



В. М. Ступак
Н. В. Лещенко

ФГУ ГНПП "СПЕЦГЕОФИЗИКА", САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
ФГУ ГНПП "СПЕЦГЕОФИЗИКА", САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ МАТЕРИАЛОВ МОГТ И МОВЗ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ФЕННОСКАНДИИ*

В 1995 - 2001 гг. в юго-восточной части Фенноскандинавского (Балтийского) щита были выполнены сейсмические работы МОГТ (профиль Р2-2, Росгеофизика) и МОВЗ (профиль IX, Невскгеология). Этот регион Восточно-Европейской платформы, расположенный в зоне сочленения Балтийского щита и Русской плиты, практически не изучен сейсмическим методом МОГТ. Поэтому первые данные о глубинном строении верхней части земной коры (ВЧЗК) региона имеют большое значение для дальнейших геологических исследований и решения прикладных геолого-геофизических задач. В то же время первый этап работ является самым сложным, требует привлечения дополнительной информации, комплексирования с другими геолого-геофизическими материалами для более надёжной расшифровки глубинного строения. Первыми сейсмическими материалами по территории являются данные сейсморазведочных работ МОГТ по профилю Р2-2 (Росгеофизика-Центргеофизика, 2000 - 2001 гг.) и сейсмогеологические наблюдения МОВЗ на ПР IX, выполненные в 1985 - 1987 гг. СЗФ "Невскгеология" и переобработанные на ЭВМ по новым технологиям в 2001 г. На участке Новая Ладога - Ошта линия профиля МОВЗ практически совпадает с линией профиля МОГТ (Р2-2), отработанного в 2000 - 2001 гг., что позволяет провести совместную интерпретацию полученных данных.

В статье приводятся результаты комплексного анализа данных двух модификаций сейсморазведки МОГТ и МОВЗ на практически совмещенных профилях. Местоположение сейсмических профилей приведено на рис. 1, здесь же показано положение регионального геотраверса Государственной опорной сети 1-ЕВ (ФГУ ГНПП "Спецгеофизика", 2002 г.).

ИСХОДНЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

МОГТ. Материалы профиля Р2-2 получены по системе многократных перекрытий (кратность 48) с применением вибрационных источников возбуждения [2]. Шаг между сейсмоприёмниками составлял 60 м, между пунктами возбуждения - 120 м. Частотный диапазон источника - 15 - 100 Гц. Реальный масштаб исследований - 1 : 15 000, глубинность возможной интерпретации сейсмических материалов МОВ-ОГТ в данном случае не превышает 5 - 6 км [2].

Интерпретация разрезов МОГТ весьма неоднозначна (рис. 2). Наиболее уверенно выявляется верхняя часть

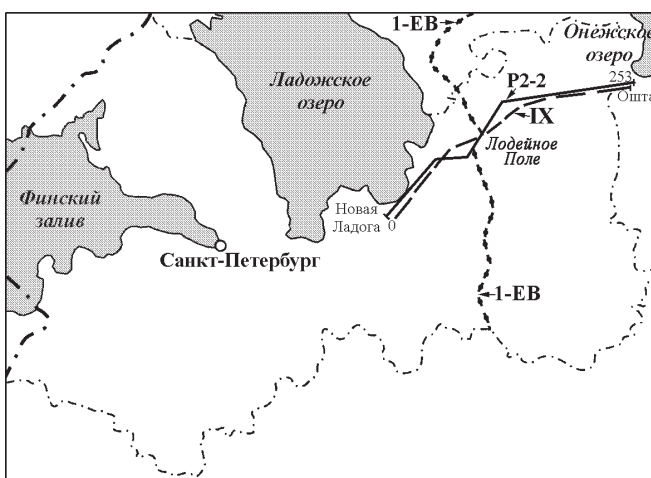


Рис. 1. Обзорная схема расположения региональных сейсмических профилей в Ленинградской области: Р2-2 - профиль МОГТ (Росгеофизика, 2001 г.); IX - профиль МОВЗ (Невскгеология, 1987 г.); 1-ЕВ - региональный геотраверс СГ-ОГТ (МПР, Спецгеофизика, 2002 г.)

* Профили Р2-2 МОГТ - IX МОВЗ, Новая Ладога - Ошта

разреза, представленная терригенными осадочными образованиями кембрия-верхнего протерозоя (платформенный чехол). Здесь наблюдаются достаточно протяжённые субгоризонтальные сейсмические границы. Нижележащий кристаллический фундамент архей-раннепротерозойского возраста характеризуется как гетерогенная среда, в различной степени упорядоченная как по вертикали так и по латерали. Низкая информативность материалов МОГТ в верхней части земной коры может быть обусловлена двумя причинами. Первая - высокое поглощение сейсмической энергии в относительно разуплотнённых (рыхлых) образованиях осадочного чехла - рифея-венда-кембрия, вторая - глубокий метаморфизм кристаллического фундамента AR-PR₁, его мигматизация, приводящие к выравниванию физических (акустических) свойств среды. Применение обработки по методике дифференциальной сейсморазведки (МДС) [5] позволило несколько повысить информативность сейсмического разреза ВЧЗК, однако геологическая ситуация по-прежнему остаётся неясной, особенно по мере увеличения глубины исследований более 5 - 6 км (рис. 3, 4).

МОВЗ. Технология полевых работ и обработки данных на профиле IX подробно рассмотрена в работе [3], а интерпретация материалов - в [1]. Следует отметить, что результативные данные МОВЗ, как правило, дают сведения об общем характере строения земной коры и, возможно, верхней мантии. По структурным характеристикам, скоростным и динамическим параметрам обменных волн выявляются крупные блоки коры. В верхней части земной коры разрешённость МОВЗ недостаточна для привязки сейсмологических данных к материалам малоглубинных геолого-геофизических исследований в ВЧЗК (ГСР, сейсмические и электроразведочные работы, геоэлектрохимия и др.), т. е. для решения прикладных задач поисково-разведочной геологии на доступных для бурения глубинах [6].

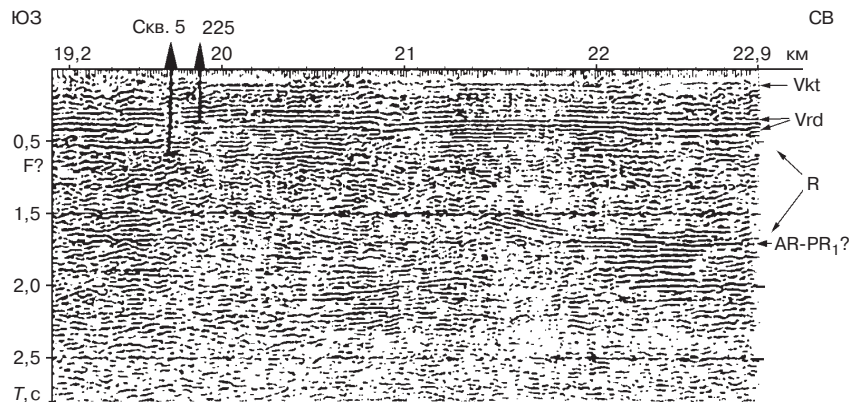


Рис. 2. Фрагмент временного разреза по профилю P2-2 [2]:

Vkt - венд, котлинский горизонт: глины, песчаники, алевроиты; Vrd - венд, редкинский горизонт: песчаники, гравелиты, глины; R - рифей: вулканогенно-осадочные образования; AR-PR₁ - кристаллический фундамент: сланцы, кварциты, гнейсы, интрузии кислого и основного составов

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Главным противоречием между данными МОВЗ и МОГТ на рассматриваемой территории является различный масштаб работ и, соответственно, глубинность. Так, материалы МОВЗ несут информацию о строении глубоких частей коры и верхней мантии, но малоинформативны в ВЧЗК. Материалы МОГТ, наоборот, наиболее информативны в ВЧЗК, но практически не дают сведений о структуре на больших глубинах (5 - 15 км и более) [1, 5, 6, 7]. Комплексование двух методов преследует цель получить единую картину глубинного строения всей толщи земной коры.

КОМПЛЕКСНЫЙ СЕЙСМИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ ЗЕМНОЙ КОРЫ ПО ПРОФИЛЮ НОВАЯ ЛАДОГА - ОШТА

На рис. 3 приведены сводный глубинный разрез МОГТ-МОВЗ и график гравитационного поля V_z . Верхняя часть разреза до глубины 5 км представлена фактическим материалом МОВ-МДС - мигрированным глубинным разрезом, нижняя - интерпретационным структурным разрезом МОВЗ с вынесенными на него параметром "обменоспособности" среды, являющимся, по мнению исполнителей работ, некоторым аналогом акустической жёсткости в МОВ [1, 3]. На структурном разрезе авторы МОВЗ определены две группы тектонических элементов (разломов земной коры). К одной группе могут быть отнесены внутрикоровые разломы, расположенные в верхней части коры. Другая группа представлена "сквозь-коровыми" разломами, проникающими в мантию. Эти разломы представляют наибольший интерес как каналы поступления мантийного вещества в ВЧЗК. Мы обозначили данные разломы стрелками, проникающими в глубинный разрез МОВ-МДС.

Из анализа комплексного разреза следует, что большинство глубинных разломов, выделенных по материалам МОВЗ, находят свое "продолжение" в вышележащем разрезе МОВ, однако их сейсмические "образы" имеют некоторые различия. Например, внутрикоровые разломы в начальной части профиля (см. рис. 3, 4) линейно продолжают в разрезе МОВ-МДС и выходят в кровлю кристаллического фундамента в районе Новой Ладogi и Сясьстроа (ПК 11 - 12 км). Аналогичная картина наблюдается при продолжении вверх внутрикорового разлома в районе ПК 180 км профиля P2-2. Иной образ среды отмечается в разрезе МОВ в районах выхода мантийных разломов в ВЧЗК. Структурная картина на этих участках весьма разнообразна и представлена группами тектонических элементов: линейными (район ПК 40), веерообразными (район ПК 100), а также локальными

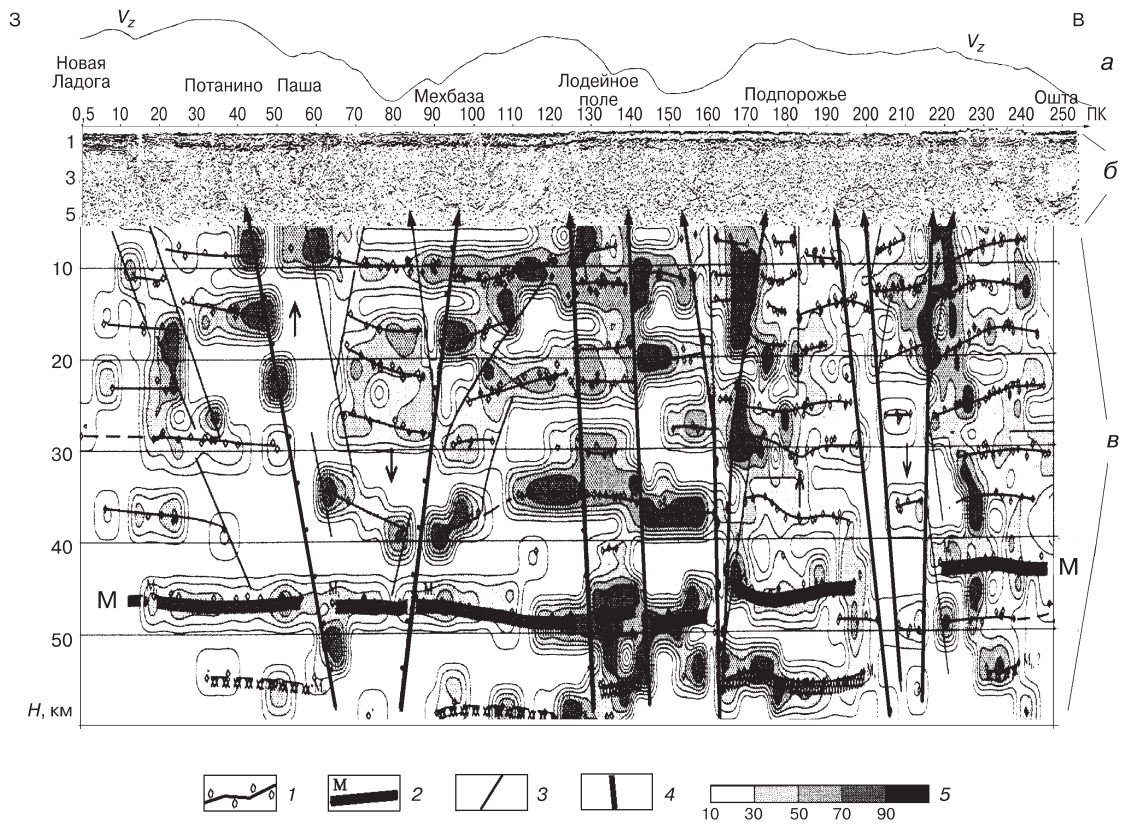


Рис. 3. Сводный разрез МОВ-МДС - МОВЗ по линии Новая Ладога - Оштра:

а - график гравитационного поля; *б* - глубинный разрез МОВ-МДС; *в* - интерпретационный разрез МОВЗ; 1 - точки и границы обмена; 2 - граница кора-мантия; 3 - внутрикоровые разломы; 4 - сквозные коровые разломы; 5 - обменоспособность среды

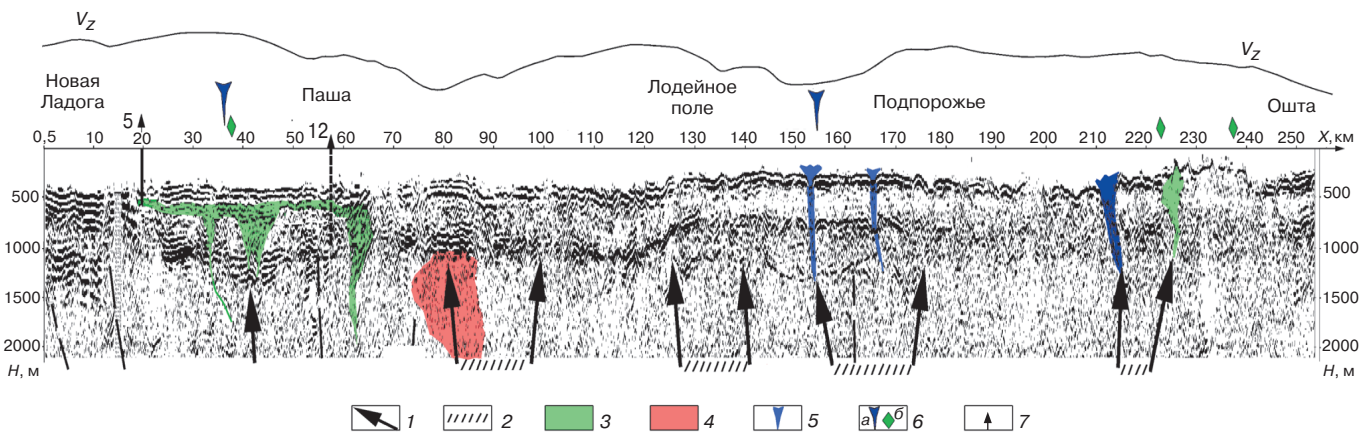


Рис. 4. Интерпретационный разрез ВЧЗК и элементы комплекса геолого-геофизических данных:

1 - разломы мантийного происхождения по данным МОВЗ; 2 - зоны вероятного внедрения мантийных флюидов по данным МОВЗ; 3 - области внедрения основных-ультраосновных пород, установленные по комплексу геолого-геофизических данных; 4 - предполагаемые интрузии гранитоидов; 5 - объекты трубчатого типа; 6 - предполагаемые зоны алмазоносности (*а*) и полиметаллического оруденения (*б*) по данным геоэлектрхимии [2]; 7 - скважины; V_z - график гравитационного поля

блоками различной геометрической формы (ПК 190 – 200, ПК 220 и др.). Следует отметить, что в детальном разрезе МОВ-МДС выявляется намного больше тектонических особенностей ВЧЗК, чем в МОВЗ, однако геологическая природа большинства наблюдаемых сейсмических объектов на данный момент не определена, и главным, что выявлено сейчас, является их приуроченность к глубинной тектонике, установленной по данным МОВЗ.

ВОЗМОЖНЫЕ МИНЕРАГЕНИЧЕСКИЕ СЛЕДСТВИЯ

Низкая геологическая изученность рассматриваемой территории обусловлена наличием относительно мощного (до 1500 м) осадочного чехла, сформированного продуктами разрушения Фенноскандинавского щита практически за весь постархейский период. Этот чехол экранирует коренное основание AR-PR₁, где собственно и сосредоточены основные минеральные ресурсы региона. Поисковое бурение ограничивается поверхностью фундамента, иногда определяемой с ошибкой 50 – 100%. Глубокие параметрические скважины, надёжно вскрывшие кристаллическое основание, отсутствуют. Таким образом, *собственно геологическая изученность не выходит за рамки осадочного чехла*, где достаточно уверенно прослеживается ряд сейсмогеологических границ. Сейсмическая разведка не только снижает погрешность структурных построений внутри осадочного чехла, но, главное, дает модель глубинной структуры фундамента и всей коры. В то же время существует некоторая гипотетичность получаемой модели, так как её пока невозможно подтвердить прямыми измерениями.

В 2000 г. по профилю P2-2 были выполнены геоэлектрoхимические измерения, суть которых заключается в возможности оценки вещественного состава глубинных геологических образований на основе исследования легкоподвижных геохимических форм, проникающих с глубины к земной поверхности [2].

Таким образом, мы получили возможность проанализировать целый комплект геолого-геофизических данных на одном и том же профиле. На рис. 4 представлен интерпретационный разрез, составленный на базе детального сейсмического разреза МОВ-МДС, данных бурения, гравиметрических измерений. В направлении с запада на восток можно выделить ряд разнообразных геологических объектов.

ПК 19-65. Здесь выявляется рифейская впадина мощностью до 1000 м. Подошва впадины резко расслоена и структурно дислоцирована. Во внутренней части впадины наблюдается несколько субвертикальных объектов, воздымающихся в кровлю рифейских осадков, также существенно расслоенных. Гравитационное поле на этом участке существенно повышено, что говорит о внедрении “тяжелых” пород. И, наконец, две скважины, расположенные на флангах рассматриваемого объекта, вскрыли интрузии ультраосновных пород под вендскими отложениями (см. рис. 4). Данные геоэлектрoхимических измерений свидетельствуют о наличии здесь су-

щественно повышенных концентраций полиметаллов [2]. Таким образом, на рассматриваемом участке по комплексу признаков можно практически однозначно прогнозировать внедрение относительно крупной интрузии ультраосновного состава, перспективной на медно-никелевое оруденение. *И практически в центр прогнозируемого объекта, в его “корневую” часть выходит глубинный мантийный разлом, выявленный по данным МОВЗ(!)* Уникальное сочетание многих геолого-геофизических признаков, подкрепленное данными бурения, позволяет отнести полученный “образ” к эталону и использовать его при прогнозировании подобных объектов на окружающей территории. Следует отметить, что на профиле P2-2 объекты аналогичного типа и масштабы не наблюдаются, разве что в самом начале профиля, но для его уверенного обнаружения необходимо продолжить профиль МОГТ и МОВЗ в западном направлении.

ПК 70-90. Между этими пикетами в кровле фундамента наблюдается “полупрозрачный” объект, деформирующий подошву осадочного чехла на глубине около 1000 м, а возможно, и всю верхнепротерозойскую часть разреза. Здесь, как и на предыдущем участке, нижняя часть чехла существенно расслоена, что, возможно, связано с внедрением магматических образований, однако вещественный состав внедрений иной, и, судя по гравитационному полю, соответствует “легким” породам, скорее всего гранитного состава. И опять здесь данными МОВЗ выявлен разлом мантийного заложения. Таким образом, можно предположить наличие в этой области небольшого гранитного массива, геологическое влияние которого (в виде флюида), судя по тектонике в разрезе МОВ-МДС, может продолжаться в верхнюю часть разреза. К востоку от рассмотренного участка (в районе ПК 96 – 98) предполагается наличие аналогичного мантийного разлома, однако каких-либо ярких структурных особенностей ВЧЗК здесь не наблюдается.

Следующая пара мантийных разломов МОВЗ отмечена в зоне Лодейнопольского поднятия. Амплитуда поднятия по данным МОВ составляет 400 – 500 м. Каких-либо ярких сейсмогеологических объектов здесь не наблюдается, однако очень чётко видна динамика воздействия мантийных разломов на верхнюю часть разреза, включая осадочный чехол. Местоположение выхода разломов в ВЧР (в районе ПК 125, ПК 135) может представлять определенный геологический интерес.

Район ПК 150 характеризуется относительно “спокойным” характером строения осадочного чехла. В то же время в верхней части фундамента устанавливается отчётливая синформа протяженностью около 30 км и амплитудой до 600 м. Местоположение синформы сопровождается локальным гравитационным минимумом, что рядом авторов увязывается с внедрением легкого массива гранитов (рапакиви?). На этом же участке в районе ПК 153 на разрезе МОВ-МДС выявляется структура “проседания”, характерная для внедрения трубок взрыва [4]. По данным геоэлектрoхимии здесь же установлены признаки алмазности [2]. И вся серия благоприятных поисковых признаков *увязывается с глубинным мантийным разломом МОВЗ.*

Далее на восток по данным МОВ выявляется еще один объект “трубчатого” типа, но его взаимосвязь с внутрикоровым и мантийным разломами МОВЗ весьма неопределенна. Последняя зона разломов мантийного происхождения отмечается в районе ПК 210 - 225. В разрезе МОВ-МДС к этой зоне приурочены два вероятных объекта: структура “проседания” на ПК 210 - 212 и предполагаемая гипербазитовая интрузия в районе ПК 225. По геоэлектрохимическим данным здесь предполагается полиметаллическая минерализация, а севернее профиля по данным ГСР обнаружены выходящие на поверхность ультраосновные породы (габбро-долериты).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Первые сейсмические данные МОГТ, полученные на юго-восточной окраине Фенноскандинавского щита, показывают сложность интерпретации материалов в переходной зоне от щита к Русской плите. Главным осложняющим фактором является наличие относительно “рыхлого” осадочного чехла мощностью от первых сотен метров до 1 км и более. Структура фундамента достаточно сложна и весьма неопределенна, её расшифровка требует дополнительных данных. Традиционно такими данными являются материалы глубокого бурения, гравиметрической и магнитной съёмок, данные электроразведки и других геофизических методов.

Совместная интерпретация сейсмических материалов МОВ-ОГТ и МОВЗ на рассматриваемой территории до настоящего времени не проводилась. Но уже первые результаты такой интерпретации, их подтверждение на ряде участков геоэлектрохимическими исследованиями и бурением позволяют существенно уточнить и детализировать представления о глубинном строении рассматриваемой территории. Во-первых, это возможность оценки структурного строения земной коры во всем диапазоне глубин - от геологической поверхности до верхов мантии. Во-вторых, это повышение достоверности тектонических построений в ВЧЗК. Наиболее надёжными могут считаться глубинные разломы, геометрически совпадающие по данным двух методов. Структурный план МОВ позволяет оценивать степень проникновения глубинных (мантийных и коровых) разломов, установленных по материалам МОВЗ, в верхнюю часть земной коры (ВЧЗК), что, в свою очередь, определяет минерагенические перспективы ВЧЗК. В-третьих, это ранжирование наиболее перспективных геологических объектов на главные, связанные с мантийными разломами, и второ-

степенные, приуроченные к внутрикоровым разломам. Полученные данные следует рассматривать как основу для постановки дальнейших, более детальных геологоразведочных работ. Также считаем целесообразным увязку полученных данных с материалами регионального геотраверса 1-ЕВ, обработка и интерпретация которых к настоящему времени завершена.

Геолого-геофизические образы перспективных объектов, подтверждённые наибольшим комплексом поисковых признаков, включая бурение (эталоны), необходимо накапливать в базах данных с целью использования при изучении аналогичных геологических провинций.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 05-08-01340.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Глубинное строение и сейсмичность Карельского региона и его обрамления.* Под ред. Шарова Н. В., 2004: Петрозаводск, Карельский научный центр РАН.
2. *Дуркин А. Т., Вольфштейн П. М., Пухлякова С. С., Елисеев А. А., Алексеев С. Г., 2006, Особенности глубинного строения южной окраины Балтийского щита по субширотным региональным профилям Новая Ладога - Лодейное Поле - Ошта и Доможирово - Шамокша (Ленинградская область) по данным комплексных геофизических и геохимических исследований: Геофизика XXI столетия: 2005 г.: Сборник трудов Седьмых геофизических чтений им. В. В. Федынского: М., Научный мир, 48 - 56.*
3. *Строение литосферы Балтийского щита.* Под ред. Шарова Н. В., 1993: М., Нац. геоф. ком. РАН.
4. *Ступак В. М., 1997, Сейсмические эффекты кимберлитовых трубок и их практическое использование: Проблемы золотонности и алмазности Севера европейской части России: Петрозаводск, Карельский научный центр РАН, 124 - 130.*
5. *Ступак В. М., 2000, Дифференциальная сейморазведка как инструмент детального изучения геологического разреза: Нетрадиционные методы поисков месторождений полезных ископаемых: Сборник научных трудов СЗ ДПР: СПб, 164 - 176.*
6. *Ступак В. М., Берзин Р. Г., 2003, О возможности применения метода обменных волн землетрясений для решения прикладных задач: Разведка и охрана недр, 5, 7 - 10.*
7. *Шаров Н. В., Ступак В. М., Исанина Э. В., Крупнова Н. А., 2006, Повышение достоверности геологических моделей литосферы Баренц-региона на основе комплексирования методов ОГТ, ГСЗ, МОВЗ: Электронная версия Международной конференции. 16 - 19 октября 2006: СПб, П127, 1 - 4.*

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Владимир Матвеевич СТУПАК - начальник партии специализированной машинной обработки ОП “Спецгеофизика” ФГУП “ВНИИгеофизиа”.

Наталья Владиленовна ЛЕЩЕНКО - ведущий геофизик ПСМО ОП “Спецгеофизика” ФГУП “ВНИИгеофизика”.