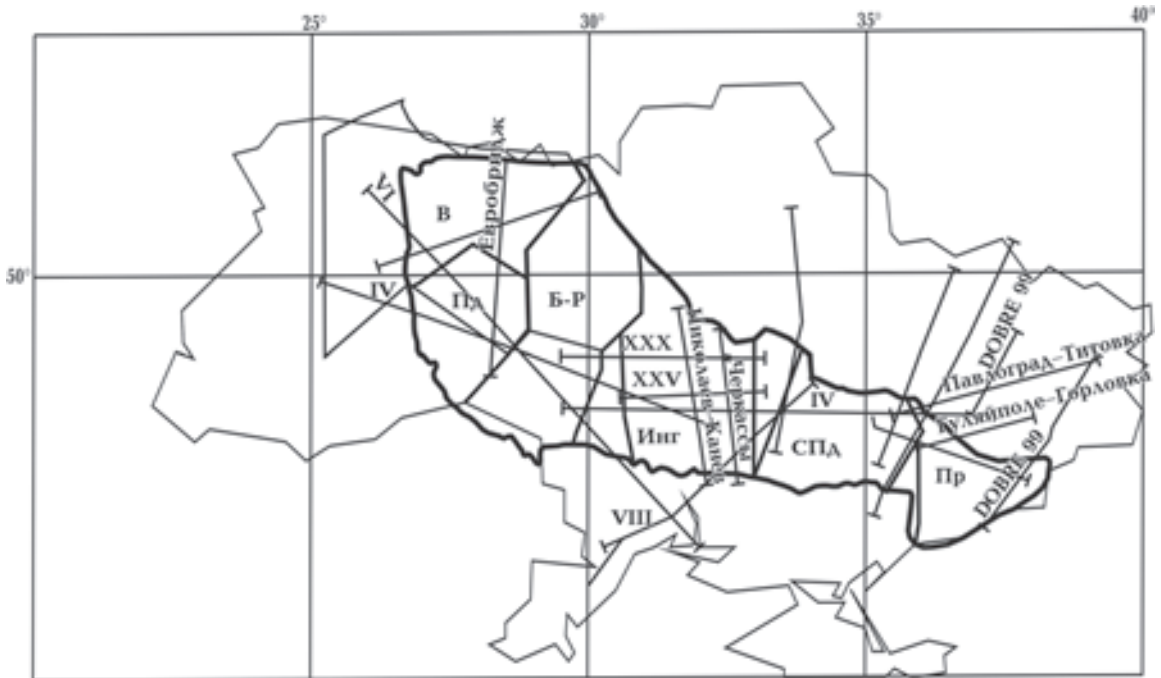


Рис. 1. Система профилей ГСЗ на Украинском щите.

тектонических подразделений УЩ с привлечением необходимых геологических данных.

На территории УЩ выполнен большой объем региональных сейсмических исследований методом ГСЗ и КМПВ [Сологуб, Трипольский, 1969; Сологуб и др., 1967, 1970, 1977, 1978, 1983, 1985; Калюжная, 1972; Чекунов, 1972, 1976; Гутерх и др., 1977; Крюченко и др., 1981; Сологуб, 1982, 1986а,б; Ильченко, 1983; 1984, 2002; Сологуб, Ильченко, 1986; Чекунов и др., 1986, 1993; Литосфера..., 1988а,б; Трипольский и др., 1988; Grad, Tripolsky, 1994, 1995; Chekunov et al., 1997; Tripolsky, 1997; Starostenko et al., 1999; Tripolsky, Kaluzhnaaya, 2001; Трипольский, Шаров, 2004; Омельченко и др., 2008]. Методика полевых наблюдений — непрерывное профилирование, при котором предусматривалось получение системы взаимно увязанных годографов основных волн. Расстояние между пунктами взрывов составляло 10—40 км, длина годографов — до 250—320 км, регистрация производилась из 2—12 пунктов взрыва, регистраторы — многоканальные аналоговые сейсмостанции, до 1967 г. с прямой осциллографной, позже с параллельной магнитной записью.

Расстояние между сейсмоприемниками (шаг регистрации) составляло 100 м. При длинах волн 300—800 м такое расстояние обеспечивало уверенную корреляцию всех полезных волн, зарегистрированных при полевых наблюдениях.

Полученный экспериментальный материал характеризовался в основном высоким качеством, что позволило составить ряд кондиционных сейсмических разрезов земной коры и верхов мантии УЩ.

**Осредненная скоростная модель земной коры Украинского щита по данным региональных сейсмических исследований. Методика расчета осредненной скоростной модели.** Для составления осредненной скоростной модели следует разделить земную кору на слои и вычислить в этих слоях средние скорости.

Средняя скорость характеризует скорость распространения сейсмической волны от кровли до подошвы определенного слоя, либо от земной поверхности до сейсмической границы. При этом значение средней скорости принимается постоянным и определяется на основании данных об истинных скоростях в земной коре, которые рассчитываются по экспериментальным годографам сейсмических волн. Как известно, средние скорости являются устойчивым сейсмическим параметром.

Представляется обоснованным разделение земной коры УЩ на два слоя: от 0 до глубины 15 км и от 15 км до поверхности раздела Мохоровичича (раздел М). Интервал глубин 0—15 км выбран потому, что 15 км — средняя глубина залегания сейсмической поверхности  $K_2$ , прослеженной на большей части УЩ, преимущественно в его восточной и центральной

частях. Обоснованность выделения второго слоя не вызывает сомнений, так как он расположен между двумя наиболее уверенно прослеженными сейсмическими поверхностями в верхней литосфере УЩ —  $K_2$  (верхняя граница слоя) и разделом М (его нижняя граница).

Методика расчета скоростных моделей заключалась в следующем.

При наличии в земной коре отражающих границ и знаний о скоростях в каждом из слоев, расположенных между этими границами, средняя скорость вычисляется по формуле

$$\bar{V} = \frac{H}{t_0} = \frac{\sum_{k=1}^n h_k}{\sum_{k=1}^n \frac{h_k}{V_k}},$$

где  $h_k$  — мощность отдельных слоев,  $V_k$  — скорость в каждом из этих слоев. Поскольку в земной коре УЩ прослеживается лишь одна выдержанная отражающая граница, среда условно разделяется на плоскопараллельные слои мощностью по 1 км при постоянной  $V_{\text{ист}}$  в каждом из слоев. В этом случае формула существенно упрощается:

$$\bar{V}_m = \left( \sum_m V_{\text{ист}} \right) / m,$$

где  $V_{\text{ист}}$  — истинная скорость,  $m$  — глубина точки, где вычисляется  $\bar{V}_m$ , км.

Средние скорости рассчитаны в следующих интервалах глубин: 1) 0—15 км (первый слой); 2) 15 км — поверхность раздела М (второй слой); 3) 0 км — поверхность раздела М.

Структурирование данных, определяющих скорости в пределах УЩ, проводилось на основе устойчивой повторяемости таких характеристик, как значения скорости и глубины раздела М. С учетом плотности сейсмической изученности для выделения скоростной структуры первого порядка достаточным условием считалось наличие хотя бы одной скоростной колонки  $V=V(H)$ , где скорости и глубина раздела М отличались бы от соседних колонок. Одновременно с этим проводилась пространственная привязка к геологическому строению. Для структур второго порядка применялся аналогичный подход, но на этом этапе тектоническое районирование УЩ было определяющим.

**Осредненная скоростная модель структурных подразделений земной коры УЩ.** Для составления осредненной слоисто-блоковой

двухслойной скоростной модели коры были использованы данные, полученные в результате исследований ГСЗ на УЩ. Определяющим фактором для деления УЩ на блоки стало его тектоническое строение, во внимание также принималась геолого-геофизическая информация.

Украинский щит — глыбовое поднятие докембрийского фундамента ВЕП, расположенное в ее юго-западной части. Простирается в северо-западном направлении почти на 1000 км от побережья Азовского моря до границы с Белоруссией. На севере и северо-востоке УЩ ограничивается краевыми разломами Припятско-Днепровско-Донецкой системы прогибов. На юго-западе кристаллические породы щита плавно погружаются под отложения Вольно-Подольской моноклинали, на юге — Южно-Украинской моноклинали [Хаин, 1977; Тектонічна..., 2004].

В строении щита выделяют кристаллическое основание, сложенное докембрийскими метаморфическими и магматическими породами, а также тонкий осадочный чехол, покрывающий большую часть его территории и представленный преимущественно субгоризонтально залегающими породами мезокайнозойского возраста. Мощность чехла в пределах щита не превышает 100—200 м, увеличиваясь на склонах до 500 м. Докембрийское основание УЩ имеет блоковое строение.

В настоящей статье за основу взята мегаблоковая структура УЩ, разработанная в результате анализа и обобщения геолого-геофизических и тектонофизических данных [Гинтов, 2005; Кировоградский..., 2013]. Согласно этим работам, на современном эрозионном срезе УЩ состоит из мегаблоков — Вольнского, Подольского, Бутского, Росинского, Ингульского, Среднеприднепровского, Приазовского и входящих в их состав Орехово-Павлоградской, Ингулецко-Криворожской и Голованевской шовных зон (рис. 2).

*Приазовский мегаблок* является крайней юго-восточной частью УЩ и граничит на юге с Причерноморской впадиной, а на востоке и северо-востоке — с Донецкой складчатой системой. На западе от сопредельного Среднеприднепровского мегаблока его отделяет Орехово-Павлоградская шовная зона субмеридионального простиранья шириной 10—30 км. Западная граница этой зоны представлена Орехово-Павлоградским разломом. Рассматриваемый мегаблок делится на Западно- и Восточно-Приазовский блоки.



Рис. 2. Тектоническая схема Украинского щита: 1 — контур щита, 2 — мегаблоки (В — Волянский, Па — Подольский, Б-Р — Бутско-Росинский, Инг — Ингульский, Спа — Среднеприднепровский, Пр — Приазовский), 3 — зоны разломов (а, б — меж- и внутриблоковые соответственно), 4 — массивы (Кр — Коростенский, К-Н — Корсунь-Новомиргородский, Ну — Новоукраинский), 5 — разломы (1 — Суцано-Пержанский, 2 — Тетеревский, 3 — Чернобыльский, 4 — Звиздаль-Залесский, 5 — Немировский, 6 — Бутский, 7 — Тальновский, 8 — Одесский, 9 — Первомайский, 10 — Суботско-Мошоринский, 11 — Кировоградский, 12 — Западно-Ингулецкий, 13 — Криворожско-Кременчугский, 14 — Орехово-Павлоградский, 15 — Азово-Павловский, 16 — Малинский), 6 — трансрегиональный шов Херсон—Смоленск. Шовные зоны: Гпшз — Голованевская, И-Кшз — Ингуло-Кременчугская, О-Пшз — Орехово-Павлоградская.

По данным ГСЗ [Трипольский, Шаров, 2004] средняя мощность земной коры мегаблока составляет 39,3 км. Уменьшение мощности до 35 км местами наблюдается в Центральном и Восточном Приазовье. В целом мегаблок характеризуется тонкой корой и преимущественно плоским рельефом раздела М с небольшим поднятием в центральной части.

Для составления осредненной скоростной модели коры Приазовского мегаблока использованы данные по IV геотраверсу, профилям Новоазовск—Титовка и DOBRE-99.

Данные о скоростях и глубинах залегания раздела М были объединены с целью расчета средних скоростей и средней мощности отдельных слоев двухслойной модели в пределах большей части мегаблока, за исключением Орехово-Павлоградской шовной зоны и прилегающей территории (рис. 3). Так, средняя мощность земной коры определена равной 38 км, что не противоречит последним данным [Омельченко и др., 2008]. Среднее значение скорости во всей толще коры — 6,54 км/с, в слое 0—15 км — 6,20 км/с, в слое 15 км — раздел М — 6,70 км/с.

Орехово-Павлоградская шовная зона в своей северной части представлена в виде спаренных разломов западного падения, с которыми пространственно сопоставляется ступенчатое залегание раздела М, установленное по данным ГСЗ. В южной части структура представляет собой расширяющуюся к югу разломную зону. В результате анализа скоростных характеристик земной коры по геотраверсу IV выделен участок значительного вертикального смещения раздела М. Это позволило выделить небольшую область, включающую восточную часть Среднеприднепровского мегаблока, восточная граница которой расположена в пределах Орехово-Павлоградской шовной зоны.

Средние скорости в земной коре выделенной области несколько выше, чем в прилегающих к ней структурах УЩ. По сравнению с Приазовским мегаблоком раздел М залегает в среднем глубже на 4,6 км.

В плане Орехово-Павлоградская шовная зона сопоставляется с областью прослеживания коромантийной смеси, выделенной в работе [Куприенко и др., 2007], средние скорости в земной коре зоны равны: в первом слое —



Рис. 3. Блок-схема осредненной модели земной коры УЩ, где представлены глубина залегания поверхности раздела М (км), а также значения средних скоростей (сверху вниз, км/с) в интервале земная поверхность — граница М, 0—15 км — поверхность раздела М: I — Вольнский мегаблок, II — Подольский мегаблок, III — Росинский мегаблок, IV — Бугский мегаблок, V — Голованевская шовная зона, VI — Ингульский мегаблок, VII — Криворожско-Кременчугская шовная зона, VIII — Среднеприднепровский мегаблок, IX — Орехово-Павлоградская шовная зона, X — Приазовский мегаблок.



6,28 км/с; во втором — 6,75 км/с; во всей толще коры — 6,58 км/с. Средняя глубина залегания раздела М — 42,6 км.

*Среднеприднепровский мегаблок.* Внутреннее строение мегаблока представлено гранитоидными куполами, между которыми размещены зеленокаменные структуры.

Земная кора мегаблока нарушена многочисленными глубинными разломами — Криворожско-Кременчугским, Днепродзержинским, Светловодским, Саксаганским, Дерезоватским, Орехово-Павлоградским и Девладовским — одними из наиболее крупных разломов УЩ [Гинтов, 2005].

Толщина земной коры изменяется от 28 до 47 км с утонением в центральной части (до 28 км) и утолщением на периферии. Максимальная мощность коры (47 км) фиксируется в пределах Орехово-Павлоградской шовной зоны. Состав коры изменяется от безбазальтового в центральной части к диоритовому на востоке и базальтоидному на западе мегаблока [Старостенко и др., 2002].

В результате анализа данных о средних скоростях и мощностях земной коры в мегаблоке выделены две части — восточная и центральная. Восточная часть, как отмечено ранее, объединена с Орехово-Павлоградской шовной зоной. Центральная, в пределах которой отмечается поднятие раздела М (глубина 28 км, Запорожский срединный массив), характеризуется следующими средними скоростями: первый слой — 6,27 км/с; второй — 6,68 км/с; во всей толще коры — 6,51 км/с. Средняя глубина залегания раздела М — 39,4 км. Пятихатский, Демурицкий, Саксаганский и Южный гранитоидные купола объединены нами с Ингулецко-Криворожской шовной зоной, относящейся к Ингульскому мегаблоку. Средние значения скорости: в первом слое — 6,24 км/с; во втором — 6,99 км/с; во всей толще коры — 6,78 км/с. Высокие значения скорости во втором слое объясняются наличием здесь коромантийной смеси [Куприенко и др., 2007].

*Ингульский мегаблок* представляет собой синклинорную структуру рифтогенной природы. Признаки рифтогенной системы проявляются поднятием раздела М, наличием коромантийной смеси [Щербаков, 2005], разностью между мощностями земной коры западной и восточной частей мегаблока, разграниченных Кировоградским разломом. Эти две части различаются и по составу фундамента, на западе — гранулитовый, на востоке — гранит-зеленокаменный. На юге мегаблока отмеча-

ется отсутствие базальтового и большая мощность «гранитного» слоя (более 40 % мощности коры). На западе мощность «диоритового» слоя аномально большая, а мощность гранитного и базальтового слоев сокращена.

Осевая часть мегаблока имеет меридиональное простирание и представлена Корсунь-Новомиргородским анортозит-рапакиви-гранитным плутоном на севере и Новоукраинским массивом порфириовидных гранитов и монзонитов на юге. Положение этих структур контролируется трансрегиональной зоной растяжения Херсон—Смоленск, которая выполняла роль магмоподводящего канала. В зоне растяжения в направлении с юга на север более древние гранитоиды постепенно сменяются молодыми, при этом возрастает глубина дренирования мантии и степень отрыва от очага магмообразования. Граниты вознесенского и кировоградского комплексов кристаллизовались на месте, новоукраинского — в пределах своей (гранулитовой) фации, а Корсунь-Новомиргородский плутон внедрен в вышележащие толщи [Щербаков, 2005]. Петрохимические различия в составе пород фиксируются геофизическими методами. Так, в наблюдаемом поле силы тяжести Корсунь-Новомиргородского плутона отмечен минимум  $-(10-20)$  мГал, на Новоукраинском массиве наблюдается отрицательная аномалия  $(-28)$  мГал. Различия между указанными структурами отмечаются также по сейсмическим данным.

По сравнению с другими мегаблоками УЩ Ингульский мегаблок наиболее детально изучен методом ГСЗ—КМПВ. Это дало возможность при расчете средних скоростей использовать большой объем экспериментальных данных, полученных при исследованиях вдоль геотраверсов IV, VI, VIII и профилей XXIV, XXV, XXX, XXXIV. Высокая детальность изученности и качественные сейсмические данные позволяют условно разделить мегаблок на четыре, приблизительно равные по размерам области, меридиональная граница между которыми проходит по Кировоградской зоне разломов, широтная — по Субботско-Мошоринской зоне разломов. Такое деление удовлетворительно согласуется с геолого-геофизическими данными.

Восточнее Кировоградской зоны разломов расположены Ингульский синклинорий и Западно-Ингулецкая зона разломов. Средняя глубина залегания раздела М в пределах северо-восточной области равна 40,75 км, сред-

ние скорости в земной коре в первом слое равны 6,21 км/с, во втором — 6,75 км/с, во всей толще коры — 6,58 км/с. В юго-восточной области средние скорости несколько ниже, чем в северо-восточной: первый слой — 6,16 км/с, второй — 6,69 км/с, во всей толще коры — 6,47 км/с. Меньше и осредненная глубина залегания раздела М — 38 км. Пониженные скорости могут быть вызваны составом коры — на юго-востоке области наблюдается наиболее кислый состав коры в пределах УЩ, отсутствие базальтового и большая мощность гранитного слоя [Старостенко и др., 2002].

Западнее Кировоградской зоны разломов располагаются такие структуры Ингульского мегаблока, как Корсунь-Новомиргородский плутон, Новоукраинский массив и Братский синклиорий. Эта часть мегаблока относится к гранит-диоритовому типу коры с аномально большой мощностью диоритового слоя и сокращенной мощностью гранитного и базальтового.

Основной структурой северо-западной области является Корсунь-Новомиргородский плутон. Средние скорости в земной коре области равны в первом слое 6,29 км/с, во втором — 6,81 км/с, во всей толще коры — 6,62 км/с, средняя мощность коры составляет 42,33 км.

Юго-западная область включает Новоукраинский массив и окаймляющую его с запада Звенигородско-Братскую зону разломов. Скоростные характеристики области следующие: первый слой — 6,18 км/с, второй — 6,80 км/с, во всей толще коры — 6,57 км/с, средняя мощность коры — 42,3 км.

Различия в средних скоростях и глубинах раздела М для двух этих областей невыразительные, наиболее ярко проявляются в первом слое (до 15 км), во втором слое разница скоростей несущественна.

Такое скоростное деление хорошо согласуется с геологической интерпретацией Ингульского района по материалам профиля ГСЗ Бабанка—Пятихатки [Ильченко, Крюченко, 1981]. Верхний слой (5 км) коры имеет блоковое строение, обусловленное составом пород (что отразилось на значениях средних скоростей, приведенных в настоящей статье). Ниже кора имеет горизонтально-слоистое строение с преобладанием пониженных скоростей (лейкократовые гнейсы и граниты). На глубине 40 км находится внутримантийная прикоровая линза, которую связывают с мафитами Корсунь-Новомиргородского плутона, подстилающими также и Новоукраинский массив [Ильченко,

2003]. Мощность земной коры Ингульского мегаблока в среднем составляет 40,85 км, что согласуется с мощностью 41—42 км по данным [Крюченко и др., 1981].

*Голованевская шовная зона.* В работах [Гинтов, Мычак, 2011а,б] показано, что Голованевская шовная зона относится к Ингульскому мегаблоку. Зона ограничена двумя региональными разломами — Одесско-Мироновским с запада и Первомайским с востока. Глубинное строение зоны изучено вдоль геотравверсов IV, VI, профилей ГСЗ ХХХ и частично ХХV.

Голованевская шовная зона представляет собой утолщение земной коры до 60—65 км с мощным слоем коромантийной смеси на глубине 40—60 км [Старостенко и др., 2002]. В рельефе границы М трассируется уступ субмеридионального простирания с амплитудой около 20 км и опусканием границы М. В состав коры к западу от уступа входит гранитный слой сокращенной мощности, мощность диоритового слоя также сокращена. Базальтовый слой и коромантийная смесь составляют более 60 % общей мощности коры. В целом состав коры рассматривается как базальтоидный. В восточной части зоны состав оценивается как гранит-диоритовый.

В данной модели было проведено осреднение по всем имеющимся сейсмическим данным и получены следующие скорости. Для верхнего слоя — 6,28 км/с, для нижнего слоя — 7,09 км/с, в среднем по коре — 6,86 км/с. Осредненное значение залегания границы М — 53,22 км. Такое представление осредненной скоростной модели Голованевской шовной зоны не противоречит ранее проведенным исследованиям — значение средней скорости для второго слоя характерно для основных пород с повышенной плотностью (гранулиты, перидотиты). Повышенная средняя скорость в коре отражает в целом ее базальтоидный состав. Осредненное значение 53,22 км также не противоречит полученным ранее данным о повышенной мощности земной коры шовной зоны 42—67 км [Старостенко и др., 2002].

В пределах Бугского и Росинского мегаблоков мощность земной коры довольно выдержана (43—47 км), состав ее базальт-диорит-базитовый с почти одинаковой мощностью соответствующих слоев [Старостенко и др., 2002]. Гранитный слой здесь почти отсутствует, за исключением районов распространения гранитов уманского комплекса. Однако по скоростным параметрам Бугский и Росинский мегаблоки различаются, особенно четко это

проявляется в глубинах залегания границы М.

*Бугский мегаблок* состоит из Гайворонского и Гайсинского блоков, на западе он ограничен Немировским, на востоке — Тальновским разломами. Бугский и Подольский мегаблоки представляют собой приподнятый юго-западный угол ВЕП. Глубинное строение мегаблока изучено вдоль геотраверсов IV и VI и частично по профилю ГСЗ ХХХ. Породы мегаблока характеризуются повышенной плотностью всего разреза земной коры. Поверхность кристаллического фундамента сложена эндербитами, мигматитами и аплито-пегматоидными гранитами. В низах коры выделяется слой коромантийной смеси, кровля которого залегает на глубине 35 км. За счет присутствия этого слоя плотность пород нижней земной коры повышенная, также и повышена ее мощность в целом. Согласно работе [Омельченко и др., 2008], средняя толщина земной коры составляет 53,7 км. В данной модели мощность коры Бугского мегаблока составляет 54,33 км со средней скоростью 6,7 км/с. Осредненная скорость для первого слоя составляет 6,17 км/с, что хорошо объясняется присутствием пород с невысокой плотностью. Второй слой имеет осредненную скорость 7,02 км/с, высокое значение которой может быть вызвано наличием здесь коромантийной смеси.

*Росинский мегаблок* на западе ограничен Брусиловским, на востоке — Тальновским межмегаблоковыми разломами. На территории мегаблока профильные исследования ГСЗ не проводились. Вследствие этого для построения осредненной модели было принято решение использовать сейсмические данные в пунктах наблюдения на II, IV, VI геотраверсах, наиболее близко расположенных к Росинскому мегаблоку. В процессе предварительного анализа были отобраны скоростные колонки, различающиеся по скорости и мощности земной коры. Отсутствие реальных сейсмических наблюдений на мегаблоке привело к созданию, по сути, скоростных характеристик, усредняющих данные по северу Бугского и северо-востоку Волинского мегаблоков. Средняя мощность земной коры согласно такой модели составила 41,29 км, по данным точечных сейсмических зондирований — 45—50 км [Омельченко и др., 2008]. Скорости составили в первом слое — 6,38 км/с, во втором — 6,87 км/с, во всей коре — 6,68 км/с.

Глубинное строение Подольского, Волинского мегаблоков и западного склона УЩ изучено вдоль геотраверсов II, IV и VI и профиля

ГСЗ «Евробридж». Сейсмические данные по площади мегаблоков распределены неравномерно. Лучше всего представлена центральная часть вдоль профиля «Евробридж», который пересекает с юга на север Винницкий, Хмельницкий блоки на Подольском и Коростенский плутон на Волинском мегаблоках. Однако, несмотря на недостаточную освещенность, в результате предварительного анализа было принято решение выделить западный склон УЩ. Аргументы в пользу такого выделения следующие. Геолого-геофизические, в том числе скоростные, характеристики склона иные, чем для сопредельных территорий мегаблоков УЩ (Волинского и Подольского): 1) средняя мощность земной коры — 50,9 км, что заметно отличается от мощности указанных мегаблоков; 2) тектонический фактор — палеозойская активизация выделенной области.

Скоростные характеристики западного склона УЩ: первый слой — 6,21 км/с, второй — 6,91 км/с, средняя скорость во всей коре — 6,69 км/с. Таким образом, рассматривая в дальнейшем скоростные характеристики Подольского и Волинского мегаблока, авторы исключают из описания западный склон УЩ.

*Подольский мегаблок* на северо-западе и севере ограничен Тетеревским, на востоке — Немировским и Брусиловским межмегаблоковыми разломами. Сам мегаблок определяется как консолидированная в раннем докембрии жесткая глыба. С учетом петрологии и разломной тектоники его делят на два блока второго порядка. Северный блок — Бердичевский — сложен бердичевскими гранитами и отдельными телами литинского комплекса. На юге по Хмельникскому разлому он граничит с Винницким блоком. В этом блоке в равной мере развиты крупные массивы чарнокитоидов литинского комплекса и бердичевские граниты. На поверхности фундамента Подольский мегаблок сложен породами, плотность которых изменяется в интервале 2,72—2,80 г/см<sup>3</sup>. Выделяют две области повышенной плотности: в районе Винницы и на северо-западе мегаблока. Повышенная плотность пород, слагающих верхний разрез земной коры мегаблока, коррелирует в скоростной модели с повышенной скоростью в первом сейсмическом слое (6,26 км/с). В модели осредненная скорость для второго слоя равна 6,78 км/с, что ниже, чем в нижней части коры западной группы мегаблоков. Такие же особенности описаны в работе [Омельченко и др., 2008]. В целом для земной коры в полученной модели осредненная ско-



рость составляет 6,61 км/с, глубина до раздела М — 47,06 км.

Волынский мегаблок расположен в северо-западной части щита в пределах зоны тектономагматической активизации [Щербаков, 2005], которая образовалась в результате коллизии Фенноскандинавского и Сарматского сегментов ВЕП.

На юге породы мегаблока полого залегают на погруженном крае более древнего фундамента Подольского мегаблока, перекрывая его осадками Тетеревского прогиба. Сочленение мегаблоков [Гейко и др., 2006а] проводят вдоль Тетеревской и Сарненско-Варваровской зон мантийных разломов. Тетеревская зона разломов относится к разряду мантийных, нарушая только нижнюю часть коры, начиная с глубины около 40 км. Согласно работе [Щербаков, 2005], Тетеревская зона не является разломом, а лишь границей, которая отделяет стабилизированный мегаблок УЩ от его активизированной части.

Волынский мегаблок разделяется на Осницкий и Новоград-Волынский блоки.

Осницкий блок. Рельеф раздела М резко дифференцирован (40—55 км), его структура согласуется с простираем вулканоплутонического пояса. В разрезе земной коры отсутствует гранитный слой. Более 50 % мощности составляет базальтовый слой, который в нижней части переходит в коромантийную смесь. Состав коры оценивается как базальтоидный. Осредненный скоростной разрез для Осницкого блока, представленный в настоящей статье, относится к выделенному ранее западному склону щита, скоростные характеристики которого приведены выше. Утолщение земной коры и повышение скорости соответствуют базальтоидному составу коры.

Новоград-Волынский блок характеризуется сокращенной до 38—42 км толщиной земной коры в районе Коростенского плутона. Здесь земная кора по физическим параметрам неоднородна, что подтверждается сложным глубинным строением. Территория плутона пересечена международным профилем ГСЗ «Евробридж» и геотраверсом II, что позволило составить детальную осредненную скоростную модель мегаблока. Коростенский плутон в данной модели разделен на две части — выделены крайняя северная часть мегаблока, прилегающая к Припятскому прогибу, и южная часть, граничащая с Подольским мегаблоком.

Коростенский плутон представляет собой сложную структуру, дискордантную по отношению к вмещающим породами. В толще верх-

ней и средней коры плутона сейсмическим методом зарегистрировано многократное чередование высоко- и низкоскоростных слоев, что отражает переслаивание пород основного состава с породами кислого и среднего состава [Ильченко, Бухарев, 2001]. Для нижней коры характерно увеличение скоростей с глубиной при изменяющемся вертикальном градиенте.

Северная часть плутона проявляется в осредненной скоростной модели как область с повышенной скоростью. В первом слое скорость составляет 6,32 км/с, во втором — 6,81 км/с, во всей коре — 6,63 км/с, средняя мощность коры — 40,27 км. Эта область представляет мафитовый комплекс Коростенского плутона. Севернее находится область, прилегающая с юга к Припятской впадине, аномально высокие скорости которой (первый слой — 6,34 км/с, второй слой — 6,82 км/с, во всей коре — 6,64 км/с при средней мощности 40,4 км) могут быть объяснены влиянием более молодых процессов, связанных с образованием Припятской впадины.

Южнее Малинского разлома выделенная нами область характеризуется пониженными значениями скорости в верхнем этаже земной коры, что связано с влиянием многочисленных прослоев с пониженной скоростью, не превышающей 6,0 км/с. Таким образом, осредненная модель имеет следующие характеристики: верхний слой — 6,17 км/с, второй слой — 6,79 км/с, во всей коре — 6,56 км/с при средней мощности 42 км.

Прилегающая с севера к Подольскому мегаблоку область осреднения характеризуется пониженными значениями мощности земной коры (39,8 км) и скорости для первого и второго слоя (6,16 км/с, 6,73 км/с соответственно) и в целом для коры (6,51 км/с). Увеличение скоростей служит индикатором изменения состава земной коры. Переход от Волынского к Подольскому мегаблоку четко фиксируется исчезновением прослоев с пониженной скоростью и появлением более высокого градиента скорости в нижней коре.

Осредненная скоростная модель УЩ представлена на блок-схеме (см. рис. 3). Составление осредненной модели земной коры является подготовительным этапом для последующего использования ее результатов в качестве поправок за влияние коры для получения *P*-скоростей в мантии УЩ.

**Основные результаты** изучения скоростных характеристик выделенных слоев заключаются в следующем.

1. В результате углубленной интерпретации данных сейсмических исследований методом ГСЗ, выполненных на протяжении 60—90-х годов прошлого столетия, составлены осредненные скоростные модели земной коры мегаблоков УЩ.

2. В толще земной коры выделены два основных слоя: первый — от земной поверхности до глубины 15 км, второй — от 15 км до раздела М. В каждом из слоев вычислены средние скорости по пунктам наблюдений вдоль сейсмических профилей, а также рассчитаны осредненные значения глубин до раздела М. В результате анализа полученных параметров построена обобщенная слоисто-блоковая скоростная модель земной коры УЩ.

3. Показано, что предложенная модель принципиально не противоречит ранее известным моделям.

4. Подтвержден вывод [Старостенко и др., 2002], что по скоростным параметрам земная кора УЩ разделена на две части — западную и восточную, линией разграничения между которыми служит трансрегиональный тектонический шов Херсон—Смоленск.

5. Подтвержден вывод [Омельченко и др., 2008], что средняя мощность земной коры западной части УЩ (46,9 км) значительно превышает мощность восточной (42,3 км).

6. Средняя скорость в верхнем слое (0—15 км) для всего УЩ равна 6,25 км/с, при значении 6,26 км/с в западной части и 6,23 км/с в восточной. Максимальная скорость (6,41 км/с) отмечена в северной части Волынского мегаблока, минимальная (6,16 км/с) — в юго-восточной части Ингульского мегаблока.

7. Средняя скорость в нижнем слое (15 км — поверхность М) для всего УЩ равна 6,83 км/с, при значении 6,86 км/с в западной части и 6,76 км/с в восточной. Максимальное значение в нижнем слое (7,09 км/с) отмечено в пределах Голованевской шовной зоны, минимальное (6,69 км/с) — в юго-восточной части Ингульского мегаблока

8. Средняя скорость во всей толще земной коры УЩ (от земной поверхности до раздела М) равна 6,62 км/с, при 6,65 км/с в западной части и 6,58 км/с в восточной части. Максимальное значение (6,87 км/с) характерно для земной коры Голованевской шовной зоны, минимальное (6,47 км/с) — для юго-восточной части Ингульского мегаблока.

**Влияние скоростных характеристик коры Украинского щита на скоростные характеристики верхней мантии.** Полученная осред-

ненная скоростная модель земной коры УЩ использовалась при построении скоростной модели верхней мантии щита. Результаты сравнивались с более ранней 3D *P*-скоростной моделью верхней мантии УЩ, учитывающей скоростное строение земной коры Джеффриса—Буллена [Гейко и др., 2005, 2006б]. При построении сейсмотомографических моделей мантии Земли, с помощью данных Мировой системы наблюдений, одним из наиболее неосвещенных слоев Земли остается земная кора. Как правило, при решении задач сейсмической томографии для учета скоростного строения земной коры используются известные стандартные скоростные модели Земли (референтные модели). Крайне редко можно увидеть оценки влияния использованных скоростных характеристик земной коры на изучаемые 3D *P*- или *S*-скоростные модели верхней мантии, по сравнению с моделями верхней мантии, учитывающими скоростные модели коры, в которых использовались данные ГСЗ, либо другие методы, представляющие скоростное строение коры, более соответствующее реальной структуре.

**Мантийная скоростная модель.** 3D *P*-скоростная модель мантии под Украиной представлена в работах [Гейко и др., 2005, 2006б; Геуко, 2004]. Будем называть эту модель и соответственно области сечений, годографы сечения и скоростные разрезы, ей соответствующие, базовыми. Метод не зависит от референтной модели. Численная реализация метода предполагает следующие этапы: построение обобщенного поля времен (ОПВ) для исследуемой территории и ее окружения, построение годографов-сечений ОПВ, обращение полученных годографов, графическое представление полученной модели. Точность обращения годографов-сечений соответствует 0,015 км/с [Гейко и др., 1998]. В качестве поправки за кору использовалась стандартная модель Джеффриса—Буллена (по данным бюллетеней ISC). При построении модели средних скоростей коры УЩ учитывались области-сечения щита ОПВ первых вступлений *P*-волн.

Для построения новой модели использовались годографы, соответствующие областям-сечениям ОПВ, построенные для предыдущей модели. При обращении годографов-сечений использована полученная осредненная скоростная модель (см. рис. 3) в качестве поправок за кору. Недостаток системы наблюдений и неравномерное распределение источников сейсмических событий обусловили недостаточную

освещенность мантии под исследуемой территорией (рис. 4). Поэтому областям-сечениям ОПВ для каждого годографа соответствует несколько областей определения средних скоростей и глубин Мохо. Для каждой области-сечения ОПВ, с учетом средних скоростей и глубин границы М, проведено обращение годографов-сечений. После обращения скорости отнесены к центрам тяжести областей-сечений ОПВ.

Рассмотрим особенности результатов обращения годографов-сечений.

**К Приазовскому сечению ОПВ (рис. 5)** относятся две области осреднения скоростей в земной коре, характеризующие Приазовский

мегаблок и Орехово-Павлоградскую шовную зону. Необходимо учесть, что области-сечения ОПВ определения годографов-сечений не совпадают с границами тектоническими структур и не повторяют привычное тектоническое деление. Так, для Приазовского сечения в область определения входят Приазовский мегаблок, часть Донецкой складчатой области, Орехово-Павлоградская шовная область и восточная часть Среднеприднепровского мегаблока, включая Запорожский срединный массив.

Как видно из рис. 5, введение поправок на кору приводит к изменениям скоростей в мантии. Наибольшие изменения наблюдаются в верхах верхней мантии (50—100 км) и далее

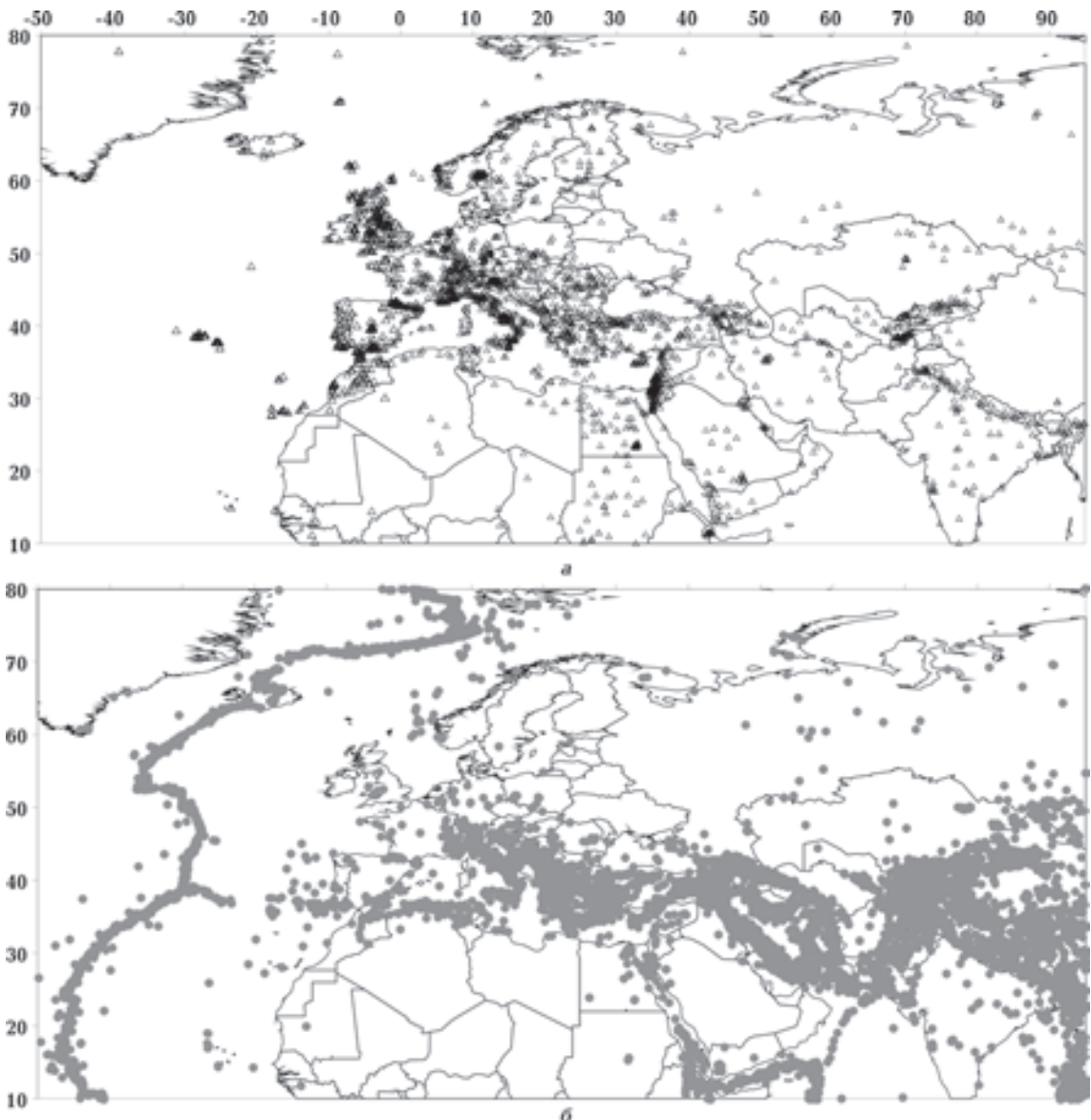


Рис. 4. Источники (а) и приемники (б) мировой сети ISC.

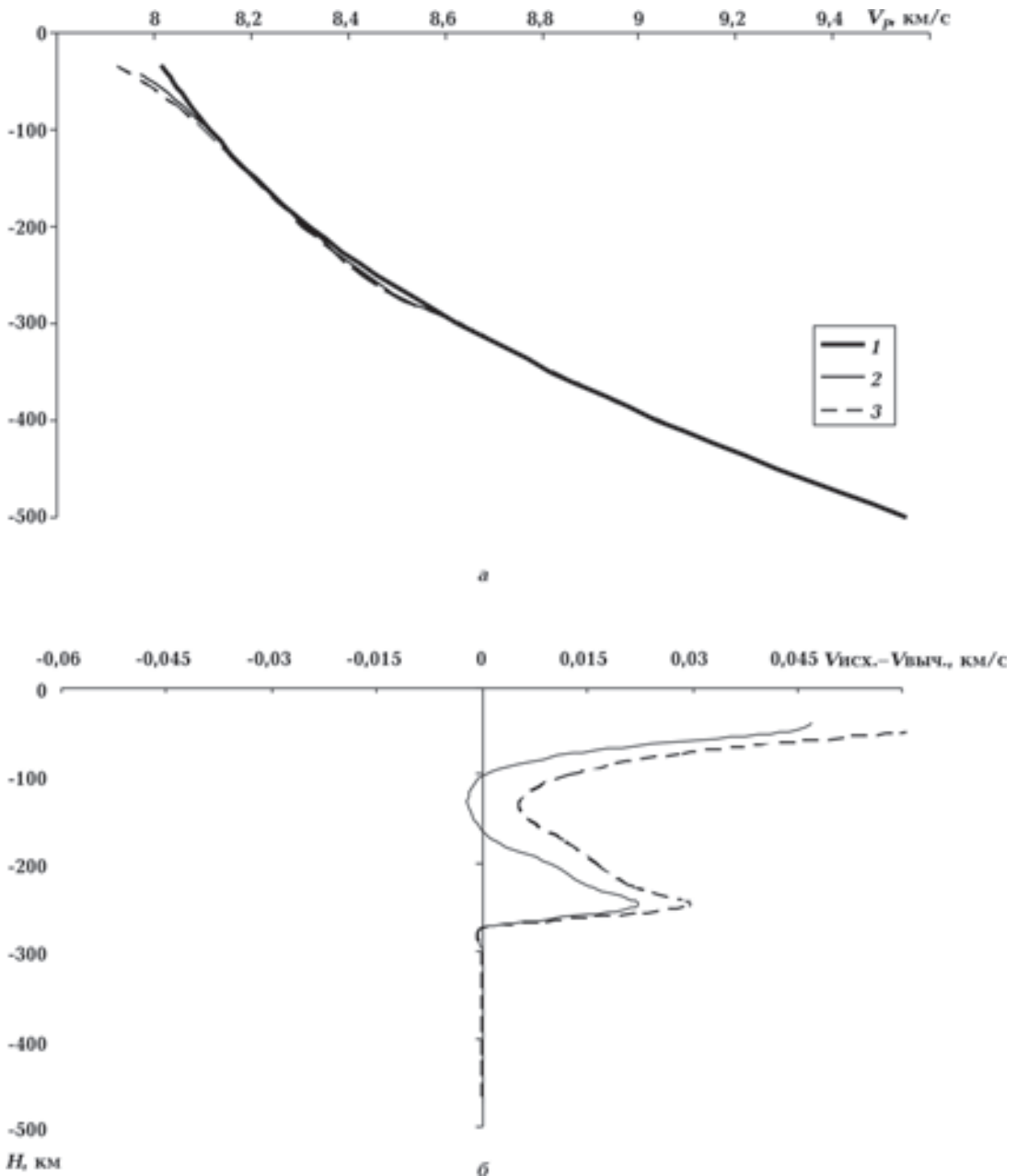


Рис. 5. Скоростные кривые для Приазовского сечения (а), пересчитанные с осредненными данными по коре: 1 — базовая кривая с поправкой за стандартную кору Джеффриса—Буллена; 2 — кривая с поправкой на кору 42,06 км, область Орехово-Павлоградской шовной зоны; 3 — кривая с поправкой на кору 38 км и соответствующими значениями скоростей, область Приазовского мегаблока; б — отклонения вычисленных значений скоростей верхней части годографов от исходного Приазовского годографа-сечения.

до глубины 300 км. Изменения в интервале 300—400 км соответствуют точности обращения годографа и могут не приниматься как существенные.

По отношению к базовому Приазовскому годографу-сечению значения скорости, полученные с учетом изменения глубины залегания раздела М до 42,06 км, составляют 100,09 %, изменение скоростей с учетом изменения глубины раздела Мохо 38 км — 99,80 %. Уровень по-

правок скоростей не превышает 0,29 % в целом для двух годографов. Годограф Приазовского мегаблока (38 км) имеет точность расчета годографа (отклонения теоретического годографа от экспериментального) на 0,1 % меньше, чем годограф Орехово-Павлоградской шовной зоны (42,06 км).

**В Среднеприднепровскую область-сечение ОПВ (рис. 6) входят:** большая часть Среднеприднепровского мегаблока (без Запорож-

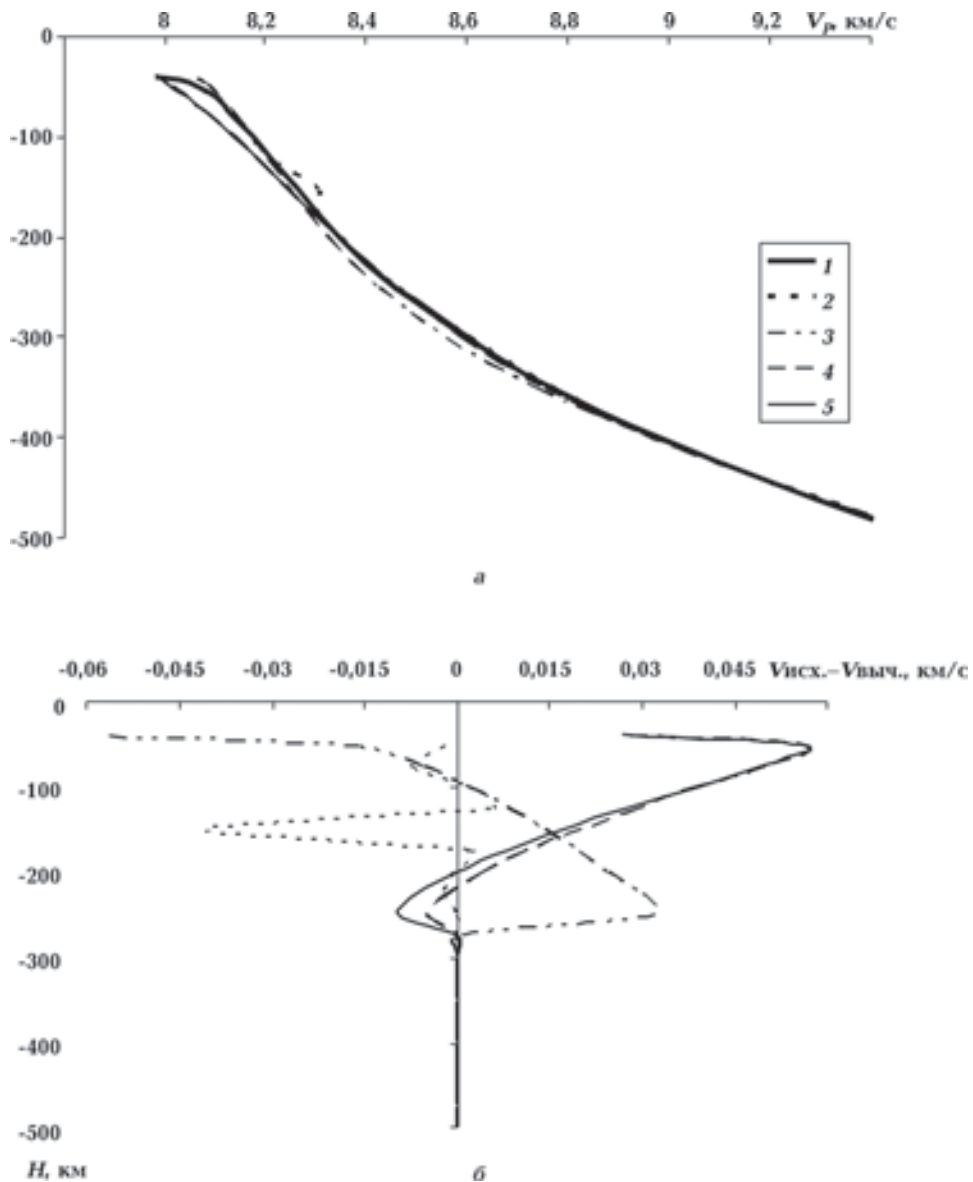


Рис. 6. Скоростные кривые для Среднеприднепровского годографа-сечения (а), пересчитанного с осредненными данными по коре: 1 — базовая кривая с поправкой за стандартную кору Джеффриса—Буллена, мощность коры — 33 км; 2 — кривая с поправкой за мощность коры 52,7 км, область Ингулецко-Кременчугской шовной зоны; 3 — кривая с поправкой за кору 40,75 км, северная часть Ингульского синклиория; 4 — кривая с поправкой за кору 38,4 км, западная часть Среднеприднепровского мегаблока; 5 — кривая с поправкой 38 км, южная часть Ингульского синклиория; б — отклонения вычисленных значений скоростей верхней части годографов от исходного Среднеприднепровского годографа-сечения

ского срединного массива), Ингулецко-Кременчугская шовная зона, восточная часть Ингульского мегаблока, начиная от зоны Кировоградского глубинного разлома, примыкающей к шовной зоне.

Введение поправок за кору приводит к изменениям скоростей в мантии для Среднеприднепровской области-сечения. Наиболее существенные изменения отмечены в верхах верхней мантии на глубине до 100 км и в интервале 150—300 км. Влияние коры сглаживается, начиная с 300 км, и глубже не прослеживается.

**В Росинско-Бугскую область-сечение ОПВ (рис. 7) входят:** западная часть Росинского блока и Бугский блок. Росинско-Бугский годограф-сечение был пересчитан с использованием двух поправок за кору для глубин залегание раздела М (54,33 и 41,29 км) с соответствующими средними скоростями полученной двухслойной скоростной модели.

На рис. 7 представлены отклонения скоростных кривых, полученных при пересчете. Как для первой кривой (Мохо 54,33 км), так и для второй (Мохо 41,29 км) наибольшие откло-



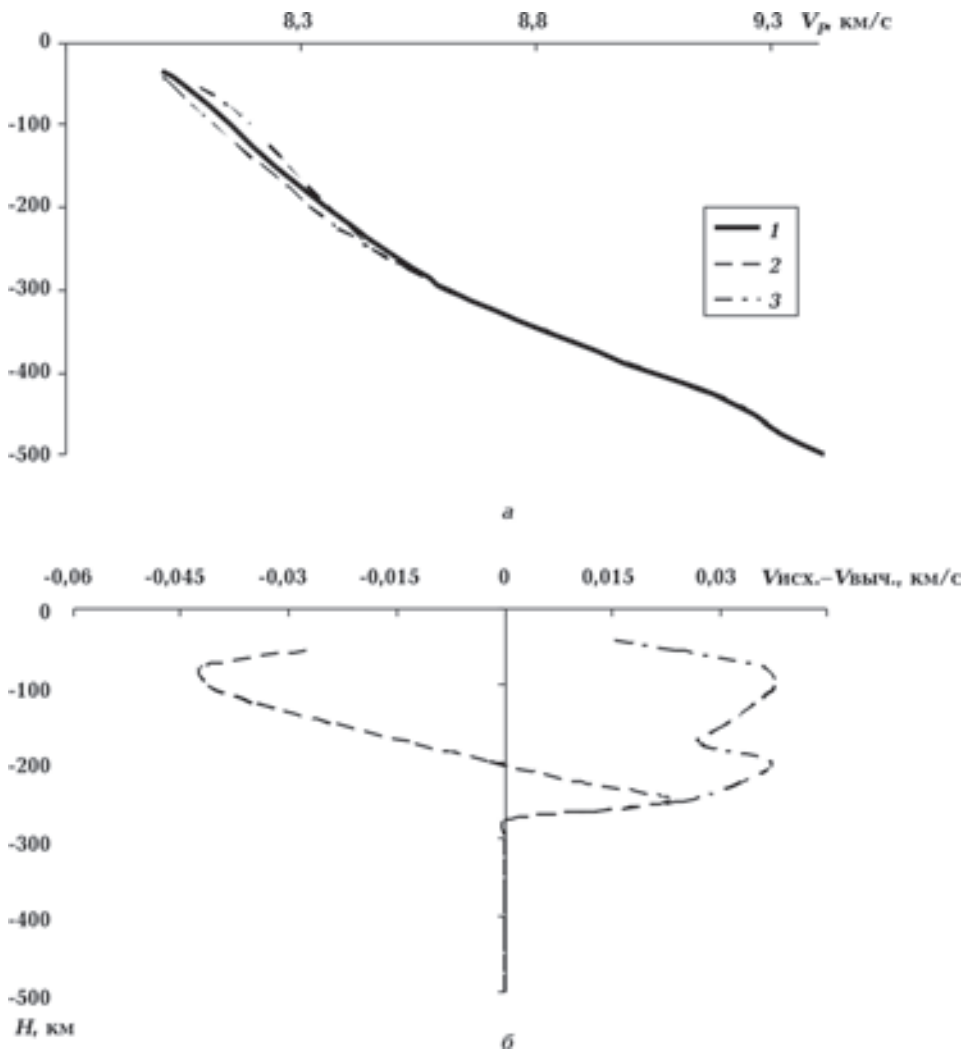


Рис. 7. Скоростные кривые для Росинско-Бугского сечения (а), пересчитанного с осредненными данными по коре: 1 — базовая кривая с поправкой за стандартную кору Джеффриса—Буллена; 2 — кривая с поправкой за кору 54,33 км, Бугский блок; 3 — кривая с поправкой за кору 41,29 км, Росинский блок; б — отклонения вычисленных значений скоростей верхней части скоростной кривой от базовой для Росинско-Бугского годографа сечения.

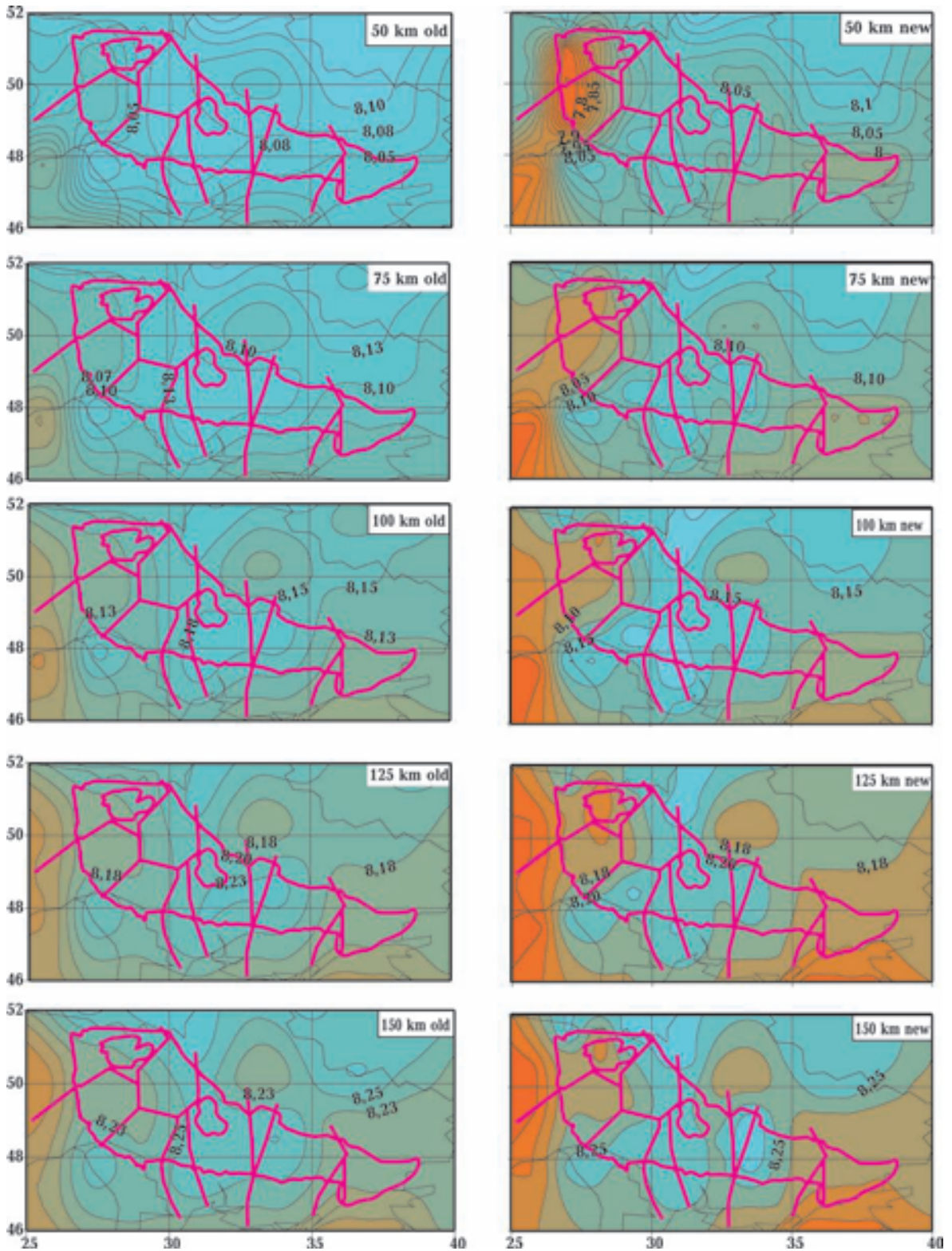
нения лежат в интервале глубин 50—200 км.

**В Волыно-Подольскую область-сечение ОПВ (рис. 8)** входят Волинский и Подольский мегаблока. По осредненной модели земной коры были выделены шесть зон для введения поправок (см. рис. 3). Первая зона характеризуется скоростными параметрами западной окраинной части Волыно-Подольского мегаблока, глубина залегания раздела М — 50,9 км. Для этой зоны средние скорости понижены по отношению к другим зонам. Следующая крупная зона связана с юго-восточной частью мегаблока (Винницкий блок и окружение), глубина залегания раздела М для этой зоны — 47,06 км. Область Коростенского плутона и его окружения представлена четырьмя зонами введения поправок. Эти зоны имеют небольшие отличия в значениях глубин залегания раздела М

и значений скоростей, но, поскольку данное исследование посвящено изучению влияния изменений скоростных параметров земной коры на скорости в мантии, были рассмотрены все варианты.

Полученные изменения для скоростных кривых с использованием осредненных скоростных параметров для земной коры составили в среднем менее 0,46 %. Наибольшие отклонения лежат в интервалах глубин ниже раздела М до 75 и 150—250 км. Для кривой, представляющей западную окраину Волыно-Подольского мегаблока, характер изменения отклонений с глубиной от «+» к «-» в отличие от других кривых (от «-» к «+»).

Новые горизонтальные сечения 3D Р-скоростной модели верхней мантии, соответствующие результатам пересчета мантийных



скоростей с использованием осредненных скоростей коры и глубин раздела М, представлены на рис. 9. Для сравнения на рисунке показаны горизонтальные сечения для базового и пересчитанного вариантов. Наблюдаются

изменения в значениях скорости и конфигурации изолиний.

Сделаем несколько пояснений к новому сечению 50 км. Для модели коры, полученной в данной исследовании, существуют районы,

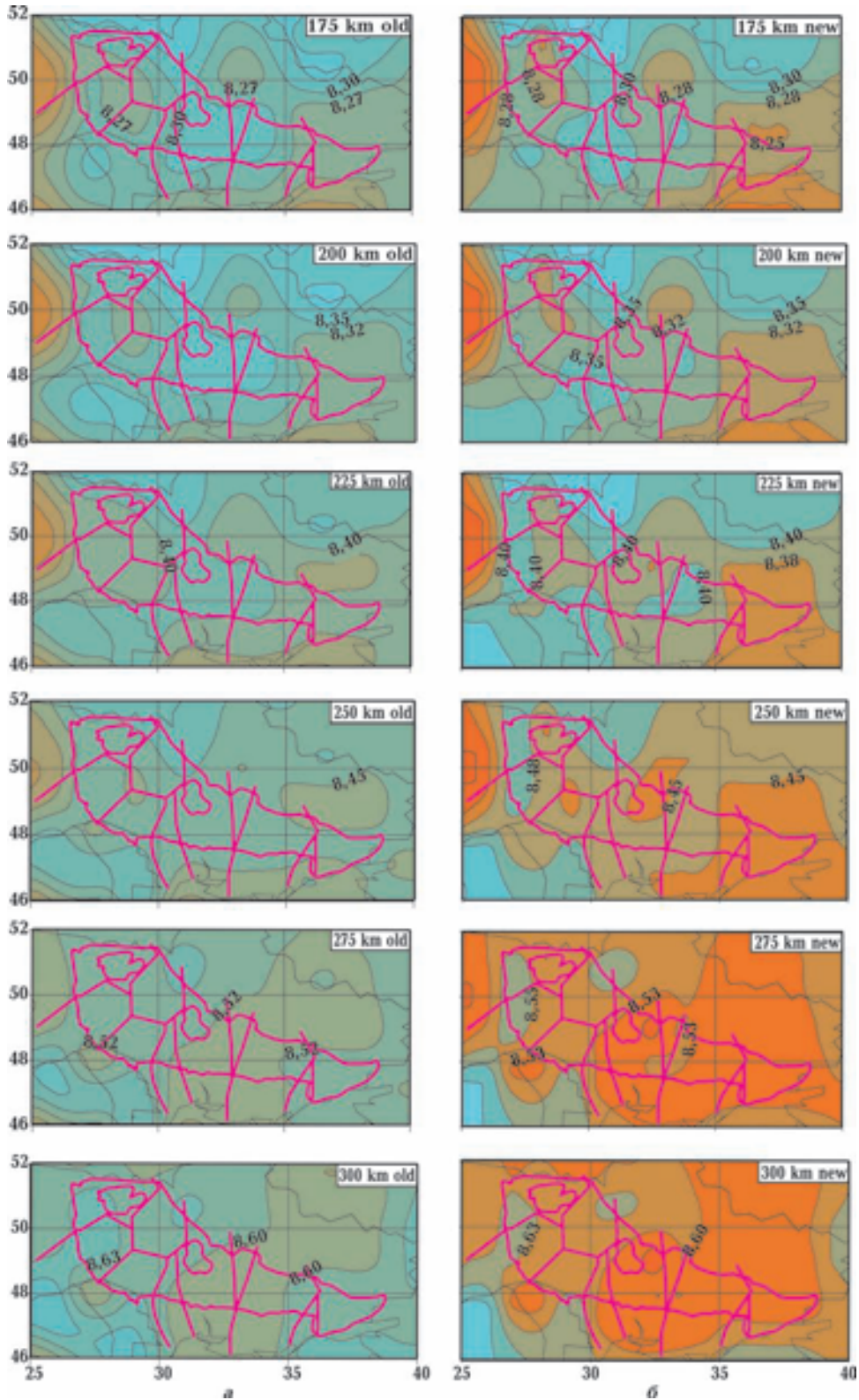


Рис. 9. Горизонтальные сечения 3D Р-скоростной модели мантии УЩ. Глубины 50—300 км: а — базовая модель, б — с учетом полученной осредненной модели коры УЩ.

в которых глубина залегания границы раздела М больше 50 км. Это окраина Вольно-

Подольского мегаблока (50,9 км), Бутский блок (54,33 км), Криворожско-Кременчугская



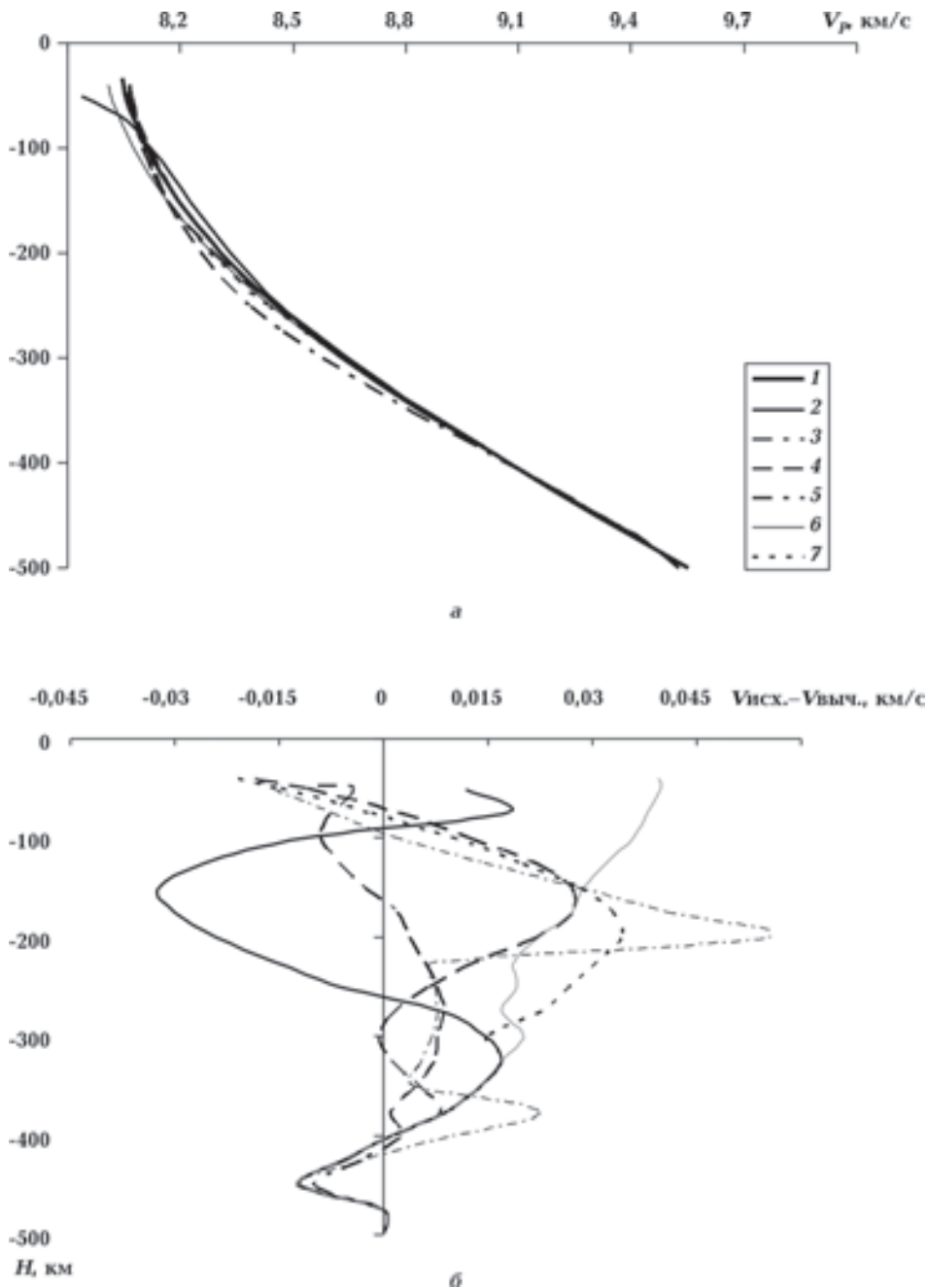


Рис. 8. Скоростные кривые для Вольно-Подольского годографа-квадрата (а), пересчитанного с осредненными данными по коре: 1 — базовая кривая с поправкой за стандартную кору Джеффриса—Буллена; 2 — кривая с поправкой за кору 50,9 км и соответствующими значениями скоростей, западная, окраинная часть Вольно-Подольского мегаблока; 3 — кривая с поправкой за кору 47,06 км, юго-восточная часть мегаблока (Винницкий блок); 4 — кривая с поправкой 42 км, южная часть Коростенского плутона; 5 — кривая с поправкой 40,4 км, северо-восточная окраина Вольнского блока; 6 — кривая с поправкой 40,27 км, северная часть Коростенского плутона; 7 — кривая с поправкой 39,8 км, зона перехода от Коростенского плутона к Подольскому блоку; б — отклонения вычисленных значений скоростей верхней части скоростных кривых от исходной для Вольно-Подольского годографа-сечения.

шовная зона 52,67 км. Учитывая это, для построения сечения 50 км были взяты скорости на соответствующих глубинах.

Проведенные расчеты показывают, что при решении задач сейсмической томографии мантии крайне желательно учитывать скоростные модели земной коры, при условии их наличия.

Полученные изменения в распределении скоростей кардинально не изменили скоростную модель мантии, но выявили некоторые особенности, позволяющие расставить новые акценты. Напомним, что при графическом изображении роль референтной модели выполняет обобщенная средняя скорость в мантии

под Евразией [Гейко и др., 1998]. Относительно нее определяются высокие и низкие скорости. Таблица обобщенной средней скорости представлена в работе [Гейко и др., 2005].

На сечении 50 км под северной окраиной Приазовского мегаблока и Орехово-Павлоградской шовной зоной проявились более низкие скорости по сравнению с предыдущей моделью, что изменило конфигурацию скоростных изолиний. Как следствие, более четко проявились различия между скоростями в мантии под Среднеприднепровским мегаблоком. По отношению к окружению четче выделилась более высокоскоростная мантия. Незначительные изменения наблюдаем и в западной части УЩ.

На сечении 75 и 100 км прослеживаются небольшие изменения геометрии изолиний. На глубине 125 км начинает проявляться низкоскоростная аномалия (8,18 км/с) в мантии под центральной и южной частями Тетеревского разлома до Малинского разлома и Коростенского плутона. Благодаря тому, что области определения годографов выходят за границы тектонических структур, изменения, вносимые при пересчете годографов УЩ, затронули и окружение щита. Например, на глубине 125 км видно, что под Центральным грабеном Днепровско-Донецкого авлакогена появилась низкоскоростная аномалия (изолиния 8,165 км/с). Такая же аномалия появляется под Приазовским мегаблоком и Орехово-Павлоградской шовной зоной. В то же время скорость в мантии под Росинско-Бутским мегаблоком не изменилась, но произошло изменение в геометрии изолиний, объединяющее по скоростным характеристикам мантию под восточной частью Росинско-Бутского мегаблока, Голованевской шовной зоной и западной частью Ингульского мегаблока в единую область. Недостаточная детальность используемой системы наблюдений не позволила уточнить скоростное строение мантии под восточной частью Ингульского мегаблока. Низкоскоростная аномалия в мантии под Вольно-Подольским мегаблоком прослеживается до глубины 300 км, на глубине 325 км она объединяется с низко-

скоростным слоем, характеризующим мантию под Фенноскандией.

На всем интервале рассматриваемых глубин 50—300 км в результате пересчета произошли изменения в скоростной модели мантии, наиболее значимые — на глубине 200—250 км. Аналогичные результаты были получены для верхней мантии Средиземноморья в работе [Kulakov et al., 2009].

**Выводы.** В процессе выполнения работы были решены следующие задачи:

1. Построена осредненная модель коры по данным сейсмических исследований за период с 60-х годов прошлого столетия до 2000 годов текущего столетия. Были выделены два слоя — от земной поверхности до 15 км и от 15 км до раздела М, рассчитаны средние скорости в каждом из слоев на пунктах наблюдения вдоль сейсмических профилей ГСЗ — КМПВ, а также осредненные значения глубин до раздела М. В результате анализа полученных таким образом параметров земной коры построена слоисто-блоковая модель земной коры УЩ.

2. Показано, что полученная модель не противоречит известным ранее моделям.

3. Построена 3D *P*-скоростная модель верхней мантии УЩ с использованием в качестве поправок за кору полученной модели средних скоростей

4. Различие полученных скоростей с учетом поправок за кору, характеризующих мантию УЩ, незначительно, но превышает точность определения скорости по годографу (0,015 км/с), что позволяет утверждать целесообразность проведения подобной операции.

5. Новая 3D *P*-скоростная модель верхней мантии УЩ предполагает уточнение интерпретации.

6. Приведенные результаты подтверждают зависимость результатов решения задачи сейсмической томографии от степени освещенности земной коры и необходимость, по возможности, использования скоростных моделей земной коры при построении сейсмографических моделей мантии.

### Список литературы

Гейко Ю. В., Гурский Д. С., Лыков А. И., Металиги В. С., Павлюк В. Н., Приходько В. А., Цымбал С. Н., Шимкив А. М. Перспективы коренной алмазности Украины. Киев-Львов: Изд-во «Центр Европы», 2006а. 200 с.

Гейко В. С., Цветкова Т. А., Санникова Н. П., Ливано-

ва Л. П., Гейко К. В. Региональная 3D *P*-скоростная структура мантии северо-западной Евразии — I. Европа.1. *Геофиз. журн.* 1998. Т. 20. № 3. С. 67—91.

Гейко В. С., Цветкова Т. А., Шумлянская Л. А., Бугаенко И. В., Заец Л. Н. Региональная 3-D скоростная модель мантии Сарматии (юго-запад Восточно-



- Европейской платформы). *Геофиз. журн.* 2005. Т. 27. № 6. С. 927—939.
- Гейко В. С., Шумлянская Л. А., Цветкова Т. А., Бугаенко И. В., Заец Л. Н. Трехмерная модель верхней мантии Украины по временам прихода Р-волн. *Геофиз. журн.* 2006б. Т. 28. № 1. С. 3—16.
- Гинтов О. Б. Полевая тектонофизика и ее применение при изучении деформаций земной коры Украины. Киев: Феникс, 2005. 572 с.
- Гинтов О. Б., Мычак С. В. Геодинамическое развитие Ингульского мегаблока Украинского щита по геолого-геофизическим и тектонофизическим данным. I. *Геофиз. журн.* 2011а. Т. 33. № 3. С. 102—118.
- Гинтов О. Б., Мычак С. В. Геодинамическое развитие Ингульского мегаблока Украинского щита по геолого-геофизическим и тектонофизическим данным. II. *Геофиз. журн.* 2011б. Т. 33. № 3. С. 89—99.
- Гутерх А., Соллогуб В. Б., Мятежок Р., Чекунов А. В., Пайхель Я., Гейко В. С., Перхуць Э., Ливанова Л. П., Ковальский Л., Клушин В. И. Строение земной коры на участке Хмельницкий (СССР)—Кельце (ПНР) (VIII международный профиль ГСЗ). В кн.: *Строение земной коры и верхов мантии по данным сейсмических исследований*. Киев: Наук. думка, 1977. С. 158—171.
- Ильченко Т. В. Результаты исследований методом ГСЗ вдоль геотрансекта ЕВРОБРИДЖ-97. *Геофиз. журн.* 2002. Т. 24. № 3. С. 36—50.
- Ильченко Т. В. Результаты обработки материалов метода ГСЗ по профилю Черкасы—Новый Буг (Украинский щит) и их точность. *Геофиз. журн.* 1983. Т. 5. № 4. С. 51—57.
- Ильченко Т. В. Скоростная модель земной коры по профилю Винница—Маневичи (Украинский щит). *Геофиз. журн.* 1984. Т. 6. № 4. С. 78—83.
- Ильченко Т. В. Строение земной коры и верхней мантии Кировоградского блока Украинского щита по данным ГСЗ (профили Бабанка—Пятихатки и Черкасы—Новый Буг). *Геофиз. журн.* 2003. Т. 25. № 6. С. 30—43.
- Ильченко Т. В., Бухарев В. П. Скоростная модель земной коры и верхов мантии Коростенского Плутона (Украинский щит) и ее геологическая интерпретация (по профилю ГСЗ Шепетовка—Чернигов). *Геофиз. журн.* 2001. Т. 23. № 3. С. 72—82.
- Ильченко Т. В., Крюченко В. А. Результаты комплексной интерпретации сейсмических и гравиметрических данных по профилю ГСЗ XXV Бабанка—Пятихатки. *Геофиз. журн.* 1981. Т. 3. № 1. С. 94—104.
- Калюжная Л. Т. Изучение строения земной коры Украинского щита сейсмическими методами: Автореф. дис.... канд. геол.-мин. наук. Киев, 1972. 22 с.
- Кировоградский рудный район. Глубинное строение. Тектонофизический анализ. Месторождения рудных полезных ископаемых (Ред. В. И. Старостенко, О. Б. Гинтов). Киев: Прастыи луды, 2013. 500 с.
- Крюченко В. А., Половинкин Б. В., Трипольский А. А. Глубинное строение земной коры центральной части Украинского щита по профилю ГСЗ Николаев—Канев. *Геофиз. журн.* 1981. Т. 3. № 3. С. 82—88.
- 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.
- Литосфера Центральной и Восточной Европы: Геотраверсы I, II, V (Отв. ред. В. Б. Соллогуб). Киев: Наук. думка, 1988а. 168 с.
- Литосфера Центральной и Восточной Европы. Геотраверсы IV, VI, VIII (Отв. ред. В. Б. Соллогуб). Киев: Наук. думка, 1988б. 172 с.
- Минералы Украины: Краткий справочник. (Отв. ред. Н. П. Щербак). Киев: Наук. думка, 1990. 408 с.
- Омельченко В. Д., Трипольский А. А., Носенко А. Б. Скоростные неоднородности и рельеф раздела Мохоровичича Украинского щита. *Геофиз. журн.* 2008. Т. 30. № 6. С. 113—126.
- Соллогуб В. Б. Земная кора Украины. *Геофиз. журн.* 1982. Т. 4. № 4. С. 3—25.
- Соллогуб В. Б. Литосфера Украины. Киев: Наук. думка, 1986а. 184 с.
- Соллогуб В. Б. Особенности строения пологих разломных зон в пределах центральной части Украинского щита по данным ГСЗ. *Докл. АН УССР. Сер. Б.* 1986а. № 12. С. 15—18.
- Соллогуб В. Б., Гринь Н. Е., Гонтовая Л. И. Глубинные сейсмические исследования консолидированной коры методом отраженных волн. *Геофиз. журн.* 1983. Т. 5. № 2. С. 3—11.
- Соллогуб В. Б., Гринь Н. Е., Дрогицкая Г. М. Результаты сейсмических исследований в районе бурения Криворожской сверхглубинной скважины. *Геофиз. журн.* 1985. Т. 7. № 2. С. 27—36.
- Соллогуб В. Б., Ильченко Т. В. Сейсмическая модель геотраверса VIII. *Докл. АН УССР. Сер. Б.* 1986. № 12. С. 15—18.
- Соллогуб В. Б., Калюжная Л. Т., Гонтовая Л. И., Вовченко Е. П. Строение земной коры северо-

- западной части Украинского щита по профилю ГСЗ Шепетовка—Чернигов. *Геофиз. сб.* 1970. Вып. 35. С. 3—14.
- Сологуб В. Б., Павленкова Н. И., Чекунов А. В. Критерии выделения разломов земной коры по данным ГСЗ. В кн.: *Геофизические исследования строения земной коры Юго-Восточной Европы*. Москва: Наука, 1967. С. 72—83.
- Сологуб В. Б., Трипольский А. А. Некоторые данные о глубинном строении земной коры по профилю ГСЗ Таганрог—Кировоград. *Геофиз. сб.* 1969. Вып. 31. С. 5—24.
- Сологуб В. Б., Чекунов А. В., Трипольский А. А., Бабинец В. А. Результаты исследования глубинного строения Украинского щита. В кн.: *Строение земной коры и верхней мантии Центральной и Восточной Европы*. Киев: Наук. думка, 1978. С. 136—147.
- Сологуб В. Б., Чекунов А. В., Трипольский А. А., Калюжная Л. Т., Гонтовая Л. И. Глубинное строение Украинского щита по сейсмическим данным. В кн.: *Строение земной коры и верхней мантии по данным сейсмических исследований*. Киев: Наук. думка, 1977. С. 42—52.
- Старостенко В. И., Пашкевич И. К., Кутас Р. И. Глубинное строение Украинского щита. *Геофиз. журн.* 2002. Т. 24. № 6. С. 36—48.
- Тектонічна карта України м-бу 1:1000000. Під ред. Д. С. Гурського, С. С. Круглова. Пояснювальна записка. Київ: Вид-во УкрДГРІ, 2004.
- Трипольский А. А., Гейко В. С., Ливанова Л. П., Трипольская В. А., Цветкова Т. А. Сейсмическая модель земной коры. Литосфера Центральной и Восточной Европы: Геотраверсы IV, VI, VIII. Киев: Наук. думка, 1988. С. 13—25.
- Трипольский А. А., Шаров Н. В. Литосфера докембрийских щитов Северного полушария Земли по сейсмическим данным. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2004. 159 с.
- Хаин В. Е. Региональная геотектоника. Внеальпийская Европа и Западная Азия. Москва: Недра, 1977. 416 с.
- Чекунов А. В. Земная кора Украинского щита и некоторые важные моменты становления фундамента древних платформ. *Докл. АН УССР. Сер. Б.* 1976. № 10. С. 893—896.
- Чекунов А. В. Структура земной коры и тектоника юга Европейской части СССР. Киев: Наук. думка, 1972. 175 с.
- Чекунов А. В., Трипольский А. А., Гейко В. С., Ливанова Л. П., Трипольская В. А., Цветкова Т. А. Сейсмическая модель верхней литосферы Украинского щита. *Докл. АН СССР.* 1986. Т. 292. № 2. С. 440—443.
- Чекунов А. В., Трипольский А. А., Калюжная Л. Т. Литосфера докембрийских щитов северного полушария Земли по сейсмическим данным. *Геофиз. журн.* 1993. Т. 15. № 1. С. 3—23.
- Щербачков И. Б. Петрология Украинского щита. Львов: ЗУКЦ, 2005. 306 с.
- Chekunov A. V., Tripolsky A. A., Kharitonov O. M., 1997. Deep seismic reflection seismography in studying of the Earth's crust of the Ukrainian Shield. *Tectonophysics* 269, 269—278.
- Geyko V. S., 2004. A general theory of the seismic travel-time tomography. *Геофиз. журн.* 26(2), 3—32.
- Grad M., Tripolsky A. A., 1995. Crustal structure from P and S seismic waves and petrological models of the Ukrainian shield. *Tectonophysics* 250, 89—112.
- Grad M., Tripolsky A. A., 1994. Structure of the Ukrainian shield. Part 3: seismic and petrological models of the crust. *Acta Geophys. Pol.* 42(1), 23—44.
- Kulakov I., Kaban M. K., Tessouro M., Cloetingh S., 2009. P- and S-velocity anomalies in the upper mantle beneath Europe from tomographic inversion of the ISC-data. *Geophys. J. Int.* 179, 345—366.
- Starostenko V., Kharitonov O., Tripolsky A., 1999. Seismic structure of the crust mantle transition zone of the Ukrainian shield. *Acta Geophys. Pol.* 47(2), 185—201.
- Tripolsky A. A., 1997. P-wave seismic crustal models of Precambrian shields based on regional seismic data. *Acta Geophys. Pol.* 45(4), 303—332.
- Tripolsky O., Kaluzhnaya L., 2001. Deep structure of the Ukrainian shield plutons on the basis of seismic data. *Acta Geophys. Pol.* 49(4), 497—507.

## Crustal velocity structure effects on the results of seismic tomography of the Ukrainian Shield

© L. A. Shumlyanskaya, A. A. Tripolskiy, T. A. Tsvetkova, 2014

A model has been plotted according to average velocities in accordance with the data of seismic studies during the period from the 1960<sup>th</sup> up to the 2000<sup>th</sup>. The layered-blocky model of the earth's

crust of the Ukrainian Shield (USh) has been plotted. The model obtained does not contradict with models known before and is used as a crust correction while the problem of seismic tomography for the mantle of the Ukrainian Shield is being solved. The dependence of the results of solution of this problem on the degree of brightness of the earth's crust and the necessity to use, if possible, velocity models of the earth's crust while plotting seismotomographic models of the mantle has been confirmed.

**Key words:** average velocities, blocky structure of the Ukrainian Shield, three-dimensional velocity model of the mantle of the USh.

## References

- Geyko Ju. V., Gurskij D. S., Lykov L. I., Metalidi V. S., Pavljuk V. N., Prihod'ko V. L., Cymbal S. N., Shimkiv L. M., 2006a. Indigenous perspectives diamond Ukraine. Kiev-Lvov: Publishing House «Centre of Europe», 200 p. (in Russian).
- Geyko V. S., Tsvetkova T. A., Sannikova N. P., Livanova L. P., Geyko K. V., 1998. Regional 3D P-velocity structure of the mantle northwestern Eurasia — I. Evropa.1. *Geofizicheskij zhurnal* 20(3), 67—91 (in Russian).
- Geyko V. S., Tsvetkova T. A., Shumljanskaja L. A., Bugaenko I. V., Zaec L. N., 2005. Regional 3-D velocity model of the mantle Sarmatia (south-west of the East European Platform). *Geofizicheskij zhurnal* 27(6), 927—939 (in Russian).
- Geyko V. S., Shumljanskaja L. A., Tsvetkova T. A., Bugaenko I. V., Zaec L. N., 2006b. Three-dimensional model of the upper mantle of Ukraine arrival times of P-waves. *Geofizicheskij zhurnal* 28(1), 3—16 (in Russian).
- Gintov O. B., 2005. Tectonophysics field and its application in the study of crustal deformation of Ukraine. Kiev: Phoenix, 572 p. (in Russian).
- Gintov O. B., Mychak S. V., 2011a. Geodynamic development Ingul megablock Ukrainian shield on geological and geophysical data and tectonophysics. I. *Geofizicheskij zhurnal* 33(3), 102—118 (in Russian).
- Gintov O. B., Mychak S. V., 2011b. Geodynamic development Ingul megablock Ukrainian shield on geological and geophysical data and tectonophysics. II. *Geofizicheskij zhurnal* 33(3), 89—99 (in Russian).
- Guterh A., Sollogub V. B., Mjatezhok R., Chekunov A. V., Pajhel' Ja., Gejko V. S., Perhuc' Je., Livanova L. P., Koval'skij L., Klushin V. I., 1977. Crustal structure at the site Khmel'nitsky (USSR) — Kielce (Poland) (VIII international profile PES). In: *Structure of the Earth's crust and upper mantle according to seismic surveys*. Kiev: Naukova Dumka, P. 158—171 (in Russian).
- Il'chenko T. V., 2002. The results of research by the NHS along geotransekt EVROBRIDGE-97. *Geofizicheskij zhurnal* 24(3), 36—50 (in Russian).
- Il'chenko T. V., 1983. The results of processing of materials in the profile method NHS Cherkassy New Bug (Ukrainian shield) and their accuracy. *Geofizicheskij zhurnal* 5(4), 51—57 (in Russian).
- Il'chenko T. V., 1984. Velocity model of the Earth's crust along the profile Manevichi Vinnytsia (Ukrainian shield). *Geofizicheskij zhurnal* 6(4), 78—83 (in Russian).
- Il'chenko T. V., 2003. Structure of the crust and upper mantle of the Kirovograd block Ukrainian shield according to the NHS (profiles Babanka—Piatihatki and Cherkassy—New Bug). *Geofizicheskij zhurnal* 25(6), 30—43 (in Russian).
- Il'chenko T. V., Buharev V. P., 2001. Velocity model of the crust and upper mantle Korostensky Pluto (Ukrainian shield) and its geological interpretation (in profile NHS Shepetovka—Chernihiv). *Geofizicheskij zhurnal* 23(3), 72—82 (in Russian).
- Il'chenko T. V., Krjuchenko V. A., 1981. The results of the integrated interpretation of seismic and gravity data on the profile of the NHS-XXV Babanka—Piatihatki. *Geofizicheskij zhurnal* 3(1), 94—104 (in Russian).
- Kaljuzhnaja L. T., 1972. The study of the crustal structure of the Ukrainian shield seismic methods: Abstract of the thesis. Cand. geol. and min. diss. Kiev (in Russian).
- The Kirovograd ore area. Deep structure. Tectonophysical analysis. Ore deposits, 2013. (Eds V. I. Starostenko, O. B. Gintov). Kiev: Prastije ludi, 500 p. (in Russian).
- Krjuchenko V. A., Polovinkin B. V., Tripolsky A. A., 1981. Deep structure of the earth's crust of central part of the Ukrainian shield on the profile of DSS Nykolaev—Kanev *Geofizicheskij zhurnal* 3(2), 82—88 (in Russian).
- Kuprienko P. Ja., Makarenko I. B., Starostenko V. I., Legostaeva O. V., 2007. Three-dimensional density model of the crust and upper mantle of the Ukrainian shield. *Geofizicheskij zhurnal* 29(5), 3—27 (in Russian).
- Lithosphere of Central and Eastern Europe: Geotraverse I, II, V (Ed. V. B. Sologub), 1988a. Kiev: Naukova Dumka, 168 p. (in Russian).

- Lithosphere of Central and Eastern Europe: Geotraverse IV, VI, VIII (Ed. V. B. Sologub), 1988b. Kiev: Naukova Dumka, 168 p. (in Russian).
- Minerals of Ukraine: A Short Guide. (Ed. N. P. Xherbak), 1990. Kiev: Naukova Dumka, 408 p. (in Russian).
- Omel'chenko V. D., Tripolsky A. A., Nosenko A. B., 2008. Velocity heterogeneities and Moho relief section of the Ukrainian shield. *Geofizicheskij zhurnal* 30(6), 113—126 (in Russian).
- Sollogub V. B., 1982. The crust of Ukraine. *Geofizicheskij zhurnal* 4(4), 3—25 (in Russian).
- Sollogub V. B., 1986a. Lithosphere Ukraine. Kiev: Naukova Dumka, 184 p. (in Russian).
- Sollogub V. B., 1986b. Features of the structure of shallow fault zones within the central part of the Ukrainian shield according to the NHS. *Doklady AN USSR. Ser. B.* (12), 15—18 (in Russian).
- Sollogub V. B., Grin' N. E., Gontovaja L. I., 1983. Deep seismic studies of the crust by the reflected waves. *Geofizicheskij zhurnal* 5(2), 3—11 (in Russian).
- Sollogub V. B., Grin' N. E., Drogickaja G. M., 1985. The results of seismic surveys in the area of drilling Krivorozhskaya ultradeep wells. *Geofizicheskij zhurnal* 7(2), 27—36 (in Russian).
- Sollogub V. B., Il'chenko T. V., 1986. Seismic model geotraverse VIII. *Doklady AN USSR. Ser. B.* (12), 15—18 (in Russian).
- Sollogub V. B., Kaljuzhnaja L. T., Gontovaja L. I., Vovchenko E. P., 1970. Crustal structure of the northwestern part of the Ukrainian shield the profile NHS Shepetovka—Chernihiv. *Geofizicheskij sbornik* (is. 35), 3—14 (in Russian).
- Sollogub V. B., Pavlenkova N. I., Chekunov A. V., 1967. The selection criteria crustal faults according to the NHS. In: *Geophysical studies of crustal structure of South-Eastern Europe*. Moscow: Nauka, P. 72—83 (in Russian).
- Sollogub V. B., Tripolsky A. A., 1969. Some data on the deep crustal structure along the profile NHS Taganr—Kirovograd. *Geofizicheskij sbornik* (is. 31), 5—24 (in Russian).
- Sollogub V. B., Chekunov A. V., Tripol'sky A. A., Babinec V. A., 1978. Results of the study of the deep structure of the Ukrainian shield. In: *Structure of the Earth's crust and upper mantle of Central and Eastern Europe*. Kiev: Naukova Dumka, P. 136—147 (in Russian).
- Sollogub V. B., Chekunov A. V., Tripolsky A. A., Kaljuzhnaja L. T., Gontovaja L. I., 1977. Deep structure of the Ukrainian shield from seismic data. In: *Structure of the Earth's crust and upper mantle according to seismic surveys*. Kiev: Naukova Dumka, P. 42—52 (in Russian).
- Starostenko V. I., Pashkevich I. K., Kutas R. I., 2002. Deep structure of the Ukrainian shield. *Geofizicheskij zhurnal* 24(6), 36—48 (in Russian).
- Tektonic map of Ukraine. 1:1000000 (Eds D. S. Gurskij, S. S. Kruglov), 2004. Explanatory note. Kiev: UkrSIGP Publ. (in Ukrainian).
- Tripol'sky A. A., Geyko V. S., Livanova L. P., Tripol'skaja V. A., Tsvetkova T. A., 1988. Seismic model of the crust. Lithosphere of Central and Eastern Europe: Geotraverse IV, VI, VIII. Kiev: Naukova Dumka, P. 13—25 (in Russian).
- Tripolsky A. A., Sharov N. V., 2004. Lithosphere of Precambrian shields of the Northern Hemisphere of the Earth from seismic data. Petrozavodsk: Karelian Res. Centre RAS, 159 p. (in Russian).
- Hain V. E., 1977. Areal structure. Outside of Alpine Europe and West Asia. Moscow: Nedra, 416 p. (in Russian).
- Chekunov A. V., 1976. The earth's crust of the Ukrainian Shield and some important points of becoming the foundation of ancient platforms. *Doklady AN USSR. Ser. B* (10), 893—896 (in Russian).
- Chekunov A. V., 1972. Crustal structure and tectonics of the south of the European part of the USSR. Kiev: Naukova Dumka, 175 p. (in Russian).
- Chekunov A. V., Tripolsky A. A., Geyko V. S., Livanova L. P., Tripol'skaja V. A., Tsvetkova T. A., 1986. Seismic model of the upper lithosphere of the Ukrainian shield. *Doklady AN SSSR* 292(2), 440—443 (in Russian).
- Chekunov A. V., Tripolsky A. A., Kaljuzhnaja L. T., 1993. Lithosphere of Precambrian shields the northern hemisphere from the seismic data. *Geofizicheskij zhurnal* 15(1), 3—23 (in Russian).
- Shherbakov I. B., 2005. Petrology of the Ukrainian shield. Lvov: ZUKTS, 306 p. (in Russian).
- Chekunov A. V., Tripolsky A. A., Kharitonov O. M., 1997. Deep seismic reflection seismography in studying of the Earth's crust of the Ukrainian Shield. *Tectonophysics* 269, 269—278.
- Geyko V. S., 2004. A general theory of the seismic travel-time tomography. *Геофиз. журн.* 26(2), 3—32.
- Grad M., Tripolsky A. A., 1995. Crustal structure from P and S seismic waves and petrological models of the Ukrainian shield. *Tectonophysics* 250, 89—112.
- Grad M., Tripolsky A. A., 1994. Structure of the Ukrainian shield. Part 3: seismic and petrological models of the crust. *Acta Geophys. Pol.* 42(1), 23—44.

- Kulakov I., Kaban M. K., Tessouro M., Cloetingh S.*, 2009. P- and S-velocity anomalies in the upper mantle beneath Europe from tomographic inversion of the ISC-data. *Geophys. J. Int.* 179, 345—366.
- Starostenko V., Kharitonov O., Tripolsky A.*, 1999. Seismic structure of the crust mantle transition zone of the Ukrainian shield. *Acta Geophys. Pol.* 47(2), 185—201.
- Tripolsky A. A.*, 1997. P-wave seismic crustal models of Precambrian shields based on regional seismic data. *Acta Geophys. Pol.* 45(4), 303—332.
- Tripolsky O., Kaluzhnaya L.*, 2001. Deep structure of the Ukrainian shield plutons on the basis of seismic data. *Acta Geophys. Pol.* 49(4), 497—507.