

## ОСОБЕННОСТИ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ РУДНЫХ РАЙОНОВ УКРАИНСКОГО И ФЕННОСКАНДИНАВСКОГО ЩИТОВ

Г.М. Дрогицкая<sup>1</sup>, Н.В. Шаров<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, просп. Акад. Палладина, 32, г. Киев, 03680, Украина, e-mail: drogitskay@igph.kiev.ua

<sup>2</sup>Институт геологии Карельского научного центра РАН, ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910, e-mail: sharov@krc.karelia.ru

Новая интерпретация геологических и сейсмических данных позволила выявить корреляцию поверхностных структур крупных эндогенных рудных районов Украинского и Фенноскандинавского щитов с рельефом поверхности раздела Мохо и локальными неоднородностями земной коры. На основе согласованного анализа геологических и сейсмических данных построены и сопоставлены модели глубинного строения Печенгского, Кировоградского и Онежского рудных районов.

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

**Введение.** Проблема соотношений рудных месторождений с глубинными неоднородностями литосферы занимает одно из важных мест в сфере геологии, геофизики и геохимии. Эта проблема разрабатывается в масштабе металлогенических провинций, металлогенических зон, рудных районов, отдельных крупных рудных месторождений и в разных направлениях. Одно из направлений — создание интегральных глубинных моделей рудных районов, расположенных в докембрийских комплексах щитов, на основе согласованного анализа геологических и сейсмических данных. Модели ориентированы на выявление среднемасштабных неоднородностей коры и раздела кора—мантия и сопоставление этих неоднородностей с рудоносными поверхностными структурами.

Такой подход разработан на примере Печенгского рудного района, развит при изучении Северо-Онежского синклинория на Фенноскандинавском щите, а также Кировоградского рудного района на Украинском щите. Все три района сформировались в палеопротерозое и содержат эндогенные рудные месторождения мирового класса. В Печенгском районе это магматические медно-никелевые месторождения возрастом 2,0 млрд лет, ассоциированные с габбро-верлитовыми интрузиями и локализованные в палеопротерозойском осадочно-вулканогенном комплексе. В Онежском рудном районе это месторождения хромитов, титаномагнетитов с платиноидами и золотом, а также урана—ванадия с комплексом других элементов. В Кировоградском рудном районе это гидротермальные метасоматические урановые месторождения, залегающие в палеопротерозойских гранитоидах и ультраметаморфических породах. Рудные районы детально исследованы геологическими и сейсмическими

методами. В Печенгском и Онежском рудных районах сейсмические работы были сфокусированы на сверхглубоких скважинах, в Кировоградском рудном районе — выполнены по системе пересекающихся профилей. Важно подчеркнуть, что в течение последующей геологической истории рудные районы не претерпели существенных преобразований.

**Печенгский рудный район.** Исследования глубинного строения Печенгского рудного района были начаты Институтом геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ) РАН в 1971 г. с изучения разреза Кольской сверхглубокой скважины и осуществлялись в два этапа. На первом этапе на основе корреляции разреза скважины и адекватных материалов по поверхности была построена модель до глубины 15 км. При этом исходили из более широких, чем обычно, границ Печенгского рудного района, что позволило расшифровать внутреннее строение никеленозной Печенгской структуры. При создании второй модели до глубины 40 км были использованы результаты сейсмотомографического изучения переходной зоны Балтийский щит — шельф Баренцева моря. В итоге под Печенгской структурой зафиксирован локальный подъем раздела Мохо, интерпретированный как реликтовый мантийный плюм.

В последующие годы работы в Печенгском рудном районе развиваются по трем направлениям. Во-первых, обобщены результаты многолетних структурно-петрологических исследований Печенгского рудного района и сопоставлены данные о рудоносных площадях северо-восточной части Балтийского щита [6]. Во-вторых, проведена интерпретация никеленозной Печенгской структуры как палеопротерозойского приразломного вулкани-

ческого центра [17]. В-третьих, сопоставлены тектоническая позиция рудного района и его глубинное строение.

Отправным пунктом интерпретации никеленосной Печенгской структуры как палеопротерозойского приразломного вулканического центра служит интегральная геодинамическая модель Печенгского рудного района до глубины 15 км [17]. Модель трактует Северное крыло Печенгской структуры как фрагмент вулканической кальдеры, осложненной согласными зонами расщеливания, а ее Южное крыло — как чешуйчатую моноклинал, на которую надвинуты гранитоидные купола.

В связи с бурением Кольской сверхглубокой скважины в Печенгском районе и на смежных площадях выполнены уникальные по плотности и методам сейсмические исследования. Для построения сейсмотомографического разреза суша—море [4] в базу данных были включены 4200 лучей  $P$ -волн и 2400 лучей  $S$ -волн, зарегистрированных от региональных профилей, промышленных и других мощных взрывов. В ГП “Невскгеология” сначала был построен один опорный разрез, представленный в виде вариаций  $V_p$ ,  $V_s$  и отношения  $V_p/V_s$  на глубину 40 км и по латерали, затем детальная трехмерная модель участка, в центре которого находится Кольская сверхглубокая скважина.

Установлено, что в Печенгском районе континентальная кора делится на верхнюю гетерогенную и нижнюю гомогенную, различающиеся величиной скоростных параметров. Граница между ними располагается на глубине от 20 до 25 км. Сопоставление данных ГСЗ и МОВЗ позволило определить положение и строение раздела Мохо. Он представлен двумя сейсмическими поверхностями, отстоящими друг от друга на 12 км. Верхняя поверхность располагается на глубинах 34—41 км. Минимальные глубины (34—36 км) зафиксированы под Северным крылом Печенгской структуры, вмещающим медно-никелевые месторождения. Они отвечают изометричной в плане аномалии диаметром 35—45 км, интерпретированной как реликтовый мантийный плюм, точнее его кровля. Под ним на границе верхней и нижней коры выявлены аномалии с максимальными значениями  $V_p/V_s$  — признаки некогда существовавших промежуточных магматических камер.

Сведения о литологическом составе пород на разделе кора—мантия и поведении раздела Мохо получены в результате переинтерпретации сейсмического профиля POLAR и совпадающего с ним профиля Fire-4 [16]. Он определен по соотношениям параметров  $V_p$ ,  $V_s$  и  $V_p/V_s$  в профилях и образцах коровых и мантийных пород. Впервые установлено, что в Кольско-Норвежском блоке и блоке Инари сейсмический раздел Мохо располагается на границе нижней коры, сложенной безгранатовыми основными гранулитами, и верхней ман-

тии, состоящей из пироксенитов и перидотитов. По латерали раздел Мохо пересекает корни Лапландского гранулитового пояса, распространяющиеся из коры в мантию.

По аналогии можно предполагать, что под Печенгской структурой нижняя кора и верхняя мантия имеют такой же литологический состав. Это открывает возможность для петрологической характеристики промежуточных магматических камер, выделенных по сейсмическим данным.

В монографии [5] Печенгская структура описана как грабен-синклиналь на архейском основании. Позже были опубликованы разнообразные плейттектонические модели Печенгской структуры, согласно которым слагающий ее палеопротерозойский осадочно-вулканогенный комплекс или, по крайней мере, его верхняя часть представляет собой океаническую кору. Эти модели по существу исключали возможность связи рудоносных поверхностных структур с разделом Мохо. Вместе с тем приведенные выше данные доказывают наличие такой связи, по крайней мере, в Северном крыле никеленосной Печенгской структуры.

**Кировоградский рудный район.** Находится в центральной части Украинского щита, для которой характерно наиболее мощное проявление палеопротерозойского интрузивного магматизма и эндогенного рудообразования. Главную роль в металлогении щита играют гидротермальные урановые месторождения, которые составляют основу минерально-сырьевой базы урана Украины [7]. Три из них разрабатываются, два переданы добывающей промышленности, еще одно подготавливается к эксплуатации. Известны также небольшие жильные малосульфидные месторождения золота и высокотемпературные метасоматические месторождения лития.

Важная особенность Кировоградского рудного района — пространственное совмещение двух крупных палеопротерозойских интрузивных массивов: внутрикорового Кировоградско-Новоукраинского гранитоидного и Корсунь-Новомиргородского рапакиви-анортозитового. Они образуют единый Новоукраинско-Корсунь-Новомиргородский плутон, который протягивается с юга на север на 150 км и определяет общий план поверхностных структур района [10]. Первый массив сложен новоукраинским и кировоградским интрузивными комплексами, второй — одноименным рапакиви-анортозитовым комплексом.

По данным изотопного датирования цирконов и монацитов новоукраинский и кировоградский комплексы образовались в интервале 2,06—2,02 млрд лет, корсунь-новомиргородский комплекс — 1,75—1,72 млрд лет назад [14]. Остальную площадь занимают стратифицированные породы ингулоингулецкой серии, метаморфизованные в условиях амфиболитовой фации. Возрастные границы стра-

тифицированного комплекса оцениваются в 2,3 и 2,1 млрд лет.

Новоукраинско-Кировоградский массив образовался в температурных границах амфиболитовой фации путем частичного плавления сиалической коры и в процессе формирования испытал сильные деформации сжатия, что привело к появлению текстур течения и пластической перекристаллизации пород. Вместе со стратифицированными породами массив образует интрузивно-ультраметаморфический цоколь рассматриваемого рудного района. Корсунь-Новомиргородский массив занимает по отношению к нему автономное положение. Образование рапакивигранитсодержащих магматических комплексов обусловлено деятельностью мантийных источников и процессами мантийно-корового взаимодействия.

Урановые месторождения Кировоградского рудного района относятся к особому генетическому и промышленному типу натровых метасоматитов или месторождений натрий-урановой формации.

Урановые месторождения сосредоточены в Новоукраинско-Кировоградском гранитоидном массиве и сопряженных с ним Кировоградской и Звенигородско-Анновской зонах разломов, группируются в рудные поля. В Кировоградской зоне разломов находятся Мичуринское и Лелековское, в Новоукраинско-Кировоградском массиве — Ново-константиновское и Партизанское урановорудные поля. К Звенигородско-Анновской зоне приурочены Ватутинское урановорудное, а также Станковатское редкометалльное рудное поле, содержащее литиевые месторождения. Все рудные поля сосредоточены в широкой (30—35 км) полосе, дискордантной по отношению к общему субмеридиональному простиранию поверхностных структур Кировоградского рудного района.

Площадь данного района изучена сейсмическими методами по широтным и субмеридиональным профилям, пересекающимся друг с другом. В 1970—1980-х годах были выполнены профильные исследования методами ГСЗ—КМПВ, МОВЗ, на отдельных участках — площадные исследования МОВ—ОГТ. Ведущее место среди них занимал метод ГСЗ. Его применение позволило определить скоростные параметры и мощность земной коры, изучить ее тонкослоистую структуру и переходную зону кора—мантия. Результаты этих исследований изложены в многочисленных публикациях. Наиболее полный обзор приведен в работе [9]. На приложенной к ней структурной схеме раздела Мохо Украинского щита и смежных территорий показано, что в районе г. Кировоград морфология раздела отличается от таковой на остальной площади щита. Району присуща сложная комбинация субмеридиональных и субширотных изолиний раздела Мохо. В то время указанная аномалия не привлекла внимания.

В 2005—2006 гг. исходные данные глубинного сейсмического зондирования были заново интерпретированы с использованием современного программного обеспечения. В базу данных были включены сейсмические профили, проходящие в непосредственной близости от Мичуринского, Лелековского, Ново-константиновского и Ватутинского урановорудных полей. В результате обнаружена пространственная связь урановых месторождений и сопровождающих их месторождений золота и лития с широтным прогибом в рельефе раздела Мохо [3]. Ось широтного прогиба, названного мантийным рвом, смещена к югу на 10—15 км от г. Кировоград. В восточной части прогиба раздел Мохо располагается на максимальной глубине 45—46 км. В западном направлении его глубина уменьшается до 44—43 км. По изолинии 43 км длина прогиба составляет около 100 км при ширине от 25 до 40 км (рис. 1). Урановые месторождения Мичуринского рудного поля проецируются на самую глубокую часть мантийного рва, урановые месторождения Лелековского, Ново-константиновского и Ватутинского рудных полей — на его северный прибрежный склон.

В 2009 г. для прослеживания на глубину Новоукраинско-Корсунь-Новомиргородского плутона и слагающих его массивов был использован метод обменных волн землетрясений (МОВЗ) со статистической обработкой исходных данных по широтным и субмеридиональным профилям. Расчеты выполнены в Институте геофизики НАН Украины. Для трансформации исходного поля обменов сначала были выбраны три параметра: обменонасыщенность среды, обменоспособность среды и кратность обменов в одной и той же точке. В дальнейшем приоритет был отдан динамическому параметру обменоспособности  $A_{ps}/A_p$  ( $A_{ps}$  — интенсивность обменной волны,  $A_p$  — интенсивность продольной волны), поскольку он меньше зависит от условий эксперимента — времени наблюдения, расстояния между станциями и др.

Статистический анализ обменных волн землетрясения выявил различную протяженность по вертикали Кировоградско-Новоукраинского и Корсунь-Новомиргородского массивов. Как видно на меридиональном профиле IM, в целом плутон характеризуется повышенными значениями обменоспособности среды (рис. 1). Однако их распределение неравномерно по горизонтали и глубине. Под Корсунь-Новомиргородским массивом установлены две аномалии: первая захватывает почти весь массив и достигает максимальных значений на глубинах 9—10 км; вторая обнаружена на глубине около 40 км, вблизи раздела Мохо, имеет меньшие размеры, но соизмерима с первой по интенсивности. В верхней части Новоукраинского гранитоидного массива также зафиксирована аномальная

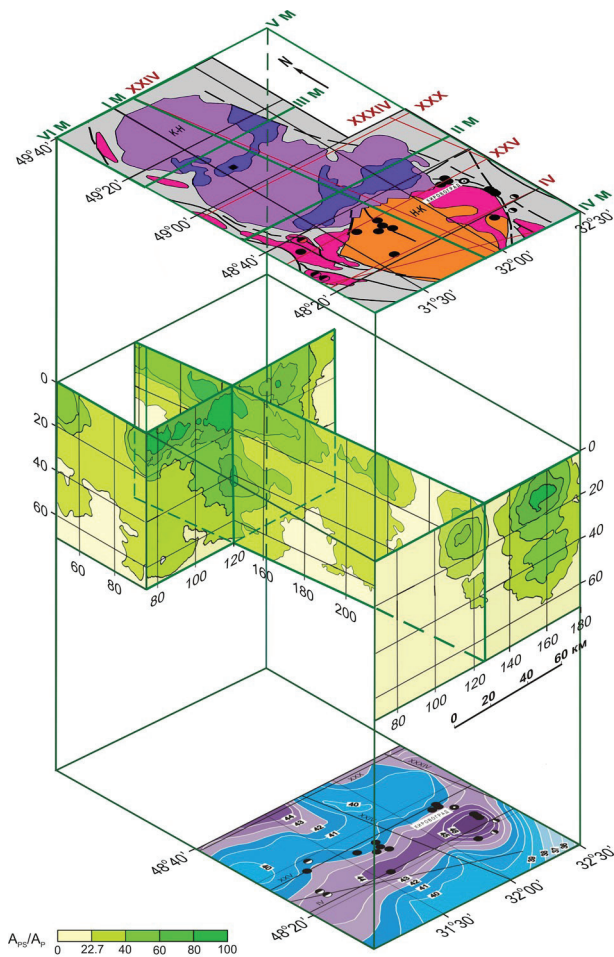


Рис. 1. Объемная сейсмогеологическая модель Кировоградского рудного района. Вверху — современный эрозионный срез, в средней части — каркасная блок-диаграмма распределения параметра  $A_{ps}/A_p$ , внизу — карта морфологии поверхности раздела Мохо

Fig. 1. Three-dimensional seismic-geological model of the Kirovograd ore region. At the top is a modern erosion slice, in the middle - part a frame block diagram of the distribution of the parameter  $A_{ps}/A_p$ , at the bottom - a map of the Moho topography

зона, но с несколько пониженными значениями обменоспособности. Однако на более низких уровнях аномалии под ним не обнаружены.

Полученные сейсмические данные служат независимым подтверждением внутрикорового генезиса Кировоградско-Новоукраинского массива и подкоровой природы Корсунь-Новомиргородского массива. Размеры более глубокой аномалии Корсунь-Новомиргородского массива меньше, чем приповерхностной. Возможны два объяснения: либо она связана с непосредственным продолжением рапакиви-анортозитового массива, либо отражает положение ранее существовавшего промежуточного магматического очага. Особого внимания заслуживает вертикальный разрыв поля обменных волн над “мантийным рвом”. В данном разрыве значения параметра  $A_{ps}/A_p$  уменьшаются до фоно-

вых. Природа его неясна, но служит косвенным доказательством связи мантийного рва с расположенными над ним месторождениями урана, золота и лития.

Приуроченность урановых месторождений к широтной полосе установлена в результате планомерного опосредованного бурения Кировоградского рудного района с помощью детального картировочного бурения. Но эта эмпирически установленная закономерность раньше объяснялась другими причинами. Предполагалось, что в пределах указанной полосы 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]. Минимальная величина эрозионного среза Кировоградской зоны разломов оценивалась в 5–6 км, а амплитуда опускания Новоукраинского гранитоидного массива по сравнению с Корсунь-Новомиргородским массивом — в 4–5 км. Изложенные выше сведения о наличии мантийного рва и поведении на глубину Новоукраинско-Корсунь-Новомиргородского плутона опровергают это объяснение.

Таким образом, в ходе работ по изучению глубинного строения Кировоградского рудного района были сопоставлены два независимых блока данных. Один базировался на результатах картировочного и глубокого разведочного бурения, подтвержденного проходкой подземных горных выработок, второй — на интерпретации с помощью современных технологий сейсмических исследований коры и мантии. Исследования были направлены на установление связей поверхностных структур рудных месторождений Кировоградского полиметаллического рудного района с неоднородностями литосферы, и такие связи установлены. Показано, что в Кировоградском рудном районе месторождения урана, золота и лития сосредоточены над субширотным прогибом в рельефе поверхности раздела Мохо, так называемым мантийным рвом.

**Онежская палеопротерозойская геологическая структура.** Это уникальная, сравнительно хорошо обнаженная и изученная на территории Восточно-Европейской платформы структура. Она активно развивалась в интервале 2,5–1,7 млрд лет геологической истории. Ее территория площадью 40 тыс. км<sup>2</sup>, расположенная на юго-востоке Карелии и в прилегающих районах Ленинградской и Вологодской областей, рассматривается в качестве одного из важных мировых эталонов палеопротерозойского этапа истории Земли.

Интерес к Онежской структуре возник в XVII в. в связи с развитием в России металлургии. Другой мощный толчок к ее освоению и изучению связан с началом строительства Санкт-Петербурга. Требовались гранит, мрамор, шунгит и другие строительные материалы. Известные архитектурные

сооружения (Казанский, Исаакиевский соборы, Эрмитаж и др.) облицованы тивдийским и рускеальским мрамором, шокшинским кварцитом, нигозерским сланцем. На территории Онежской структуры успешно проводились геолого-съёмочные работы, а также поиски урановых и других рудных месторождений. Открыты новые месторождения хромитов, шунгитов, ванадия и других полезных ископаемых.

ФГУ НПЦ “Недра” в 2007—2009 гг. провело бурение в Кондопожском районе РК Онежской параметрической скважины (ОПС) до глубины 3537 м. Она вскрыла разрез нижнего докембрия, включающий граниты архейского фундамента и главные стратоны палеопротерозоя, представленные ятулийским, людиковийским и калевийским надгоризонтами [13].

Онежский рудный район — это месторождения хромитов, титаномагнетитов с платиноидами и золотом, а также урана—ванадия с комплексом других элементов. Исследования глубинного строения на основе корреляции геологических и сейсмических данных направлены на установление связей его поверхностных структур и рудных месторождений с локальными неоднородностями коры и раздела кора—мантия.

Сейсмические работы методом обменных волн землетрясений 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 [8].

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” в 1977—1980 гг. в Кировоградском рудном районе (Украинский щит) [3, 10].

На исходных глубинных разрезах МОВЗ [2,12] 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  $A_{ps}/A_p$ , как объективная характеристика физического состояния границ и поверхностей обмена.

В Онежском рудном районе зафиксированы резкие колебания значений параметра  $A_{ps}/A_p$  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 (так называемые нежесткие контакты) [15].

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 от изменения скоростных параметров по разные стороны границ разделов. Статистический анализ исходных данных выполнен однотипно для всех трех профилей.

В результате сопоставления глубинных и преобразованных 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 об-

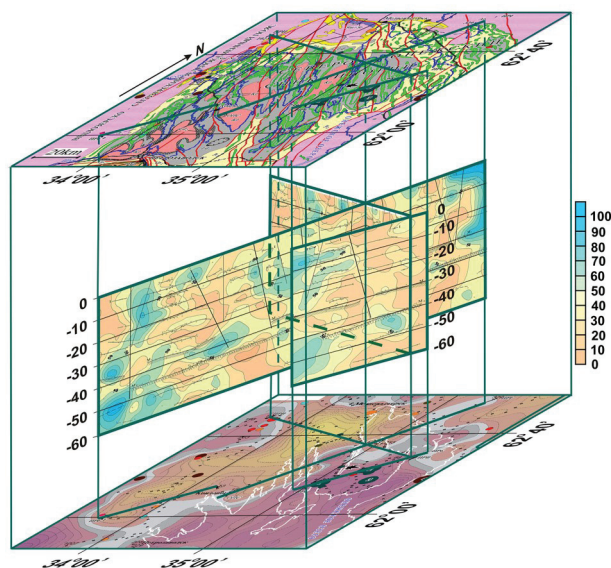


Рис. 2. Объемная сейсмогеологическая модель Онежского рудного района. Вверху — современный эрозионный срез, в средней части — каркасная блок-диаграмма распределения параметра  $A_{ps}/A_p$ , внизу — мощность коромантийного переходного слоя

Fig. 2. Three-dimensional seismic-geological model of the Onega ore region. At the top is a modern erosion slice, in the middle part - a frame block diagram of the distribution of the parameter  $A_{ps}/A_p$ , at the bottom is the thickness of the crustal-mantle transition layer

менных волн землетрясений. Одна из них представлена на рис. 2. Она опирается на два меридиональных (ПР I и ПР VI) и один широтный (ПР II) профили МОВЗ.

Установлено, что месторождения пространственно связаны с наличием повышенной мощности андерплейтингового слоя, где, вероятно, проходила в палеопротерозое (от 2,45 до 1,7 млрд лет назад), 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 свекофенский тектонический (1,8—1,7 млрд лет назад) этап, который привел к существенным преобразованиям коры и сопровождался вепсийским основным магматизмом и связанным с ним интенсивным флюидообразованием под воздействием мантийного диапира.

**Заключение.** Фенноскандинавский щит, где расположены Печенгский и Онежский рудные районы, и центральная часть Украинского щита, где находится Кировоградский рудный район, детально исследованы сейсмическими методами. По сочетанию сейсмических методов и их плотности наблюдений этим территориям нет аналогов на щитах Северного полушария Земли [11].

И в том, и в другом районе сейсмические профили пересекали палеопротерозойские структуры, метаморфические и магматические комплексы, прошли в непосредственной близости от крупных магматических и гидротермальных месторождений. В результате в Печенгском, Онежском и Кировоградском рудных районах на основе корреляции геологических и сейсмических данных удалось выявить среднemasштабные неоднородности земной коры и раздела Мохо и установить пространственную связь с ними поверхностных структур и рудных месторождений. Однако эти неоднородности существенно отличаются в рассматриваемых районах.

Если в Печенгском рудном районе был обнаружен локальный подъем раздела Мохо, или реликтовый мантийный плюм, то в Кировоградском рудном районе — дискордантный прогиб в рельефе раздела Мохо, или мантийный ров. Над предполагаемым мантийным плюмом залегают магматические медно-никелевые месторождения, ассоциированные с мантийными габбро-верлитовыми интрузиями, а над мантийным рвом — гидротермальные метасоматические урановые месторождения, не обнаруживающие видимой связи с мантийными источниками и процессами.

В результате предложена интерпретация никеленозной Печенгской структуры как палеопротерозойского деформированного приразломного вулканического центра, определено положение Печенгской структуры и ее продолжения — пояса Пасвик-Полмас в Лапландско-Кольском орогене, охарактеризован литологический состав в нижней коре и на разделе кора—верхняя мантия.

В Онежском рудном районе 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. Создались благоприятные условия для последующего внедрения обогащенных металлами магматических расплавов в верхние уровни коры.

В Кировоградском рудном районе с помощью статистического анализа обменных волн землетрясений определено поведение на глубину внутрикорового Кировоградско-Новоукраинского гранитоидного и Корсунь-Новомиргородского рапакиви-анортозитового массива, даны количественные оценки вертикальной протяженности структур интрузивно-ультраметаморфического цоколя, натровых метасоматитов и урановых руд.

Эти открытия доказали, что в рудных районах, расположенных на щитах, локальные неоднородности коры и раздела Мохо и соотношения с ними эндогенных рудных месторождений не могут быть описаны какой-то одной моделью.

#### Список библиографических ссылок

1. Генетические типы и закономерности размещения урановых месторождений Украины [ред. Я.Н. Белевцев, В.Б. Коваль]. Киев: Наукова думка, 1995. 396 с.
2. Глушанин Л.В., Шаров Н.В., Щипцов В.В. Онежская палеопротерозойская структура (геология, тектоника, глубинное строение и минерагения). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. 431 с.
3. 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 (Москва, 2—4 марта 2006 г.). Москва, 2007. С. 21—27.
4. Исанина Э.В., Верба М.Л., Иванова Н.М., Казанский В.И., Шаров Н.В. Глубинное строение и сейсмогеологические границы Печенгского района на Балтийском щите и смежной части шельфовой плиты Баренцева моря. *Геология рудных месторождений*. 2000. Т. 42, № 5. С. 476—487.
5. Кольская сверхглубокая. Исследования глубинного строения континентальной коры с помощью бурения Кольской сверхглубокой скважины [ред. Е.А. Козловский]. Ленинград: Недра, 1984. 490 с.
6. Лобанов К.В. Структурно-петрофизические условия локализации раннепротерозойских пегмати-

- товых и магматических месторождений северо-восточной части Балтийского щита. Автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. Москва, ИГЕМ РАН, 2008. 70 с.
7. Макивчук О.В., Зыков Е.А. Геологоразведочные работы на уран на Украине. Тез. докл. международной научно-практической конференции "Особенности развития минерально-сырьевой базы урана Украины, его добыча и обогащение". Киев, 2009. С. 5—8.
  8. 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.
  9. Соллогуб В.Б. Литосфера Украины. Киев: Наукова думка, 1986. 184 с.
  10. 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). *Геофизический журнал*. 2010. Т. 32, № 1. С. 3—33.
  11. Трипольский А.А., Шаров Н.В. Литосфера докембрийских щитов Северного полушария Земли по сейсмическим данным. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. 159 с.
  12. Шаров Н.В., Исанина Э.В., Заможная Н.Г., Крупнова Н.А., Сулейманов А.К. Результаты глубинных сейсмических исследований методами ОГТ, ГСЗ и МОВЗ Онежско-Ладожской площади (Республика Карелия, Россия). *Геофизический журнал*. 2011. Т. 33, № 3. С. 23—39.
  13. Шаров Н.В., Куликов В.С., Исанина Э.В., Дрогицкая Г.М., Казанский В.И. Глубинное строение и металлогения Северо-Онежского синклиория (Республика Карелия, Россия): корреляция геологических и сейсмических данных. *Геофизический журнал*. 2013. № 4. С. 16—28.
  14. Щербак Н.П., Артеменко Г.В., Лесная И.М. и др. Геохронология раннего докембрия Украинского щита. Протерозой. Киев: Наукова думка, 2008. 239 с.
  15. Яновская Т.Б., Дмитриева Л.А. Влияние жесткости контакта упругих сред на коэффициент отражения, преломления и обмена. *Известия АН СССР. Физика Земли*. 1991. № 5. С. 17—22.
  16. Janik T., Kozlovskaya E., Heikkinen P., Yliniemi J., Silvennoinen H. Evidence for preservation of crustal root beneath the Proterozoic Lapland-Kola orogen (northern Fennoscandian shield) derived from *P* and *S* wave velocity models of POLAR and HUKKA wide-angle reflection and refraction profiles and FIRE4 reflection transect. *Journal of geophysical research*. 2009. Vol. 114.
  17. Kazansky V.I., Lobanov K.V., Isanina E.V., Sharov N.V. The Paleoproterozoic Pechenga Cu-Ni ore field (Fennoscandian shield): a fault-bound volcanic center. *Izvestiya. Earth Sciences Section. Russian Academy of Natural Sciences, Special issue*. Oslo, 2008, p. 43—48.

Поступила в редакцию 21.05.2018 г.

## ОСОБЛИВОСТІ ГЛИБИННОЇ БУДОВИ РУДНИХ РАЙОНІВ УКРАЇНСЬКОГО ТА ФЕННОСКАНДИНАВСЬКОГО ЩИТІВ

Г.М. Дрогицька<sup>1</sup>, Н.В. Шаров<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, просп. Акад. Палладіна, 32, г. Київ, 03680, Україна.

<sup>2</sup> Інститут геології Карельського наукового центру РАН, вул. Пушкінська, 11, Петрозаводськ, Республіка Карелія, Росія, 185910

Нова інтерпретація геологічних і сейсмічних даних дала змогу виявити кореляцію поверхневих структур великих ендегенних рудних районів Українського та Фенноскандинавського щитів з рельєфом поверхні поділу Мохо і локальними неоднорідностями земної кори. На основі узгодженого аналізу геологічних і сейсмічних даних побудовано і зіставлено моделі глибинної будови Печензького, Кировоградського та Онезького рудних районів.

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

## FEATURES OF THE DEEP STRUCTURE OF ORE DISTRICTS OF THE UKRAINIAN AND FENNOSCANDIAN SHIELDS

G. Drogitskaya<sup>1</sup>, N. Sharov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Geophysics, S.I. Subbotina NAS of Ukraine, Acad. Palladina, 32, Kiev, 03680 Ukraine:

<sup>2</sup> Institute of Geology, Karelian Research Center, Russian Academy of Sciences, Pushkinskaya, 11, Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russia, 185910.

The new interpretation of geological and seismic data has revealed a correlation of surface structures of large endogenous ore districts of the Ukrainian and Fennoscandian shields with Moho topography and local crustal

inhomogeneities. As a result, models of the deep structure of Pechenga, Kirovograd and Onega ore districts based on consistent analysis of geological and seismic data were constructed and compared.

**Keywords:** deep seismic sounding (DSS) method, earthquake converted wave method (ECWM), M-discontinuity, crust, mantle.

#### References:

1. Geneticheskie tipy i zakonomernosti razmeshcheniya uranovykh mestorozhdeniy Ukrainy; otv. red. Ya.N. Belevtsev, V.B. Koval' [Genetic types and patterns of distribution of uranium deposits in Ukraine]. Kiev: Naukova dumka, 1995. 396 p.
2. Glushanin L.V., Sharov N.V., Shhipcov V.V. Onezhskaja paleoproterozojkaja struktura (geologija, tektonika, glubinnoe stroenie i mineragenija) [Onega Paleoproterozoic structure (geology, tectonics, deep structure and Minerageny)]. Petrozavodsk: KarNC RAN [Petrozavodsk Karelian branch of the Academy of Sciences], 2011. 431 p.
3. Drogitskaja G.M., Tripol'skij A.A., Popov N.I. et al. Seysmogeologicheskaja pozitsiya Kirovogradskogo rudnogo rayona (Ukrainskij shchit) v svyazi s lokal'nymi neodnorodnostyami poverkhnosti Mokho [Seismogeological position Kirovograd ore district (Ukrainian shield) due to local inhomogeneities surface Moho]. *Geofizika XXI stoletiya 2006 god. Sbornik trudov Vos'mykh geofizicheskikh chteniy im V.V. Fedynskogo* (2–4 marta 2006 g., Moskva) [Geophysics of XXI century in 2006. Proceedings of the Eighth geophysical readings they V.V. Fedynskogo (March 2–4, 2006, Moscow)], 2007. P. 21–27.
4. Isanina Je.V., Verba M.L., Ivanova N.M., Kazanskij V.I., Sharov N.V. Glubinnoe stroenie i seysmogeologicheskie granicy Pechenskogo rajona na Baltijskom shhite i smezhnoj chasti shel'fovoj plity Barenceva morja [Deep structure and boundaries of seismic Pechenga district on the Baltic Shield and the adjacent part of the shelf of the Barents Sea plate]. *Geologija rudnyh mestorozhdenij* [Mining geology]. 2000. Vol. 42, no. 5, pp. 476–487.
5. Kol'skaja sverhglubokaja. Issledovanija glubinnogo stroenija kontinental'noj kory s pomoshh'ju burenija Kol'skoj sverhglubokoj skvazhiny (Kola ultradeep. Studies of the deep structure of the continental crust by drilling Kola super-deep well) [red. E.A. Kozlovskij]. Leningrad: Nedra, 1984, pp. 490.
6. Lobanov K.V. Strukturno-petrofizicheskie uslovija lokalizacii ranneproterozojkikh pegmatitovykh i magmaticheskikh mestorozhdenij severo-vostochnoj chasti Baltijskogo shhita [Structural and petrophysical conditions localization Early Proterozoic pegmatite and magmatic deposits of a northeast part of the Baltic Shield.]. Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni doktora geol.-min. nauk. Moskva, IGM RAN, 2008, 70 s.
7. Makivchuk O.V., Zykov E.A. Geologorazvedochnye raboty na uran na Ukraine [Geological exploration for uranium in Ukraine]. Tez. dokl. mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii "Osobennosti razvitiya mineral'no-syr'evoy bazy urana Ukrainy, ego dobycha i obogashhenie". Kiev, 2009, pp. 5–8.
8. Nikitin A.A., Petrov A.V., Aleksashin A.S. Kompleks spektral'no korrelyacionnogo analiza dannykh "KOSKAD 3D" [The complex spectral correlation analysis of data "KOSKAD 3D"]. Moskva: Moskovskij gosudarstvennyj geologorazvedochnyj universite [Moscow: Moscow State Geological Prospecting University], 2004. 158 p.
9. Sollogub V. B. Litosfera Ukrainy [Ukraine Lithosphere]. Kiev: Naukova dumka, 1986, pp. 184.
10. Starostenko V.I., Kazanskij V.I., Popov N.I., Drogickaja G.M., Zajac V.B., Makivchuk O.F., Tripol'skij A.A., Chicherov M.V. Ot poverkhnostnykh struktur k integral'noj glubinnnoj modeli Kirovogradskogo rudnogo rajona (Ukrainskij shchit). I [From superficial structures to integral deep model of the Kirovograd ore district (Ukrainian shield)]. *Geophysical journal*. 2010. Vol. 32, no. 1, pp. 3–33.
11. Tripol'skij A.A., Sharov N.V. Litosfera dokembrijskikh shhitov severnogo polusharija Zemli po seismicheskim dannym [The lithosphere of Precambrian shields the Earth's northern hemisphere from seismic data.]. Petrozavodsk: KarNC RAN, 2004. 159 p.
12. Sharov N.V., Isanina Je.V., Zamozhnjaja N.G., Krupnova N.A., Sulejmanov A.K. Rezul'taty glubinykh seismicheskikh issledovanij metodami OGT, GSZ i MOVZ Onezhsko-Ladozhskoj ploshhadi (Respublika Karelija, Rossija) [Results of deep seismic methods of CDP, the DSS and MCWQ Onega-Ladoga area (Karelia, Russia)]. *Geophysical journal*. 2011. Vol. 33, no. 3, pp. 23–39.
13. Sharov N.V., Kulikov V.S., Isanina Je.V., Drogickaja G.M., Kazanskij V.I. Glubinnoe stroenie i metallogenija Severo-Onezhskogo sinklinorija (Respublika Karelija, Rossija): korrelyacija geologicheskikh i seismicheskikh dannykh [Deep structure and metallogeny of North Onega Synclinorium (Karelia, Russia): correlation of geological and seismic data]. *Geophysical journal*. 2013, no. 4, pp. 16–28.
14. Shherbak N.P., Artemenko G.V., Lesnaja I.M. i dr. Geohronologija rannego dokembrija Ukrainskogo shhita. Proterozoj. [Geochronology Early Precambrian of the Ukrainian Shield. Proterozoic] Kiev: Naukova dumka, 2008. 239 p.
15. Janovskaja T.B., Dmitrieva L.A. Vlijanie nezhestkosti kontakta uprugih sred na koeficient otrazhenija, prelomlenija i obmena [Influence of contact stiffness elastic media on the reflection coefficient, refractive index and exchange]. *Izvestiya AN SSSR. Fizika Zemli* [News of the USSR Academy of Physics of the Earth]. 1991. Vol. 5, pp. 17–22.
16. Janik T., Kozlovskaja E., Heikkinen P., Yliniemi J., Silvennoinen H. Evidence for preservation of crustal root beneath the Proterozoic Lapland-Kola orogen (northern Fennoscandian shield) derived from P and S wave velocity models of POLAR and HUKKA wide-angle reflection and refraction profiles and FIRE4 reflection transect. *Journal of geophysical research*. 2009. Vol. 114.
17. Kazansky V.I., Lobanov K.V., Isanina E.V., Sharov N.V. The Paleoproterozoic Pechenga Cu-Ni ore field (Fennoscandian shield): a fault-bound volcanic center. *Izvestiya. Earth Sciences Section. Russian Academy of Natural Sciences. Special issue*. Oslo, 2008, pp. 43–48.

Received 21/05/2018

© Г.М. Дрогицкая, Н.В. Шаров

ISSN 1684-2189 GEOINFORMATIKA, 2018, № 2 (66)