

Г.М. Дрогицкая

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

МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ РАЗДЕЛА МОХО И K_2 В КИРОВОГРАДСКОМ РУДНОМ РАЙОНЕ (УКРАИНСКИЙ ЩИТ) ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ

На основе данных о глубинах залегания поверхностей раздела Мохо и K_2 , полученных вдоль сейсмических профилей ГСЗ и МОВЗ с помощью программного обеспечения КОСКАД 3D и Surfer 8, построены карты рельефа этих поверхностей. Новая интерпретация геологических и сейсмических данных позволила выявить корреляцию поверхностных структур региона с рельефом поверхности раздела Мохо и локальными неоднородностями земной коры. Установлена связь района, характеризующегося высокой рудной концентрацией, с глубинным субширотным прогибом в рельефе поверхности раздела Мохо.

Ключевые слова: метод глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ), метод обменных волн землетрясений (МОВЗ), поверхность раздела Мохо, кора, мантия.

Введение. Открытие месторождений урана, а затем золота и редких металлов в центральной части Украинского щита стимулировало не только проведение масштабных геологосъемочных и буровых работ, но и проектирование уникальных по детальности сейсмических исследований. В результате за период с 1977 по 1980 г. производственными геологическими организациями Министерства геологии СССР в содружестве с Институтом геофизики им. С.И. Субботина АН УССР были выполнены комплексные сейсмические исследования методами глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ) и обменных волн землетрясений (МОВЗ) по системе пересекающихся семи широтных и трех субмеридиональных профилей [6].

Кировоградский рудный район располагается в палеопротерозойском Ингульском мегаблоке. С запада к нему примыкает Голованевская, с востока – Ингулецко-Криворожская шовные зоны.

Ингульский мегаблок занимает центральное положение на Украинском щите, и по отношению к нему щит разделяется на два сектора с разными разрезами земной коры и различной морфологией раздела Мохо (М). В западном секторе кора относится к гранит-диоритовому типу, и рельеф поверхности раздела М (далее рельеф поверхности М) более

дифференцирован, в восточном секторе кора принадлежит к гранитному типу, и рельеф поверхности М более спокойный. Граница между западным и восточным секторами совпадает с трансрегиональным тектоническим швом Херсон–Смоленск.

Для Ингульского мегаблока характерна пониженная по сравнению со смежными шовными зонами мощность сиалической коры и, соответственно, более высокое положение раздела М.

Мощность коры в Ингульском мегаблоке изменяется от 35 до 46, в Голованевской шовной зоне – от 50 до 65, в Ингулеcko-Криворожской шовной зоне – от 45 до 52,5 км. Обе шовные зоны характеризуются повышенными значениями плотности (основности) пород во всем разрезе коры и наличием в ее нижней части “коромантийной смеси”.

На поверхности Кировоградский рудный район отчетливо фиксируется в наблюдаемом гравитационном поле по наличию крупной отрицательной аномалии Δg , направление которой совпадает с простираем Новоукраинско-Корсунь-Новомиргородского плутона. Новоукраинский массив представлен округлой аномалией с минимальной величиной силы тяжести, Корсунь-Новомиргородский массив – более спокойной аномалией, состоящей из чередующихся полей разной интенсивности. Полоса сосредоточения рудных месторождений располагается несогласно относительно продольной и поперечной зональности гравитационного поля. В пределах Новоукраинского массива и его восточного обрамления месторождения тяготеют к области минимальных значений Δg , в Звенигородско-Анновской зоне смещены в сторону более высоких его значений.

Сейсмические данные ГСЗ и МОВЗ. Методом ГСЗ наблюдения велись по методике непрерывного профилирования, предусматривающей получение системы встречных и нагоняющих годографов, увязанных во взаимных точках, что позволяло проследивать сейсмические границы непрерывно на значительные расстояния. Среднее расстояние между широтными профилями составляет 25–30, между субмеридиональными – 40–50 км. По плотности профилей, детальности проведения эксперимента и сочетанию применяемых методов аналогов на территории Украины нет [6].

Анализируя зарегистрированное волновое поле, следует отметить, что в верхней части разреза доминируют преломленно-рефрагированные волны, а низы коры освещены в основном преломленными и отраженными от поверхности М и промежуточных границ. К последним мож-

но отнести волны, отраженные от поверхности K_2 . Непротяженные оси синфазности формируют “штриховые” поля, которые характеризуют степень сейсмической расслоенности земной коры.

При интерпретации преломленно-рефрагированные волны использовались для определения скоростной дифференциации в верхней части коры, а отраженные – для определения скоростных параметров средней и нижней коры, а также структурных построений и выделения крутопадающих разрывных нарушений.

Существенный отпечаток на волновую картину накладывает слабая скоростная дифференциация консолидированной коры по глубине и латерали. Только преломленная волна от раздела М выявляет кинематическую смену волн, остальная же часть годографа первых вступлений отличаются, как правило, медленным возрастанием кажущихся скоростей. Их общее изменение не выходит за пределы интервала 5,8–6,7 км/с, что обуславливает большую протяженность зон интерференции и вызванные этим сокращенные интервалы раздельного прослеживания регистрируемых волн.

Отраженные волны – наиболее информативный элемент наблюдаемого поля. Они регистрируются главным образом в закритической области, но фиксируются и докритические отражения, местами достаточно интенсивные и протяженные. Наиболее выдержаны в разрезе коры две отражающие границы: внутрикоровая на глубинах 10–17 км (K_2) и подошва коры, раздел М на глубинах 35–46 км. Обе границы нарушены глубинными разломами со значительными вертикальными смещениями. В интервале глубин 6–14 км выделен слой с пониженной скоростью, основанием которого является поверхность K_2 . В коре также зафиксированы многочисленные непротяженные элементы, отражения от которых прослежены как в докритической, так и в закритической областях регистрации. Последние формируют так называемое штриховое поле, статистический анализ которого дал возможность изучить расслоенность коры и выделить области относительно повышенной и пониженной отражательной способности.

Высокая плотность профилей позволила изучить морфологию подошвы коры, поверхности М и внутрикоровой границы K_2 , выделяемой на Украинском щите не повсеместно, природа которой остается дискуссионной. По всем профилям были составлены сейсмические и скоростные разрезы земной коры, по площади – структурные карты поверхно-

стей K_2 и М. Один из главных результатов исследований – обнаружение на сравнительно небольшой площади сложного и пересеченного рельефа поверхности М. При расстояниях между профилями всего 22–45 км поведение раздела М сильно изменяется от разреза к разрезу.

На структурной схеме раздела М Украинского щита и смежных территорий, составленной В.Б. Соллогубом [6], видно, что в пределах Кировоградского рудного района морфология раздела М отличается от таковой на остальной площади щита. Району присуща сложная комбинация субмеридиональных и субширотных структур в виде зон с утолщенной корой. Первые выделяются параллельно Кировоградской зоне, вторые – Субботско-Мошоринской. Согласно этой схеме, средняя толщина земной коры Кировоградского блока составляет около 40 км, изменяясь от 32,6 до 46 км. Простираение изолиний в общем широтное, утолщение и утонение коры происходят как по разломам, так и в результате наклонного залегания поверхности М.

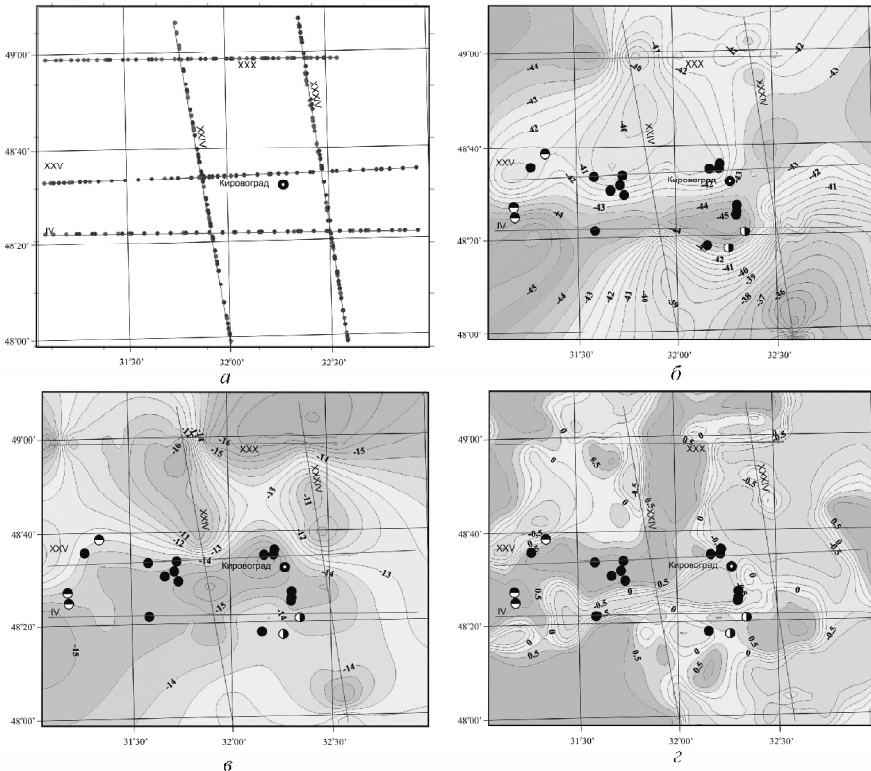
Не исключено, что такая сложность рельефа поверхности М Кировоградского блока связана, прежде всего, с высокой степенью детальности площадных исследований ГСЗ – КМПВ.

В 2006 г. в результате переинтерпретации профилей ГСЗ с помощью современных технологий было установлено, что аномальная комбинация широтных и меридиональных изоглубин совпадает с общим планом поверхностных структур Кировоградского рудного района [4]. Одновременно была обнаружена пространственная связь месторождений урана, золота, лития с широтным прогибом в рельефе поверхности М, или “мантийным рвом”. Эти месторождения на поверхности сосредоточены в широтной полосе, охватывающей Новоукраинско-Кировоградский гранитоидный массив, Кировоградскую и Звенигородскую зоны разломов. Ранее предполагалось, что эта полоса опущена по широтным разломам, что и сохранило месторождения от последующей эрозии [1].

Чтобы подтвердить существование мантийного рва и сопоставить его с внутрикоровой поверхностью K_2 , в 2010 и 2011 г. данные ГСЗ и МОВЗ были обработаны с использованием программных пакетов Surfer 8 и КОСКАД-3D [5]. Исследовался участок площадью 150×130 км, пересеченный пятью профилями ГСЗ и максимально насыщенный данными о глубинах залегания поверхностей М (239 определений) и K_2 (229 определений). Поскольку программное обеспечение Surfer 8 и КОСКАД-3D работает только в системах прямоугольных координат, гео-

графические координаты исходных точек были преобразованы в прямоугольные (рис. 1, а). Интерполяция проведена по сети 5×5 км методом Крайгинга (линейная модель) с последующим сгущением сети двумерным сплайном до 2×2 км. Функция линейного коэффициента корреляции между глубинами залегания поверхностей М и К₂ вычислена в скользящем окне размером 7×7 точек (12×12 км).

Результаты работы представлены в виде карт рельефа поверхностей М и К₂ и их площадной корреляции, на которые спроектированы месторождения урана, золота и лития. Рельеф поверхности М в пределах анализируемой площади довольно сложный. Его отметки изменяются от -34 до -45 км, образуя несколько самостоятельных структурных



элементов (рис. 1, б). Главным является выделение в центральной части участка трогообразной структуры широтного простирания с отметками от -45 до -44 км, общей шириной около 30 км и длиной до 100 км. Структура достаточно уверенно выявляется и в рельефе поверхности K_2 , но характеризуется здесь меньшей амплитудой по вертикали, а ее ось смещена на 7×10 км к северу, простирание несколько отклоняется от широтного в направлении восток-северо-восток (рис. 1, в).

В юго-восточной части площади отмечено подковообразное поднятие с максимальной отметкой поверхности M -34 км; широкая и сложнопостроенная полоса поднятий начинается в центре западной границы площади и простирается до ее северо-восточного угла. Наиболее существенное из этой группы поднятий с отметками до $-39,5$ км – четко выраженная треугольная структура, охватывающая центральную часть Корсунь-Новомиргородского плутона от широты г. Кировоград и протягивающаяся на север на 55 км.

Рельеф поверхности K_2 структурно также довольно сложен (рис. 1, в). Его отметки изменяются от $-16,5$ до -10 км. Группы положительных структур расположены в северо-западной и юго-восточной частях площади, объединены изолинией $-13,5$ км на широте стыковки Корсунь-Новомиргородского и Новоукраинского массивов. В северо-восточной части площади выделена впадина по поверхности K_2 глубиной до 16,5 км. Вторая пониженная область с минимальной отметкой -15 км находится на юго-западе площади, на карте изогипс поверхности K_2 она объединена с отмеченной ранее троговой структурой изолинией -14 км.

Корреляция рельефа поверхностей M и K_2 дает довольно пеструю картину, хотя, обобщив ее, можно однозначно утверждать, что 60 % площади в западной части – это область преобладания положительных корреляций, остальное – отрицательных. Троговая структура в рельефе поверхностей M и K_2 в поле корреляций отображается линейной положительной аномалией (рис. 1, з).

Сопоставление данной карты рельефа поверхности M и построенной в 2007 г. [2] показало, что мантийный ров уверенно выделяется на обеих картах, несколько отличается его конфигурация, но, ось широтного прогиба смещена к югу на 10–15 км от г. Кировоград. В восточной части прогиба раздел M располагается на максимальной глубине -45 км. В западном направлении глубина его залегания уменьшается до 44–43 км. По изолинии -43 км длина прогиба составляет около 100 км при ширине

от 25 до 40 км. Следует отметить, что урановые месторождения процируются на область максимальных градиентов изменения глубины прогиба – на его западный, восточный и северный прибортовые склоны.

Выделение аналогичной прогнутой структуры в средней части коры по поверхности K_2 подтверждает то, что переработке была подвержена вся кора, причем процесс происходил снизу вверх, на что указывает более сложный рельеф поверхности M по сравнению с рельефом поверхности K_2 . Кроме того, смещение аномальной зоны по границе K_2 к северу может свидетельствовать о южном падении всей троговой структуры. Это опровергает ранее высказанное предположение о том, что все докембрийские образования, включая ураноносные тектонометасоматические зоны, опущены по широтным разломам, вследствие чего урановые месторождения здесь и сохранились в процессе длительной денудации Украинского щита [1].

Исходное поле обменов по профилям в центральной части щита представляет собой сложную картину, и выделение и прослеживание границ в коре представляет определенные трудности. Поэтому был предложен метод статистической обработки [3], предусматривающий построение вероятностных разрезов.

Как показал анализ сейсмического профиля XXIV (IM), пройденного с использованием метода ГСЗ и МОВЗ, граница M – единственная в коре, которая является отражающей, преломляющей и обменной. На сейсмических профилях МОВЗ прослеживается две границы обмена от поверхности $M-M_1$ и более глубокая M_{II} . Поэтому были построены две карты раздела M по данным обменных волн. Согласно анализу данных по профилям 24 и 1, отработанных обоими методами, граница M_1 больше соответствует поверхности M , выделенной по данным ГСЗ.

На картах рельефа поверхностей M_1 и M_{II} в центральной части Новоукраинско-Корсунь-Новомиргородского плутона выделена область погружения поверхностей M_1 и M_{II} . Но по сравнению с данными, полученными по отраженным волнам в методе ГСЗ, это погружение имеет субмеридиональное простирание и менее выражено по глубине. Так, по границе M_1 максимальные отметки составляют 42–43, по границе M_{II} – 49 км. Кроме того, максимум погружения смещен на север на 10–15 км.

Для более детального анализа была построена карта разности глубин залегания границ M и M_1 . Поверхность M по данным ГСЗ была ре-

перной, и от нее построена карта отклонений. Мантийный ров, выделенный по данным ГСЗ на картах поверхностей M_1 и M_{II} , лишь намечен характерным перегибом изолиний. Здесь наблюдается максимальное совпадение по глубине поверхностей M и M_1 . Две положительные аномалии (граница M_1 находится выше реперной поверхности M) расположены симметрично по краям субширотной троговой структуры, как бы продолжая ее на запад и на восток. Максимальные же отрицательные расхождения (поверхность M_1 лежит ниже поверхности M) приурочены к центральной части Корсунь-Новомиргородского плутона, где поверхность M_1 залегает ниже на 3 км.

Анализ карты мощности переходного слоя кора–мантия по данным обменных волн (M_I-M_{II}) (рис. 2) показал, что максимальными значениями характеризуется район Смелянского и Городищенского габбро-анортозитовых массивов, т. е. центральная часть Корсунь-Новомиргородского плутона. Эта же область характеризуется максимальными значениями обменоспособности, или параметром A_{PS}/A_P [4].

Таким образом, аномальная область, выделенная по данным обменов, совпадает с областью максимальной мощности переходного слоя кора–мантия.

В последние годы согласно материалам по Канадскому щиту и другим регионам был сделан вывод, что на континентах геофизический раздел M по-разному выглядит в различных масштабах, что исключает универсальную его интерпретацию [7]. Его изменения фиксируются на расстояниях в десятки километров по разнице отражений в нижней коре и верхней мантии, а также по морфологии. Более того, в некоторых районах вследствие метаморфических и/или термальных процессов раздел M может быть наложен на более ранний каркас с сохранением древних пород ниже сейсмического раздела M .

Изложенные выше результаты исследований глубинного строения Кировоградского рудного района не противоречат этому выводу и находят в нем дополнительное подтверждение.

Заключение. Кировоградский рудный район – второй после Печенгского рудного района, где установлена пространственная связь палеопротерозойских рудных месторождений с локальными неоднородностями раздела кора–мантия. Если в Печенгском районе она выявлена для магматических медно-никелевых месторождений и мантийных габбро-верлитовых интрузий, то в Кировоградском рудном районе для место-

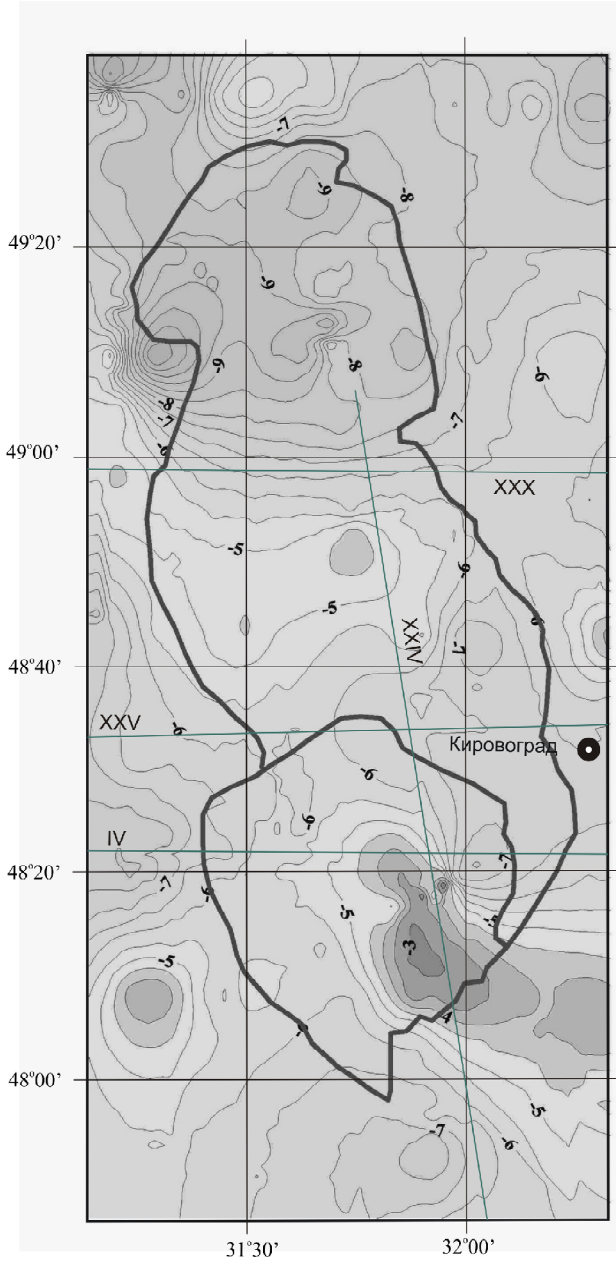


Рис. 2. Карта мощности переходного слоя кора–мантия по данным обменных волн землетрясений (M_1-M_{II})

рождения другого генезиса: гранитных пегматитов, гидротермальных месторождений урана и золота.

Этот вывод меняет традиционные представления о металлогении Кировоградского рудного района. Чтобы подтвердить его обоснованность, в статье дан краткий исторический обзор сейсмических исследований центральной части Украинского щита, показано, когда и как обрабатывались экспериментальные данные, и приведены дополнительные доказательства пространственной связи месторождений урана, золота, лития в рельефе поверхностей M и K_2 .

1. *Генетические* типы и закономерности размещения урановых месторождений Украины / Отв. ред. Белевцев Я.Н., Коваль В.Б. – Киев: Наук. думка, 1995. – 396 с.
2. *Дрогицкая Г.М.* Повышение достоверности геологической модели центральной части Украинского щита на основе комплексирования сейсмических методов ГСЗ и МОВЗ // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики.– К.: Всеукр. асоціація геоінформатики. Центр менеджменту і маркетингу в галузі наук про Землю ІГН НАН України, 2009. – С. 48–58.
3. *Дрогицкая Г.М.* Расслоенность земной коры Ингульского мегаблока (Украинский щит) по данным обменных волн землетрясений // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики. – К.: Всеукр. асоціація геоінформатики. Центр менеджменту і маркетингу в галузі наук про Землю ІГН НАН України, 2011. – С. 109–121.
4. *Дрогицкая Г.М.* Сейсмогеологическая позиция Кировоградского рудного района (Украинский щит) в связи с локальными неоднородностями поверхности Мохо / Г.М. Дрогицкая, А.А. Трипольский, Н.И. Попов и др. // Геофизика XXI столетия 2006 год: Сб. тр. Восьмых геофиз. чтений им. В.В. Федынского (г. Москва, 2–4 марта 2006). – М., 2007. – С. 21–27.
5. *Никитин А.А.* Комплекс спектрально-корреляционного анализа данных “КОСКАД-3Д” / А.А. Никитин, А.В. Петров, А.С. Алексашин – М.: Изд-во Моск. гос. геолого-разв. ун-та, 2004. – 158 с.
6. *Соллогуб В.Б.* Литосфера Украины. – Киев: Наук. думка, 1986. – 184 с.
7. *Cook F.* How the crust meets the mantle. Lithoprobe perspectives on the Moho and crust-mantle transition / F. Cook, D. White, A. Jones et al. // 33 IGC. – Oslo, 2008. – bstracts: CD.

Морфологія поверхонь поділу Мохо і K_2 в Кіровоградському рудному районі (Український щит) за сейсмічними даними Г.М. Дрогицька

На основі даних щодо глибин залягання поверхонь поділу Мохо і K_2 , отриманих уздовж сейсмічних профілів ГСЗ і МОХЗ за допомогою програмного забезпечення КОСКАД-3D і Surfer 8, побудовано карти рельєфу цих поверхонь. Нова інтерпретація геологічних і сейсмічних даних дала змогу виявити кореляцію поверхневих структур регіону з рельєфом поверхні поділу Мохо і локальними неоднорідностями земної кори. Встановлено зв'язок району, що характеризується високою рудною концентрацією, з глибинним субширотним прогином у рельєфі поверхні поділу Мохо.

Ключові слова: метод глибинного сейсмічного зондування (ГСЗ), метод обмінних хвиль землетрусів (МОХЗ), поверхня поділу Мохо, кора, мантія.

The morphology of Moho and K_2 surfaces in Kirovograd ore district (Ukrainian shield) according to seismic data G.M. Drogitskaya

The maps of Moho and K_2 surfaces were built based on the researching results of the depth from the bottom to the surface of Moho and K_2 , derived along seismic profiles DSS and MCWE with the use of KOSKAD-3D and Surfer software. New interpretation of geological and seismic data revealed correlation between established on surface structural pattern of the district, M-discontinuity relief and heterogeneity of Earth crust. As a result, the area of most intensive ore concentration was related to a deep sublatitudinal trough in M relief.

Keywords: method of the deep seismic sounding (DSS), method of converted waves of earthquake (MCWE), M-discontinuity, crust, mantle.