

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 550.837: 550.379: 551.71/.72

КОМПЛЕКСНЫЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ ЧЕРЕЗ РОПРУЧЕЙСКИЙ СИЛЛ ГАББРОДОЛЕРИТОВ НА УЧАСТКЕ РЖАНОЕ – АНАШКИНО

П. А. Рязанцев

Институт геологии Карельского научного центра РАН

В статье рассматривается комплексный геофизический профиль через Ропручейский силл габбродолеритов на участке Ржаное – Анашкино, при помощи которого получены новые данные об особенностях строения изучаемого объекта. Это позволило уточнить его геологическое строение, охарактеризовать с высокой степенью достоверности, а также определить положение границ залегания во вмещающих породах и внутренние неоднородности. Выделены некоторые особенности применения и сопоставления методов геофизики.

Ключевые слова: электроразведочные методы, магниторазведка, ВЭЗ, моделирование, структурный профиль, Ропручейский силл.

P. A. Ryazantsev. THE COMPLEX GEOPHYSICAL CROSS SECTION OF THE ROPRUCHEYSKY GABBRO-DOLERITE SILL AT THE RZHANOE – ANASHKINO SITE

We consider the complex geophysical cross section of the Roprucheysky gabbrodolerite sill at the Rzhano-Anashkino site, where new data were obtained on the structure of the study object. As the result, its geological structure was clarified and characterized with a high degree of confidence, and the boundaries of its bedding in the host rocks and internal heterogeneity were determined. Some features of the application and comparison of geophysical methods are highlighted.

Key words: geoelectrical prospecting, magnetic reconnaissance, VES, modeling, structural profile, Roprucheysky sill.

Введение

Ропручейский силл интересен в первую очередь как геологический объект, перспективный

для разведки и разработки месторождений облицовочного камня. Предшествующие исследования Карельской геологической экспедиции (КГЭ) создали базу для выделения наибо-

лее продуктивных площадей [Кевель, 1988], однако для повышения эффективности разведки природного камня требуются новые подходы, в том числе и комплексное использование геолого-геофизических данных [Копылов, Пустовойтова, 2006; Magnusson et al., 2010; Соколов и др., 2011; Шеков, Иванов, 2011]. Результаты таких работ должны выступать первым этапом при разведке месторождений облицовочного камня.

Примером использования комплексного подхода служат работы, выполненные в северной части Ропручейского силла на участке Ржаное – Анашкино. Главная цель заключалась в

изучении строения и оценке параметров силла при помощи геофизических методов. Для этого вкрест его простирания на уровне эрозионного среза выполнен экспериментальный геофизический профиль с выходами во вмещающие породы. Профиль находится в интервале, наиболее пригодном для получения корректных результатов с наименьшими затратами. Геологической основой для проведения работ служат карты и разрезы, построенные специалистами КГЭ [Кевель, 1988]. Исходя из имеющихся данных Ропручейский силла имеет согласное, но сложное по форме залегание, с мощностью в пределах 60–80 м. В нем предполагается нали-

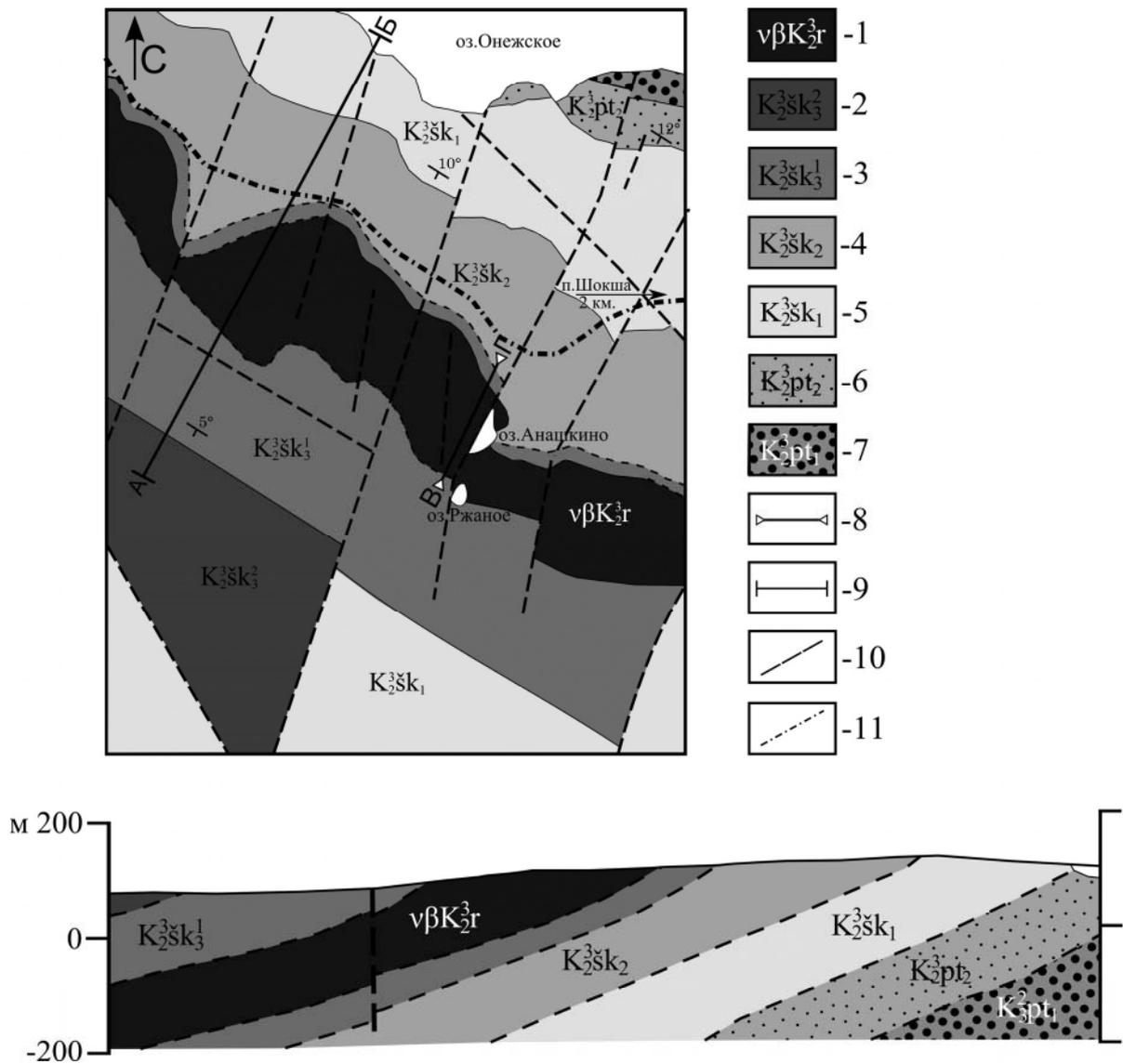


Рис. 1. Схема геологического строения участка работ с разрезом (по: [Кевель, 1988]):

1 – ропручейский габбродолеритовый комплекс – габбро, долериты; 2 – шокшинская свита, верхняя подсвита, верхняя пачка – песчаники, алевролиты; 3 – нижняя пачка верхней подсвиты – кварциты, конгломераты; 4 – шокшинская свита, средняя подсвита – сланцы, кварциты, алевролиты; 5 – шокшинская свита, нижняя подсвита – кварциты, сланцы, алевролиты; 6, 7 – петрозаводская свита, верхняя и нижняя подсвиты – песчаники, конгломераты; 8 – геофизический профиль В–Г; 9 – геологический профиль А–Б; 10 – крупные тектонические нарушения; 11 – автомобильная дорога

чие включений вмещающих пород и множество ослабленных тектонических зон. Однако в связи с распространением четвертичных отложений, отсутствием бурения и детальной геологической съемки в районе работ схема и разрез А–Б (рис. 1) отражают его геологию в упрощенном виде. Поэтому в задачи входило: исследование залегания силла на участке Ржаное – Анашкино и выделение его внутренних неоднородностей, а также определение особенностей обработки и интерпретации результатов геофизических исследований.

Для решения поставленных задач применялись следующие методы: профильные вертикальные электрические зондирования (ВЭЗ), магнитометрия и электропрофилеирование (ЭП) методикой срединного градиента (СГ). Предпосылки выбора такого комплекса методов – контрастность габбродолеритов, слагающих Ропручейский силл, по сопротивлению и значениям аномалий магнитного поля на фоне вмещающих пород, представленных кварцитами и кремнистыми сланцами. По петрофизическим данным в изучаемом разрезе присутствуют три различных типа пород: это габбродолериты ропручейского интрузивного комплекса с сопротивлением до 10 кОм·м во влажном состоянии, кварциты верхней подсвиты и сланцы средней подсвиты шокшинской свиты с сопротивлением более 100 кОм·м и более 10 кОм·м соответственно. Содержащийся в габбродолерите титаномагнетит (среднее содержание 6 %) делает его контрастным на фоне немагнитных кварцитов [Петрофизика, 1992]. Методика ВЭЗ позволяет оценить распределение неоднородностей как по вертикали, так и по горизонтали (при использовании 2-D подхода к обработке), тогда как ЭП и магнитометрия применялись, прежде всего, для оценки изменений по латерали.

Методика проведения работ

Для решения поставленных задач на участке Ржаное – Анашкино выполнен экспериментальный геофизический профиль В–Г общей длиной более 4 км (рис. 1). Наиболее информативные результаты по профилю были получены методикой ВЭЗ, которая является стандартной в геофизической практике. Однако ее использование при изучении геологических структур кристаллического Фенноскандинавского щита связано с рядом сложностей. Это отсутствие равномерной горизонтально-слоистой среды, для которой такая методика является оптимальной, а также многочисленные тектонические нарушения. Поэтому представленный объект можно отнести к условно пригодным для ВЭЗ. Хотя силл и залегает во вмещающих породах под углом 0–10°, что является

приемлемым с точки зрения методологии геофизической съемки, следует ожидать целый ряд ошибок и шумов при измерениях.

Работы проводились многоцелевым электроразведочным аппаратным комплексом «СКАЛА-48» с использованием питающей линии АВ/2 до 500 м с тремя размерами MN = 10, 40, 80 м, по десять замеров на каждый разнос и рабочей частотой 2,44 Гц. Геометрия установки была выбрана исходя из мощности силла, с учетом влияния вмещающих высокоомных пород, для обеспечения необходимых чувствительности и глубины исследования. Для повышения плотности данных использовался линейный шаг, равный 10 м, при изучении приповерхностной части разреза, 20 м – на второй декаде и 40 м – на третьей. Всего было выполнено 21 зондирование с интервалами в 200 м. Для каждого измерения выполнялось пять накоплений, и за конечный результат принималось среднее значение, что позволяло отсеять случайные помехи [Балков и др., 2010].

В связи с тем что ЭП и магнитометрия имеют ограниченную информативность при изучении субгоризонтальных тел, основная их функция заключалась в выявлении вертикальных тектонических нарушений и границ между габбродолеритами и кварцитами на уровне эрозионного среза. Съемка методикой СГ проводилась с питающей линией АВ = 5 км, приемной линией MN = 20 м и шагом 10 м. В результате построен график, характеризующий распределение кажущегося удельного сопротивления (ρ_k) вдоль профиля. Пешеходные магнитометрические работы проводились с шагом съемки, равным 10 м, и их результат представлен также в виде графика.

Результаты исследований

По результатам геофизических исследований строились геоэлектрические модели, отображающие геологическую обстановку исследуемого района [Griffiths, Barker, 1993; Бобачев и др., 1995]. При обработке полученных ВЭЗ возникли три основные проблемы, ухудшающие результат. Во-первых, это возможность подбора эквивалентных моделей, существенно различающихся по своим характеристикам. Во-вторых, наличие Р-эффектов, вызывающих смещение кривой ВЭЗ по шкале сопротивлений, что является следствием влияния контрастных приповерхностных неоднородностей. А также влияние длины питающей линии, выражающееся в появлении индукции, что занижало уровень ρ_k конечных замеров. Для преодоления этих помех использовались: инверсия данных по профилю с опорой на имеющуюся геологическую информацию, ме-

ханизмы нормализации сегментированной кривой ρ_k (по глубинным уровням), присутствующие в программном обеспечении, используемом при обработке («ВЭЗ-Мастер» [Шакуро, 2010]), и выборочная фильтрация данных (удалялись единичные замеры, резко выбивающиеся из ряда кривой) [Электроразведка..., 1994; Колесников, 2007]. Обработка данных и последующая интерпретация выполнялась в 1-D (одномерной) и 2-D (двумерной) формах. Использование разных подходов к решению обратной геофизической задачи позволяет вводить регуляризационную модель на основе одного типа обработки и использовать ее для увеличения корректности другой [Шевнин, Бобачев, 2009].

Сначала рассмотрим 1-D модель удельных сопротивлений. На полученном геоэлектрическом разрезе силл уверенно выделяется во вмещающих породах, представленные типы

пород контрастно разделяются по сопротивлениям, а положение контактов пород в приповерхностной части согласуется с геологической информацией. Анализ модели позволяет выделить пространственные неоднородности, представленные резким изменением мощности тела силла с 100 пикета (ПК), а также наличием высокоомного включения между ПК –1500 и –500, которое, вероятно, является включением вмещающих пород. Следует отметить разницу сопротивлений в области отрицательных и положительных пикетов, это объясняется влиянием крупного тектонического нарушения, пересекающего профиль исследования под острым углом (рис. 2). Однако неоднородности внутри интрузии выделяются нечетко, что не позволяет проводить корректную интерпретацию, поэтому была проведена 2-D обработка.

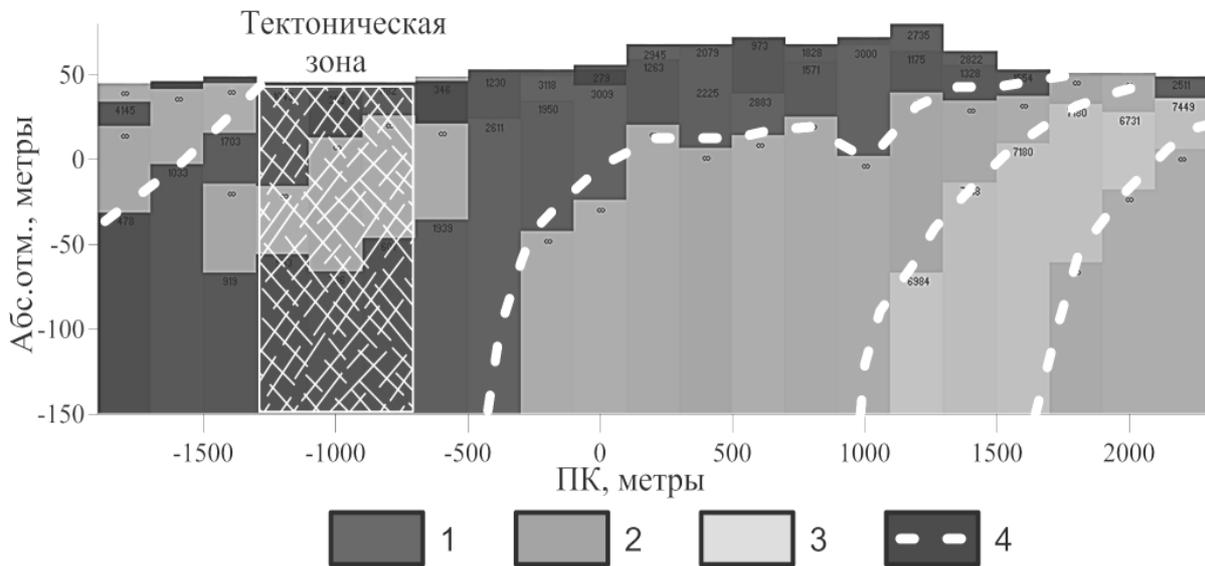


Рис. 2. 1-D модель сопротивлений по профилю В–Г:

1 – удельное сопротивление не более 4000 Ом·м; 2 – удельное сопротивление более 10 тыс. Ом·м; 3 – удельное сопротивление от 4 тыс. до 10 тыс. Ом·м; 4 – предполагаемые границы пород

При 2-D обработке используется моделирование при помощи двумерных ячеек с координатами x , y и учетом взаимодействия между ними, вследствие чего оценка распределения геоэлектрических параметров в горизонтальном направлении достовернее, чем при 1-D. Как видно, полученная модель удельных сопротивлений (рис. 3) более гладкая, благодаря чему основные границы геологических образований прослеживаются увереннее, а также отдельные контрастные малоразмерные тела лучше локализируются [Loke, 2010]. Это наблюдается на ПК –1400 и 1600, где четко выделяется граница вмещающих пород шокшин-

ской свиты и габбродолеритов Ропручейского силла; на ПК –800...–600 и 800–1200 фиксируются локальные включения в силле вмещающих пород; между ПК –1400 и –1000 отчетливо прослеживается крупное тектоническое нарушение. При построении 2-D модели присутствовал высокий процент невязки между измеренными и рассчитываемыми данными (до 40 %), что связано с недостаточным количеством зондирований. Однако использование механизмов регуляризации позволило уменьшить погрешность до приемлемого уровня (погрешность невязки 8,7 %) и получить более корректный результат.

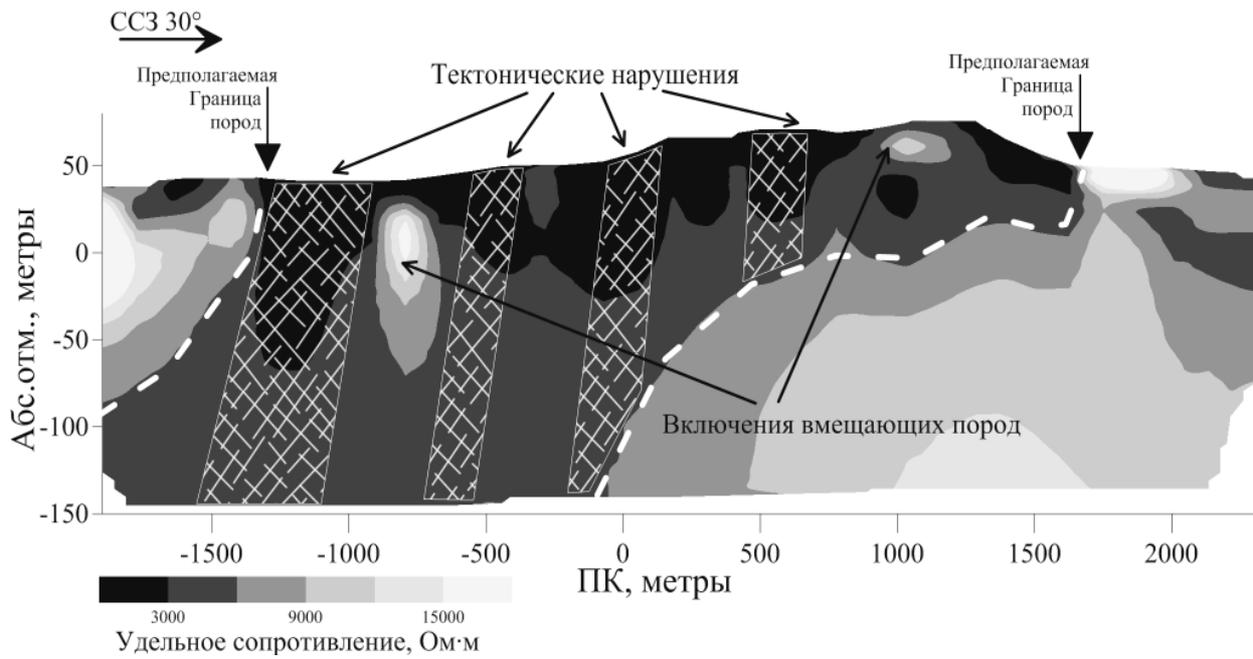


Рис. 3. 2-D модель сопротивлений по профилю В-Г

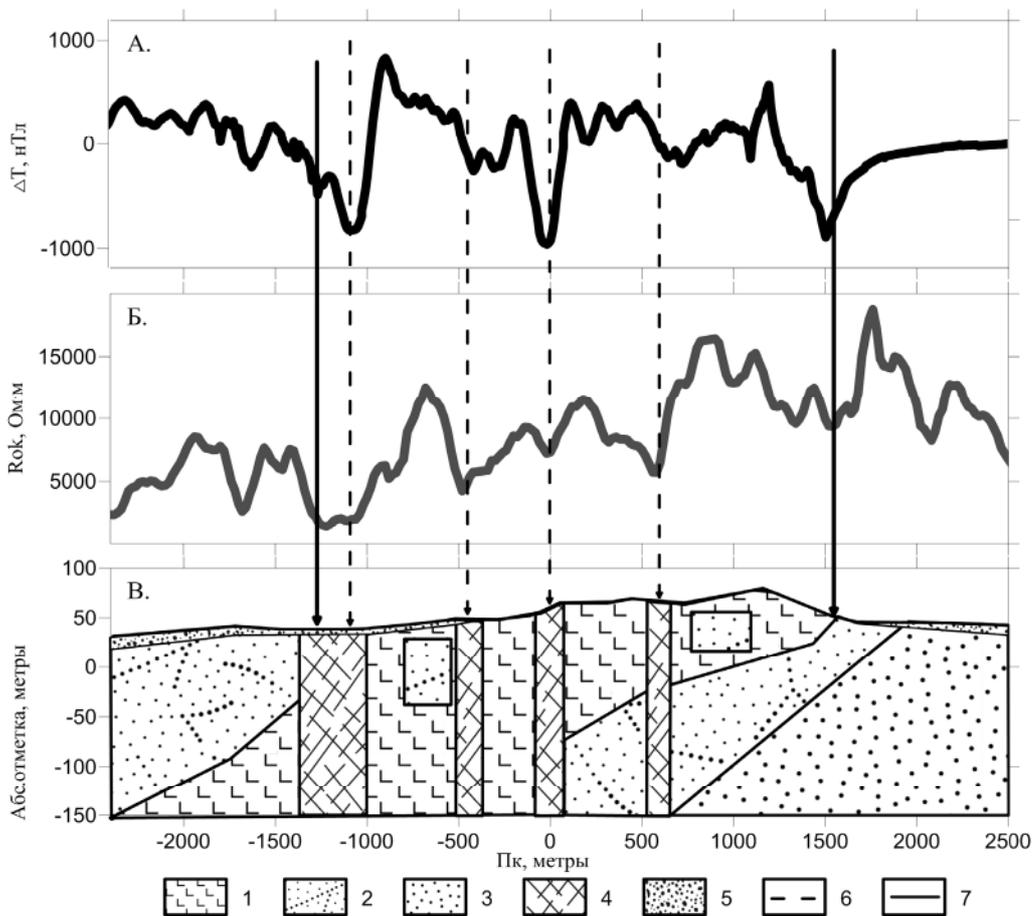


Рис. 4. Графики приращения модуля вектора индукции магнитного поля (А), кажущегося сопротивления (Б) и схематичный геологический разрез (В) для геофизического профиля В-Г:

1 – габродолериты; 2 – кварциты; 3 – кремнистые сланцы; 4 – зоны тектоники; 5 – четвертичные отложения; 6 – корреляционные линии для тектоники; 7 – корреляционные линии для границ пород

Анализ данных, полученных магнитометрией и ЭП, выполнялся в комплексе. Эта информация дополняет и заверяет результаты ВЭЗ. Для лучшего восприятия графиков и их сопоставления построен схематический геологический разрез на основе геолого-геофизических данных. На графике аномальных значений магнитного поля хорошо прослеживаются границы пород на ПК 1500 и –1400, это отражается в более спокойном поведении поля и отсутствии относительно длиннопериодных аномалий (рис. 4, А). В свою очередь, на графике кажущегося сопротивления такие области фиксируются понижением значений (рис. 4, Б). Также для него характерно понижение уровня тренда в сторону отрицательных пикетов, что является следствием негоризонтального залегания силла (в левой части преобладают габбродолериты, а в правой – кварциты и кремнистые сланцы) и влияния тектоники. В результате анализа графиков на схематическом разрезе выделяются отдельные блоки, ограниченные малыми тектоническими нарушениями ПК –1000...–500; –300–0; 0–500 (рис. 4, В), а после сопоставления с 2-D моделью включения вмещающих пород – на ПК –750...–550 и 700–1000. Еще одна особенность, выявленная в ходе исследований, – лучшая корреляция результатов ЭП и магнитометрии с 2-D обработкой ВЭЗ по сравнению с 1-D обработкой.

Согласно результатам комплексных исследований, силла имеет сложную структуру, которая дает неоднородное отображение в геофизических полях. Анализируя полученную картину, можно предположить, что моноклиальное залегание пород, по геологическим наблюдениям, осложнено флексурой на интервале 0–1600 ПК (рис. 3; 4, В). На разрезе выделяются ранее не картированные крупные тектонические нарушения одной генетической природы, параллельные главному тектоническому нарушению ПК –1400...–1000, а также два крупных включения, относящиеся, вероятно, к материалу вмещающих пород.

Выводы

Исследования, выполненные на участке Ржаное – Анашкино при помощи комплекса геофизических методов, позволили определить изменение мощности, наличие внутренних включений и зон тектоники, а также флексурное нарушение Ропручейского силла в этом районе. Полученные результаты согласуются с геологией района работ и дополняют имеющуюся информацию новыми данными. Наблюдается высокая корреляция результатов всех

геофизических методов, что позволяет наиболее полно охарактеризовать выбранный объект. Это свидетельствует о высокой эффективности геофизических методов для изучения Ропручейского силла. Дальнейшие исследования подобного рода позволят сделать новые выводы о его строении, тектонических особенностях и генезисе.

Автор выражает благодарность сотрудникам лаборатории геофизики м. н. с. А. В. Климовскому, м. н. с. М. Ю. Нилову, с. н. с. С. Я. Соколову и заведующему лабораторией геофизики д. г.-м. н. Н. В. Шарову за помощь в проведении полевых работ и написании статьи.

Литература

Балков Е. В., Панин Г. Л., Манштейн Ю. А. и др. Электротомография: аппаратура, методика и опыт применения // База знаний. 2010. 21 с. URL: www.nemfis.ru.

Бобачев А. А., Марченко М. Н., Модин И. Н. и др. Новые подходы к электрическим зондированиям горизонтально-неоднородных сред // Физика Земли. 1995. № 12. С. 79–90.

Кевель С. А. Отчет о поисковых и поисково-оценочных работах на блочный камень для целей прецизионного машиностроения в Прионежском районе Карельской АССР в 1987–1988 гг. // ТГФ (Петрозаводск). 1988.

Колесников В. П. Основы интерпретации электрических зондирований. М.: Научный мир, 2007. 248 с.

Копылов М. И., Пустовойтова И. В. Опережающие геофизические и петрофизические исследования при поисках и разведке строительных материалов на Дальнем Востоке // Тихоокеанская геология. 2006. Т. 25, № 4. С. 69–78.

Петрофизика: Справочник / Н. Б. Дортман (ред.). М.: Недра, 1992. 391 с.

Соколов С. Я., Рязанцев П. А., Климовский А. В., Нилов М. Ю. Геофизические методы изучения породной толщи на объектах облицовочного камня // Горный журнал. 2011. № 5. С. 15–19.

Шевнин В. А., Бобачев А. А. 2D инверсия данных, полученных по обычной 1D технологии ВЭЗ // Гео-разрез. 2009. № 3. URL: <http://georazrez.unidubna.ru>.

Шеков В. А., Иванов А. А. Методологические основы классификации месторождений блочного камня // Горный журнал. 2011. № 5. С. 5–8.

Шакуро С. В. Электротомография с использованием установок точечного зондирования // Тез. докл. на Петербургском геофизическом науч.-практ. семинаре им. В. А. Комарова «Электроразведка в комплексе методов для поисковой и инженерной геологии». СПб.: СПбГУ, 2010. С. 56.

Электроразведка методом сопротивлений / В. К. Хмелевской, В. А. Шевнин (ред.). М.: МГУ, 1994. 160 с.

Griffiths D. H., Barker R. D. Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology // J. Appl. Geophysics. 1993. N 29. P. 211–226.

Loke M. H. Tutorial – 2-D and 3-D electrical imaging surveys. Malaysia: Geotomo Software, 2010. 124 p.

Magnusson M., Fernlund J., Dahlin T. Geoelectrical imaging in the interpretation of geological conditions affecting quarry operations // Bulletin of Engineering Geology and the Environment. 2010. N 3. P. 465–486

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Рязанцев Павел Александрович

аспирант

Институт геологии Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
тел.: (8142) 783471
эл. почта: chthonian@yandex.ru

Ryazantsev, Pavel

Institute of Geology, Karelian Research Centre, Russian
Academy of Sciences

11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: chthonian@yandex.ru
tel.: (8142) 783471