

## МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ МОВЗ В ОНЕЖСКОМ РУДНОМ РАЙОНЕ (Балтийский щит)

В настоящей работе изложена методика и результаты статистической обработки данных обменных волн землетрясений в Онежском рудном районе. Показана связь сейсмических параметров с особенностями геологического строения отдельных блоков земной коры. Установлено, что месторождения пространственно связаны с наличием повышенной мощности андерплейтингового слоя, где, вероятно, проходила в палеопротерозое главная дифференциация мантийных магматических расплавов с отделением флюидных и рудных фаз. Она создавала благоприятные условия для последующего внедрения обогащенных металлами магматических расплавов в верхние уровни коры.

**Ключевые слова:** обменные волны, землетрясения, статистическая обработка, кора, мантия, раздел Мохо, Онежский рудный район, Балтийский щит.

### Введение

Онежский рудный район – это месторождения хромитов, титаномагнетитов с платиноидами и золотом, а также урана – ванадия с комплексом других элементов. Онежская палеопротерозойская геологическая структура является уникальной, сравнительно хорошо обнаженной и изученной на территории Восточно-Европейской платформы. Она активно развивалась в интервале 2,5–1,7 млрд лет геологической истории. Её территория площадью 40 тыс. км<sup>2</sup>, расположенная на Ю-В Карелии и прилегающих районах Ленинградской и Вологодской областей, рассматривается в качестве одного из важных мировых эталонов палеопротерозойского этапа истории Земли. Исследования глубинного строения Онежской структуры с применением сейсмическим методов направлены на установление связей ее рудных месторождений с локальными неоднородностями коры и раздела кора-мантия.

### Методика и результаты сейсмических исследований МОВЗ

Сейсмические работы методом обменных волн землетрясений (МОВЗ) в Онежском рудном районе были выполнены в 1980-1987 гг. с использованием стандартной методики. Расстояние между точками наблюдений составляло 3-5 км, длительность наблюдений на каждой точке 24-30 дней (до полного набора необходимой информации). В 2012 г. часть сейсмического материала по трем профилям была пересмотрена. Построенные заново глубинные разрезы переобработаны с использованием программных пакетов „КОСКАД-3D” и Surfer 8 [Никитин и др., 2004].

Для обработки трех профилей МОВЗ (I, II, 6) в Северо-Онежском синклинии использована методика статистической обработки обменных волн землетрясений, предложенная и опробованная на сейсмическом материале, выполненном ГП „Невскгеология” (1977-1980 гг.) в Кировоградском рудном районе (Украинский щит) [Дрогицкая, 2009; Старостенко и др., 2010].

На исходных глубинных разрезах МОВЗ [Шаров и др., 2011; Онежская..., 2011] уверенно прослежены отдельные довольно протяженные границы в коре, а также поверхности  $M_1$  и  $M_{II}$  соответствующие кровле и подошве переходной зоны кора-мантия, четко картируются зоны нарушений различной глубины заложения.

Кроме информации о плотности распределения точек обмена по профилю особый интерес представляет динамический параметр обменоспособности среды  $A_{PS}/A_P$ , где  $A_{PS}$  – интенсивность обменной волны,  $A_P$  – интенсивность продольной волны. Этот параметр меньше остальных зависит от условий проведения эксперимента: времени и длительности наблюдения, расстояния между станциями и т.д., и является объективной характеристикой физического состояния границ и поверхностей обмена.

В Онежском рудном районе зафиксированы резкие колебания значений этого параметра даже при прослеживании вдоль одной и той же границы. Данное обстоятельство может свидетельствовать об изменении физического состояния границ раздела по латерали. Значительные изменения обменоспособности среды фиксируются вблизи зон нарушений, что указывает на повышение флюидопотоков в зонах повышенных значений обменоспособности (т.н. „нежесткие контакты”) [Яновская, Дмитриева, 1991].

Следует отметить, что количество обменных волн на построенном разрезе характеризует степень гетерогенности геологической среды, а интенсивность обменных волн зависит от таких физических свойств как трещиноватость, напряженность, жесткость, флюидонасыщенность и изменения скоростных параметров по разные стороны границ разделов. Статистический анализ исходных данных выполнен однотипно для всех трех профилей.

Значения параметра  $A_{PS}/A_P$ , в каждом из профилей были интерполированы методом Крайгинга в плоскости разреза на сеть 1×1 км. Полученные результаты интерполяции использованы для построения карт распределения данного параметра. Для фильтрации случайных для данного масштаба отклонений и генерализации основных тенденций поведения функции в разрезе поле интерполированных точек было осреднено в скользящем окне 5×5 км. Радиус осреднения близок к радиусу функции автокорреляции аномалии.

В табл. 1 приведены для каждого из профилей средние значения параметра  $A_{PS}/A_P$  ( $C$ ), среднеквадратичные отклонения ( $S$ ), верхний предел фоновых значений и нижний предел аномалии. При этом верхний предел фона вычисляется как  $C+1.3\times S$ , а нижний предел аномалии –  $C+2.5\times S$ .

Таблиця 1

Результаты статистической обработки обменных волн землетрясений

Параметры	ПР1	ПРП	ПР6	Общ.
Среднее значение	42.9	36.2	38.2	39.8
Среднеквадратичное отклонение	14.4	10	12.3	12.7
Верхний предел фона	61.6	49.2	54.2	56.3
Нижний предел аномалии	71.7	56.8	62.3	64.6

Построены трансформированные разрезы для трех профилей МОВЗ в изолиниях параметра  $A_{PS}/A_P$  (0-100%), и представлены те же разрезы в изолиниях средних значений (С).

Онежский район характеризуется достаточно высокими показателями параметра  $A_{PS}/A_P$  выше 39,8%. Такие параметры обменоспособности присутствуют в средах с повышенным напряженным состоянием, флюидопотоком и значительными перепадами скоростей на границах разделов.

В результате сопоставления глубинных и переобработанных по новым технологиям разрезов обменоспособности среды составлены представления о гетерогенности и геодинамическом состоянии среды. На комплексных разрезах хорошо определяется сложная слоисто-блоковая структура земной коры, причем на глубинных разрезах видна дифференциация по расслоенности и определяются зоны тектонических нарушений, а на разрезах обменоспособности устанавливается геодинамическое состояние выделенных блоков и зон их разграничивающих. Увязка профилей позволила построить серию каркасных блок-диаграмм поля обменных волн землетрясений. Одна из них представлена на рис. 1. Она опирается на два меридиональных (ПР1, ПР6) и один широтный (ПРП) профиля МОВЗ.

*Профиль 1* пересекает Онежскую структуру с юго-запада на северо-восток и протягивается на 150 км. Распределению параметра  $A_{PS}/A_P$  в разрезе профиля отвечает сложный мозаичный рисунок. Отмечено несколько областей, где значения параметра  $A_{PS}/A_P$  выше среднего. На пикетах 0-15 км, зафиксированы аномальные области на глубинах 35-55 км, где величина этого параметра достигает 80-90 %, а на пикетах 15-25 км высокие значения зафиксированы на глубинах от верхов коры до мантии. Этой аномальной области соответствует участок разреза, находящийся в створе глубинной Южной (Гирвасской) зоны разломов. Мощность земной коры (граница  $M_1$ ) вдоль профиля изменяется от 36-37 км на юго-западе до 29,5-30,5 на северо-востоке. Между Лижемской и Тамбицкой зонами наблюдаются нарушенные и структурно измененные области подошвы земной коры. Самые значительные изменения захватывают кровлю и подошву зоны перехода кора-мантия в области мощной Уницкой зоны.

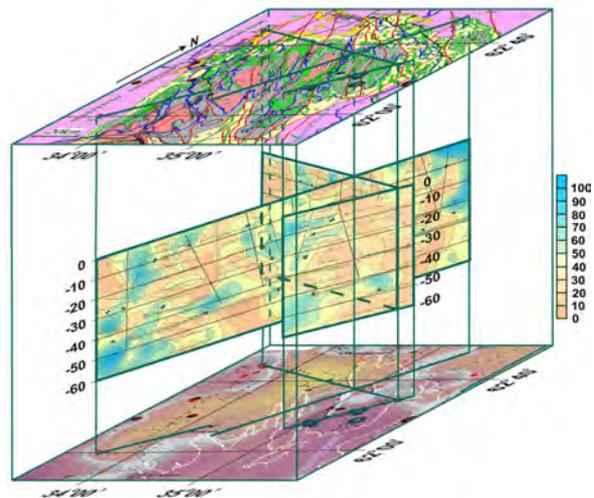


Рис. 1. Объемная сейсмогеологическая модель Онежского рудного района

Вверху – современный эрозионный срез, в средней части – каркасная блок-диаграмма распределения параметра  $A_{PS}/A_P$ , внизу – мощность коромантийного переходного слоя

*Профиль 2* протягивается с СЗ на ЮВ на 120 км и пересекает основные разрывные структуры Онежского рудного района под более острым углом, чем профиль 1.

Наиболее интересной является центральная часть разреза (пикеты 60-75 км), где прослеживается интенсивная площадная аномалия (70-80 %). По глубине она распадается на несколько областей: в верхней части коры (глубины 2-6 км), в средней части коры (20-30 км) и в низах коры, захватывая всю переходную зону кора-мантия. Сопоставимые с ней по интенсивности обменные волны зафиксированы в области верхней части коры на глубинах 10-15 км на пикетах 30-40 км (юго-восточнее Лижемской зоны разломов). Выделенный блок повышенной обменоспособности, захватывающий всю кору и уходящий глубже в мантию соответствует области сочленения Уницкой и Святухинско-Космозерской зон складчато-разрывных дислокаций.

Таким образом, Уницкая зона, сохраняющая напряженное динамическое состояние на уровне низов коры имеет все шансы быть “печкой” для большей части Северо-Онежского синклинория. Оперяющие и соседствующие с ней зоны нарушений будут иметь следы многократных активизационных процессов. Она же прослеживается в ЮЗ направлении за пределами разреза еще на 100 км.

На *профиле 6*, четко структурированном по параметру обменоспособности между Святухинско-Космозерской и Тамбицкой зонами разломов на глубинах от 2 до 18 км обнаруживается область повышенной обменоспособности и повышенной расслоенности верхней части земной коры. Профиль пересекает площадь Северо-Онежского синклинория в его южной части и проходит через участки двух месторождений: Космозерского и Средняя Падма, а также вблизи кимберлитовой трубки Кимозеро.

**Выводы**

Установлено, что месторождения пространственно связаны с наличием повышенной мощности андерплейтингового слоя, где вероятно проходила в палеопротерозое от 2.45 до 1.7 Ga главная дифференциация мантийных магматических расплавов суммийской и людиковийской крупных магматических провинций с отделением флюидных и рудных фаз. Она создавала благоприятные условия для последующего внедрения обогащенных металлами магматических расплавов в верхние уровни коры и образования там месторождений хромитов и титаномагнетитов с сопутствующими элементами. Метасоматические комплексные уран-ванадиевые руды формировались в свекофеннский тектонический (1.8-1.7 Ga) этап, который привел к существенным преобразованиям коры и сопровождался вепсийским основным магматизмом и связанным с ним интенсивным флюидообразованием под воздействием мантийного диапира.

**Литература**

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.

Никитин А.А., Петров А.В., Алексахин А.С. Комплекс спектрально корреляционного анализа данных „КОСКАД 3D” Москва, Московский Государственный геолого-разведочный университет. – 2004. – 158 с.

Онежская палеопротерозойская структура (геология, тектоника, глубинное строение и минерагения) / Отв. ред. Л.В. Глушанин, Н.В. Шаров, В.В. Щипцов. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011, 431 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.

Шаров Н.В., Исанина Э.В., Заможняя Н.Г., Крупнова Н.А., Сулейманов А.К. Результаты глубинных сейсмических исследований методами ОГТ, ГСЗ и МОВЗ Онежско-Ладожской площади (Республика Карелия, Россия) // Геофиз. журн. – 2011. – 33, № 3. – С. 23-39.

Яновская Т.Б., Дмитриева Л.А., Влияние жесткости контакта упругих сред на коэффициент отражения, преломления и обмена // Изв. АН СССР, Физика земли. – 1991. – № 5. – С. 17-22.

**МЕТОДИКА І РЕЗУЛЬТАТИ СЕЙСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МОХЗ В ОНЕЗЬКОМУ РУДНОМУ РАЙОНІ (Балтійський щит)**

**Н.В. Шаров, Е.В. Исанина, Г.М. Дрогицкая**

У даній роботі викладено методику та результати статистичної обробки даних обмінних хвиль землетрусів в Онезькому рудному районі. Показано зв'язок сейсмічних параметрів з особливостями геологічної будови окремих блоків земної кори. Встановлено, що родовища просторово пов'язані з наявністю підвищеної потужності андерплейтингового шару, де, ймовірно, проходила в палеопротерозої головна диференціація мантийних магматичних розплавів з відділенням флюїдних і рудних фаз. Вона створювала сприятливі умови для подальшого впровадження збагачених металами магматичних розплавів в верхні рівні кори.

**Ключові слова:** обмінні хвилі, землетруси, статистична обробка, кора, мантия, розподіл Мохо, Онезький рудний район, Балтійський щит.

**THE METHODOLOGY AND RESULTS OF THE SEISMIC PROCESSING OF ECWM DATA IN THE ONEGA ORE DISTRICT (Baltic shield)**

**N.V. Sharov, E.V. Isanina, G.M. Drogitskaya**

In the following work the methodology and results of statistical processing of the earthquake converted waves in the Onega ore district are represented. Seismic parameters are shown to be related to the geological structure of individual crustal blocks. The deposits have been found to be spatially related to the elevated thickness of the underplating layer, where the main differentiation of mantle magmatic melts, which resulted in the separation of fluid and ore phases, probably occurred in the Palaeoproterozoic. It created favorable conditions for the subsequent intrusion of metal-enriched magmatic melts into upper crustal levels.

**Key words:** converted waves, the earthquake, statistical processing, crust, mantle, Moho boundary, Onega ore district, Baltic Shield.

<sup>1</sup>Институт геологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск, Россия

<sup>2</sup>РГЭЦ – филиал ФГУП „Урангео”

<sup>3</sup>Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

Надійшла 22.07.2013