

Комплексная интерпретация сейсмических данных вдоль профиля КМПВ—ГСЗ Синельниково — Чугуев

© Д. В. Лысынчук, Е. В. Коломиец, М. В. Козленко, Ю. В. Козленко, В. Д. Омельченко, А. Т. Калюжная, 2013

Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина
Поступила 28 сентября 2012 г.

Представлено членом реколлегии В. Н. Пулипенко

Виконано комплексну інтерпретацію сейсмічних даних уздовж профілю КМЗХ—ГСЗ Синельниково — Чугуїв. Виявлено, що земна кора вздовж профілю має складну шарувато-блокову будову з відмінностями по всій глибині розрізу в трьох великих структурних елементах — Українському щиті, Дніпровсько-Донецькій западині (ДДЗ) і Воронезькому кристалічному масиві. Осадовий чохол має найбільшу потужність у ДДЗ і складається з двох структурних поверхів: верхнього — шаруватого низькошвидкісного, і нижнього — однорідного високошвидкісного. В земній корі за швидкісними і рефлексивними властивостями виділено верхню і нижню кору, причому параметри розрізу змінюються як за глибиною, так і вздовж профілю. Потужність земної кори 33—40 км. Виділені у верхній мантії відбивні площадки пов'язані з можливою давнішою другою межею Мохо. Основні розломи у верхньому структурному поверсі ДДЗ мають мантієне закладання і, як наслідок, можуть бути каналами для надходження вуглеводнів з глибини в осадовий чохол. Осьова частина мантієного діапіру зміщена на північ відносно центру западини, що може свідчити про переважне розкриття Дніпровсько-Донецького авлакогену в південно-західному напрямку.

The complex interpretation of seismic data along DSS—CMRW profile Sinelnikovo — Chuguev was done. The crust along the profile has found a complex layered-block structure with differences throughout the depth of all section in three major structural elements: Ukrainian Shield, Dnieper-Donets depression (DDD) and the Voronezh Massif. Sedimentary cover is most powerful in the DDD. It consists of two structural floors: upper (divided into layers of low velocity) and homogenous lower with high seismic waves velocities. The earth crust consists of upper and lower parts. Those parts are different in reflective properties and velocity characteristics which are varying in depth and along the profile. The crust's thickness is 33—40 km. The upper mantle reflections may be associated with possible more ancient another Moho boundary. Major structural faults in the upper floor of DDD are laying the mantle and, consequently, can provide the channels for the flow of hydrocarbons from deep parts of the sedimentary cover. Axial part of the mantle diapir is shifted northward relative to the center of the basin, wich suggests preferential southwestern disclosure of the Dnieper-Donets avlakogene.

Вступление. Днепровско-Донецкая впадина (ДДВ) на сегодня является самым перспективным регионом Украины по запасам нефти и газа. Новые методы интерпретации сейсмических данных, которые базируются на компьютерном моделировании распространения упругих колебаний в неоднородной среде, дают возможность более полно изучить глубинное строение и разломную тектонику региона. Профиль Синельниково — Чугуев (XVI), отработанный в 1971—1972 гг. по методике КМПВ — ГСЗ, пересекает ДДВ с юго-запада на северо-восток по западному краю наиболее погруженной части Мироновской впадины, выделенной по поверхности кристаллического фундамента [Атлас...,

1984; Калюжная и др., 2007]. Район исследований представляет собой область сочленения ДДВ со складчатым Донбассом. Это — сложный узел пересекающихся древних глубинных разломов продольного и поперечного направлений по отношению к простиранию палеорифта (рис. 1).

Методика исследований. На основе системы годографов, которые составляют основную часть фактического материала, построено первое приближение модели скоростного строения разреза. При интерпретации этих годографов в большинстве случаев авторы придерживались соответствия годографов границам в среде, которые были определены при их корреляции. Необходимо отметить, что



Рис. 1. Структурная схема с положением профиля Синельниково — Чутуев (XVI). Депрессии II порядка по [Атлас..., 1984]: С — Сребненская, Л — Лютеньская, Ч — Чутовская, Р — Распашновская, М — Мироновская, К — Камышевавская, Д — Дружковская.

отсутствие фактических сейсмограмм в значительной мере осложняет идентификацию осей синфазности.

Первым этапом проведенного исследования было получение скоростной характеристики верхней части разреза посредством программы томографической инверсии первых вступлений сейсмических волн FAST [Zelt, Smith, 1992].

Полученные материалы были использованы для параметризации верхней части сейсмической модели по программе трассировки лучей RAYINVR [Zelt, Barton, 1998]. Это дало возможность получить неплохое совпадение расчетных и наблюдаемых годографов прямых и отраженных волн в осадочном чехле. Данные о распределении скоростей и мощностей слоев в верхней части разреза используются при расчете сейсмических лучей в нижних слоях. Поэтому модель строится сверху вниз и ее качество в значительной мере зависит от качества интерпретации первых вступлений сейсмических волн. С наибольшей точностью и достоверностью определяются элементы модели до глубин, где зафиксированы преломлено-рефрагированные волны, годографы которых однозначно характеризуют скорости распространения продольных волн. Благодаря рекурсивному накоплению ошибок, степень неоднозначности построений увеличивается с глубиной. В нижней коре и верхней мантии она максимальна.

Основой для расчета модели стала система годографов, которая получена традиционным методом корреляции сейсмических фаз. Модель подбиралась так, чтобы обеспечить наибольшую сходимость наблюдаемых и расчетных годографов. В начальной модели скорости в верхней части определялись по годографам

прямой волны. После этого моделировались годографы для нижележащего слоя. Как правило, сначала по рефрагированной волне рассчитывалась скорость в определенном слое, после чего определялась его мощность по отраженной волне. Такая последовательность сохранялась, начиная с поверхностных слоев и заканчивая глубинными. При этом, конечно, только закритические отражения имеют достаточную интенсивность, чтобы их можно было выделить в волновом поле. Изменения в модель вносились на основе сравнения наблюдаемых и расчетных годографов. Эта итерационная процедура проводилась до тех пор, пока не удавалось достичь необходимого совпадения (в пределах 100 мс). Для большинства выделенных осей синфазности сейсмических волн получены расчетные кривые с расхождением порядка 0,1 с, которое является общепринятым в международной практике интерпретации данных ГСЗ и свидетельствует о достоверности модели.

Исследования позволили определить сейсмические скорости вдоль профиля на различных глубинах и очертить геометрию отражающих горизонтов в земной коре и верхней мантии. В результате были выявлены аномальные зоны в распределении скоростей в верхней части земной коры в районе Украинского щита (УЩ), а также в нижней коре и верхней мантии под ДДВ. Следует отметить, что интерпретация данных ГСЗ, которая базируется на моделировании отраженных и рефрагированных волн лучевым методом, не позволяет точно определить форму и природу образования таких аномальных зон.

При комплексной интерпретации сейсмических данных вдоль профиля ГСЗ № 25 (Черное море) была впервые применена новая методика определения тектонических элементов по особенностям волновой картины томографического разреза [Козленко и др., 2009]. Используя критерии, описанные в указанной работе, на изучаемом профиле были определены зоны нарушений. На скоростных моделях разломы глубинного заложения выделялись по перегибам изолиний скоростей, а также по изменениям положений отражающих площадок.

Фактические данные. Система наблюдения состоит из 19 пунктов возбуждения сейсмических волн, расстояние между пунктами взрыва составляло 10—40 км, максимальное отдаление взрыв—прибор 200 км (рис. 2, а). Вдоль профиля, где проводилось исследование, зафиксированы как встречные, так и нагоняющие годографы преломленных и широкоугольных

отраженных волн в обоих направлениях от пункта возбуждения. Коровые преломленные волны на расстоянии 170—200 км сменяются преломлено-рефрагированными волнами от границы Мохо. На рис. 2, б приведены сведенные годографы отраженных и рефрагированных волн вдоль всего профиля на участке в 305 км. Годографы зарегистрированных волн заданы на 4024 точках.

В сейсмических записях уверенно прослеживаются отраженные и рефрагированные волны от кровли и подошвы консолидированного фундамента P_{K1} и P_M , а также волны от выдержанных горизонтов внутри кристалли-

ческой коры P_{Kn} . Самый сложный характер волновая картина имеет в прибортовых частях впадины, где в последующих вступлениях регистрируются локальные волны с аномально высокими амплитудами и короткими осями синфазности. Эти волны, как правило, соответствуют зонам разрывных нарушений. Волна P_M появляется на расстояниях 65—100 км от пункта взрыва и регистрируется до максимальных удалений в 200—230 км. В приведенных границах эти волны доминируют по интенсивности и уверенно коррелируются.

Томографическая инверсия первых вступлений сейсмических волн. Расчет проводился

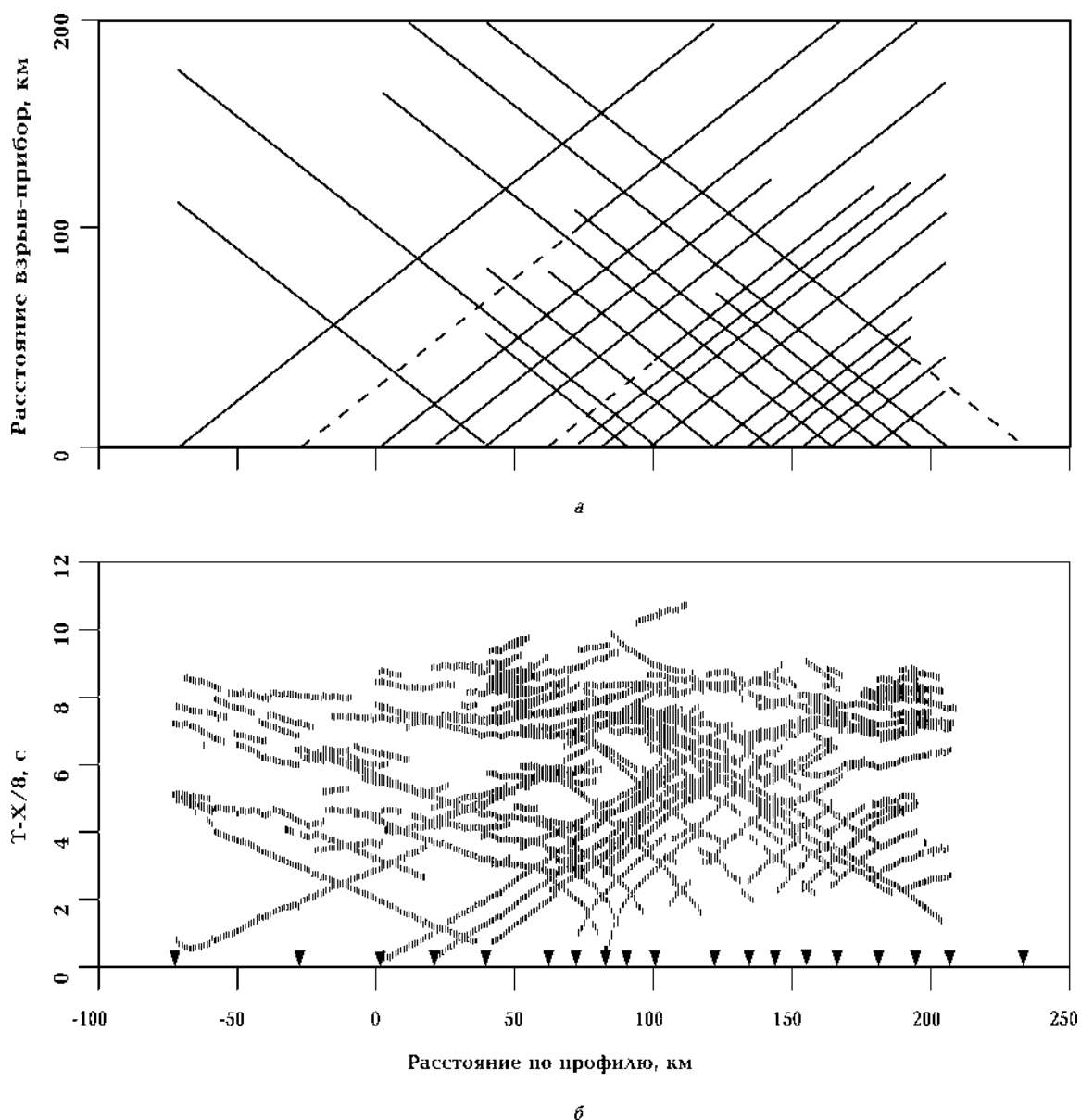


Рис. 2. Система наблюдений по профилю (а) и годографы зафиксированных волн (б).

на сетке с расстояниями между узлами 5 км по профилю и 1 км по глубине. Наилучшие результаты с минимальными разногласиями в расчетных и наблюдаемых годографах получены после пяти итераций (рис. 3).

В районе УЩ от ПК -70 до ПК 20 выявлено более-менее равномерную по скорости продольных сейсмических волн толщу пород со скоростями 6,0—6,2 км/с. На южном краю профиля на глубине 5 км наблюдается зона понижения скорости во вмещающих породах порядка 0,1 км/с, которая прослеживается с некоторым углублением под южным бортом ДДВ. От ПК -30 до ПК 0 зона снижения скорости прервана масштабным по глубине участком с повышенной по сравнению с окружающей средой скоростью 6,2 км/с. На этом отрезке профиля в приповерхностной части разреза (на глубине 2 км) наблюдается участок уменьшения скоростей до 5,9 км/с. В этом районе данный профиль пересекает Синельниковскую зеленокаменную структуру, которая входит в состав Приднепровского палеосвода в рифтогенный горячий пояс Восточно-Европейской платформы. Эта структура была выявлена ранее по аналогии с Конкской, Верховцевской, Сурской и другими зеленокаменными элементами палеосвода, которые по данным ГСЗ характеризуются поднятиями раздела Мохо [Соллогуб и др., 1983].

В ДДВ скорости распространения продольных волн растут от 3,6—3,8 км/с в приповерхностной части до 6,4 км/с на глубине прибли-

зительно 12 км. Изолинии скоростей выявляют структуры, которые могут быть связаны с соляными диапирами. В целом же в ДДВ на данном профиле наблюдается спокойный градиентный рост скоростей продольных волн с глубиной. На южном склоне Воронежского массива (ВМ) также получен градиентный рост скоростей с глубиной до 6,2 км/с на глубине 12 км.

На томографическом разрезе в осадочной толще ДДВ и верхней части коры УЩ до глубины около 12 км было выделено несколько зон усложнения волновой картины. Зона от ПК -30 до ПК 0 выделяется по ундуляциям изолинии скорости 6,2 км/с. Она соответствует Синельниковской зеленокаменной структуре. На ПК 35—53 в пределах южного борта впадины отмечаются две группы изгибов изолиний. Северная, в интервале значений 5,4—6,0 км/с, пересекает подошвы верхнего и нижнего осадочных комплексов и выходит в кристаллическое основание. Южная охватывает изолинии 5,2—6,2 км/с и приурочена к точке резкого перегиба линии раздела структурных этажей осадочного чехла. В консолидированном фундаменте на ПК 57 выделяется субвертикальная аномалия скорости, в ядре которой значение V_p превышает 6,4 км/с. В центральной части ДДВ на глубине 2—10 км отмечено три зоны, связанные с кровлей нижнего осадочного комплекса.

Скоростная модель. Полученная скоростная модель состоит из девяти границ раздела первого рода, которые соответствуют основ-

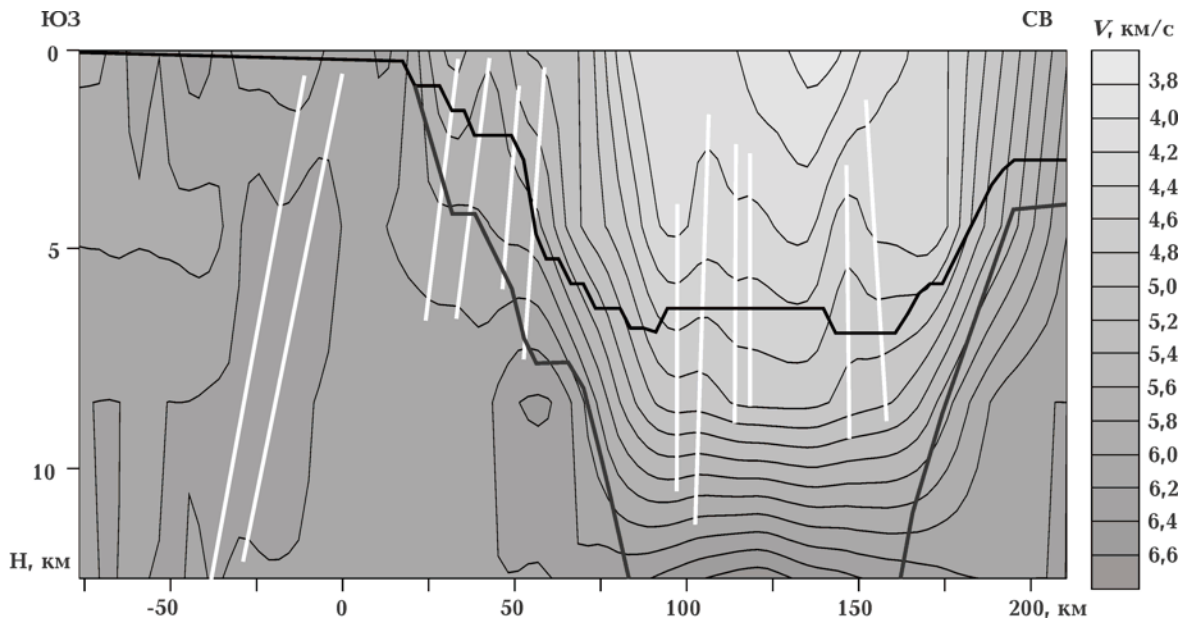


Рис. 3. Томографическая инверсия первых вступлений сейсмических волн. Белыми линиями обозначены оси ундуляций изолиний скорости, черными жирными — подошвы верхнего и нижнего осадочных комплексов.

ным структурным элементам разреза. Границы задавались на 256 точках и двух отражающих площадках. Распределение скоростей продольных волн задано в 244 точках среды. На рис. 4 приведены примеры расчетных годографов и ход лучей для 1, 10 и 19-го пунктов взрыва. В верхней части рисунка показаны расчетные лучи и положения границ раздела в разрезе, а в нижней — расчетные (сплошные линии) и наблюденные (штрихи) годографы отраженных и рефрагированных волн.

Исследования позволили определить сейсмические скорости вдоль профиля на разных глубинах (до 60 км) и очертить геометрию отражающих горизонтов в земной коре и верхней мантии. Выявлены аномальные зоны в распределении скоростей в верхней части земной коры в районе УЩ, а также в нижней коре и верхней мантии под ДДВ.

В скоростной модели (рис. 5) легко выделяются три разные по скоростной структуре блока: юго-западный, центральный и северо-восточный. Они, в свою очередь, коррелируются с северным склоном УЩ, ДДВ и южным склоном ВМ.

Осадочный чехол в южной части профиля имеет минимальную мощность менее 0,5 км, которая постепенно увеличивается к северу до 2 км в районе ПК 50. Наибольшая мощность осадков порядка 16 км определена в центральной части ДДВ (в Мироновской впадине). В северной части профиля за пределами Днепровско-Донецкого авлакогена мощность осадочных отложений опять уменьшается до 2 км и менее. В ДДВ в осадках выделено два структурных этажа: верхний со скоростями 3,8—4,8 км/с, в котором отмечаются субгоризонтальные отражающие площадки, и нижний со скоростями 5,0—6,2 км/с.

Подшва осадочного чехла в ДДВ в пределах профиля практически горизонтальна с небольшим, порядка 0,5 км, антиклинальным подъемом в осевой части впадины. За кровлю консолидированного фундамента принята поверхность докембрийских отложений в бортовых частях ДДВ со скоростью распространения продольных волн порядка 6,0 км/с и сейсмическая граница 6,2 км/с в центральном районе (ПК 86—ПК 160), которая характеризует кровлю рифейского комплекса пород. Глубина залегания этой границы изменяется от нулевых отметок в пределах УЩ до примерно 16 км в центральной, наиболее погруженной, части впадины. В юго-западной части разреза погружение фундамента происходит в результате измене-

ния углов наклона его поверхности в местах малоамплитудных разрывных нарушений. В пределах северо-восточного борта поверхность фундамента осложнена серией разрывных нарушений типа сбросов, обуславливающих ее наклонное и ступенеобразное залегание. Отсутствие выдержанного отражающего горизонта по кровле фундамента свидетельствует о серии разрывных нарушений, которые осложняют строение осадочного чехла.

Структура земной коры существенно изменяется вдоль профиля и имеет сложное блочное строение. На юге профиля, на участке УЩ в верхней коре до глубин 20—25 км зарегистрированы три отражающих горизонта со скоростями 6,0—6,7 км/с. Отражающие площадки расположены субгоризонтально и уверенно прослеживаются на нагоняющих и встречных годографах для различных пунктов взрыва. Наибольший интерес вызывает латеральный градиент скорости в двух нижних слоях верхней коры, залегающих на глубинах 7—13 и 13—22 км соответственно. В районе от ПК -40 до ПК -12 скорость сначала возрастает, а дальше вдоль профиля на участке ПК 0—20 значения V_p уменьшаются, при этом изолинии образуют несколько асимметричную форму с более крутыми углами наклона на южной стороне и покатыми со стороны ДДВ. Сложная глубинная структура земной коры этого участка профиля, высокоскоростная неоднородность и четкий подъем всех глубинных горизонтов, включая раздел Мохо, по-видимому, можно увязать с образованием Синельниковской зеленокаменной структуры.

Под ДДВ верхняя кора теряет свои отражательные свойства. Отражающие площадки на этом промежутке сгруппированы в нижней части верхней коры. Глубина подошвы последней постепенно уменьшается от 26 км на ПК 75 до 20 км на ПК 175. Верхняя часть этой толщи характеризуется умеренным градиентным ростом скорости от 6,2 до 6,3 км/с и однородным по латерали строением. Нижняя часть фундамента имеет намного более сложную структуру, что характеризуется рядом отражающих площадок и значительным градиентом скорости от 6,3 до 7,0 км/с на глубине 22—25 км.

На участке ВМ скорости в верхней коре постепенно увеличиваются от 5,5 до 6,3 км/с, а ее подошва залегает на глубинах 18—20 км, постепенно поднимаясь в северном направлении. Толща более однородна по латерали, но содержит горизонтальные и наклонные отражающие границы.

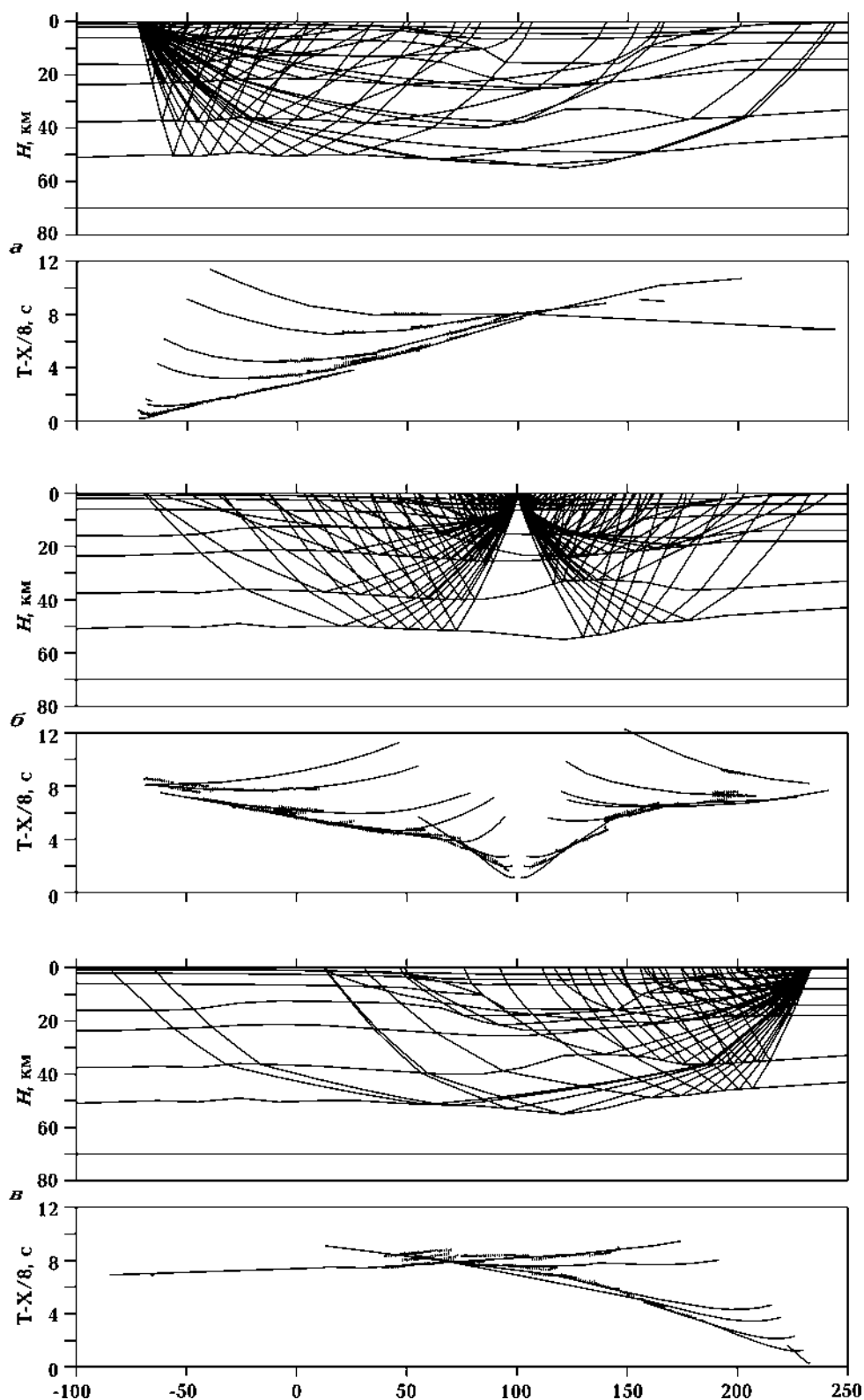


Рис. 4. Примеры лучевой трассировки вдоль профиля: а — ПВ -72,5; б — ПВ 100; в — ПВ 233.

Кровля нижней коры четко прослеживается вдоль всего профиля на глубинах порядка 22 км в пределах УЩ и 26 км под южной частью ДДВ,

поднимаясь до 18 км под ВМ. В большей части нижней коры скорости продольных волн составляют 6,8 — 7,0 км/с на УЩ и 7,0—7,3 км/с

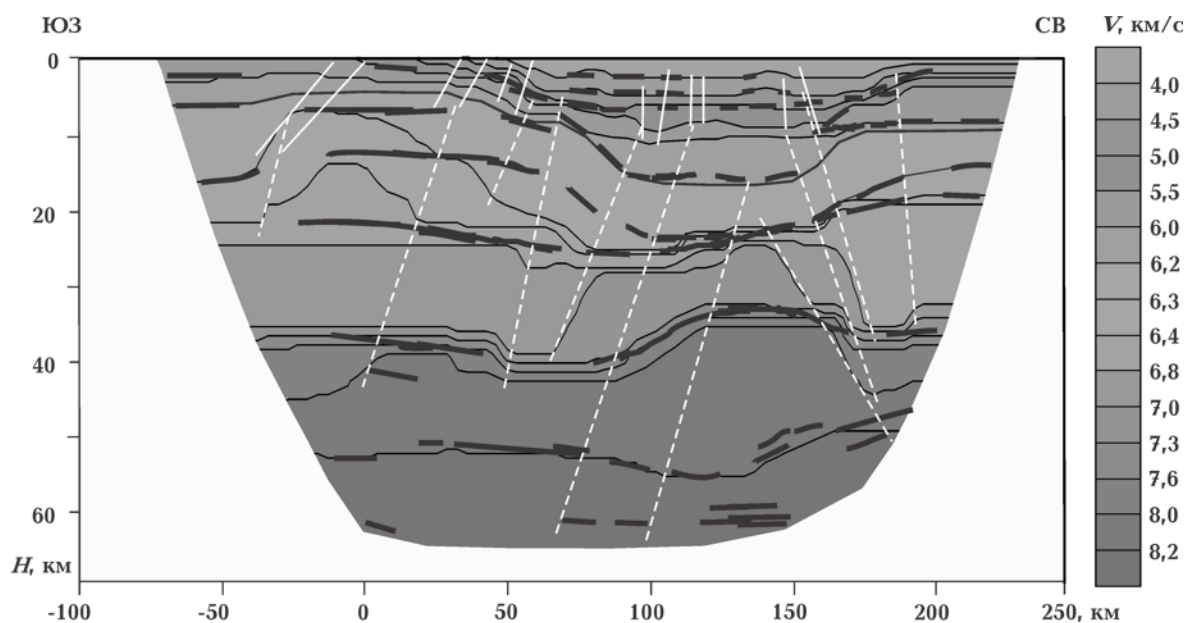


Рис. 5. Скоростная модель строения земной коры и верхней мантии вдоль профиля. Черными жирными линиями обозначены отражающие площадки, белым пунктиром — разломы, определенные по сейсмическим характеристикам; белыми сплошными — зоны нарушений, выделенные по томографии (см. рис. 3).

в районе ДДВ. В направлении ВМ значения V_p градиентно уменьшаются до 6,4—6,8 км/с.

Вдоль всего профиля отражения от подошвы земной коры (поверхности Мохо) формируются в мощной, порядка 3—5 км, зоне со значительным градиентным увеличением скорости. Это обусловлено тем, что сейсмические записи отражений от раздела Мохо имеют вид многофазных колебаний с большой, около 1 с, длительностью по времени. На УЩ эта граница представлена изолиниями 7,0—7,6 км/с на глубинах 35—38 км. Верхняя часть южного склона ДДВ характеризуется значениями $V_p=7,0\div 8,0$ км/с, причем мощность коры возрастает в северном направлении на 4 км. В районе впадины граница Мохо (градиентная зона 7,3—8,0 км/с) поднимается до 33—35 км, что, вероятно, является следствием подъема мантийного диапира, обусловившего образование Днепровско-Донецкого авлакогена. В пределах верхней части северного склона авлакогена и Воронежского массива изолинии 6,8—7,6 км/с, определяющие кровлю мантии, залегают на глубинах 35,5—38,5 и 32,5—38,0 км соответственно.

В верхней мантии уверенно следится отражающий горизонт, который постепенно углубляется с 51 км на южном борту впадины до 55 км на ПК 120, а затем опять поднимается до 47 км на краю ВМ. Он характеризуется антиморфной формой рельефа по отношению к

подошве коры. Данный отражающий горизонт объясняется многими исследователями [Трипольский и др., 2012; Оровецкий и др., 1997] как второй Мохо (М2) или двойной Мохо, поскольку динамические признаки сейсмических записей похожи по характеру на отражения от указанной границы. Участок разреза ПК 115—160, расположенный между двумя региональными разломами амплитудой 12 и 7 км соответственно, характеризуется минимальной мощностью земной коры и в то же время максимальной мощностью переходной зоны кора—мантия.

На ПК 0—100 на глубине порядка 60 км зафиксировано несколько разрозненных отражающих площадок. В осевой части ДДВ на этой глубине отражающие площадки собраны в пачку мощностью 3 км.

Разломная тектоника вдоль профиля. На сейсмической модели (рис. 5) были выделены разломы, сопоставленные с определенными на томографическом разрезе (см. рис. 3) осями ундуляций изолиний скорости, которые, согласно [Козленко и др., 2009], также маркируют зоны тектонических нарушений. Область нарушения волновой картины в пределах Синельниковской зеленокаменной структуры, отмеченная на рис. 3, в модели приурочена к резкому подъему изолинии 6,3 км/с на глубинах 7—15 км. На большую глубину это нарушение трассируется по изменению гипсометрии линии $V_p=6,4$ км/с, но с гораздо большим углом

падения. Разломная зона на ПК 35, выделенная по томографии вплоть до фундамента, также уверенно прослеживается в консолидированной коре по северному ограничению сводообразного поднятия указанных изолиний скорости. На эту же линию выходят края отражающих площадок на глубинах 7 и 41 км. Последняя площадка расположена ниже изолинии $V_p=8,0$ км/с. Таким образом, можно предположить, что эта дислокация имеет мантийное заложение. Аналогично с предыдущим, данный разлом в кристаллическом основании становится более крутопадающим.

Выделенная на томографическом разрезе зона нарушений на ПК 53 на сейсмической модели в фундаменте не прослеживается, т. е. она действительно ограничена осадочным чехлом. В то же время на рис. 5 в верхней части консолидированной коры проявляется разлом, совпадающий с высокоскоростной аномалией на ПК 57 (см. рис. 3). Несколько северо-восточнее четко трассируется трансоровый дизъюнктив, на который с юга на глубине 10 км выклинивается верхний этаж консолидированной коры УЩ, а с севера — рифейский осадочный комплекс ДДВ.

Южный край Днепровско-Донецкого рифта в сейсмической модели проявляется резким (более, чем на 10 км) подъемом изолинии 7,0 км/с. Не исключено, что он маркирует нарушение, которое прослеживается вплоть до подошвы верхнего осадочного комплекса. В пользу разломной природы данной дислокации свидетельствует различное строение кристаллического основания по обе стороны от нее, в частности фактическое выклинивание с юга нижнего этажа фундамента со скоростями 6,3—7,0 км/с. В осадочном чехле данный разлом продолжается зоной нарушений, выделенной по данным томографии на ПК 100. Примерно в 15 км севернее проходит практически параллельная дислокация, но более глубокого заложения, которая ограничивает с юга мантийный диапир в основании ДДВ. Так же, как и предыдущий, данный разлом трассируется в палеозойских отложениях на томографическом разрезе.

Ось рифтогена, которая определяется максимально высоким положением изолиний скоростей от 7,0 до 8,0 км/с, с двух сторон ограничена дислокациями, погружающимися от центра к краям. Эти разломы, прослеживающиеся от глубины свыше 50 км, возможно, достигают подошвы осадочного чехла, но в нем не отражаются.

Северный борт диапира контролируется двумя разломами, имеющими северное падение. Они располагаются эшелонировано — первый из них начинается в мантии на глубине 45 км, пересекая консолидированную кору и почти весь нижний осадочный комплекс до глубины 10 км. Данное нарушение с севера ограничивает блок, в котором отсутствует нижний этаж кристаллического фундамента, а с юга на него выклинивается маломощная прослойка средней части коры со средней скоростью 6,5 км/с, толщина которой возрастает в сторону ВМ. Второй дизъюнктив приурочен к резкому изменению гипсометрии изолинии $V_p=6,8$ км/с и простирается от кровли мантии на глубине 37 км до верхнего осадочного горизонта включительно, достигая глубины 5 км. Он является разграничением собственно ДДВ и ее борта, на него выклинивается верхний этаж консолидированной коры ВМ. В томографическом разрезе указанным разломам соответствует зона нарушений на ПК 147—156.

В верхней части южного борта ДДВ прослеживается еще один дизъюнктив, пересекающий почти всю кору от ее подошвы до глубины 2 км.

Выделение зон нарушений по томографической инверсии первых вступлений сейсмических волн и лучевому моделированию показывает их хорошую корреляцию — практически все разломы, определенные по одному методу, находят отражение и в другом. Однако можно отметить некоторые особенности: в пределах УЩ дислокации на томографическом разрезе более пологие, чем в сейсмической модели, тогда как в ДДВ — закономерность обратная.

Выводы. 1. Земная кора на профиле Синельниково — Чугуев имеет сложное слоистоблоковое строение с различиями по всей глубине разреза в трех крупных структурных элементах — УЩ, ДДВ и ВМ.

2. Осадочный чехол, который представляет особый интерес в связи с имеющимися залежами нефти и газа, имеет наибольшую мощность в ДДВ и состоит из двух структурных этажей: верхнего — слоистого и нижнего — высокоскоростного.

3. В земной коре по скоростным и рефлективным свойствам выделяются верхняя и нижняя кора, причем параметры разреза изменяются как по глубине, так и вдоль профиля.

4. Отражения от кровли нижней коры на участке ДДВ и ВМ и по всей длине Мохо формируются на промежутках с большим градиентным ростом скорости продольных волн. Мощность этих слоев составляет 3—5 км.

5. Мощность земной коры составляет 33—40 км.

Переход кора—мантия имеет сложное строение, высокоскоростные границы характеризуют разноглубинность раздела Мохо, обусловленную мощными преобразованиями земной коры в ходе геологической эволюции. Выделенные в верхней мантии отражающие площадки связаны с возможной более древней второй границей Мохо.

6. Основные разломы в верхнем структурном этаже ДДВ имеют мантийное заложение и, как следствие, могут являться подводящими каналами для поступления углеводородов с глубины в осадочный чехол.

7. Осевая часть мантийного диапира смещена к северу относительно центра впадины, что может свидетельствовать о преимущественном раскрытии Днепровско-Донецкого авлакогена в юго-западном направлении.

Список литературы

- Атлас геологического строения и нефтегазоносности Днепровско-Донецкой впадины.* — Киев: УкрНИГРИ, 1984. — 190 с.
- Калюжная Л. Т., Коломиец Е. В., Омельченко В. Д., Лысынчук Д. В.* Скоростная модель строения земной коры вдоль профиля КМПВ—ГСЗ Синельниково—Чугуев // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики. — Київ, 2007. — С. 95—105
- Козленко М. В., Козленко Ю. В., Лысынчук Д. В.* Глубинное строение земной коры западной части Черного моря по результатам комплексной переинтерпретации геофизических данных по профилю ГСЗ № 25 // Геофиз. журн. — 2009. — **31**, № 6. — С. 77—91.
- Оровецкий Ю. П., Красовский С. С., Калюжная Л. Т., Куприенко П. Я.* Строение и эволюция земной коры Приднепровского палеосвода Украинско-го щита // Геофиз. журн. — 1997. — **19**, № 4. — С. 61—69.
- Соллогуб В. Б., Калюжная Л. Т., Василик М. С., Кононова С. Н.* Структура земной коры по профилю Синельниково—Чугуев в юго-восточной части Днепровско-Донецкой впадины // Изв. АН СССР, сер. геол. — 1983. — № 12. — С. 3—13.
- Трипольский А. А., Калюжная Л. Т., Трипольская Е. А.* Прогнозирование возможных сейсмогенных зон в Днепровско-Донецком палеорифте // Геофиз. журн. — 2012. — **34**, № 1. — С. 95—105.
- Zelt C. A., Smith R. B.* Seismic travelttime inversion for 2-D crustal velocity structure // Geophys. J. Int. — 1992. — **108**. — P. 16—34.
- Zelt C. A., Barton P. J.* Three-dimensional seismic refraction tomography: a comparison of two methods applied to data from the Faeroe Basin // J. Geophys. Res. — 1998. — № 103. — P. 7187—7210.