

УДК 552.1:551.14(477)

© В.А. Корчин, П.А. Буртный, Е.Е. Карнаухова, 2010

*Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины,  
г. Киев*

## **ТЕРМОБАРИЧЕСКОЕ ПЕТРОФИЗИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА ГЛУБИННЫХ ГОРИЗОНТОВ ЛИТОСФЕРЫ ПРИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ МАТЕРИАЛОВ ГЛУБИННОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ**

Рассмотрены некоторые особенности методических приемов петроскоростного термобарического моделирования. Приведены примеры прогнозной оценки распределения с глубиной горных пород некоторых участков земной коры Украинского щита вдоль отдельных профилей глубинного сейсмического зондирования.

**Ключевые слова:** упруго-плотностные характеристики, высокие *PT*-параметры, петроскоростное термобарическое моделирование.

При прогнозировании геологической среды на глубину определяющими параметрами служат региональные данные глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ) и гравиметрии, а также скоростные и плотностные характеристики горных пород различных комплексов, отобранных в верхних горизонтах изучаемых площадей, исследованных в лабораторных глубинных *PT*-условиях. Поэтому правильнее интерпретировать полученную геолого-геофизическую информацию возможно лишь на основании комплексного подхода, который включает и петрофизическое моделирование.

Петрофизическое моделирование основано на дифференциации минеральных сред по физическим параметрам в зависимости от их петрологических характеристик, в том числе состава, генезиса и других факторов. Анализ причин дифференциации физических свойств в пределах одноименных петрографических групп связан с особенностями корреляции физических свойств со структурно-вещественными признаками. При наличии их закономерных связей можно прогнозировать природу соответствующих геологических объектов учитывая степень геолого-петрофизической информативности используемых данных. Корреляция свойств по структурно-вещественным признакам служит основным условием петрофизической классификации пород. Результаты эксперимен-

тального изучения комплекса физических параметров минерального вещества конкретных геологических структур в модельных *PT*-условиях – это основа для более однозначной интерпретации результатов геофизических наблюдений и построения петроскоростных моделей литосферы [1–12]. Такие исследования позволяют получать принципиально новую и весьма ценную информацию об особенностях изменений упругих параметров минерального вещества в термобарических режимах, которые на данном этапе развития экспериментальных исследований могут быть наиболее приближены к реальным *PT*-условиям недр. Благодаря использованию этого метода стало возможным в сжатые сроки исследовать в разных *PT*-режимах физические характеристики большого количества образцов изверженных и метаморфических пород.

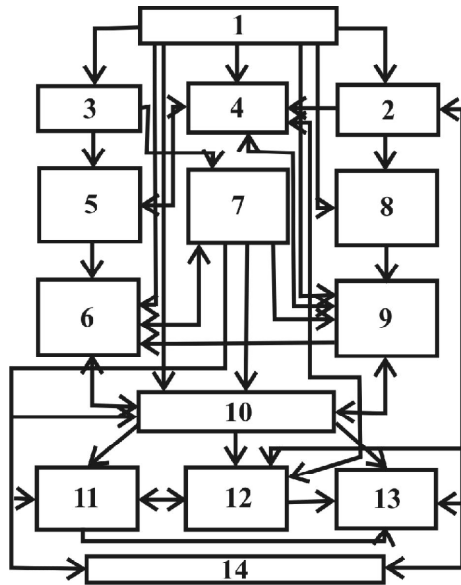
В основу составления программ положены данные о распределении давления с глубиной, рассчитанного по средним значениям плотности пород в глубинных зонах земной коры и возможного строения конкретных геологических провинций. Распределение значений температуры на разной глубине рассчитано по материалам геотермического изучения соответствующих районов. Составлены *PT*-программы для различных районов Украинского щита [1–5, 12].

Рассмотрим некоторые особенности методических приемов петроскоростного термобарического моделирования. На первом этапе проводится анализ материалов ГСЗ вдоль имеющихся геотраверсов, разбитых на блоки с построением соответствующих скоростных колонок и выделение разноградиентных участков. Затем – подбор поверхностных аналогов глубинных минеральных образований с учетом априорной геолого-геофизической информации об исследуемом регионе и выявленных наиболее характерных пород на поверхности вдоль отдельных участков профиля. Образцы пород изучают в программных *PT*-условиях, соответствующих их распределению в земной коре исследуемого профиля. Далее, путем сопоставления скоростных характеристик образцов конкретных разностей пород и данных ГСЗ на отдельных горизонтах подбирают породы с близкими значениями скорости и её изменениями при высоких *PT*-параметрах, аналогичными изменениям сейсмических скоростей с глубиной. Таким образом осуществляется трансформация сейсмического разреза в литологический [1, 2, 6–8, 11, 12].

Остановимся подробнее на этапах моделирования, которые в ходе многолетних исследований постоянно уточнялись, а последовательность выполнения этапов совершенствовалась. Ниже приведена оптимальная

Рис. 1. Термобарическое моделирование состояния и вещественного состава земной коры (объяснение в тексте)

блок-схема мелкомасштабного петроскоростного глубинного структурного моделирования (рис. 1). На этом варианте блок-схемы отрезки с одной стрелкой указывают на пути обработки, направленность и последовательность перехода информации от блока к блоку. Отрезки, ограниченные двумя стрелками, указывают на возможность неоднократного возврата информации при многоциклическом моделировании с использованием метода последовательных приближений [1, 2, 6–12].



Содержание блоков предлагаемого комплекса исследований, объединенных в рамках предложенной схемы (рис. 1) таково:

- 1) изучение структурно–тектонических особенностей региона; выделение основных групп пород, формирующих геологическую среду; последующее ее расчленение на отдельные блоки;
- 2) анализ априорной геолого-геофизической информации, с учетом данных о глубинной термодинамической обстановке;
- 3) отбор коллекции образцов пород изучаемого региона, включая возможные глубинные аналоги (на основании информации блоков 1, 2);
- 4) составление вариантов программ экспериментального изучения на основании прогнозирования распределения с глубиной  $P$  и  $T$  (по материалам геотермии и гравиметрии) и их последующее использование при экспериментальных исследованиях образцов горных пород в аппаратах высокого давления-температуры;
- 5) изучение в разных термобарических условиях упругих и плотностных параметров по образцам коллекций пород;
- 6) статистическая обработка и анализ результатов лабораторных опытов;
- 7) комплексная обработка петрологической информации и экспериментальных данных; поиск корреляционных зависимостей между соот-

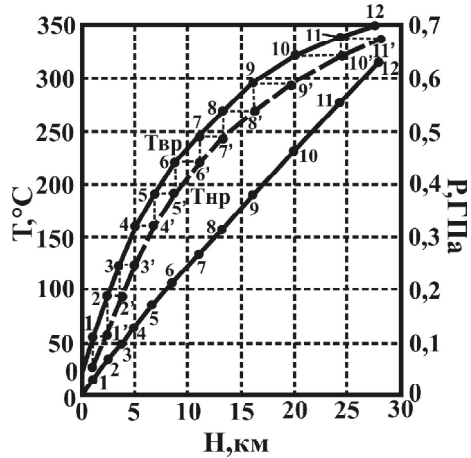
- ветствующими параметрами; составление рабочих палеток или таблиц;
- 8) анализ материалов полевых геофизических наблюдений (прежде всего ГСЗ); построение скоростных разрезов по блокам и слоям вдоль соответствующего профиля;
  - 9) сопоставление результатов лабораторных петроскоростных *PT*-исследований с сейсмической информацией; комплексная первичная интерпретация;
  - 10) построение литологической модели возможного распределения с глубиной поверхностных аналогов глубинных пород на основании системного анализа соответствующей информации (блоки 1, 2, 6, 7 и 9);
  - 11) реконструкция на основании литологической модели (блок 10) петроскоростных разрезов ( $V_p$ ,  $V_s$ ) по экспериментальным данным (блоки 6, 7);
  - 12) построение плотностного разреза с последующей циклической корреляцией аномалий гравитационного поля со скоростным и вещественным разрезами;
  - 13) создание и анализ моделей распределения с глубиной упруго-прочностных характеристик (модули Юнга и сдвига, коэффициент Пуассона, сжимаемость и др.) минерального вещества по отдельным блокам; сопоставление с первичной геофизической информацией;
  - 14) построение комплексных петроскоростных разрезов, в основу которых положены данные экспериментальных *PT*-исследований и информация, накопленная в блоках 10–13 [6–12].

При отсутствии профилей ГСЗ, т. е. глубинной скоростной информации, в петроплотностном моделировании используют первичную информацию о распределении гравитационного поля в изучаемом регионе и данные об изменении плотности пород с глубиной. Необходимое условие при этом – наличие пересечений гравитационных профилей с петроскоростными моделями, построенными с учетом сейсмической информации.

Предложенная блок-схема петроскоростного моделирования применима также при разработке соответствующих алгоритмов автоматизированных методов построения петрофизических моделей литосферы с использованием экспериментальной *PT*-информации о физических свойствах различных пород и региональной геолого-геофизической изученности.

Отметим некоторые особенности этапов моделирования. В ходе исследований региональные коллекции отобранных горных пород предва-

Рис. 2. Программы изменения в аппарате экспериментальной установки давлений ( $P$ ) и температуры ( $T$ вр – высоко,  $T$ нр – низкотемпературный режим). 1–12 –  $P$  и 1–12', 1'–12' –  $T$  – значения давления и температуры в опытах при измерении скоростных и плотностных параметров



рительно экспериментально исследуются при атмосферном давлении и комнатной температуре. Определяются скорости распространения упругой волны продольной ( $V_p$ ) и поперечной ( $V_s$ )

поляризации, а также их плотность. Затем наиболее характерные из них (по этим параметрам) исследуются при гидростатическом давлении до 0,5–0,6 ГПа.

После статистической обработки данных о распределении скоростей упругих волн в образцах при атмосферном давлении и влиянии высокого гидростатического, осуществляется подбор группы образцов, которые исследуются в условиях одновременного воздействия  $P$  и  $T$ . В этих опытах давление и температура, как отмечалось выше, изменяются по  $PT$ -программам возможного регионального изменения этих параметров с глубиной. Пример такой программы показан на рис. 2. Соответственно условиям эксперимента, образец породы как бы постепенно “погружается” на заданную глубину, при этом одновременно измеряются значения  $V_p$ ,  $V_s$  и декремент объема.

Сопоставляя данные глубинного сейсмического зондирования с материалами экспериментального  $PT$ -изучения скоростных характеристик различных пород исследуемого района, с учетом общей региональной геолого-геофизической информации, осуществляется построение первого варианта модели распределения аналогов поверхностных пород с глубиной (первая литологическая модель).

На втором этапе модельные построения петроскоростных конструкций дополняются петроплотностными характеристиками. При этом используются материалы гравиметрии и экспериментальные  $PT$ -зависимости плотности пород. Модельные построения согласовываются со структурой отражающих площадок, расположением разломных зон и пр. Таким образом, на втором этапе уточняется геологическое строение,

положение вертикальных и горизонтальных границ блоков, их вещественный состав. Подобные литологические модели затем используют для создания комплексных петрофизических (геотермических, геоэлектрических, геомагнитных и др.) моделей земной коры, которые сопоставляют с наблюдаемыми, дополняющими их геофизическими полями, уточняя глубинное строение исследованного региона.

Сейсмические разрезы в пределах Украинского щита (УЩ) в большинстве случаев фиксируют горизонтально-блоковые структуры коры, которые отражают геолого-тектоническое строение исследуемых районов. Выделенные блоки характеризует определенный скоростной разрез, на котором наблюдаются скачки скорости, а иногда выделяются положительные или отрицательные равноградиентные по скорости участки. В упрощенном виде эти блоки можно рассматривать как элементы вертикального расслоения геологической среды. Каждому блоку и составляющим его слоям присуще своё среднее значение  $V_p$ . Иными словами, вертикальная зональность, выявленная по результатам сейсмических исследований представлена в виде скачков абсолютных значений скорости и существенным изменением с глубиной. Стабильные по величине градиентов скорости слои можно рассматривать как зоны определенного состава. Изменения  $V_p$  в этом случае обусловлены эффектами воздействия на минеральную среду  $P$  и  $T$ . В некоторых случаях на сейсмических разрезах выделяются зоны инверсии скорости продольных волн. Опыты показали, что зависимости  $V_p, V_s = f(PT) = f(H)$  имеют сложные закономерности – на кривых отмечаются зоны инверсии скоростей с проявлением максимумов и минимумов.

Ниже приведен пример трансформации данных ГСЗ вдоль одного из профилей центральной части УЩ в информацию о распределении конкретных кристаллических пород по разрезу после выполнения соответствующего комплекса исследований согласно приведенной выше блок-схеме.

Для построения петроскоростной модели был использован синтетический геолого-геофизический профиль 3–3', пересекающий Ингуло-Ингулецкий район в субширотном направлении (рис. 3), где представлены усредненные сейсмические характеристики отдельных блоков в виде синтезированных скоростных разрезов. Вдоль указанного профиля была отобрана коллекция образцов пород и подробно изучены их скоростные характеристики в разных  $PT$ -условиях. Предполагалось, что отобранные минеральные ассоциации с наибольшей вероятностью могут фор-

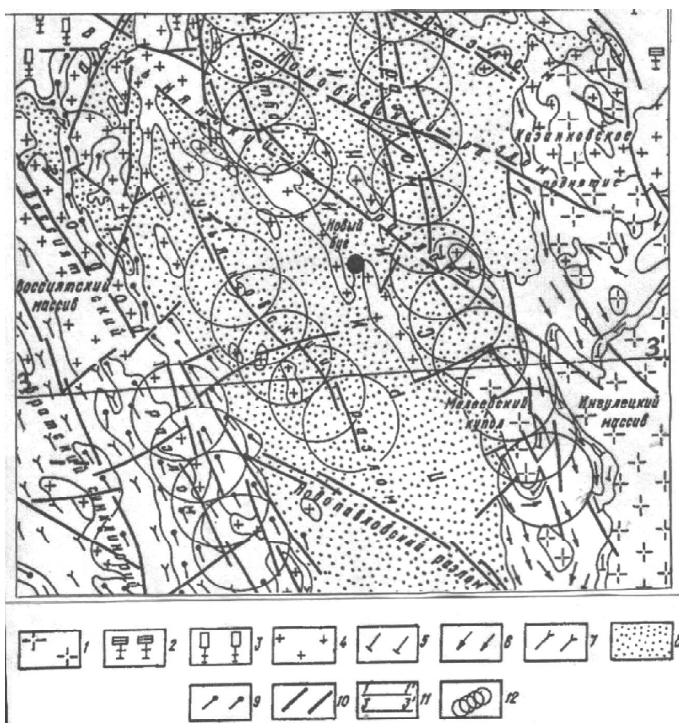


Рис. 3. Геоструктурна схема Ингуло-Ингулецкого района центральной части УЩ в рамках площади ГКК-200 (по [7]): 1 – плагиограниты и плагиомигматиты днепропетровского комплекса; 2 – диориты порфириобластовые, чарнокиты и граниты трахитоидные новоукраинского комплекса; 3 – гранодиориты порфириобластовые, граниты и мигматиты кировоградского комплекса; 4 – средне-, мелкозернистые граниты кировоградского комплекса; 5 – карбонатно-терригенный комплекс родионовской свиты; 6 – вулканогенно-осадочный комплекс спасовской и 7 – каменно-костоватской свит; 8 – гнейсы чечелевской свиты; 9 – гнейсы рошаховской свиты; 10 – зоны разломов; 11 – профиль 3–3; 12 – области интенсивного развития метасоматоза, локализации участков сульфидной минерализации, оруденения и концентрации геохимических аномалий.

мировать соответствующие блоки коры. Это новоукраинские, кировоградские, лелековские, боковянские, долиньские и другие граниты, а также плагиограниты, чарнокиты, диориты, эндербиты, габбро и габбро-нориты. Данные петроскоростных  $PT$ -исследований представлены в наших публикациях [3, 4, 6–12 и др.]. Почти для всех изученных пород характерны сложные изменения скорости распространения в них упругой волны при соответствующих  $PT$ -условиях различных глубин. Более того, в зависимостях  $V_p$ ,  $V_s = f(PT) = f(H)$  наблюдаются зоны инверсий,

которым присущи пониженные значения скорости. Они по-разному представлены для различных пород. Указанные зоны более четко проявлены для волн продольной поляризации и менее отчетливо – в изменениях поперечных. Упругие константы минерального вещества этих зон свидетельствуют о том, что оно находится в разуплотненном состоянии (довольно высокие значения сжимаемости), менее устойчиво к сдвиговым нагрузкам (уменьшается модуль сдвига), более хрупкое в их краевых частях (уменьшается коэффициент Пуассона) [7, 10–12 и др.].

Профиль 3–3' проходит в пределах Братского и Приингульского синклиналиев, Малеевского купола и Ингулецкого массива. Пересекая две первых структуры, он расположен в непосредственной близости к VIII геотраверсу ГСЗ. Это позволило при построении синтезированной сейсмической модели (рис. 4) использовать информацию о скоростных характеристиках в отдельных блоках. Отсутствие таковой для восточной части рассматриваемого профиля потребовало поисков аналогов среди материалов по другим профилям ГСЗ.

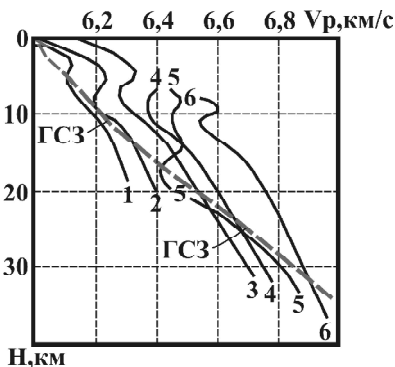
Согласно предложенной нами методике, значения скоростных параметров отдельных блоков по профилю 3–3' сопоставлены с экспериментальными данными для различных типов пород (рис. 5). Известные в пределах Братского синклинория гнейсовые комплексы бугской серии по своим скоростным характеристикам соответствуют скорости сейсмических волн лишь до 3–4 км. Затем, вплоть до раздела М, возможно развитие эндербитов, экспериментальные значения скорости в



Рис. 4. Модели распределения скорости распространения упругой волны продольной поляризации вдоль профиля 3–3', синтезированные по материалам ГСЗ, выполненным по профилям XXIV, XXV и XXXIV, а также геотраверсам IV и VIII: 1 – изолинии скорости (км·с<sup>-1</sup>), 2 – разломы, 3 – поверхность М



Рис. 5. Сопоставление  $V_p$  ГСЗ по профилю 3–3' центральной части УШ с экспериментальными данными.  $V_p = f(PT) = f(H)$  для некоторых типов пород: 1 – граниты долиньские, 2 – плагиограниты, 3 – нориты приднепровские, 4 – эндербиты, 5 – диориты северо-западной части УШ, 6 – анортозиты



которых и градиенты ее изменения с глубиной наиболее сопоставимы с сейсмической информацией по этому участку.

Совпадение полевых сейсмических и полученных в  $PT$ -опытах скоростных параметров указывает на то, что гнейсовые комплексы Приингульского синклиория могут распространяться до глубины не более 6–8 км. Нижележащие горизонты коры характеризуются сравнительно небольшими сейсмическими скоростями на всем протяжении профиля, которые хорошо согласуются с экспериментальными данными для плагиогранитов архейского структурного этажа.

В пределах исследуемого района выделяется серия купольных структур, приуроченных к пересечению Ингулец-Каменской зоны разломов (и ее южного продолжения) с целой системой диагональных разрывов. К ней относится и Малеевский купол, сложенный плагиогранитами и отчасти гранитоидами кировоградско-житомирского комплекса.

Восточнее Малеевского купола профиль 3–3' проходит по южной окраине структуры, образованной Долинским массивом и Казанковским поднятием, где в основном развиты плагиограниты нижнего этажа и частично – гранитоиды кировоградско-житомирского комплекса. Вместе с тем, на геологической карте хорошо прослеживается участок, ограниченный субмеридиональным и диагональным (Вольнянским) разломами. По своему положению и составу пород он похож на Малеевский купол. Возможно, схоже и их строение. Восточнее профиль 3–3' проходит в поле архейских плагиогранитов.

На рис. 6 представлена модель предполагаемого распределения по глубине различных пород вдоль профиля 3–3'. Особенности распределения пород по глубине и латерали позволили выделить ряд аномальных областей. Последние удовлетворительно согласуются с материалами МОВ-ОГТ, объясняя в какой-то мере горизонтальную и вертикальную глубинную расслоенность коры.

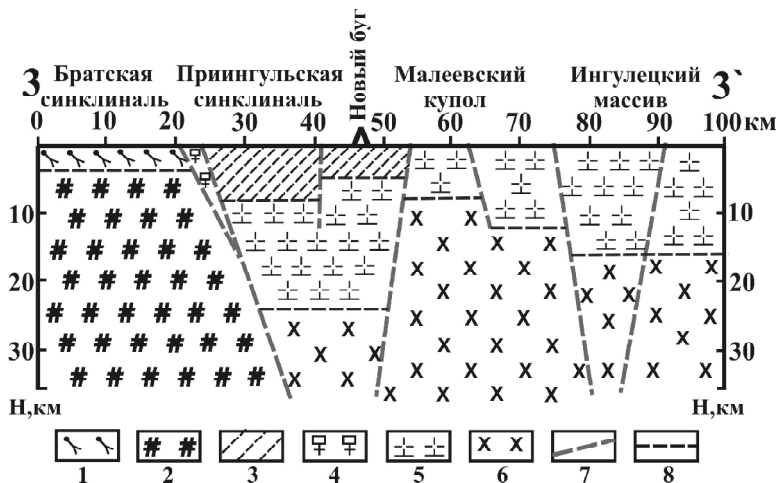


Рис. 6. Модель распределения вещественного состава разноглубинных горизонтов коры вдоль профиля 3–3', составленная на основании данных петроскоростных РТ-исследований и геолого-геофизической информации: 1 – гнейсы бугской серии, 2 – эндербиты, 3 – гнейсы ингуло-ингулецкой серии, 4 – граниты Вознесенского массива, 5 – плагиограниты, 6 – диориты, 7 – зоны тектонических нарушений, 8 – возможные литологические границы

Серия отражающих вертикально падающих границ на участке 0–40 профиля 3–3' на глубине 4–14 км очевидно обусловлена термобарической упругой разуплотненностью мощного горизонта эндербитов. Эта область характеризуется зонами “низких” значений  $V_p$  и  $V_s$ , повышенной хрупкостью (коэффициент Пуассона уменьшается от 0,26 до 0,22), более высокой сжимаемостью и уменьшением величины модуля сдвига. Она как бы продолжается наклонно на восток до глубины 25 км на участке 20–35 вдоль контакта эндербитов с плагиогранитами соседнего блока. Рассматриваемый участок осложнен небольшой зоной гранитоидов, расположенной между двумя разломами. Затем он замыкается в виде контакта плагиогранитов с диоритами, проявляющегося серией горизонтальных отражающих площадок. Структурные неоднородности в верхних горизонтах коры (до 8 км) на участке 25–40 км связаны с термобарической физико-механической неустойчивостью гнейсов и особенностями их контакта с плагиогранитами. Очевидно различия по составу гнейсов на этом участке профиля и на участке 40–55 (на глубине 5 км) объясняют появление серии отражающих границ, которые характеризуются падением с востока на запад. Слабое структурное расслоение более

низких горизонтов (10–20 км) на участке 25–55 связано с *PT*-состоянием плагиигранитов на этой глубине. Породы имеют низкие значения модуля сдвига, наблюдается зона инверсии  $V_p$ , им присуща постоянная величина сжимаемости ( $1,60 \times 10^{-2}$  Гпа<sup>-1</sup>).

Структурную расслоенность от глубины 2–7 км (участок 55) до 8 (участок 60–65) в направлении с запада на восток, а затем полого падающую в восточном направлении до глубины 18–21 км (участок профиля 80–90) в первую очередь можно связывать с зонами разломного ступенчатого контакта между плагиигранитами и диоритами. Причем, области контактов этих пород, как правило, хорошо согласуются с горизонтами их аномального физико-механического состояния термобарической природы. Например, на глубине 8 км на участке 55–65 расположены горизонты плагиигранитов небольшой мощности и значительных толщ диоритов с резкими изменениями упругих характеристик вследствие глубинного воздействия давления и температуры. Последнее повышает их хрупкость и сжимаемость в зоне контакта, а также уменьшает значение модуля сдвига. Аналогичное состояние характерно для плагиигранитов и диоритов участка 75–95 на глубине 12–18 км.

Таким образом, сложная система расслоения корового материала вдоль профиля 3–3' во многом объясняется воздействием термодинамических факторов. Поэтому отдельные горизонты коры обладают повышенной хрупкостью и сжимаемостью, пониженными значениями модуля сдвига. Следовательно, в полях тектонических напряжений происходит наиболее активная их релаксация в виде расслоения исходных структур. Это, вероятно, приводит к формированию, в частности, глубинных тектонометасоматических рудоносных зон.

С целью уточнения строения и состава глубинной геологической среды изучаемой площади были использованы приемы гравитационного моделирования, реализованные путем расчетов соответствующих эффектов на основании предложенных плотностных моделей. Кроме того, осуществлена последующая корректировка возможного залегания и состава пород с учетом анализа данных МОВ-ОГТ, распределения аномального магнитного поля и результатов электропрофилирования ВП–СГ [7].

Результаты гравитационного моделирования в виде геоплотностных разрезов позволили уточнить возможное строение и состав земной коры профиля 3–3'. Они несколько отличаются от горизонтально-слоистых петроплотностных моделей не только мощностью толщ пород, но и на-

клоном границ между ними. Представляется более глубоким залегание гнейсов в Приингульском синклинории с довольно сложной конфигурацией их ложа. В районе профиля 3–3' мощность гнейсов бугской серии в районе Братского синклинория, вероятно, значительно больше. Предполагается увеличенная мощность гранитов Вознесенского массива (между Братским и Приингульским синклинориями). Сложнее показаны очертания контакта гнейсов Приингульского синклинория с плагиогранитами новоукраинского комплекса. Ступенчатый характер границы перехода под Малеевским куполом и Ингулецким массивом плагиогранитов днепропетровского комплекса к диоритам представляется более плавным (с увеличением мощности плагиогранитов к востоку плотность последних несколько уменьшена). В целом же первоначальные петроплотностные модели незначительно отличаются от построенных по гравитационным данным (на большей глубине).

В целом следует подчеркнуть, что в пределах изученной территории можно выделить две главные структурные области коры, разделенные Ингуло-Каменской зоной разломов субмеридионального простиранья. Установленные по комплексу признаков, они различаются по составу пород глубинных горизонтов, которые по своим скоростным, плотностным и другим параметрам наиболее удовлетворяют созданным моделям и в определенной степени согласуются с результатами интерпретации аномалий гравитационного и магнитного полей. Основными структурными элементами к западу от Ингуло-Каменской зоны разломов служат Братский и Приингульский блоки (профиль 3–3'). Последний расположен в Центральной части рассматриваемой площади. На западе по Кировоградской и Грушко-Калиновской зонам разломов он граничит с Новоукраинским блоком, а по Воссиятскому разлому – с Братским (рис. 7). В структурном плане это синклиналь, выполненная гнейсами ингуло-ингулецкой серии, залегающими на гранитоидах кировоградского комплекса (на севере) и плагиогранитах новоукраинского комплекса (на юге).

Несколько отличается строение южной части Приингульского синклинория. На пересечении с профилем 3–3' гнейсовые комплексы развиты лишь до глубины ~6 км, что четко отражено в гравитационном поле (наблюденном и трансформированном).

В западной части профиля 3–3' выделяется Братский блок. Его основная складчатая структура – Братский синклинорий, выполненный гнейсами бугской серии, а также среднезернистыми гранитами кировоград-

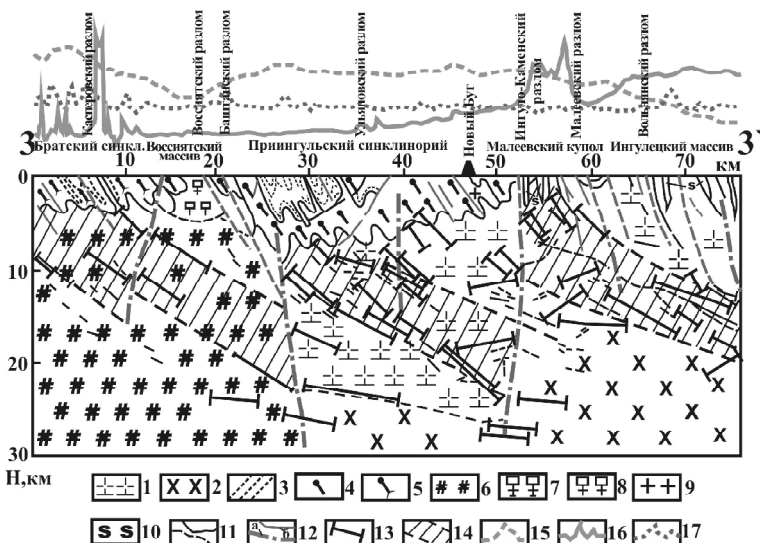


Рис. 7. Трансформация сейсмического разреза в схематический геолого-геофизический разрез земной коры по профилю 3–3'. 1 – плагиограниты; 2 – диориты; 3, 4, 5 – гнейсы; 6 – породы чарнокит-эндербитового состава; 7, 8 – порфиробластовые граниты; 9 – средне-мелкозернистые граниты; 10 – мигматиты; 11 – границы вещественного состава; 12 – тектонические нарушения первого (а) и второго (б) порядков; 13 – отражающие площадки МОВ-ОГТ; 14 – зоны интенсивной акустической неоднородности (сейсмического расслоения); 15 –  $\Delta g_a$ ; 16 –  $\Delta T_a$ ; 17 –  $v_{BR}$ .

ского комплекса, слагающими Воссиятский массив. Породы блока смяты в изоклинальные складки северо-западного простирания. Складчатость прослеживается и в особенностях аномалий гравитационного и магнитного полей. Первые достигают здесь более высокого значения над гнейсами, чем над гранитами Воссиятского массива. Последний в аномальном поле силы тяжести картируется весьма контрастной отрицательной полосой, вытянутой почти на 50 км. Гравитационное моделирование Воссиятского блока показывает его расширение с глубиной, причем северо-восточное крыло более пологое (30–40°) по сравнению с юго-западным. Глубина распространения пород Воссиятского массива (блока) 7–8 км. Магнитное поле резко дифференцировано и характеризуется узкими локальными положительными аномалиями, обусловленными телами магнетитсодержащих гнейсов и гранитоидов. Глубже возможно развитие пород эндербитового типа. Экспериментальные значения скорости и плотности в соответствующих *PT*-режимах довольно близки к предполагаемым. Ингулецкий блок занимает восточную часть ис-

следуемой территории и на западе граничит с Приингульским по Ингуло-Каменской зоне разломов. Его слагают купольные структуры архейского возраста, которые в значительной мере были преобразованы в период нижнепротерозойской гранитизации. Блок имеет сложное строение вследствие раздробленности основания разломами северо-западного простирания. Они выражены в виде рифтогенных долин, выполненных образованиями ингуло-ингулецкой серии с разной степенью гранитизации. Указанными разломами Ингулецкий блок разбит на ряд подблоков, среди которых к профилю 3–3' приурочен Ингуло-Малеевский.

Ингулеcko-Малеевский подблок находится в южной части Ингулецкого блока. Он состоит из Ингулецкого массива плагиигранитов архейского возраста и Малеевского купола, разделенных синклинальной структурой субмеридионального (северо-северо-западного) простирания, которая представлена образованиями ингуло-ингулецкой серии.

Гравитационное моделирование и результаты сейсморазведочных работ по Ингулеckoму массиву позволяют оценить развитие пород на глубину до 13–15 км. Контакт этого массива с Малеевским куполом имеет восточное падение под углом примерно 50–60°.

На основании построенных петроскоростных разрезов, помимо уточнения положения и состава глубинных горизонтов коры вблизи профиля 3–3', можно предположить наличие на разной глубине зон аномального физико-механического состояния пород. Последние обладают повышенной хрупкостью и сжимаемостью, пониженными значениями модуля сдвига и, как следствие, в полях тектонических напряжений здесь происходит их наиболее активная релаксация в виде акустических неоднородностей. Это хорошо согласуется с результатами МОВ-ОГТ. Приобретая характер широкомасштабной системы сквозных глубинных нарушений в коре указанные зоны в период протекания тектономагматических процессов наиболее проницаемы. С ними связано повышение интенсивности теплового потока, поступление продуктов магматизма (в том числе, в виде гидротермальных растворов), активизация процессов метасоматоза, возникновение концентраций некоторых полезных ископаемых.

Являясь корневой системой приповерхностных разломных структур, эти зоны в последующие этапы тектоно-магматической активизации способствуют выносу, перераспределению, формированию и локализации некоторых концентраций минерального вещества в близповерхностных частях коры. Они характеризуются существенными геохимическими аномалиями и наличием оруденения, приуроченного к глубинным

разломам, а также, естественно, генетическими связями с проявлениями разноглубинных тектоно-метасоматических процессов.

**Выводы.** Петроскоростное глубинное моделирование центральной части УЩ позволило трансформировать результаты выполненных здесь сейсмических исследований ГСЗ и МОВ-ОГТ вблизи профиля 3–3' в физико-механическую, скоростную, плотностную информацию и, как следствие, в литологическую.

Дополнение скоростных и плотностных моделей данными гравитационного моделирования и другой геофизической и геологической информацией усложняет вещественные и структурные модели отдельных блоков и их частей (в отличие от первоначальных горизонтально-слоистых).

Синтез результатов глубинного петроскоростного моделирования, геоплотностных построений и геолого-геофизических материалов позволил уточнить природу и пространственно-генетические особенности протяженных сейсмо-тектонических неоднородностей в коре исследуемого региона. Последние, как правило, сосредоточены в зонах контактов минерального вещества разного состава и приурочены к областям аномального термобарического упругого состояния формирующих эти контакты пород, характеризующихся повышенной сжимаемостью, хрупкостью и проницаемостью, а также пониженными значениями  $V_p$ ,  $V_s$  и модуля сдвига.

Системный анализ данных петрофизического моделирования геофизических и геологических материалов дал возможность составить новую геоструктурную схему Ингуло-Ингулецкого района центральной части УЩ (рис. 7) и выделить наиболее перспективные для поиска полезных ископаемых зоны, локализация которых обоснована разноглубинными петроструктурными особенностями площади.

1. *Лебедев Т.С., Корчин В.А., Савенко Б.Я. и др.* Физические свойства минерального вещества в термобарических условиях литосферы. – К.: Наук. думка, 1986. – 200 с.
2. *Лебедев Т.С., Корчин В.А., Савенко Б.Я. и др.* Петрофизические исследования при высоких  $PT$ -параметрах и их геофизические приложения. – К.: Наук. думка, 1988. – 248 с.
3. *Лебедев Т.С., Корчин В.А., Буртный П.А.* Новые аспекты геофизического приложения результатов термобарических исследований упругих свойств горных пород // Геофиз. журн. – 1987. – 9, №2. – С. 55–69.
4. *Лебедев Т.С., Корчин В.А., Буртный П.А.* Геофизические приложения результатов  $PT$ -изучения упругих характеристик горных пород // Свойства и состояние минерального вещества в недрах Земли. – М.: Наука, 1989. – С. 56–72.
5. *Lebedev T.S., Korchin V.A., Burtny P.A.* Petrovelocity  $FT$ -modeling and elastic inhomogeneity of the lithosphere // High-Pressure Science and Technology. – Pt 2. – New York: AIP PRESS. Amer. Inst. Physics, 1994. – P. 783–786.

6. *Лебедев Т.С., Корчин В.А., Буртний П.А.* Петроскоростные модели земной коры района Южно-Украинской АЭС и некоторых смежных территорий // Геофиз. журн. – 1994. – **16**, № 3. – С. 24–38.
7. *Лебедев Т.С., Корчин В.А., Буртний П.А. и др.* Петроскоростные модели земной коры центральной части Украинского щита. – Ч. 1–3 // Там же. – 1995. – **17**, № 4. – С. 13–22; № 5. – С. 30–37; № 6. – С. 14–21.
8. *Лебедев Т.С., Корчин В.О., Буртний П.О.* Глубинное петроскоростное моделирование земной коры Среднего Побужья (Украина) // Там же. – 1999. – **21**, № 1. – С. 64–84.
9. *Korchin V.A., Burtnyi P.A., Karnaukhova E.E.* Regional deep petrovelocity modeling of the crust according to the data of *PT*-experiments // Journal of the Balkan Geophysical Society. – 2005. – V. 8. – Suppl. 1. – P. 557–560.
10. *Корчин В.О., Буртний П.О., Карнаухова О.С.* Зв’язок термобаричної зони низьких сейсмічних швидкостей у земній корі з глибинними геологічними процесами // Енергетика Землі, її геолого-екологічні прояви, науково-практичне використання: Зб. наук. пр. – К. 2006. – С. 99–103.
11. *Korchin V.A., Burtnyi P.A., Karnaukhova E.E.* Thermobaric Petrostructural Modelling of the Earth’s Crust and the Nature of some Seismic Boundaries // 12 International Symposium on Deep Structure of the Continents and their Margins (Sept. 24–29, 2006). – Shonan Village Centre, Hayama, Japan. – IMC–P05.
12. *Корчин В.А., Буртний П.А., Карнаухова Е.Е.* Породы гранулитового комплекса: их упругие параметры и прогноз распространения в земной коре Украинского щита // Геофиз. журн. – 2007. – **29**, № 3. – С. 99–109.

**Термобаричне петрофізичне прогностичне моделювання речовинного складу глибинних горизонтів літосфери під час інтерпретації матеріалів ГСЗ**

В.О. Корчин, П.О. Буртний, О.С. Карнаухова

**РЕЗЮМЕ.** Розглянуто деякі особливості методичних прийомів петрошвидкісного термобаричного моделювання. Наведено приклади прогностичної оцінки розподілу з глибиною гірських порід деяких ділянок земної кори Українського щита уздовж окремих профілів глибинного сейсмічного зондування.

**Ключові слова:** пружно-щільнісні характеристики, високі *PT*-параметри, петрошвидкісне термобаричне моделювання.

**Thermobaric petrophysical prognostic modeling of the material composition of deep horizons of the lithosphere during DSS data interpretation**

V.A. Korchin, P.A. Burtnyi, E.E. Karnaukhova

**SUMMARY.** Some features of methodical means of petrovelocity thermobaric modeling have been considered. Examples of the prognosis estimation of distributing with the depth of rocks of some areas of the Earth's crust of the Ukrainian shield along the separate profiles of the deep seismic sounding have been given.

**Keywords:** elastic-plastic characteristics, high *PT*-parameters, petrovelocity thermobaric modeling.