

## МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ МОВЗ В КИРОВОГРАДСКОМ РУДНОМ РАЙОНЕ

В настоящей работе изложена методика статистической обработки данных обменных волн землетрясений и результаты сейсмогеологического моделирования Кировоградского рудного района, рассмотрены соотношения Кировоградско-Новоукраинского гранитоидного, Корсунь-Новомиргородского рапакиви-анортозитового массивов и раздела Мохо.

**Ключевые слова:** обменные волны; землетрясения; статистическая обработка; кора; мантия; раздел Мохо.

Консолидированная кора представляет собой гетерогенную среду со сложным распределением неоднородностей слабо дифференцированных по скоростным параметрам. Литологические контакты внутри коры, 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, как правило, образуются 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. [Булин, Исанина, 1992]

Поэтому для решения задачи изучения внутренней структуры больших блоков коры, обменные волны могут быть более информативными, чем рефрагированные или отраженные, используемые в методе ГСЗ.

Метод МОВЗ основан на регистрации и последующей интерпретации волн  $PS$ , которые образуются при прохождении продольных волн ( $P$ ) от далеких и близких землетрясений через анизотропную кору, трансформируясь при этом – в поперечные ( $S$ ).

Волны  $PS$ , образовавшиеся в коре под пунктом приема, регистрируются на сейсмических записях вслед за продольными волнами ( $P$ ) – в интервале времен до 10-12 секунд и несут информацию о дифференциации коры по физическим параметрам непосредственно под пунктом приема. Очаговые  $S$  волны и  $SP$  характеризуются более низким частотным диапазоном и приходят с большим временным запаздыванием, т.е. в интервале до 10 – 12 секунд кроме волн  $PS$  других поперечных волн нет.

Для построения поля обменов используется разность времен прихода обменных и образующих их продольных волн.

Сейсмические исследования методом обменных волн землетрясений в Кировоградском рудном районе проводились с 1977 по 1980 г.г. [Крюченко, Исанина, 1981]. Регистрация продольных и обменных волн осуществлялась трехкомпонентными сейсмостанциями типа «Земля» в

полосе частот 0,7-12 Гц со средним расстоянием между пунктами наблюдения 3-4 км. Полевые наблюдения и интерпретация материалов проводилась по стандартной методике. Профили обрабатывались несколькими стоянками. Длительность стоянок (одновременно работающих станций) составляла 15-27 дней. Стоянка считалась отработанной, если были зарегистрированы не менее 8-10 информативных землетрясений с продольной волной, имеющей запись четких вступлений. Всего с 1977 по 1980 г были отработаны 8 профилей: два мери-диональных, четыре широтных и два диагональных, проинтерпретированы материалы по 33 стоянкам, зарегистрированы обменные волны от 481 землетрясения. В результате был накоплен значительный объем фактического материала, и впервые была сделана попытка статистической обработки поля обменных волн и их увязки с данными ГСЗ [Крюченко, 1984].

В 2009-2010 г.г. данные МОВЗ были заново обработаны с использованием программного пакета «КОСКАД - 3D» [Никитин и др., 2004].

Основные отличия от предыдущих работ заключаются в следующем:

- Заново были оцифрованы и обработаны исходные данные по всем 8 профилям МОВЗ;
- При обработке было использовано изометрическое окно;
- Оптимальный размер окна выбирался на основании статистического анализа всего исходного материала;
- Автоматизация процесса обеспечила минимальный сдвиг окна и более высокую точность результатов;
- Использовался не один, а три параметра (признака): плотность распределения точек обмена по профилю, отношение амплитуды обменной волны к амплитуде породившей ее продольной волны  $Aps/Ap$  и кратность обмена в одной и той же точке.

В конечном счете, обработка каждого профиля заключалась в переходе от исходного поля обменов к распределению параметра  $Aps/Ap$  и построению итогового разреза в изолиниях.

Перед обработкой исходные данные были интерполированы в плоскости каждого профиля по сетке 1×1 км. Размер интерполяционного окна

был обусловлен расстоянием между сейсмо-станциями (3-4 км) и длиной регистрируемых продольных и поперечных волн (500-1000 м). Интерполяция осуществлялась методом Крайгинга, суть которого заключается в весовом осреднении поля в интерполируемых точках. Предварительно на основе пространственно-статистического анализа всех данных по профилю строились вариограммы, из которых и выбирались весовые коэффициенты (Surfer 8).

В ходе работ были вычислены коэффициенты линейной корреляции: плотности распределения точек обмена, отношения  $Aps/Ar$  и кратности обмена. Коэффициент их взаимной корреляции колебался от 0.94 до 0.98 при статистической точности определения не менее 10% (среднее квадратичное отклонение 0.09-0.11). Следовательно, все три параметра характеризуют один и тот же физический признак – степень гетерогенности или расслоенности среды.

Параметр  $Aps/Ar$  менее других зависит от условий проведения эксперимента: времени наблюдения и расстояния между станциями. Соответственно на каждом профиле было проанализировано распределение параметра  $Aps/Ar$ : количество интерполированных точек, среднее значение и среднее квадратичное отклонение по профилю, пределы изменения (мин. макс.) и значение центра распределения. Все в рабочей шкале значений параметра.

Существенная неравномерность распределения исследуемого параметра, слабое заполнение данными связанное с коротким периодом проведения эксперимента, значительный разброс значений даже на небольшой площади профиля и большие размеры целевых объектов потребовали оптимальным образом отфильтровать (осреднить) исходные данные. Для фильтрации было выбрано круговое окно с радиусом 11.5 км, близким среднему радиусу автокоррекции аномалий, вычисленному как средневзвешенное для всех профилей. Использование кругового окна исключило возможность искусственного доминирования какого-либо одного направления.

На итоговых разрезах изолинии соответствуют средневзвешенному значению параметра  $Aps/Ar$  для всех профилей ( $C$ ), верхнему пределу фона ( $C+1.3 \times S$ ), нижнему пределу аномалии ( $C+2.5 \times S$ ), где  $C$  – среднее значение, а  $S$  – среднее квадратичное отклонение от среднего значения. Обработанные таким образом данные МОВЗ по каждому из профилей приведены в работе [Дрогицкая и др., 2007, Дрогицкая, 2009, Старостенко и др., 2010].

Увязка профилей позволила построить серию каркасных блок-диаграмм поля обменных волн землетрясений.

Корсунь-Новомиргородскому массиву в интервале глубин 0-20 км присуща крупная аномалия  $Aps/Ar$ . Она протягивается в меридиональном

направлении на 60-70 км и в широтном направлении на 40-50 км, выходя за пределы обнаженной части массива. В узле пересечения профилей ИМ и ПМ она достигает максимальной интенсивности более 80%. Вторая аномалия столь же высокой интенсивности зафиксирована на глубине около 40 км. Ее эпицентр находится вблизи раздела Мохо. Вторая аномалия либо отражает положение питающего канала для расположенной выше плитообразной интрузии анортозитов и гранитов рапакиви, либо указывает на положение промежуточной магма-гической камеры.

Под Новоукраинско-Кировоградским гранитоидным массивом аномалии  $Aps/Ar$  протягиваются на меньшую глубину, имеют меньшую интенсивность и разделены почти вертикальными зонами фоновых значений этого параметра.

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

Таким образом, на основе статистической обработки обменных волн землетрясений показано, что Новоукраинско-Кировоградский и Корсунь-Новомиргородский массивы отличаются не только по составу и генезису, но и по вертикальной протяженности. Одним из доказательств служит обнаружение аномалий обменных волн на разделе кора-мантия под Корсунь-Новомиргородским рапакиви-анортозитовым массивом при отсутствии таковой под Новоукраинским гранитоидным массивом.

### Литература

- Булин Н.К., Исанина Э.В., Литвиненко В.И. Сейсмологические исследования МОВЗ на Балтийском щите и его южных склонах // Записки Ленинградского горного ин.-та. – Т.135. – С.53-64.
- Дрогицкая Г.М., Трипольский А.А., Попов Н.И., Казанский В.И., Тарасов Н.Н., Шаров Н.В. Сейсмогеологическая позиция Кировоградского рудного района (Украинский щит) в связи с локальными неоднородностями поверхности Мохо. Геофизика XXI столетия: 2006 год. Сборник трудов Восьмых геофизических чтений им В.В.Федынского (2-4 марта 2006 г., Москва), 2007. – С.21-27.
- Дрогицкая Г.М. Особенности глубинного строения земной коры Корсунь-Новомиргородского и Новоукраинского массивов (Украинский щит) по сейсмическим данным / Геодинамика, №1(8), 2009, С.76-83.
- 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.

Крюченко В.А., Исанина Э.В. Особенности глубинного строения южной части Киро-воградского блока по данным МОВЗ и гравиметрии // Геол. журн. – 1981. – №2. – С.97-104.  
Никитин А.А., Петров А.В., Алексашин А.С. Комплекс спектрально корреляционного анализа данных «КОСКАД 3D» Москва, Московский Государственный геолого-разведочный университет. – 2004. – 158 с.

Старостенко В.И., Казанский В.И., Попов Н.И., Дрогицкая Г.М., Заяц В.Б., Макивчук О.Ф., Трипольский А.А., Чичеров М.В. От поверхностных структур к интегральной глубинной модели Кировоградского рудного района (Украинский щит) I // Геофиз. журн. – 2010. – 32, -№1. – С. 3-33.

### **МЕТОДИКА І РЕЗУЛЬТАТИ СТАТИСТИЧНОЇ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ МОХЗ У КІРОВОГРАДСЬКОМУ РУДНОМУ РАЙОНІ**

**Г.М. Дрогицька, В.Б. Заяць, В.М. Степаненко**

В даній роботі викладено методику статистичної обробки даних обмінних хвиль землетрусів та результати сейсмогеологічного моделювання Кіровоградського рудного району, розглянуто співвідношення Кіровоградсько-Новоукраїнського гранітоїдного, Корсунь-Новомиргородського рапаківі-анортозитового масивів та розподілу Мохо.

**Ключові слова:** обмінні хвилі; землетруси; статистична обробка; кора; мантія; розподіл Мохо.

### **THE METHODOLOGY AND RESULTS OF THE STATISTICAL PROCESSING OF ECWM DATA IN THE KIROVOGRAD ORE DISTRICT**

**G. Droditskaya, V. Zaets, V. Stepanenko**

In the following work the methodology of statistical processing of the earthquake converted waves and results of seismogeologic modeling of the Kirovograd ore district are represented. The correlation between Novoukrainsk-Kirovograd granitoid, Korsun'-Nowomirgorod rapakivi-anorthosite massifs and the Moho boundary are considered.

**Key words:** converted waves; the earthquake; statistical processing; crust; mantle; Moho boundary.

---

<sup>1</sup> *Институт геофизики НАН Украины, г. Киев*

<sup>2</sup> *КП Кировгеология*