

Комплексная интерпретация и совместная инверсия данных электроразведки и гравимагниторазведки для повышения геологической достоверности модели среды

М.С. Петрищев* (СПбФ ИЗМИРАН, ООО «Вега»), М.Б. Самсонов (ООО «Вега»), В.Л. Лухманов (ООО «Астрагео»), А.С. Скрябин (ООО «Вега»), А.А. Шлыков (СПбГУ, ООО «Тензор-М»), А.И. Артюгин (ООО «Астрагео»), Н.Ю. Богомолов (ООО «Вега»).

Введение

Геологическая среда характеризуется сложной пространственной неоднородностью, включая слоистость, разломы, тектонические нарушения и вариации физических свойств, что затрудняет построение ее физико-геологической модели. Наиболее широко применяемые методы прикладной геофизики для исследования строения земной коры – сейсмо-, электро-, грави- и магниторазведка – имеют свои достоинства и ограничения, осложненные наличием помех геологического и негеологического происхождения. В частности, электроразведка эффективна для выявления зон с контрастной проводимостью, но каждый метод обладает своей разрешающей способностью по отношению к удельному электрическому сопротивлению (УЭС), а также имеет различную глубинность исследований; гравиразведка чувствительна к плотностным неоднородностям, но невысокое разрешение затрудняет выделение мелких объектов; применение магниторазведки ограничено при изучении слабомагнитных рудных тел, таких как, например, месторождения медистых песчаников [4]. Актуальному вопросу повышения точности геолого-геофизических моделей среды посвящено значительное количество публикаций, для решения которого выполняется как комплексирование разных геофизических методов разведки, так и внутриметодное комплексирование [2], при котором используются различные модификации одного геофизического метода, например, электропрофилирование и электромагнитное зондирование для электроразведки, комплекс методов отраженных и преломленных волн в сейсморазведке и т.д.

Целью работы является анализ эффективности разных видов комплексирования геофизических методов разведки для повышения геологической достоверности модели среды на двух участках в Ленинградской области.

Участок 1

Участок 1 расположен в районе д. Бор в Лужском районе Ленинградской области (*рисунок 1*). Цель работ состояла в анализе перспективности участка на коренную алмазоносность методами электроразведки. Ранее КГЭ «Астра» на этом участке выполнены работы методами срединного градиента (ВП-СГ), аудиомангнитотеллурического (АМТ) зондирования и методом переходных процессов (МПП), по этим результатам установлена аномальная зона, предположительно связанная с кимберлитовым магматизмом и намечено заверочное бурение. Площадные работы по нерегулярной сети методом АМТ-МТ зондирования выполнены ООО «Вега» в сентябре 2016 г. в объеме 15 пунктов физических наблюдений для исследования перспективности участка на алмазоносность и совместного анализа с материалами предыдущих работ.

По материалам комплекта геологических карт масштаба 1:2 000 000 издания ВСЕГЕИ 2004 г. участок расположен в потенциально-алмазоносной зоне категории РЗ и находится в зоне отрицательных значений аномального магнитного поля и аномалий силы тяжести. Положение минимумов аномального магнитного поля и силы тяжести совпадает и находится к югу от участка. Участок находится в зоне угольного бассейна, не входит в зону известных сланцевых бассейнов и расположен рядом с зоной контакта двух ярусов – франкского и живетского.

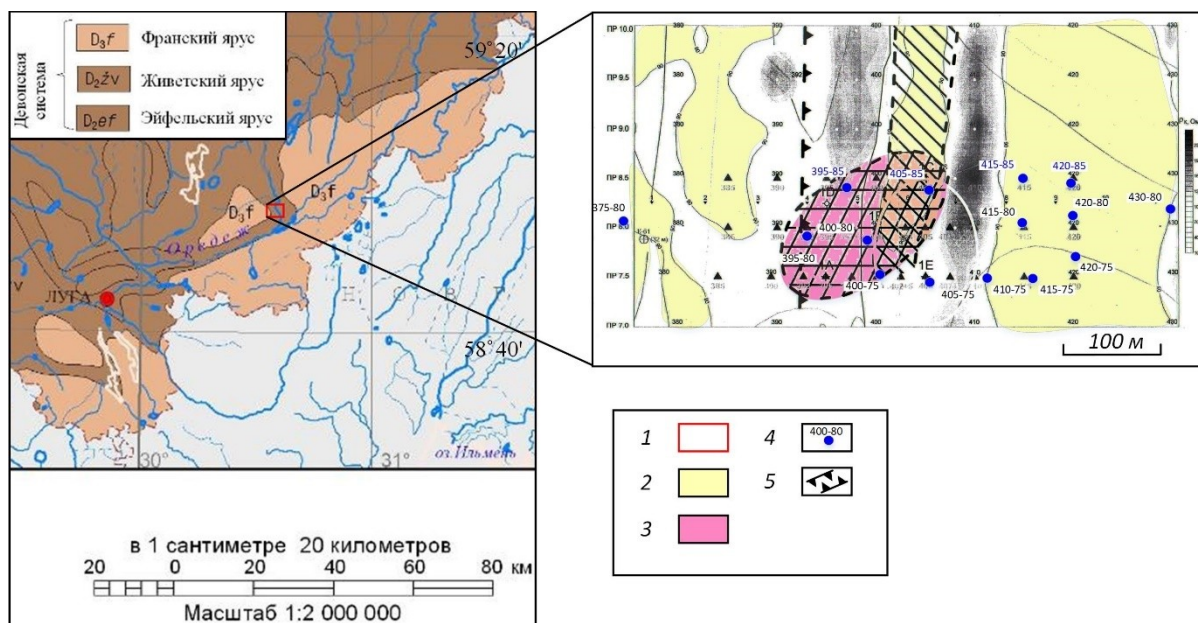


Рисунок 1. Положение участка работ на фрагменте геологической карты дочетвертичных отложений ВСЕГЕИ издания 2004 г. (слева) и результаты предыдущих работ (справа) с положением пунктов АМТ-МТ зондирования: 1 – границы участка работ; 2 – области УЭС 90 Ом-м по данным ВП-СГ; 3 – аномальная зона, предположительно связанная с кимберлитовым магматизмом по результатам МПП; 4 – положение пунктов АМТ-МТ зондирования 2016 года; 5 – зона глубинного разлома.

Геологические материалы по Борскому перспективному участку позволяют с высокой степенью вероятности прогнозировать нахождение в его пределах алмазоносных коренных пород [1]. К этим геологическим материалам относятся - наличие высококонтрастного локального ореола рассеяния минералов-спутников алмазов в основании отложений верхнего девона, наличие локального антиклинального поднятия в структуре рудовмещающего цоколя (средний девон) и своеобразная палеогеографическая обстановка, существовавшая во время размыва тел коренных источников и захоронения продуктов их разрушения, а также наличие на площади трудно диагностируемых образований, являющихся не характерными для осадочного разреза территории Северо-Запада. Образования, выявленные на площади Лужского района, являются примером таких пород. Они встречены, в частности, в обрыве р. Оредеж, в деревне Бор. Коренные выходы представлены (снизу вверх) белыми мелкозернистыми песчаниками среднего девона, которые через небольшой слой гравийных песчаников верхнего девона сменяются красноцветными мелко-среднезернистыми косослоистыми песчаниками верхнего девона. Разрез является типичным для Лужского района.

Интерпретация данных АМТ-МТ зондирования выполнена по результатам одномерной (по ТЕ и ТМ модам раздельно, а также детерминанта) и двумерной инверсий. Коррекция гальванических искажений выполнена с использованием данных магнитовариационного зондирования данных ближайшей к району работ магнитной обсерватории LNN (п. Воейково, Ленинградская область, СПбФ ИЗМИРАН) и региональных откликов для длинных периодов зондирования. Построены двумерные геоэлектрические разрезы по системе проектных профилей, поглубинные планы УЭС в интервале глубин 25 – 908 м (рисунок 2) и квазитрехмерная модель участка (рисунок 3).

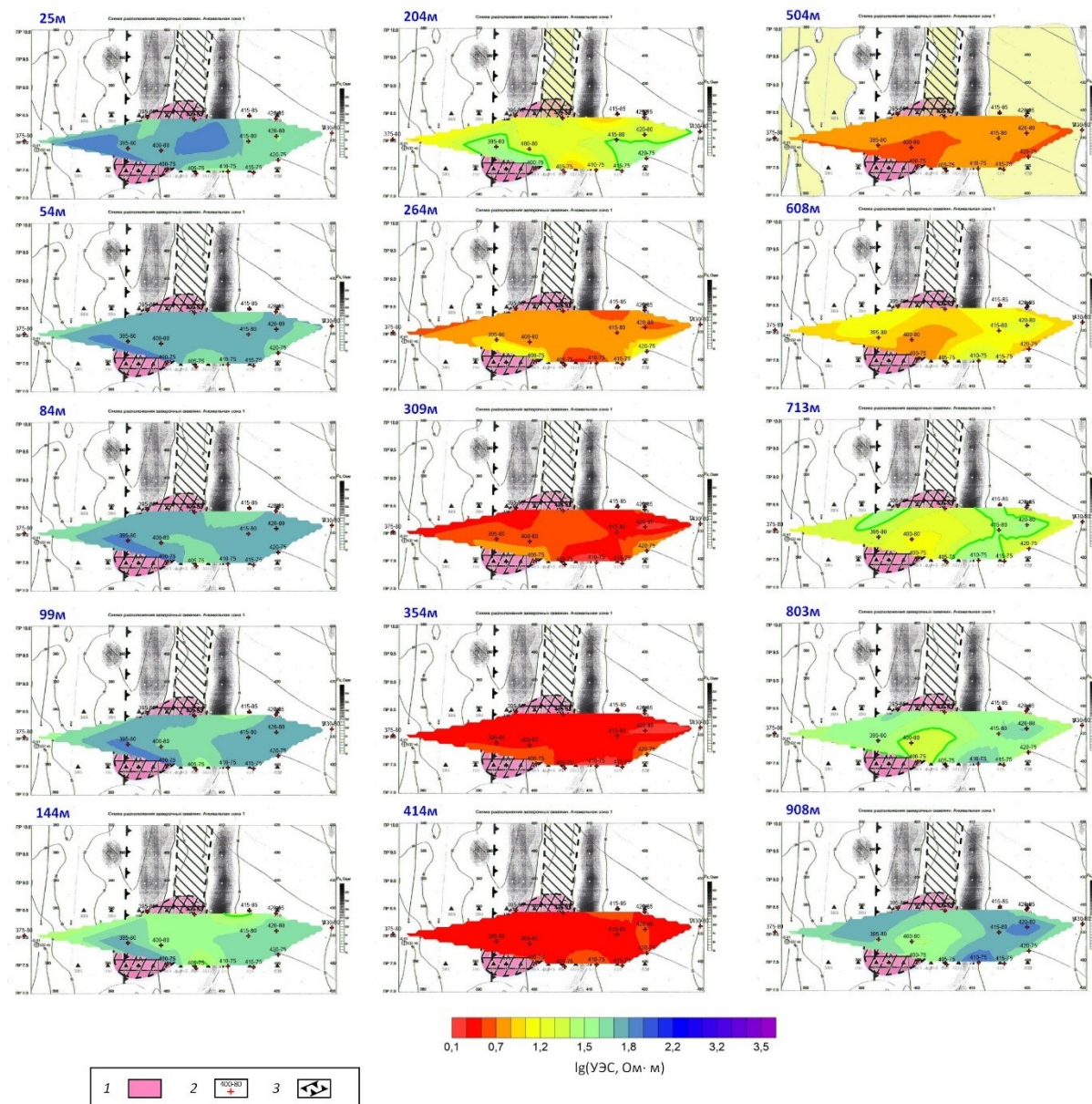


Рисунок 2. Планы УЭС для интервала глубин 25 – 908 м на схеме результатов предыдущих работ: 1 – аномальная зона, предположительно связанная с кимберлитовым магматизмом по результатам МПП; 2 – положение пунктов АМТ-МТ зондирований 2016 года; 3 – зона глубинного разлома.

По материалам анализа планов УЭС и разрезов по системе проектных профилей можно сделать заключение о наличии в разрезе трубчатого проводящего тела изометрической формы с размерами в плане порядка 100x80 метров, которое выходит к поверхности субвертикально. Прослеживается проводящий слой в верхних горизонтах, что может свидетельствовать о наличии россыпей. Полученные разрезы коррелируют как по виду, так и по значениям УЭС с типовыми геоэлектрическими разрезами при работах на алмазы в Архангельской области [5] и Якутии [3]. Результаты АМТ-МТ зондирований также хорошо согласуются с результатами предыдущих работ на участке (рисунок 2). По комплексу признаков участок можно отнести к перспективному на коренную алмазоносность. Заверочное бурение проведено не было.

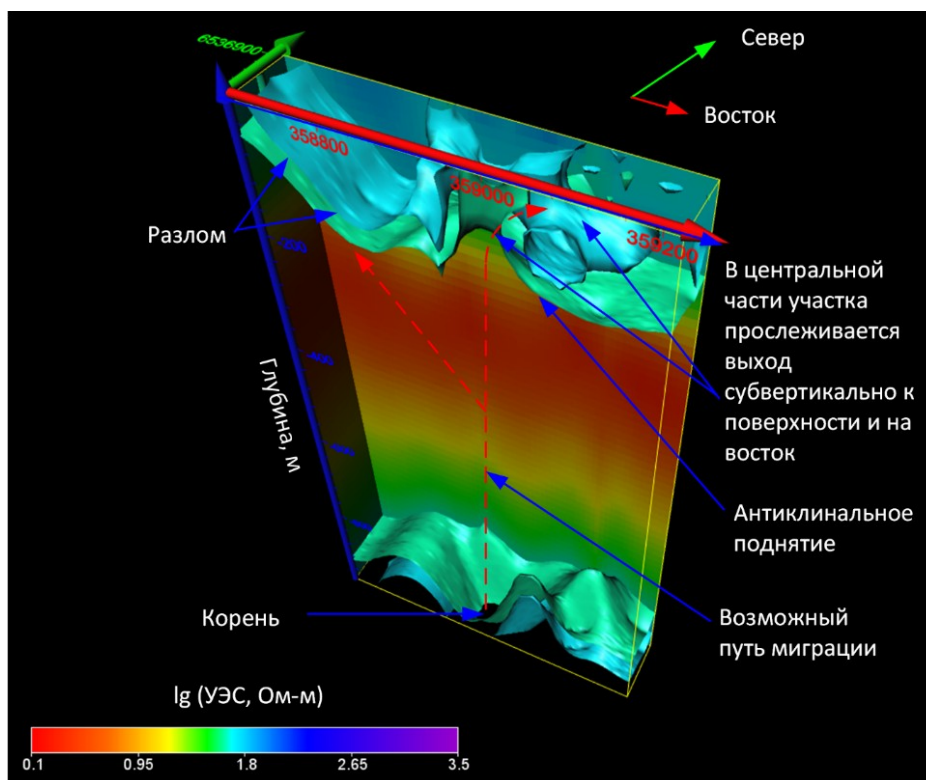


Рисунок 3. Квazitрехмерная геоэлектрическая модель участка 1

Участок 2

Участок 2 расположен в Ленинградской области на расстоянии порядка 90 км к северо-западу от г. Санкт-Петербург (рисунок 4, а). Интерес к участку возник после представления результатов исследований методом радиоманнителлурического (РМТ) зондирования в мобильном варианте и в варианте с контролируемым источником РМТ-К, а также электротомографии (ЭТ) аппаратурой Сискал по этому участку А.А. Шлыковым на конференции Электроразведка-2024 в октябре 2024 г. В целях уточнения геолого-геофизических представлений об участке и дальнейшего развития способов комплексирования геофизических методов разведки был поставлен комплекс работ в профильном варианте при участии представителей производственных, учебных и научных организаций Санкт-Петербурга, являющихся авторами этой работы. Работы выполнены в декабре 2024 г. и включали исследования методом АМТЗ, ЭТ аппаратурой Скала, а также выполнение гравиразведки с шагом по профилю 100 м и магниторазведки с шагом 50 м с соответствующим геодезическим обеспечением (рисунок 4, б).

Ожидаемый геологический разрез составлен в результате анализа комплекта государственной геологических карт Российской Федерации масштаба 1:1 000 000 издания ВСЕГЕИ 2000 и 2015 гг. и представлен на рисунке 4, г. Северо-восточная часть профиля представлена двухслойным разрезом, юго-западная – трехслойным. Верхняя часть разреза сложена озерными образованиями (пески, супеси, суглинки) мощностью до 5 м. Второй слой юго-западной части профиля представлен образованиями старорусской свиты (глины, аргиллиты, алевролиты, песчаники) мощностью 40-70 м. Нижняя часть разреза представлена образованиями Лахденпохского метаморфического комплекса (сланцы, плагиоклазы). Профиль пересекает в средней части зону предполагаемого разлома, отмеченную на государственных геологических картах и установленную западнее профиля работ по результатам интерпретации данных мобильного РМТ зондирования (рисунок 4, в). Линия

профиля пересекает р. Булатная, северо-восточная часть профиля проходит по линии фортификационных укреплений линии Маннергейма.

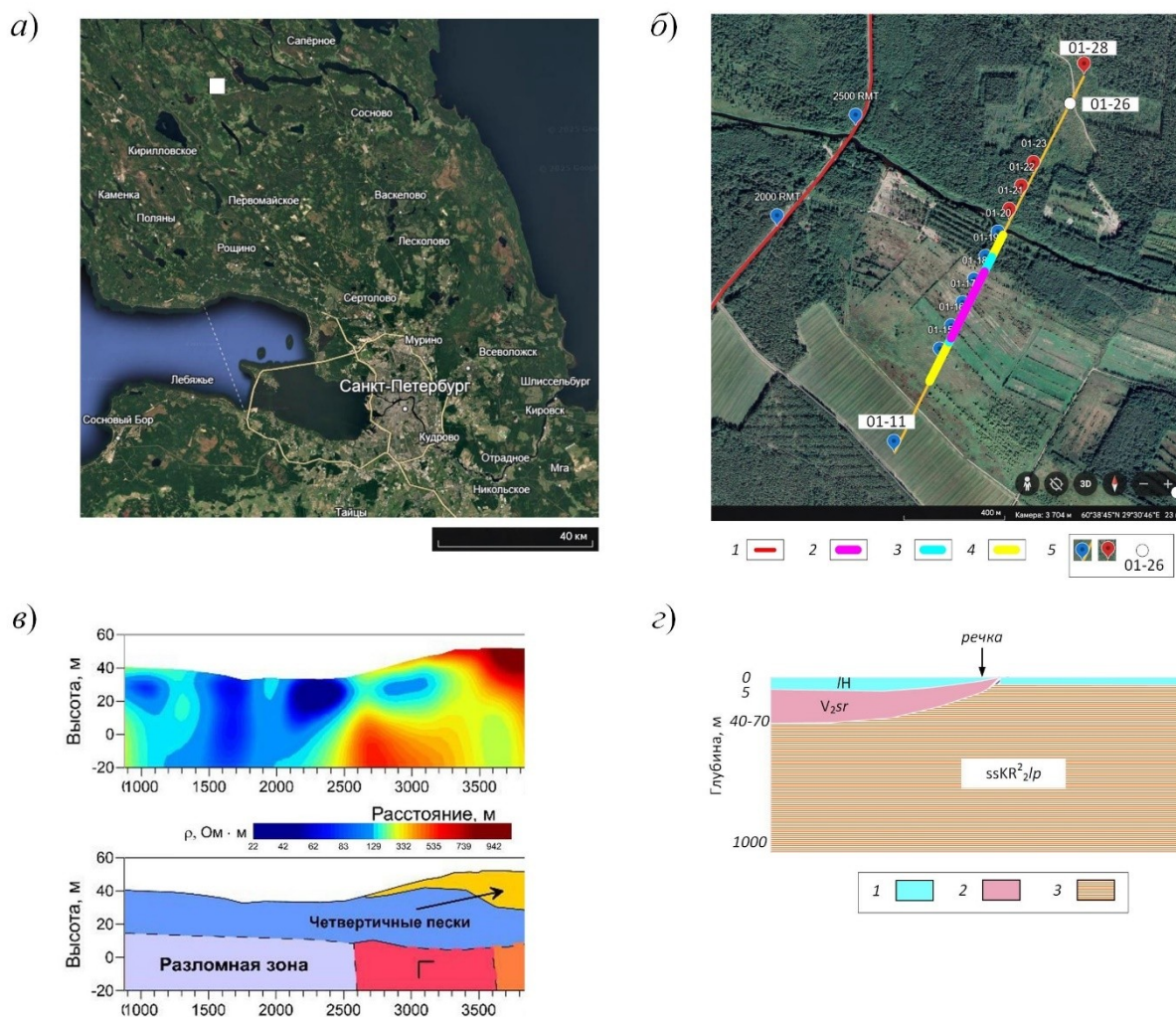


Рисунок 4. Положение участка 2 (квадратом, а), схема работ (б), результаты исследований методом мобильного РМТ зондирования, представленные А.А. Шлыковым на конференции Электроразведка-2024 (в) и ожидаемый геологический разрез (г). На схеме работ (б): 1 – профиль мобильного РМТ зондирования; 2 – профиль зондирования РМТ-К; 3 – профиль ЭТ аппаратурой Сискал; 4 – профиль ЭТ аппаратурой Скала; 5 – пункты АМТЗ. На ожидаемом геологическом разрезе (г): 1 – озерные образования. Пески, супеси, суглинки, гитши, торф (до 5 м); 2 – старорусская свита. Глины, аргиллиты, алевролиты, песчаники, туфы, редкогалечные конгломераты, песчаники (40-70 м); 3 – Лахденпохский метаморфический комплекс. Подкомплекс сланцев биотитовых, плагиоклазовых двуполевошпатовых с кордиеритом, гранатом, силлиманитом

Задачей этой работы было внутриметодное комплексирование данных электроразведки путем совместной инверсии данных АМТЗ и ЭТ, а также путем сопоставления их с результатами РМТ зондирования. Выполненная интерпретация данных аномалий потенциальных полей также использовалась для совместной интерпретации материалов. Представленный подход позволяет получить единое решение для всего интервала глубин разреза и компенсировать естественные ограничения методов.

Интерпретация материалов по отдельности не противоречит ожидаемым геологическим представлениям о разрезе. Постановка комплекса работ позволила существенным образом детализировать геолого-геофизический разрез, а совместная инверсия данных разных методов электроразведки позволила учесть особенности методов, объединить их преимущества и в итоге получить более достоверное решение.

Выводы

В работе представлены результаты преимущественно внутриметодного комплексирования методов электроразведки для двух участков в Ленинградской области. Совместная инверсия данных электроразведки и последующая совместная интерпретация материалов разных геофизических методов разведки позволила существенным образом повысить геологическую достоверность модели среды.

Библиография / References

1. Алмазоносные породы Пермского Предуралья (новый — уральский — тип алмазоносных пород). — М.: Геокарт : Геос : ВСЕГЕИ, 2011. — 240 с. (РОСНЕДРА, ВСЕГЕИ, ГЕОКАРТ).
2. Никитин А.А., Хмелевской В.К. Комплексирование геофизических методов: учебник для вузов. — Тверь: ООО «Издательство ГЕРС», 2004. — 294 с.
3. Поспеева Е.В. Применение среднемасштабных магнитотеллурических зондирований для выявления глубинных критериев кимберлитоперспективных площадей // Тихоокеанская геология. 2008. Т. 27. № 3. С. 18 – 32.
4. Садыков Д.Ш. Локальный прогноз рудных месторождений в сложных геологических условиях на основе системно-модельных построений. // автореф... дис. докт. геол.-мин. Наук - М.: МГРИ, 1989. — 37 с.
5. Saraev A.K. Antaschuk K.M., Nikiforov A.B. et al. Audiomagnetotelluric soundings for the diamond exploration // Chinese J. Geophys. (in Chinese). 2010 V. 53, N. 3. P. 657 – 676. DOI: 10.3969/j.issn.0001-5733.2010.03.021.

References

1. Diamond-bearing rocks of the Permian Cis-Urals (a new Ural-type diamond-bearing rocks). — Moscow: Geokart : Geos : VSEGEI, 2011. — 240 p. (ROSNEDRA, VSEGEI, GEOKART). (in Russian).
2. Nikitin A.A., Khmelovskoy V.K. Integration of Geophysical Methods: Textbook for Universities. — Tver: GERS Publishing House, 2004. — 294 p. (in Russian).
3. Pospelova E.V. Application of Medium-Scale Magnetotelluric Soundings for Identifying Deep Criteria of Kimberlite-Prospective Areas // Pacific Geology. 2008. Vol. 27. No. 3. Pp. 18–32. (in Russian).
4. Sadykov D.Sh. Local Forecast of Ore Deposits in Complex Geological Conditions Based on System-Model Constructions. // Abstract of the Dissertation for the Doctor of Geological and Mineralogical Sciences Degree. — Moscow: Moscow State Geological Prospecting University (MGRU), 1989. — 37 p. (in Russian).
5. Saraev A.K. Antaschuk K.M., Nikiforov A.B. et al. Audiomagnetotelluric soundings for the diamond exploration // Chinese J. Geophys. (in Chinese). 2010 V. 53, N. 3. P. 657 – 676. DOI: 10.3969/j.issn.0001-5733.2010.03.021.