

УДК 550.834

ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ РУДНЫХ РАЙОНОВ ФЕННОСКАНДИНАВСКОГО И УКРАИНСКОГО ЩИТОВ

Н. В. Шаров¹, Э. В. Исанина², Г. М. Дрогицкая³

¹ Институт геологии Карельского научного центра РАН

² РГЭЦ – филиал ФГУПП «Урангео», Санкт-Петербург

³ Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

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

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

N. V. Sharov, E. V. Isanina, G. M. Drogitskaya. DEEP STRUCTURE OF ORE DISTRICTS OF THE FENNOSCANDIAN AND UKRAINIAN SHIELDS

New interpretation of geological and seismic data has revealed a correlation of surface structures of large endogenous ore districts of the Fennoscandian and Ukrainian shields with Moho topography and local crustal inhomogeneities. As a result, models of the deep structure of Pechenga, Onega and Kirovograd 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.

Введение

Проблема соотношений рудных месторождений с глубинными неоднородностями литосферы занимает одно из важных мест в области геологии, геофизики и геохимии. Она 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 древних щитов, на основе согласованного анализа геологических и сейсмических данных. Модели ориентированы на выявление среднemasштабных неоднородностей коры и раздела кора-мантия и сопоставление этих неоднородностей с рудоносными поверхностными структурами.

Этот подход был разработан на примере Печенгского рудного района, развит при изучении Северо-Онежского синклинория на Фенноскандинавском щите, а также Кировоградского

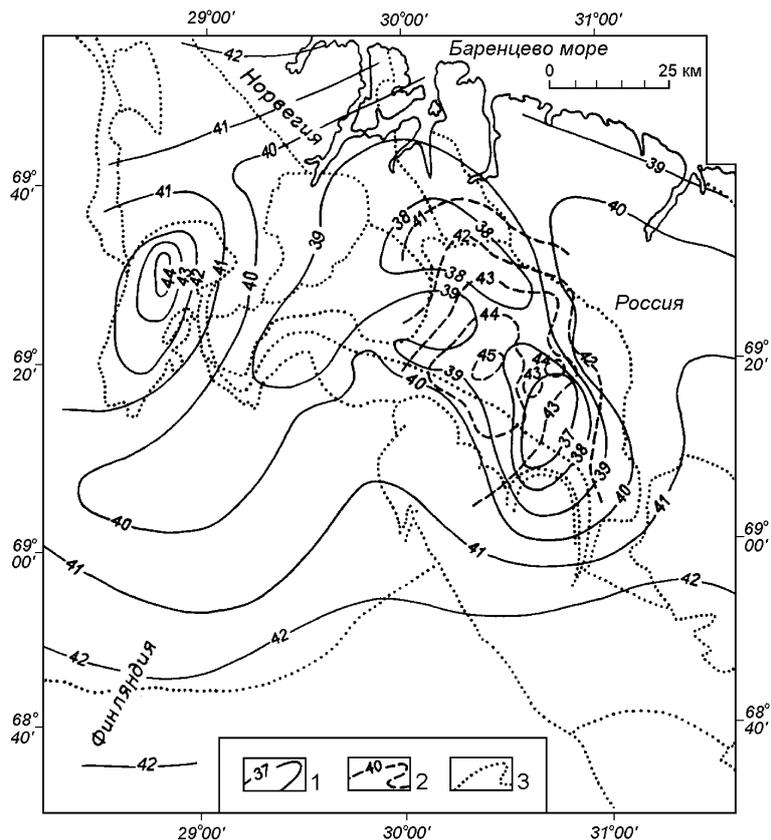


Рис. 1. Схема рельефа границы Мохоровичича (M1) в пределах Лапландско-Печенгского района по данным сейсмических исследований:

1 и 2 – изогiby раздела M_1 (1) и M_2 (2) в километрах; 3 – границы главных структурных зон и разделяющих их основных разломов на дневной поверхности

рудного района на Украинском щите. Все три района сформированы в палеопротерозое и содержат эндогенные рудные месторождения мирового класса. В Печенгском районе это магматические медно-никелевые месторождения с возрастом около 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 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. Она исходила из более широких, чем обычно, границ Печенгского рудного района и позволила расшифровать внутреннее строение никеленосной Печенгской структуры. При создании второй модели до глубины 40 км были использованы результаты сейсмотомографического изучения переходной зоны Фенноскандинавский щит – шельф Баренцева моря. В итоге под Печенгской структурой был зафиксирован локальный подъем раздела Мохо, интерпретированный как реликтовый мантийный плюм.

В последующие годы работа в Печенгском рудном районе развивается по трем

направлениям. Во-первых, обобщение многолетних структурно-петрологических исследований Печенгского рудного района и сопоставимых рудоносных площадей северо-восточной части Фенноскандинавского щита [Лобанов, 2008]. Во-вторых, интерпретация никеленосной Печенгской структуры как палеопротерозойского приразломного вулканического центра [Kazansky et al., 2008]. В-третьих, сопоставление тектонической позиции Печенгского рудного района и его глубинного строения.

Отправным пунктом интерпретации никеленосной Печенгской структуры как палеопротерозойского приразломного вулканического центра служит интегральная геодинамическая модель Печенгского рудного района до глубины 15 км [Казанский и др., 1994]. Она трактует Северное крыло Печенгской структуры как фрагмент вулканической кальдеры, осложненной согласными зонами расланцевания, а ее Южное крыло – как чешуйчатую моноклираль, 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» [Исанина и др., 2000] в базу данных были включены 4200 лучей Р-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, отличающиеся по величине 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 в среднем на 12 км (рис. 1). Его верхняя поверхность располагается на глубинах 34–41 км. Минимальные глубины в 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 [Janik et al., 2009]. 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 мантии, 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 тот же литологический состав. Это открывает возможность для петрологической характеристики промежуточных магматических камер, выделенных по сейсмическим данным.

В монографии [Кольская сверхглубокая..., 1984] Печенгская структура была описана как грабен-синклиналь на архейском основании. После ее выхода были опубликованы разнообразные плейттектонические модели Печенгской структуры, согласно которым слагающий его палеопротерозойский осадочно-вулканогенный комплекс, во всяком случае его верхняя часть, представляет собой океаническую кору. Эти модели, по существу, исключали возможность связи рудоносных поверхностных структур с разделом Мохо. Но приведенные выше данные доказывают наличие такой связи по крайней мере в Северном крыле никеленосной Печенгской структуры.

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. Ее территория площадью 40 тыс. км², расположенная на Ю-В 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 веке в связи с развитием в России металлургии. Другим мощным толчком к ее освоению и изучению явилось начало строительства

Санкт-Петербурга. Требовался 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. В послевоенный период на территории ОС успешно проводились геолого-съёмочные работы и 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 [Шаров и др., 2013].

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 (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, б) 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.

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 рисунке 2. Она опирается на два меридиональных (ПР1, ПР6) и один широтный (ПРII) профиль МОВЗ.

Установлено, что месторождения пространственно связаны с наличием повышенной мощности андерплейтингового слоя, где,

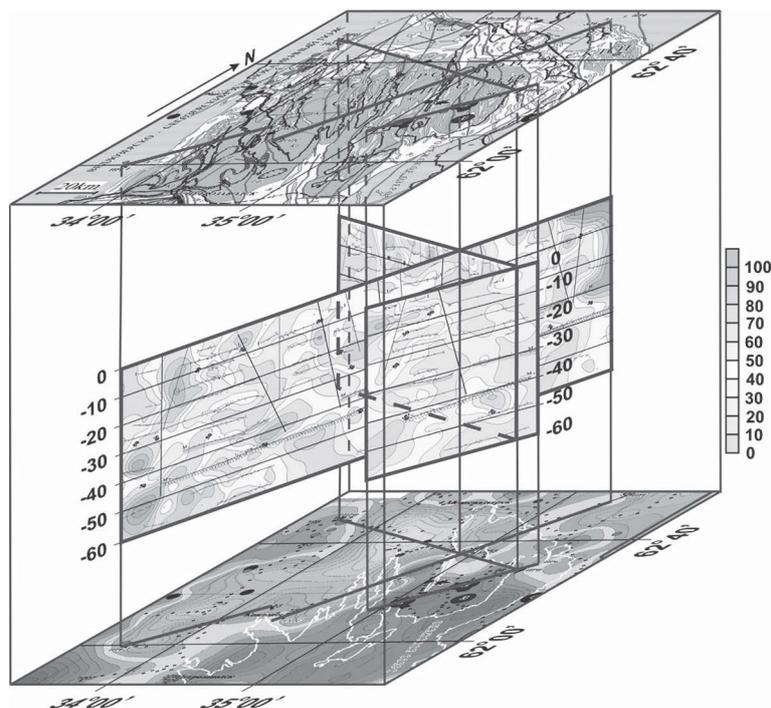


Рис. 2. Объемная сейсмогеологическая модель Онежского рудного района. Вверху – современный эрозионный срез, в средней части – каркасная блок-диаграмма распределения параметра A_{ps}/A_p , внизу – мощность коро-мантийного переходного слоя

вероятно, проходила в палеопротерозое от 2,45 до 1,7 Ga главная дифференциация мантийных магматических расплавов сумийской 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.

Кировоградский рудный район. Кировоградский рудный район находится в центральной части Украинского щита, для которой характерно наиболее мощное проявление палеопротерозойского интрузивного магматизма и эндогенного рудообразования. Главную роль в его металлогении играют гидротермальные урановые месторождения, которые составляют основу минерально-сырьевой базы урана Украины [Макивчук, Зыков, 2009]. Три из них разрабатываются, два переданы добывающей

промышленности, еще одно подготавливается к эксплуатации. Кроме них в Кировоградском рудном районе располагаются 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 [Старостенко и др., 2010]. Первый сложен новоукраинским и кировоградским интрузивными комплексами, второй одноименным рапакиви-анортозитовым комплексом.

По данным изотопного датирования по цирконам и монацитам, новоукраинский и кировоградский комплексы образовались в интервале 2,06–2,02 млрд лет, корсунь-новомиргородский комплекс – 1,75–1,72 млрд лет [Щербак и др., 2008]. Остальную площадь занимают стратифицированные породы ингуло-ингулецкой серии, метаморфизованные в условиях амфиболитовой фации. Возрастные

границы стратифицированного 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, приведшие к появлению текстур течения и пластической перекристаллизации пород. Вместе со стратифицированными породами он образует интрузивно-ультраметаморфический цоколь Кировоградского 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 и группируются в рудные поля. В Кировоградской зоне разломов находятся Мичуринское и Лелековское, в Новоукраинско-Кировоградском массиве – Новоконстантиновское 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 Кировоградского рудного района изучена сейсмическими методами по широтным и субмеридиональным профилям, пересекающимся друг с другом. В 1970–1980 годах были выполнены профильные исследования методами ГСЗ-КМПВ, МОВЗ и 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 В. Б. Соллогуба [1986]. На приложенной к ней структурной схеме раздела

Мохо Украинского щита и смежных территорий было показано, что в районе г. Кировограда морфология раздела М отличается от таковой на остальной площади щита. Району присуща сложная комбинация субмеридиональных и субширотных изолиний раздела М. В то время указанная аномалия не привлекла внимания.

В 2005–2006 годах исходные данные глубокого сейсмического зондирования были заново интерпретированы с использованием современного программного обеспечения. В базу данных были включены сейсмические профили, проходящие в непосредственной близости от Мичуринского, Лелековского, Новоконстантиновского и Ватутинского урановорудных полей. В результате была обнаружена пространственная связь урановых месторождений и сопровождающих их месторождений золота и лития с широтным прогибом в разделе рельефа Мохо [Дрогичкая др., 2007]. Ось широтного прогиба, названного мантийным рвом, смещена к югу на 10–15 км от города Кировограда. В его восточной части 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. 3). Урановые месторождения Мичуринского рудного поля проецируются на самую глубокую часть мантийного рва, урановые месторождения Лелековского, Новоконстантиновского и Ватутинского рудных полей – на его северный прибортовой склон.

В 2009 г. для прослеживания на глубину Новоукраинско-Корсунь-Новомиргородского плутона и слагающих его массивов был использован метод обменных волн землетрясений со статистической обработкой исходных данных по широтным и субмеридиональным профилям. Расчеты выполнены в Институте геофизики НАНУ. 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 параметру обменоспособности A_{ps}/A_p , поскольку он меньше зависит от условий эксперимента: времени наблюдения и расстояния между станциями.

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. 3). Но их распределение неравномерно

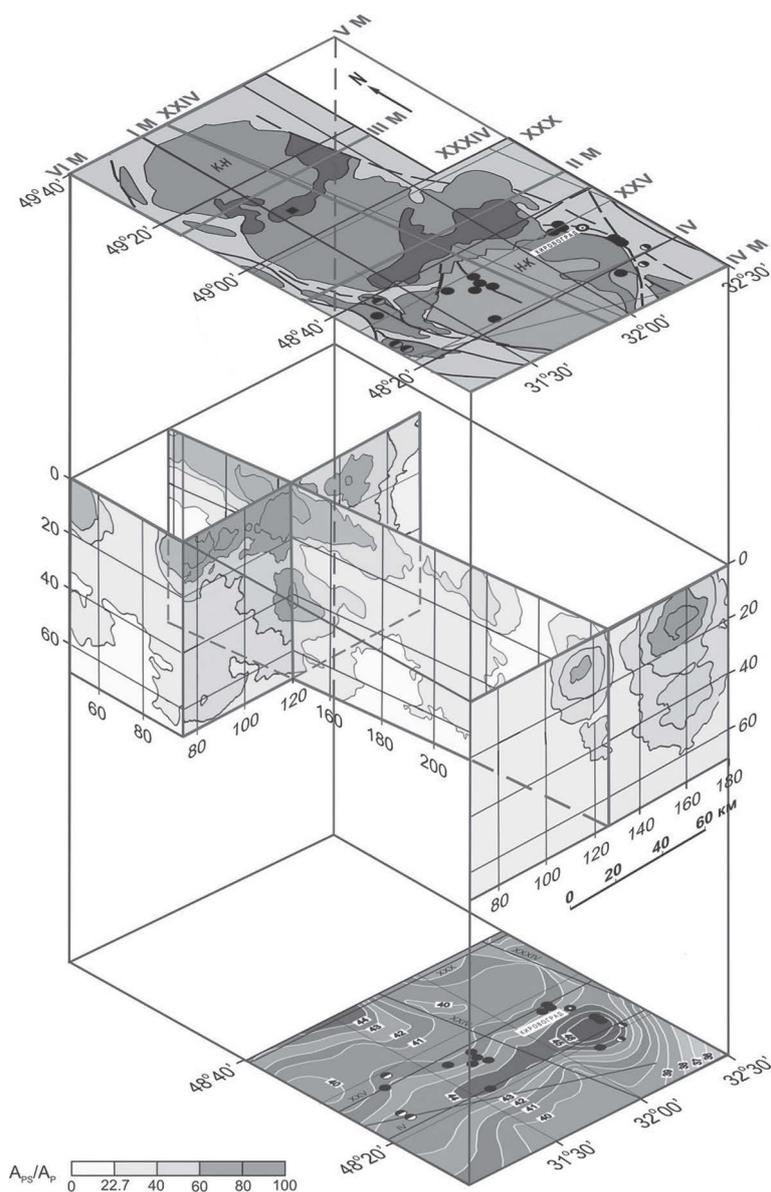


Рис. 3. Объемная сейсмогеологическая модель Кировоградского рудного района.

Вверху – современный эрозионный срез, в средней части – каркасная блок-диаграмма распределения параметра A_{ps}/A_p , внизу – карта морфологии поверхности Мохо

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. Она имеет меньшие размеры, но соизмерима с первой по интенсивности. В верхней части Новоукраинского гранитоидного массива также зафиксирована аномальная 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: или она связана с непосредственным продолжением рапакиви-анортозитового массива, или отражает положение ранее существовавшего промежуточного магматического очага. Особого внимания заслуживает вертикальный разрыв поля

обменных волн над «мантийным рвом». В этом разрыве величины параметра A_{PS}/A_P уменьшаются до фоновых значений. Его природа неясна, но он служит косвенным доказательством связи мантийного рва с расположенными над ним месторождениями урана, золота и лития.

Приуроченность урановых месторождений к широтной полосе была установлена в результате планомерного опробования Кировоградского рудного района с помощью детального картировочного бурения. Но эта эмпирически установленная закономерность раньше объяснялась другими причинами. Предполагалось, что в ее пределах все докембрийские образования, включая ураноносные тектонометасоматические зоны, опущены по широтным разломам, благодаря чему урановые месторождения здесь и сохранились в процессе длительной денудации Украинского щита [Генетические типы..., 1995]. 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 [Крюченко, 1988]. Изложенные выше сведения о наличии мантийного рва и поведении на глубину Новоукраинско-Корсунь-Новомиргородского плутона опровергают это объяснение.

Исследования глубинного строения Кировоградского рудного района были ориентированы на выявление локальных неоднородностей коры и раздела кора-мантия и их соотношений с поверхностными структурами. В результате было установлено, что в Кировоградском рудном районе месторождения урана, золота и лития сосредоточены над субширотным прогибом в рельефе раздела Мохо [Дрогицкая и др., 2007]. Это открытие стимулировало более детальный анализ его геологического строения, соотношений внутрикоровых и подкоровых интрузивных массивов и поведения на глубину урановорудных полей и месторождений [Старостенко и др., 2010, 2011; Дрогицкая, 2013].

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 докембрийских щитах северного полушария Земли [Трипольский, Шаров, 2004].

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.

Именно благодаря этому в Печенгском, Онежском и Кировоградском рудных районах на основе корреляции геологических и сейсмических данных удалось выявить среднемасштабные 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 – дискордантный прогиб в рельефе раздела Мохо, или мантийный ров. Установлено, что над предполагаемым мантийным плюмом располагаются 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 никеленосной Печенгской структуры как палеопротерозойского деформированного приразломного вулканического центра, определено положение Печенгской структуры и ее продолжения пояс Пасвик-Полмас в Лапландско-Кольском орогене и охарактеризован литологический состав в нижней коре и на разделе кора-верхняя мантия.

В Онежском рудном районе 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.

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 и даны количественные оценки вертикальной протяженности структур

интрузивно-ультраметаморфического цоколя, натровых метасоматитов и урановых руд.

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

Литература

Генетические типы и закономерности размещения урановых месторождений Украины / Отв. ред. Я. Н. Белевцев, В. Б. Коваль. Киев: Наукова думка, 1995. 396 с.

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). Москва, 2007. С. 21–27.

Дрогицкая Г. М. Особенности глубинного строения земной коры Корсунь-Новомиргородского и Новоукраинского массивов (Украинский щит) по сейсмическим данным // Геодинамика. 2009. № 1(8). С. 76–83.

Дрогицкая Г. М. Особенности глубинного строения Кировоградского рудного района по сейсмическим данным // Геодинамика. 2013. № 2(15). С. 139–141.

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.

Казанский В. И., Кузнецов О. Л., Кузнецов А. В., Лобанов К. В., Черемисина Е. Н. Глубинное строение и геодинамика Печенгского рудного района. Опыт изучения Кольской сверхглубокой скважины // Геология рудных месторождений. 1994. Т. 36, № 6. С. 500–519.

Кольская сверхглубокая. Исследования глубинного строения континентальной коры с помощью бурения Кольской сверхглубокой скважины / Ред. Е. А. Козловский. М.: Недра, 1984. 490 с.

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, 1988. С. 16–26.

Лобанов К. В. Структурно-петрофизические условия локализации раннепротерозойских пегматитовых и магматических месторождений северо-восточной части Балтийского щита: автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. М.: ИГЕМ РАН, 2008. 70 с.

Макивчук О. В., Зыков Е. А. Геолого-разведочные работы на уран на Украине: тез. докл. междунар. науч.-практ. конф. «Особенности развития мине-

рально-сырьевой базы урана Украины, его добыча и обогащение». Киев, 2009. С. 5–8.

Никитин А. А., Петров А. В., Алексахин А. С. Комплекс спектрально корреляционного анализа данных «КОСКАД 3D». М.: МГГРУ, 2004. 158 с.

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

Соллогуб В. Б. Литосфера Украины. Киев: Наук. думка, 1986. 184 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) // Геофиз. журн. 2010. Т. 32, № 1. С. 3–33.

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) II // Геофиз. журн. 2011. Т. 33, № 5. С. 3–16.

Трипольский А. А., Шаров Н. В. Литосфера докембрийских щитов северного полушария Земли по сейсмическим данным. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. 159 с.

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

Шаров Н. В., Куликов В. С., Исанина Э. В., Дрогицкая В. М., Казанский В. И. Глубинное строение и металлогения Северо-Онежского синклинория (Республика Карелия, Россия): корреляция геологических и сейсмических данных // Геофиз. журн. 2013. № 4. С. 16–28.

Щербак Н. П., Артеменко Г. В., Лесная И. М. Геохронология раннего докембрия Украинского щита. Протерозой. Киев: Наукова думка, 2008. 239 с.

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.

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.

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 12.09.2016

References

- Drogitskaya G. M., Tripol'skii A. A., Popov N. I., Kazanskii V. I., Tarasov N. N., Sharov N. V.* Seismogeologicheskaya pozitsiya Kirovogradskogo rudnogo rayona (Ukrainskiy shchit) v svyazi s lokal'nymi neodnorodnostyami poverkhnosti Mokho [Seismogeological position of the Kirovograd ore district (Ukrainian Shield) in relation to local inhomogeneity of the Mokho surface]. *Geofizika XXI stoletiya*, 2006 god. Sbornik trudov Vos'mykh geofizicheskikh chteniy im V. V. Fedynskogo (2–4 marta 2006 g., Moskva) [Geophysics of the XXI century, 2006. Collection of Papers of the 8th Geophysical Readings named in honour of V. V. Fedynsky (March 2–4, 2006, Moscow)]. Moscow, 2007. P. 21–27.
- Drogitskaya G. M.* Osobennosti glubinnogo stroeniya zemnoy kory Korsun-Novomirgorodskogo i Novoukrainskogo massivov (Ukrainskiy shchit) po seismicheskim dannym [Features of deep crustal structure and Korsun-Novomirgorod Novoukrainsky arrays (Ukrainian shield) from seismic data]. *Geodinamika [Geodynamics]*. 2009. No. 1(8). P. 76–83.
- Drogitskaya G. M.* Osobennosti glubinnogo stroeniya Kirovogradskogo rudnogo rayona po seismicheskim dannym [Features of the deep structure of the Kirovograd ore district from seismic data]. *Geodinamika [Geodynamics]*. 2013. No. 2(15). P. 139–141.
- Geneticheskie tipy i zakonomernosti razmeshcheniya uranovykh mestorozhdeniy Ukrainy* [Genetic types and patterns of uranium deposits distribution in Ukraine]. Eds. Ya. N. Belevtsev, V. B. Koval'. Kiev: Nauk. dumka, 1995. 396 p.
- Isanina Je. V., Verba M. L., Ivanova N. M., Kazanskij V. I., Sharov N. V.* Glubinnoe stroenie i seismogeologicheskie granicy Pechengskogo rajona na Baltijskom shhite i smezhnoj chasti shel'fovoj plity Barenceva morja [Deep structure and seismogeological boundaries of the Pechenga district in the Baltic Shield and the adjacent part of the Barents Sea shelf plate]. *Geologija rudnykh mestorozhdenij [Mining geology]*. 2000. Vol. 42, no. 5. P. 476–487.
- Janovskaja T. B., Dmitrieva L. A.* Vlijanie nezhestkosti kontakta uprugih sred na koefitsient otrazhenija, prelomlenija i obmena [Influence of contact stiffness of elastic media on the reflection coefficient, refractive index and exchange coefficient]. *Izv. AN SSSR, Fizika zemli [Bull. of the Acad. of Sci. of the USSR. Geophysics]*. 1991. No. 5. P. 17–22.
- Kazanskij V. I., Kuznetsov O. L., Kuznetsov A. V., Lobanov K. V., Cheremisina E. N.* Glubinnoe stroenie i geodinamika Pechengskogo rudnogo rajona. Opyt izuchenija Kol'skoj sverhglubokoj skvazhiny [Deep structure and geodynamics of the Pechenga ore district. The record of the Kola super-deep well studying]. *Geologija rudnykh mestorozhdenij [Geology of Ore Deposits]*. 1994. Vol. 36, no. 6. P. 500–519.
- Kol'skaja sverhglubokaja.* Issledovanija glubinnogo stroeniya kontinental'noj kory s pomoshh'ju burenija Kol'skoj sverhglubokoj skvazhiny [The Kola super-deep well. Study of the deep structure of the continental crust by drilling the Kola super-deep well]. Ed. E. A. Kozlovskij. Moscow: Nedra, 1984. 490 p.
- Kryuchenko V. A., Isanina E. V.* Opyt kompleksnoy interpretatsii materialov MOVZ i gravimetrii v tsentralnoy chasti Ukrainskogo schita [Experience of complex interpretation of EULEX and gravity material in the central part of the Ukrainian Shield]. *Glubinnoe stroenie zemnoy kory i verhney mantii Ukrainy [Deep Structure of the Earth's crust and upper mantle of Ukraine]*. Kiev: Nauk. dumka, 1988. P. 16–26.
- Lobanov K. V.* Strukturno-petrofizicheskie uslovija lokalizatsii ranneproterozojskikh pegmatitovykh i magmaticheskikh mestorozhdenij severo-vostochnoj chasti Baltijskogo shhita [Structural and petrophysical conditions of the localization of the Early Proterozoic pegmatite and magmatic deposits of the northeastern part of the Baltic Shield]: Summary of PhD (Cand. of Geol.-Min.) thesis. Moscow: IGEM RAN, 2008. 70 p.
- Makivchuk O. V., Zikov E. A.* Geologorazvedochnye raboty na uran na Ukraine [Geological exploration for uranium in Ukraine]: Tez. dokl. mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii "Osobennosti razvitija mineral'no-syr'evoy bazy urana Ukrainy, ego dobycha i obogashhenie" [Abstracts of the Int. Res. and Practical Conf. "Characteristics of the uranium mineral raw material base in Ukraine, its mining and concentration"]. Kiev, 2009. P. 5–8.
- Nikitin A. A., Petrov A. V., Aleksashin A. S.* Kompleks spektral'no korrelyatsionnogo analiza dannyh "KOSKAD 3D" [KOSKAD 3D complex of spectral correlational data analysis]. Moscow: MGGRU, 2004. 158 p.
- Onezhskaja paleoproterozojskaja struktura* (geologija, tektonika, glubinnoe stroenie i mineragenija) [The Onega Paleoproterozoic structure (geology, tectonics, deep structure and minerageny)]. Eds. L. V. Glushanin, N. V. Sharov, V. V. Shchiptsov. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2011. 431 p.
- Sharov N. V., Isanina Je. V., Zamozhnaja 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 the deep seismic research with CDP, DSS and MCWQ methods in the Onega-Ladoga area (Karelia, Russia)]. *Geof. zhurn. [Geophysical Journal]*. 2011. Vol. 33, no. 3. P. 23–39.
- Sharov N. V., Kulikov V. S., Isanina Je. V., Drogitskaya G. M., Kazanskij V. I.* Glubinnoe stroenie i metallogenija Severo-Onezhskogo sinklinorija (Respublika Karelija, Rossija): korrelyatsija geologicheskikh i seismicheskikh dannyh [Deep structure and metallogeny of the North Onega Synclinorium (Karelia, Russia): correlation of geological and seismic data]. *Geofiz. zhurn. [Geophysical Journal]*. 2013. No. 4. P. 16–28.
- Shcherbak N. P., Artemenko G. V., Lesnaja I. M.* Geohronologija rannego dokembrija Ukrainskogo shhita. Proterozoj [Geochronology of the Early Precambrian of the Ukrainian Shield. The Proterozoic period]. Kiev: Naukova dumka, 2008. 239 p.
- Sollogub V. B.* Litosfera Ukrainy [Lithosphere of Ukraine]. Kiev: Nauk. dumka, 1986. 184 p.
- Starostenko V. I., Kazanskij V. I., Popov N. I., Drogitskaya G. M., Zayats V. B., Makivchuk O. F., Tripol'skij A. A., Chicherov M. V.* Ot poverhnostnykh struktur k integral'noj glubinoj modeli Kirovogradskogo rudnogo rajona (Ukrainskiy shchit) [From superficial structures to an integral deep model of the Kirovograd ore district (Ukrainian Shield)]. *Geofiz. zhurn. [Geophysical Journal]*. 2010. Vol. 32, no. 1. P. 3–33.

Starostenko V. I., Kazanskiy V. I., Popov N. I., Dro-gitskaya G. M., Zayats V. B., Makivchuk O. F., Tripol'skiy A. A., Chicherov M. V. Ot poverhnostnyih struktur k integralnoy glubinnoy modeli Kirovogradskogo rud-nogo rayona (Ukrainskiy schit) [From Surface structures integral to the depth model of the Kirovograd ore district (Ukrainian shield)]. *Geofiz. zhurn. [Geophysical Jour-nal]*. 2011. Vol. 33, no. 5. P. 3–16.

Tripol'skiy A. A., Sharov N. V. Litosfera dokembrijskih shchitov severnogo polushariya Zemli po seismicheskim dannym [The lithosphere of the Precambrian shields in the Earth's northern hemisphere from seismic data.]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2004. 159 p.

Janik T., Kozlovskaya E., Heikkinen P., Yliniemi J., Silvennoinen H. Evidence for preservation of crustal root

beneath the Proterozoic Lapland-Kola orogen (north-ern Fennoscandian shield) derived from P and S wave velocity models of POLAR and HUKKA wide-angle re-flection and refraction profiles and FIRE4 reflection transect. *Journal of Geophysical Research*. 2009. Vol. 144.

Kazanskiy V. I., Lobanov K. V., Isanina E. V., Sha-rov N. V. The Paleoproterozoic Pechenga Cu-Ni ore field (Fennoscandian shield): a fault-bound volcanic center. *Izvestiya. Earth Sciences Section*. Russian Aca-demy of Natural Sciences, Special issue. Oslo 2008. P. 43–48.

Received September 12, 2016

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Шаров Николай Владимирович

заведующий лаб. геофизики, д. г.-м. н.
Институт геологии Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: sharov@krc.karelia.ru
тел.: (8142) 783471

Исанина Эльвира Вениаминовна

ведущий геофизик
Региональный геоэкологический центр (РГЭЦ),
филиал ФГУП «Урангео»
ул. Пестеля, 1/12, Санкт-Петербург, Россия, 198052
эл. почта: isanina@rgec.ru
тел.: (812) 2759094, (812) 2721392

Дрогицкая Галина Михайловна

ведущий научный сотрудник, к. г.-м. н.
Институт геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины
пр. Палладина, 32, Киев, Украина, 03680
эл. почта: drogitskay@igph.kiev.ua
тел.: 8 (1038044) 4238136

CONTRIBUTORS:

Sharov, Nikolai

Institute of Geology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk,
Karelia, Russia
e-mail: sharov@krc.karelia.ru
tel.: (8142) 783471

Isanina, Elvira

Russian Geo-ecological Centre
Branch of FGUP "Urango"
1/12 Pestel St., 191028 Saint-Petersburg, Russia
e-mail: isanina@rgec.ru
tel.: (812) 2759094, (812) 2721392

Drogitskaya, Galina

S. I. Subbotin Institute of Geophysics,
National Academy of Sciences of Ukraine
32 Palladin Av., 03680 Kiev, Ukraine
e-mail: drogitskay@igph.kiev.ua
tel.: 8 (1038044) 4238136