

УДК 550.834

© Г.М. Дрогицкая, 2011

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

РАССЛОЕННОСТЬ ЗЕМНОЙ КОРЫ ИНГУЛЬСКОГО МЕГАБЛОКА (УКРАИНСКИЙ ЩИТ) ПО ДАННЫМ ОБМЕННЫХ ВОЛН ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

В статье на основе статистического анализа поля обменных волн землетрясений рассмотрены особенности расслоенности Новоукраинского и Корсунь-Новомиргородского гранитоидных массивов, занимающих центральное положение в Ингульском мегаблоке. Сделан вывод, что массивы различаются не только по составу, генезису, характеру контактов с породами рамы, но и по вертикальной протяженности. Одним из доказательств служит обнаружение аномалий обменных волн на границе кора–мантия под Корсунь-Новомиргородским рапакиви-анортозитовым массивом при отсутствии таковой под Новоукраинским гранитоидным массивом, что косвенно подтверждает мантийное происхождение первого и коровое – второго массивов.

Ключевые слова: метод обменных волн землетрясений (МОВЗ), расслоенность, гранитоидные массивы, мантия, кора.

Введение. 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 раздела М более дифференцирован, в восточном секторе кора принадлежит к гранитному типу и рельеф раздела М более спокойный. Граница между западным и восточным секторами совпадает с трансрегиональным тектоническим швом Херсон–Смоленск [1].

Отличительная особенность мегаблока – пространственное сочетание двух крупных палеопротерозойских массивов – Новоукраинского и Корсунь-Новомиргородского. Предполагается, что указанные массивы образовались в эпоху активизации Украинского щита и что процессы активизации сопровождались растяжением земной коры. Эти же процессы оказали решающее влияние на металлогению центральной части Украинского щита [2].

Субмеридиональное простираание Новоукраинского и Корсунь-Новомиргородского массивов согласуется с ориентировкой складчатых структур

тур ингуло-ингулецкой серии, но массивы различаются по составу магматических пород, глубине образования и соотношениям с породами рамы. Контакты Новоукраинского массива в большинстве случаев конформны гнейсам и сопровождаются мигматитами. Массив на 80 % сложен гранат-биотитовыми и биотитовыми трахитоидными гранитами новоукраинского типа. Согласно петрологическим данным, Новоукраинский массив образовался на абиссальном уровне глубинности и в процессе кристаллизации и остывания испытал интенсивные пластические деформации сжатия. Корсунь-Новомиргородский массив на 80 % – сложен гранитами рапакви, на 10–20 % габбро-анортозитами, монцонитами, гранодиоритами и гранофировыми гранитами. Контакты массива с гнейсами и новоукраинскими гранитами резкие, без зон мигматизации, часто тектонические. Слагающие массив породы сохраняют первично-магматические текстуры и не обнаруживают признаков пластических деформаций. В отличие от Новоукраинского, Корсунь-Новомиргородский массив принадлежит к гипабиссальным интрузиям [3].

Перечисленные особенности внутреннего строения Новоукраинского и Корсунь-Новомиргородского массивов установлены при детальном картировании и специальном петрологическом и структурном изучении поверхности. Учесть их при анализе поведения массивов на глубину невозможно. Поэтому в основу анализа положены обобщенные характеристики Новоукраинского и Корсунь-Новомиргородского массивов. Первый рассматривается как относительно однородный, второй как гетерогенный с дискордантной субширотной ориентировкой крупных обособленных тел основных и кислых пород.

Особенности глубинного строения Ингульского мегаблока по сейсмическим данным. Площадь мегаблока исследована сейсмическими методами по плотной сети профилей и геотраверсов широтного и субмеридионального направлений (рис. 1). Они пересекают главные структурные элементы района – Новоукраинский и Корсунь-Новомиргородский массивы, Звенигородско-Анновскую, Субботско-Мошоринскую и Кировоградскую зоны разломов, что создает весьма благоприятные условия для анализа их распространения по вертикали.

Глубинное сейсмическое зондирование (ГСЗ) позволило изучить морфологию поверхности раздела М и определенные закономерности в распределении скоростных параметров во всей толще коры Новоук-

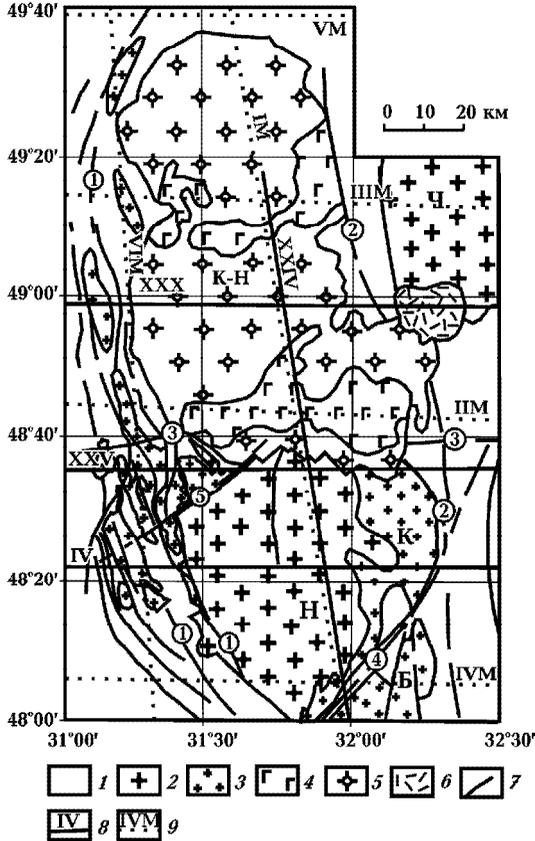


Рис. 1. Сейсмическая изученность Ингульского мегаблока (Украинский щит): 1 – стратифицированная ингуло-ингулецкая серия; интрузивные комплексы: 2 – новоукраинский, 3 – кировоградский, 4, 5 – корсунь-новомиргородский (4 – габбро-анортозиты, 5 – граниты рапакиви); 6 – дациты, туфы (Болтышская впадина); 7 – главные разломы; 8 – сейсмические профили ГСЗ; 9 – сейсмические профили МОВЗ; интрузивные массивы: Н – Новоукраинский, К – Кировоградский, Б – Бобринецкий, К-Н – Корсунь-Новомиргородский, Ч – Чигиринский; разломы (цифры в кружках): 1 – Звенигородско-Анновский, 2 – Кировоградский, 3 – Субботско-Мошоринский, 4 – Софиевско-Марьевский, 7 – Глодосский

раинско-Корсунь-Новомиргородского плутона как по глубине, так и по латерали [4–8].

Однако возможности широкоугольного низкочастотного метода ГСЗ в случае выделения и прослеживания на глубину неоднородностей в коре ограничены, поскольку последняя слабо дифференцирована по скоростям,

а литологические контакты, как правило, не являются акустически жесткими, а представляют собой сложные переходные зоны.

Опыт использования метода обменных волн землетрясений (МОВЗ) для изучения литосферы показывает, что обменные волны значительной интенсивности образуются, как правило, на “нежестких” контактах. Динамика *PS*-волн в значительной степени зависит от таких параметров среды, как трещиноватость, расслоенность, мощность границы, а также от напряженно-деформированного состояния земной коры на участках исследования [9].

Поэтому для решения задачи прослеживания крупных блоков коры и разделяющих их разрывных нарушений на глубину был выбран параметр обменоспособности среды, отражающий степень ее неоднородности, что, в свою очередь, косвенно указывает на степень сложности геологических процессов, приведших к формированию тех или иных блоков и структур.

Метод МОВЗ основан на регистрации и последующей интерпретации *PS*-волн, которые, распространяясь первоначально как продольные (*P*), при прохождении через анизотропную среду меняют свою природу на поперечные (*S*). Для построения границ обмена используется разность времен прихода обменных и образующих их продольных волн. Метод позволяет изучать глубинное строение земной коры и верхней мантии от 0,8–1,0 до 100–150 км, выделять вертикальные, горизонтальные и наклонные неоднородности в литосфере.

Работы МОВЗ в районе Новоукраинского и Корсунь-Новомиргородского массивов были выполнены в 1977–1980 гг., регистрация обменных волн *PS* осуществлялась станциями типа “Земля”, расстояние между пунктами приема составляло 3–4 км, продолжительность наблюдения на стоянке – 15–20 сут. [6, 8, 10].

Кроме стандартной обработки МОВЗ с целью сопоставления с данными ГСЗ было выполнено осреднение точек обмена в узлах преобразующей сети, что повышало достоверность выделения и идентификации основных сейсмических горизонтов: внутрикоровой границы K_2 и подошвы земной коры – поверхности раздела *M*. При этом существенное значение имел выбор оптимальных параметров трансформации – типа и размеров палетки. С учетом поставленной задачи обнаружения среди многочисленных обменов возможных аналогов поверхностей *M* и K_2 , имеющих четко выраженную субгоризонтальную ориентировку, преобразова-

ние исходного поля было выполнено с использованием прямоугольной палетки размером 3×12 км. [10].

Цель данной работы – выделение и прослеживание на глубину крупных блоков и структур, различающихся своим внутренним строением, поэтому трансформирование поля обменов следовало выполнить в изотропных окнах (окружностях), чтобы создать равные условия для выделения особенностей поля разной направленности.

В статье приводятся результаты статистической обработки исходного поля обменов по шести профилям МОВЗ в районе Корсунь-Новомиргородского и Новоукраинского массивов с использованием программного пакета «КОСКАД-3D» [11].

Для трансформации поля обменов были выбраны три параметра: плотность расположения точек обмена по глубине и по разрезу; кратность обменов в одной и той же точке и отношение амплитуды обменной волны к образовавшей ее продольной A_{PS}/A_P [12]. Все три параметра интерполированы в плоскостях своих разрезов по сетке 1×1 км, на следующем этапе обработки для каждого из них на всех разрезах выполнен статистический анализ (табл. 1).

Согласно данным табл. 1, между параметрами существует значительная корреляционная зависимость, что подтверждает надежность выполненных построений.

В дальнейшем особенности разрезов МОВЗ анализируются по динамическому параметру A_{PS}/A_P , так как он меньше остальных зависит от условий проведения эксперимента: времени наблюдения, расстояния между станциями, и является объективной характеристикой границ и

Таблица 1

Параметр	1–2	1–3	2–3
Количество точек	21 900	21 900	21 900
Среднее значение	0,936	0,945	0,980
Среднеквадратичное отклонение	0,117	0,113	0,093
Коэффициент вариации	0,01	0,01	0,01
Коэффициент асимметрии	–5,45	–6,07	–8,13
Коэффициент эксцесса	38,4	45,7	46,9
Минимальное значение	0	0	0
Медиана	0,972	0,978	1
Максимальное значение	1	1	1

поверхностей обмена. Все три параметра характеризуют гетерогенность разреза или расслоенность среды.

Ввиду значительной неравномерности наблюдаемых точек в разрезах и больших размеров целевых объектов поле было оптимальным образом осреднено (профильровано), кроме доминирующих направлений. Соответственно было выбрано круговое окно с радиусом, соответствующим среднему радиусу автокорреляции аномалий (11 км) для всех разрезов. Как результат этой обработки построены карты изолиний отношения A_{PS}/A_p для всех разрезов, значения изолиний соответствуют среднему значению (C), верхнему пределу фона ($C + 1,3 \times \text{СКО}$), нижнему пределу аномалии ($C + 3 \times \text{СКО}$) поля в разрезе (СКО – среднее квадратичное отклонение от среднего значения). Параметры изолиний для разрезов I–VI приведены в табл. 2. Верхний предел значений изолинии не ограничивался.

В наблюдаемом поле отмечается значительное количество обменов, произошедших вне плоскости профиля (так называемые боковые обмены). Их следует рассматривать как проекции истинных точек обмена на плоскость профиля. При расчетах всех трех параметров из исходных данных боковые обмены были исключены, но они представляют интерес как дополнительная независимая информация.

Обменоспособность изучаемых массивов ниже охарактеризована по двум меридиональным (IM, VIM) и трем широтным профилям (ПМ, ШМ, IVM).

Профиль IM пройден в осевой части Новоукраинско-Корсунь-Новомиргородского плутона (рис. 2). Он начинается в его северном эндоконтakte, пересекает Корсунь-Новомиргородский анортозит-рапакивигранитный плутон, Субботско-Мошоринскую зону разломов, Новоукраинский массив трахитоидных гранитов, Бобринецкий гранитный массив и южный склон щита (см. рис. 1).

Таблица 2

Параметр	I	II	III	IV	V	VI
Количество точек	30 383	26 460	12 337	20 640	15 552	21 900
Среднее значение	4,91	3,25	6,1	3,52	2,82	3,23
Среднеквадратичное отклонение	3,86	2,24	4,43	3,3	1,95	2,32
Минимальное значение	4,07	2,72	5,56	2,42	2,97	2,82
Медиана	9,93	6,16	11,86	7,81	5,36	6,25
Максимальное значение	14,56	8,85	17,175	11,77	7,695	9,03

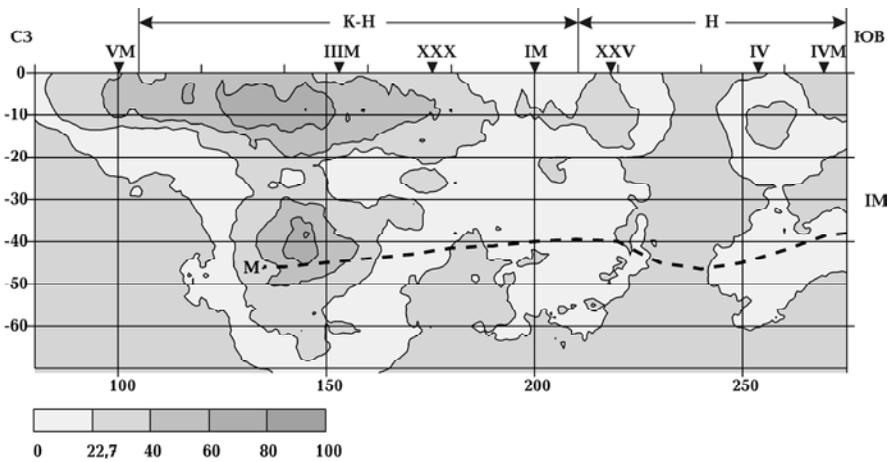


Рис. 2. Обменоспособность среды в вертикальном продольном сечении Новоукраинско-Корсунь-Новомиргородского плутона. Обменоспособность среды представлена в изолиниях A_{PS}/A_P . A_{PS}/A_P – отношение амплитуды обменной волны к образовавшей ее продольной волне. К-Н – Корсунь-Новомиргородский рапакиви-анортозитовый массив, Н – Новоукраинский гранитоидный массив, М – раздел Мохо, M_p – мантийный ров. IV, XXV, XXX – пересечения с профилями ГСЗ; ШМ, ШМ, IVM – пересечения с профилями МОВЗ

Обменоспособность северного эндоконтакта, сложенного, в основном, гнейсами ингуло-ингулецкой серии ниже средних значений (22,7 %), можно рассматривать как фоновую по отношению к изучаемым гранитным массивам. Новоукраинско-Корсунь-Новомиргородский плутон почти на всем своем протяжении характеризуется повышенными значениями обменоспособности. Но распределение повышенных значений внутри плутона неравномерно как по горизонтали, так и по глубине.

В пределах Корсунь-Новомиргородского рапакиви-анортозитового массива установлены две аномальные области. Первая, размером 80–85 км, захватывает почти весь массив, достигая максимальных значений (80 % и более) на глубинах 9–10 км на широте Городищенского и Смелянского габбро-анортозитовых массивов. Аномалия асимметрична. Она протягивается на север за пределы контакта с породами рамы, а на юге за профилем XXV резко затухает. Около Новомиргородского габбро-анортозитового массива обменоспособность не превышает 40 %, что соответствует нижнему пределу аномалии. Вторая аномалия обнаружена на глубине 40 км, в переходной зоне кора–мантия. Она имеет

изометричную форму, меньшие размеры, но соизмерима с первой по интенсивности.

Меридиональный профиль VIM расположен на расстоянии 40–50 км от профиля IM в пределах Звенигородско-Анновской зоны разломов (см. рис. 1). В целом разрез по профилю характеризуется средними (20–40 %) значениями обменоспособности (рис. 3, а). Однако на широте профиля ШМ на участке Городищенского габбро-анортозитового массива зафиксирована аномалия до 70 % на глубине 5–7 км. Она же зарегистрирована на профиле ШМ за пределами Корсунь-Новомиргородского массива (рис. 3, б). Это указывает на возможность распространения пород массива за пределы его обнаженной части. Ранее аналогичный вывод был сделан по материалам площадных работ ОГТ [13].

Кроме того, на широтном профиле ШМ подтверждена более глубокая аномалия обменоспособности с интенсивностью 70–80 %, расположенная на глубине 35–40 км. Однако она смещена ближе к восточному контакту Корсунь-Новомиргородского массива.

Общее снижение обменоспособности в южном направлении, зафиксированное на профиле IM, подтверждается и на широтном профиле ШМ, пересекающем Корсунь-Новомиргородский массив в его южной части (рис. 3, в). Здесь на западе значения параметра A_{PS}/A_P не превышают 40 % и лишь в восточной части возрастают до 60 %.

Новоукраинский гранитоидный массив изучен МОВЗ менее детально, чем Корсунь-Новомиргородский pluton. На профиле IM в северной части Новоукраинского гранитоидного массива зафиксирована аномальная зона с несколько повышенными значениями обменоспособности. Вместе с тем на широтном профиле IVM (рис. 3, г) обнаружена аномалия до 70 % на глубине 5–15 км.

Особый интерес представляет сопоставление обменоспособности среды и положения раздела М в продольном сечении Новоукраинско-Корсунь-Новомиргородского plutона (см. рис. 2). По данным ГСЗ верхняя граница раздела М в этом сечении располагается на глубинах от 38 до 46 км и состоит из локальных относительных поднятий и прогибов [14, 15]. Самый глубокий прогиб, получивший название “мантийного рва”, вытянут в широтном направлении, т. е. перпендикулярно к профилю IM.

Судя по форме изолинии 22,7 % параметра A_{PS}/A_P , отделяющей фоновые значения обменоспособности от повышенных, Новоукраинско-Корсунь-Новомиргородский массив почти на всем своем протяжении

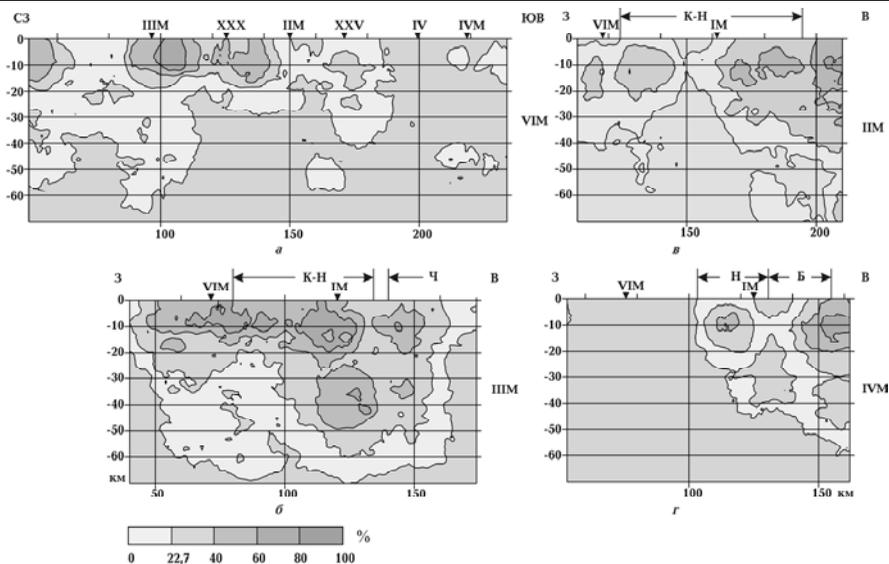


Рис. 3. Обменоспособность среды A_{ps}/A_p : а – профиль VIM, б – профиль IIII, в – профиль IM, г – профиль IVM. Условные обозначения те же, что на рис. 2

фиксируется на глубинах 50–70 км, т. е. ниже раздела М. Распределение повышенных значений обменоспособности неоднородно как по горизонтали, так и по глубине. До глубины 20 км повышенные значения при разной интенсивности присущи как Корсунь-Новомиргородскому рапакиви-анортозитовому, так и Новоукраинскому гранитоидному массиву. На более глубоких уровнях, включая раздел М, они располагаются лишь под Корсунь-Новомиргородским плутоном. Важно подчеркнуть, что в интервале глубин 30–50 км здесь установлены столь же высокие среднеквадратичные отклонения от средних величин обменоспособности, как и на отметках от 0 до 10 км.

Полученные данные могут служить независимым подтверждением связи Новоукраинского гранитоидного массива с внутрикоровыми, а Корсунь-Новомиргородского рапакиви-анортозитового массива – с подкоровыми источниками и процессами.

Из данных об обменоспособности среды можно сделать и другие выводы, имеющие отношение к познанию глубинного строения гранитоидных массивов.

Приповерхностная и глубинная аномалии обменоспособности Корсунь-Новомиргородского массива обособлены между собой по верти-

кали. Поэтому наблюдаемые на поверхности очертания массива не следуют без корректировки проецировать ниже 20 км. Кроме того, неясно, связана глубинная аномалия с непосредственным продолжением рапакиви-анортозитового массива или она отражает положение ранее существовавшего магматического очага. Заслуживает внимания вертикальный разрыв поля обменных волн над упомянутым “мантийным рвом”, в котором величины параметра A_{PS}/A_P уменьшаются до фоновых значений.

Заключение. Впервые по шести профилям МОВЗ выполнена статистическая обработка поля обменных волн землетрясений с использованием трех параметров: плотности точек обмена, кратности обменов в одной точке и динамическому параметру – отношению амплитуды обменной волны к проходящей волне, ее породившей (A_{PS}/A_P). Это позволило изучить расслоенность массивов вдоль меридиональных и широтных сечений.

Установлено, что массивы обладают повышенной расслоенностью или гетерогенностью по сравнению с вмещающей их ингуло-ингулецкой серией.

Расслоенность меняется по глубине и по площади. Выявлены две аномалии в районе Корсунь-Новомиргородского плутона на глубине 5–7 км, что соответствует распространению гранитов рапакиви и на уровне поверхности раздела М. Следует отметить, что в Новоукраинском массиве зафиксирована лишь одна аномалия в верхней части разреза, это косвенно подтверждает мантийное происхождение первого и коровое – второго массивов. Согласно данным обменных волн, породы плутона распространены более широко в нижних горизонтах, чем об этом можно судить по данным геологического картирования.

1. *Старостенко В.И., Пашкевич И.К., Кутас Р.И.* Глубинное строение Украинского щита // Геофиз. журн. – 2002. – **24**, № 6. – С. 36–48.
2. *Генетические типы и закономерности размещения урановых месторождений Украины* / Отв. ред. Я.Н. Белевцев, В.Б. Коваль. – Киев: Наук. думка, 1995. – 396 с.
3. *Щербаков И.Б.* Петрология Украинского щита. – Львов: ЗУКЦ, 2005. – 364 с.
4. *Соллогуб В.Б.* Литосфера Украины. – Киев: Наук. думка, 1986. – 184 с.
5. *Ильченко Т.В., Крюченко В.А.* Результаты комплексной интерпретации сейсмических и гравиметрических данных по профилю ГСЗ XXV Бабанки–Пятихатки // Геофиз. журн. – 1981. – **3**, № 1. – С. 94–105.
6. *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. – **3**, № 2. – С. 82–89.

7. *Трипольский А.А., Шаров Н.В.* Литосфера докембрийских щитов Северного полушария Земли по сейсмическим данным. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. – 159 с.
8. *Крюченко В.А., Исанина Э.В.* Опыт комплексной интерпретации материалов МОВЗ и гравиметрии в центральной части Украинского щита // Глубинное строение земной коры и верхней мантии Украины. – Киев: Наук. думка, 1984. – С. 16–26.
9. *Булин Н.К., Исанина Э.В., Литвиненко В.И.* Сейсмологические исследования МОВЗ на Балтийском щите и его южных склонах // Зап. Ленингр. горн. ин.-та. – **135**. – С. 53–64.
10. *Крюченко В.А.* Сопоставление результатов статистической обработки материалов МОВЗ и ГСЗ по профилю Канев–Николаев / Глубинное строение земной коры и верхней мантии Украины. – Киев: Наук. думка, 1984. – С. 3–16.
11. *Никитин А.А., Петров А.В., Алексахин А.С.* Комплекс спектрально-корреляционного анализа данных «КОСКАД-3D». – Москва: Изд-во Моск. гос. геологоразв. ун-та, 2004. – 158 с.
12. *Дрогицкая Г.М., Заяц В.Б., Исанина Э.В.* Результаты статистической обработки материалов МОВЗ по Кировоградскому рудному району (Украинский щит). Материалы науч.-практ. конф. “Современные геофизические технологии”, посвящ. 90-летию образования Горной академии – МГРИ–РГГРУ, г. Москва, 26–27 июня 2008 г. – Москва, 2008. – С. 27.
13. *Дрогицкая Г.М., Шимкив Л.М.* Глубинное строение западной части Корсунь-Новомиргородского плутона по данным сейсмических отраженных волн и гравитационного моделирования // Геофиз. журн. – 1986. – № 2. – С. 76–82.
14. *Дрогицкая Г.М., Трипольский А.А., Попов Н.И. и др.* Сейсмогеологическая позиция Кировоградского рудного района (Украинский щит) в связи с локальными неоднородностями поверхности Мохо. Геофизика XXI столетия, 2006 год: Сб. тр. Восьмых геофиз. чтений им В.В. Федынского (г. Москва, 2–4 марта 2006 г.). – Москва, 2007. – С. 21–27.
15. *Старостенко В.И., Казанский В.И., Дрогицкая Г.М. и др.* Связь поверхностных структур Кировоградского рудного района с локальными неоднородностями коры и рельефом раздела Мохо // Геофиз. журн. – 2007. – **29**, № 1. – С. 3–21.

Шаруватість земної кори Інгупського мегаблока (Український щит) за даними обмінних хвиль землетрусів Г.М. Дрогицька

РЕЗЮМЕ. У статті на основі статистичного аналізу обмінних хвиль землетрусів розглянуто особливості шаруватості Новоукраїнського і Корсунь-Новомиргородського гранітоїдних масивів, що займають центральне положення в Інгупському мегаблочі. Зроблено висновок, що масиви розрізняються не лише за складом, генезисом, характером контактів із породами рами, а і за вертикальною протяжністю. Одним із доказів слугує виявлення аномалії обмінних хвиль на межі кора–мантия під Корсунь-Новомиргородським рапаківі-анортозитовим масивом за відсутності такої під Новоукраїнським гранітоїдним, що непрямо підтверджує мантийне походження першого і корове – другого масивів.

Ключові слова: метод обмінних хвиль землетрусів (МОХЗ), шаруватість, гранітоїдні масиви, мантия, кора.

Crust layering of ingulskiy megablock (ukrainian shield) based on converted waves of earthquake G.M. Drogitskaya

SUMMARY. This article represents the research of peculiarity of the Novoukrainsk and Korsun'-Novomirgorod granitoid massifs layering which are located in the sentral of Ingulskiy megablock. This studying is based on statistic processing of the converted waves of earthquake. The conclusion was made. The massifs differ not only in their structures, genesis and characters of contacts with surrounding rocks but also in vertical extension. One of the proofs is discover of converted waves anamaly on the mantle border crust near Korsun'-Novomirgorod rapakivi-anorthosite massif. And lack of this anamaly in Novoukrainsk granitoid massif witnesses the mantle origin of the first one and the crust origin of the second one.

Keywords: method of converted waves of earthquake (MCWE), layering, granitoid massifs, mantle, crust.