

**Л.Л.ФЕДОРОВА**, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, *l.l.fedorova@igds.ysn.ru*  
**А.В.ОМЕЛЬЯНЕНКО**, д-р техн. наук, заведующий лабораторией, *alex@igds.esn.ru*  
*Институт горного дела Севера им. Н.В.Черского СО РАН, Якутск*

**L.L.FEDOROVA**, PhD in eng. sc., senior research assistant, *l.l.fedorova@igds.ysn.ru*  
**A.V.OMEL'YANENKO**, Dr. in eng. sc., head of laboratory, *alex@igds.esn.ru*  
*Mining Institute of the North of the Russian Academy of Science, Siberian subdivision, Yakutsk*

## ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ АЛМАЗОНОСНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КРИОЛИТОЗОНЫ

В последние годы в комплекс геофизических методов, используемых при решении широкого спектра задач, связанных с исследованием верхней части геологического разреза, все чаще привлекают метод георадиолокации. Достоинствами георадиолокации являются высокая производительность и разрешающая способность как в плане, так и по разрезу, возможность работы в любых условиях. В статье представлены методические разработки по совершенствованию георадиолокационной технологии для изучения структурных геологических неоднородностей массива мерзлых горных пород. Применение разработанной технологии позволяет картировать пространственное распределение россыпных месторождений криолитозоны и оптимизировать объемы геологического опробования и технологию отработки месторождений посредством селективной выемки продуктивных песков.

**Ключевые слова:** мерзлые горные породы, россыпные месторождения, георадиолокация.

## APPLICATION OF GPR-TECHNOLOGIES FOR THE DEVELOPMENT OF DIAMOND FIELDS PERMAFROST

In recent years, the complex of geophysical methods used in solving a wide range of tasks associated with the study of the upper part of the geological section, are increasingly attracted to the method of GPR. The advantages of GPR method are high efficiency and resolution, both in terms of, and in the sequence, the ability to work under any conditions. This paper is presented a methodical working out for perfection GPR technology to study the geological structure of the inhomogeneities of the array of frozen rocks. Application of the developed technology allows to map the spatial distribution of permafrost and placer deposits is possible to optimize the amount of geological sampling and technology of deposits by selective extraction of the productive sands.

**Key words:** frozen rocks, gravel deposits, georadar.

Для рационального планирования горных работ, выбора эффективных технологических схем и повышения безопасности ведения горных работ необходима надежная и оперативная информация о строении и свойствах объекта разработки – массива горных пород. В последние годы в комплекс геофизических методов, используемых при

решении широкого спектра задач, связанных с исследованием верхней части геологического разреза, все чаще привлекают метод георадиолокации. Достоинствами георадиолокации являются высокая производительность и разрешающая способность как в плане, так и по разрезу, возможность работы в любых условиях. На настоящем

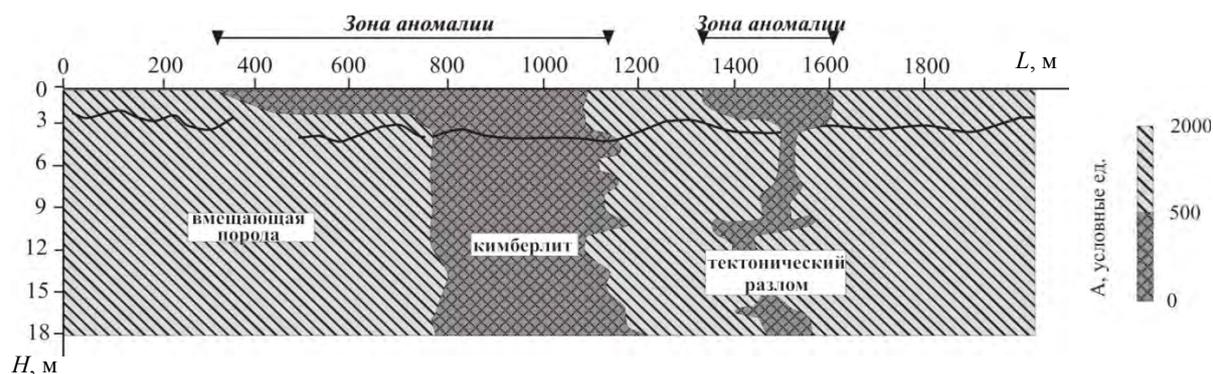


Рис.1. Георадиолокационный профиль, пересекающий трубку «Амакинская»

этапе развития метода георадиолокации наиболее убедительные результаты получаются при решении задач изучения геометрии геологических разрезов. Специализированные процедуры обработки данных измерений позволяют делать послойные пересчеты скоростей для повышения точности масштабирования георадиолокационных разрезов по глубине; при этом учитывается влияние рельефа профиля и GPS-привязка точек измерений. Высокая оперативность измерений и процесса обработки данных, в сочетании с незначительными трудозатратами, делает георадиолокацию достаточно эффективным методом детального изучения верхней части геологического разреза. Вместе с тем многообразие и специфика современных задач, ориентированных на изучение все более сложных геологических объектов, требуют разработки новых методических приемов, процедур обработки и способов интерпретации, расширяющих возможности метода.

Георадиолокация в области горно-геофизических исследований на алмазонасыщенных месторождениях криолитозоны несколько специфична\*. Сложности применения метода обусловлены в первую очередь разнообразием геологических структур. Геологический разрез россыпных месторождений алмазов характеризуется преимущественно слоистой структурой с включением

зон карста, разломов, валунистости, приуроченных к участкам сосредоточения полезного ископаемого.

Ведущими методами поисково-разведочных работ на кимберлитовые трубки являются аэромагниторазведка и наземная магнитная съемка. Однако узкими локальными аномалиями на графиках магнитной съемки выделяются не только кимберлитовые трубки, но и многочисленные дайки пород основного состава, траппов и т.п. Перспективность применения технологии георадиолокационных зондирований для разбраковки полученных магнитных аномалий определяется отличием кимберлитов от вмещающих пород большей диэлектрической проницаемостью, большим поглощением электромагнитных волн и, как следствие, аномальной амплитудой отраженного сигнала.

Георадиолокация выполнялась с дневной поверхности и из подземной горной выработки. При решении задачи с дневной поверхности границы рудного тела выявляются динамическим анализом структуры сигналов на радарограмме. В этом случае отражающих границ практически нет, и сигналы, распределенные по профилю, отличаются областями с различными амплитудами и частотами, по которым выделяются границы рудного тела. Например, трубка «Амакинская» имеет характерные особенности – малый диаметр, выход рудного тела практически на поверхность и приуроченность трубки к тектоническому разлому (рис.1). Глубина исследований по разрезу 18 м. Контур трубки по профилю выделяется зоной повышенного поглощения, но характерные особенности геологического

\*Омельяненко А.В. Георадиолокационные исследования многолетнемерзлых пород / А.В.Омельяненко, Л.Л.Федорова. Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2006. 136 с.

Omel'yanenko A.V., Fedorova L.L. Georadar study of permafrost. Yakutsk: YSC SB of the RAS, 2006. 136 p.

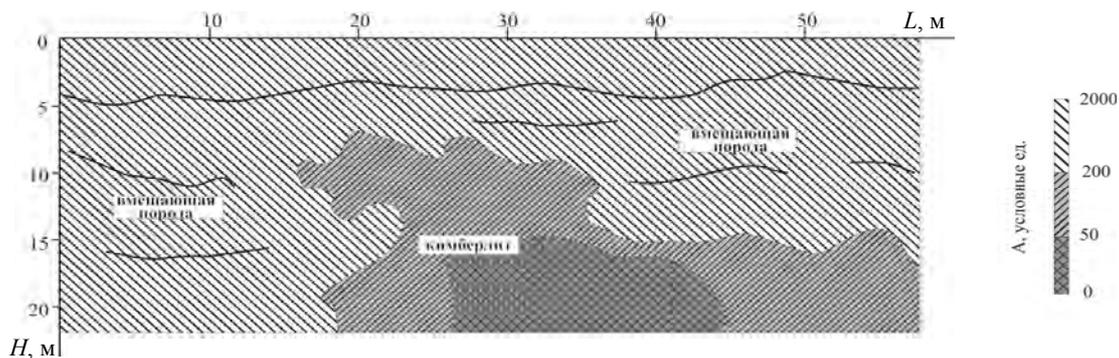


Рис.2. Результат георадиолокации по профилю борта рудника «Интернациональный» (горизонт 4, заезд 1)

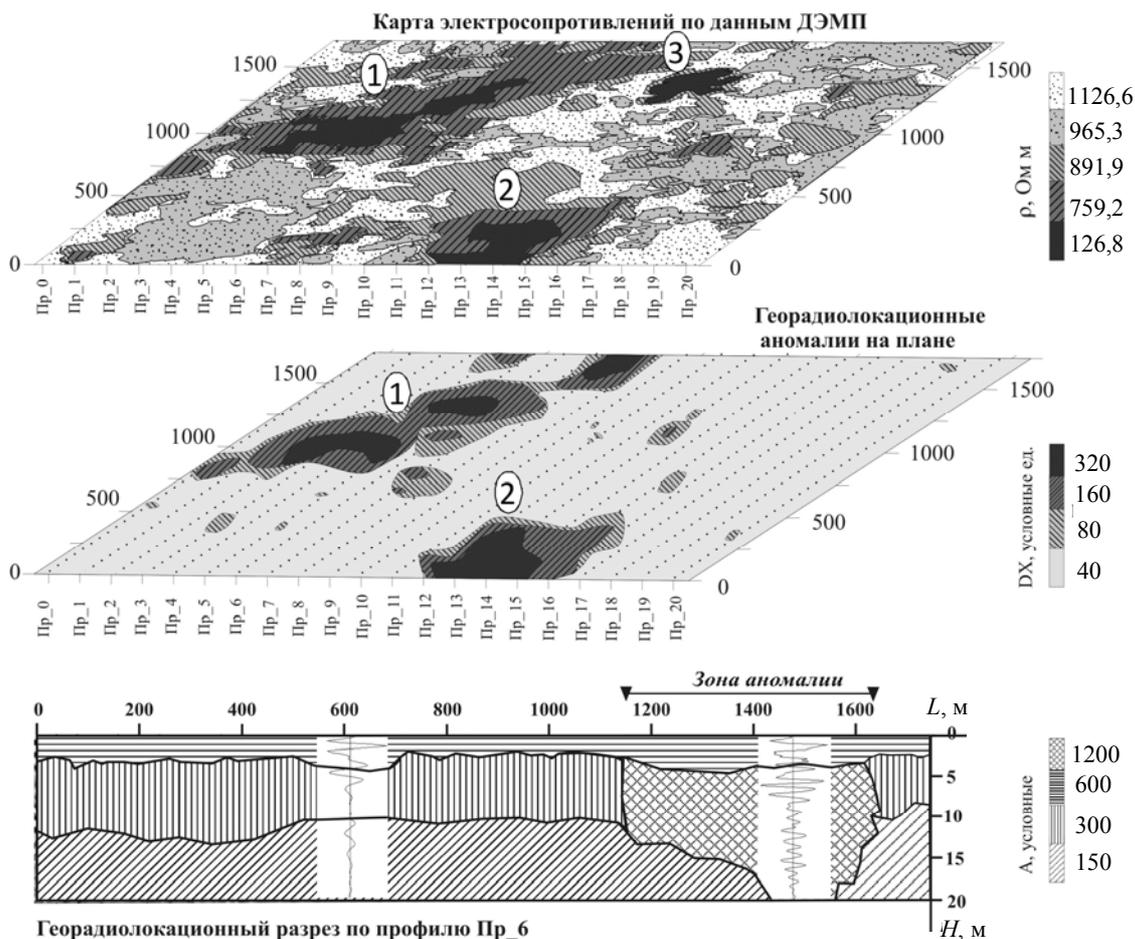


Рис.3. Результат применения георадиолокации в комплексе геофизических методов для реконструкции литолого-структурной обстановки месторождения Маят

строения рудного тела просматриваются. По разрезу выделена зона тектонического разлома. Результаты исследований полностью соответствуют геологическому представлению об объекте в целом. Отмечен резкий контраст между вмещающими породами и рудным телом по структурным особенностям сред: вмещающие породы имеют слоистую структуру; рудное тело – массивную.

Результат георадиолокации борта горной выработки по контакту с рудным телом представлен на рис.2. Обработка данных измерений с использованием динамических характеристик сигналов позволила расчлнить разрез по горизонтам разных градиентов поглощений. Ввиду того, что кимберлит – относительно поглощающая среда, области рудного тела во вмещающих

породах дифференцируются достаточно надежно и пространственно разрешенно до дальности 20 м.

Эффективность применения георадиолокации в комплексе геофизических методов в значительной степени зависит от способов обработки данных и их представления. Нами рассмотрены возможности использования двухэтапной обработки данных, когда сначала независимо строят однометодные модели. Далее параметры, полученные в ходе однометодных обработок, нужно интерполировать на общую координатную сетку. На втором этапе (корреляция) проводится поиск областей (кластеров), в которых рассматриваемые параметры дают максимальный коэффициент корреляции. При картировании структуры эти кластеры могут рассматриваться как основа для разбиения модели на литологические типы. Данный подход использован нами при выполнении работ по реконструкции литолого-структурной обстановки на алмазоносном месторождении Анабара (рис.3).

На этапе поисковых работ по данным аэромагнитной съемки выбрана перспективная площадь россыпного месторождения (объект «Маят-Водораздельный»). Затем проведены исследования: дипольное электромагнитное профилирование – ДЭМП (ОАО «Алмазы Анабара») и георадиолокационные зондирования (ИГДС СО РАН). На основе анализа данных бурения и возможностей георадиолокации в различных спектрах частот для георадиолокационных зондирований выбран георадар «ОКО-2М» (ООО «ЛогиС», г. Раменское) с антенным блоком «Тритон» (спектр частот 20-40 МГц), обеспечивающие глубину исследований до 40 м\*. Для детализации разрезов в пределах глубин исследований до 10 м использовалась аппаратура с антенным блоком

\* Семейкин Н.П. Развитие георадаров серии «ОКО» / Н.П.Семейкин, В.В.Помозов, А.В.Дудник // Вопросы подповерхностной радиолокации / Под ред. А.Ю. Гринева. М.: Радиотехника, 2005.С. 231-235.

*Simeikyn N.P., Pomozov V.V., Dudnik A.V. Development georadars named after «ОКО» // Questions of sub-surface radiolocation / Ed. A.Y.Grinyov. Moscow: Radio, 2005. P.231-235.*

АБ-150 с перекрытием спектра частот 100-200 МГц и разрешением по слоям мощностью до 0,5 м.

На участке № 405 размером 2×2 км по данным ДЭМП выделены три аномальные зоны. Максимальные глубины зон выявленных аномалий 40 м. Породы, отвечающие локальным аномалиям, содержат преимущественно глинистые фракции, за исключением разреза по линии 3-й аномалии, где неоднородность представлена песчаником. Для отбраковки аномалий проведена площадная съемка параллельными профилями дискретного георадиолокационного зондирования.

Георадиолокационные разрезы по профилям площадной съемки участка в целом показали наличие двух основных по площади аномальных зон. Если обычно георадиолокационный сигнал при изучении горизонтально-слоистого разреза представляет собой простые импульсы-отражения, по которым легко выделить отражающие границы, то георадиолокационная аномалия характеризуется сигналами с хаотичным распределением высоких амплитуд. Для картирования этих аномальных зон в качестве поискового критерия предложено использовать наибольшее значение дисперсии георадиолокационного сигнала по профилю. Данный подход основан на представлении, что аномалии приурочены к зонам нарушения массива, которые характеризуются наличием множества импульсов-отражений от неоднородностей в этой зоне, и количественно оценивается значением дисперсии сигналов. При комплексной обработке данных ДЭМП и георадиолокации выделены области максимальной корреляции наибольших значений электропроводности по ДЭМП и наибольших значений дисперсии сигналов ГРЛ, что позволило уточнить границы аномальных зон.

Георадиолокацией подтверждены 1-я и 2-я аномальные зоны. Эти зоны определены скважинным опробованием как зоны повышенной концентрации полезного ископаемого. Третья зона, возможно, была связана с повышенной влажностью пород, а не со структурным нарушением.

По данным геофизического комплексирования выделен контур россыпи и зоны повышенной концентрации полезного ископаемого. Коэффициент корреляции результатов геофизических исследований и данных геологического опробования составил 0,83. Результат приведенных исследований подтвержден отработкой россыпи по указанным контурам.

Опыт использования георадиолокации в горно-геофизических исследованиях

криолитозоны показывает, что метод позволяет выявлять, оконтуривать и исследовать в разрезах по профилям крутопадающие рудные тела, оценивать нарушенность горного массива, картировать пространственное распределение россыпных месторождений и дает возможность оптимизировать объемы геологического опробования и технологию отработки месторождений посредством селективной выемки продуктивных слоев.