

УДК 55:0,001,76

В.Я. Пчелка, Г.Г. Фрейман, А.Н. Михно, Е.Г. Мальченко, Т.Д. Мальченко (АО «Варваринское», ТОО «GeoMineProject», Карагандинский государственный технический университет).

Опыт применения георадаров серии «Лоза» при поисках перекрытых медно-золоторудных зон.

Варваринск мыс-алтынды кенорнының кенді алаңы мен флангтарындағы көмкерілген минерализацияны іздеу урдісінде Лоза-Н сериялы георадарының қолданылу нәтижелери қарастырылған. Терендіктерге іздеу ушің құрылғының қолданылуының жоғары ақпараттылығы мен тиімділігі туралы шешім қабылданды.

Рассмотрены результаты применения георадара серии «Лоза-Н» в процессе поисков перекрытой минерализации на рудном поле и флангах Варваринского медно-золоторудного месторождения. Сделаны выводы о высокой информативности и эффективности использования прибора для глубинных поисков.

The results of GPR series «Loza-N» in the search for ore mineralization overlapped held, and the flanks of the Varvarinskoye copper-gold deposit. The conclusions of the high information content and efficiency of the device for depth.

В настоящее время, в связи с, практически, полным исчерпанием фонда легко открываемых рудных месторождений, выходящих на дневную поверхность, улучшение и воспроизводство минерально-сырьевого потенциала, возможно только за счет проведения весьма затратных глубинных поисков, ориентированных на выявление перекрытых и скрытых объектов. В поисковый комплекс входят такие геофизические методы, как гравиразведка, магниторазведка, электро-разведка в различных модификациях, сопровождающиеся глубинной геохимической съемкой, и значительными объемами картировочного и поискового бурения. В перекрытых районах, при наличии в составе рыхлого чехла лигнитов, горизонтов оолитовых руд, водоносных горизонтов с высокоминерализованными водами, и пр., геофизические методы дают весьма неопределенные результаты. В этом случае основным результативным методом глубинных поисков является картировочное бурение по определенной сети с целью глубинного и геохимического картирования поисковой площади.

Повышение эффективности глубинных поисков возможно только за счет разработки и внедрения в практику геологоразведочных работ принципиально новых технических средств, позволяющих с минимальными затратами оперативно получать информацию о геологическом строении разреза и, соответственно, локализовать перспективные площади. Одним из таких средств, является георадар серии «Лоза», разработанный коллективом авторов «ВНИИСМИ» (г. Москва).

Георадары относятся к классу геофизических приборов, предназначенных для исследования подповерхностной структуры почвы на глубины от единиц до сотен метров, в зависимости от модели прибора, используемой антенны и параметров зондируемой среды.

Принцип действия радаров основан на излучении сверхширокополосных электромагнитных импульсов без несущей в подстилающую среду и регистрации

их отражений от границ раздела литологических разностей слоев или объектов. Георадары, построенные по классической схеме, с мощностью транзисторного передатчика напряжением около 50 вольт, могут выполнять зондирование только в легких грунтах с малым затуханием сигнала (сухих песчаных или мерзлых). Глубина зондирования в этом случае составляет несколько первых метров, а при наличии в геологическом разрезе влажных глин и суглинков зондирование с такой энергетикой не возможно. В связи с чем, приборы этого типа применяются весьма ограниченно, в основном, для решения локальных задач инженерной геологии и изучения приповерхностных объектов.

Отличительной особенностью приборов серии «ЛОЗА», по сравнению с известными зарубежными и отечественными аналогами, является большой энергетический потенциал, позволяющий работать в средах с высокой проводимостью. В связи с этим в приборах была полностью пересмотрена схема построения радара: импульсная мощность передатчика увеличена более чем в 100000 раз, а стробоскопическое преобразование заменено прямой регистрацией сигнала. В качестве антенн, в георадарах серии «ЛОЗА», используются резистивно-нагруженные диполи. Это обеспечивает исключение в принимаемом сигнале помех, подавляющих слабые сигналы на фоне более мощных. В передатчике используется водородный разрядник высокого давления, а сам передатчик работает в автономном режиме без синхронизации. Это позволяет избежать соединительных линий, и, соответственно, сильных наводок от передатчика. Съёмные антенны приемника и передатчика можно оперативно менять, изменяя, тем самым, диапазон рабочих частот радара, в зависимости от решения конкретной геологической задачи. Увеличение глубин зондирования возможно за счет понижения частоты зондирующего сигнала. Затухание, которое претерпевает зондирующий сигнал, частотно зависимо, чем ниже частота, тем меньше затухание. Зондирующий сигнал на частотах 15-25 МГц с потенциалом 120 дБ, может обеспечить достаточную для регистрации амплитуду отражения с глубин 100–200 и более метров (в зависимости от свойств пород разреза).

Результаты измерений выводятся на экран прибора в виде радарограммы, фиксирующей время прихода сигнала, отраженного от границ раздела сред, для каждой точки измерения. По мере прохождения профиля, на экране формируется радарограмма, отражающая геологические границы. Результаты зондирования сохраняются в памяти прибора в виде волновых форм каждого измерения.

Использование низкочастотных антенн 10, 15 и 25 МГц и сверхмощного передатчика 10-20 МВт делает этот прибор уникальным исследовательским средством геологических структур до глубин 100-200 метров.

Глубина до отраженной границы определяется как:

$$h = [(vt)^2 - (d/2)^2]^{1/2}$$

v – скорость распространения волнового сигнала в перекрывающем слое,

t – время прихода эхосигнала,

d – расстояние между приемной и передающей антенной.

Основная проблема в том, что изначально не известно значение величины v скорости волны на каждом новом объекте. Геологический разрез - неоднородная среда и скорость распространения волны в ней является сложной функцией, зависящей от диэлектрической (ϵ) и магнитной проницаемости (m), удельного сопротивления среды (r), а так же от частоты сигнала (w):

$$V = V(w, \epsilon, m, r)$$

Полученный, таким образом, набор эхосигналов по профилю, можно назвать, по аналогии с сейсморазведкой – “временным” разрезом. Для перевода его в глубинный разрез, необходимо выполнить корректировку глубин границ, геологических объектов, отмеченных на георадарограмме, с фактически установленными по данным бурения. До такой корректировки - вертикальное положение геологических границ, отмечаемых на георадарограммах, является достаточно условным, при точном плановом.

С целью оценки принципиальной возможности использования георадара новой серии «Лоза-Н» при проведении глубинных поисков на площади, перекрытой чехлом рыхлых мезозой-кайнозойских образований, суммарной мощностью до 40-50 метров, осенью 2011 и зимой 2012 года георадарное профилирование было выполнено на Варваринском месторождении и на его флангах (участки «Южный», «Северный», «А-б» и на профиле «Карьер»). В связи с тем, что в мировой практике отсутствует опыт проведения глубинных поисков методом георадарного профилирования, которое стало возможным только после создания приборов серии «Лоза», выполненные работы носят опытный, экспериментальный, инновационный характер.

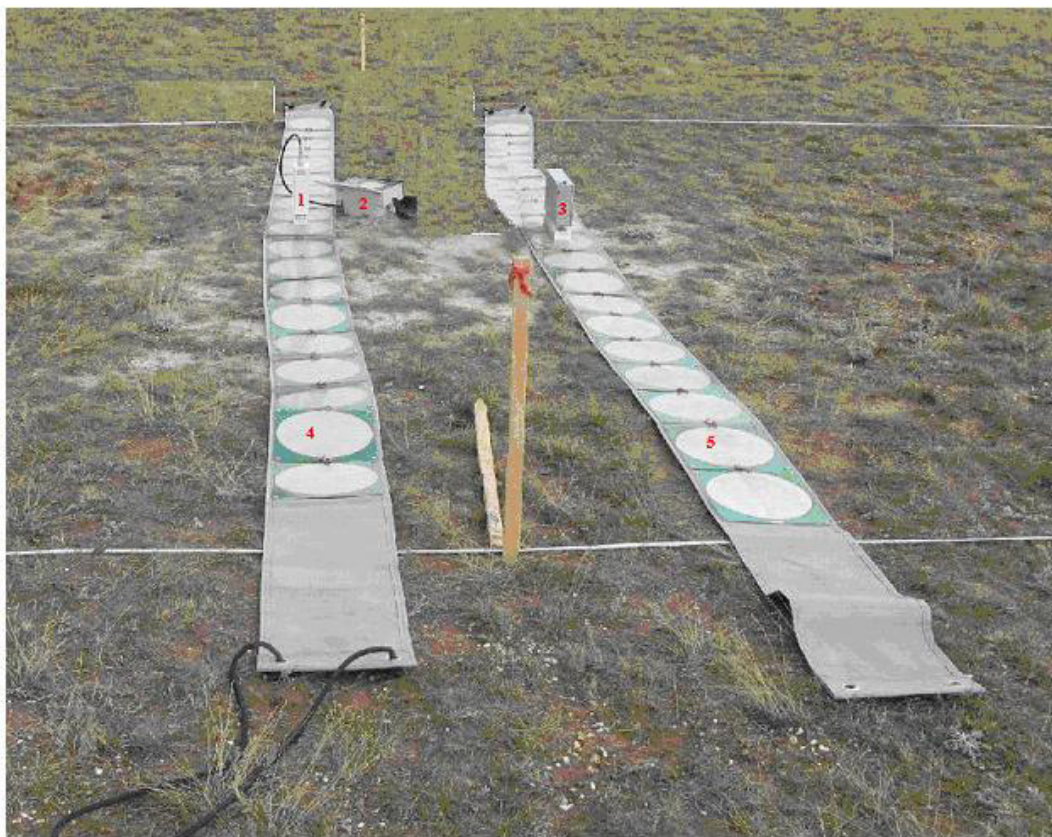


Фото 1. Георадар «ЛОЗА-Н» с антенным комплексом 1000 см.
(1-блок регистрации – БРЗ.1; 2 - блок управления и индикации - БУИ-Н; 3 – сверхмощный источник электромагнитных волн; 4 – приёмная антенна; 5 - передающая антенна).

Варваринское медно-золотое месторождение расположено в восточной части Уральской складчатой системы, в пределах Первомайского прогиба, приуроченного к центральной части Денисовской эвгеосинклинальной структуры рифтогенного типа.

Месторождений детально разведано, промышленные кондиции и запасы его утверждены ГКЗ РК в 2005 году, добыча руд осуществляется АО «Варваринское» с 2007 года. В соответствии с действующим Контрактом, на флангах месторождения проводятся поисковые работы.

Рудное поле Варваринского месторождения сложено базальтами с редкими прослоями пиритизированных кремнистых алевролитов среднего девона; флиш-идными песчаниками, алевролитами, углистыми сланцами, мелкогалечными конгломератами и мраморизованными известняками среднего девона – нижнего отдела каменноугольной системы; базальтами с прослоями кремнистых сланцев, полимиктовых песчаников, алевролитов и известняков нижнего отдела каменноугольной системы. Стратифицированные образования прорваны двумя разновозрастными интрузивными комплексами: раннекаменноугольным ультраосновным (σC_1), образующем дайки, линзы и пластовые тела, и среднекаменноугольным габбро-диорит-гранодиоритовым (δC_2 ; $\delta \mu C_2$), слагающим линзы, штоки и дайки порфиридных диоритов и диоритовых порфиритов. Базальты повсеместно подвергнуты региональному метаморфизму (фашия зеленых сланцев). Они хлоритизированы, эпидотизированы. В зонах экзоконтактов даек и интрузий порфиридных диоритов вмещающие породы ороговикованы, скарнированы и окварцованы. По диоритовым порфиритам и ороговикованным породам развиты кварц-полевошпатовые и полевошпатовые метасоматиты. Серпентиниты обычно в разной степени оталькованы, хлоритизированы, тремолитизированы, участками лиственитизированы. Кварциты и окварцованные породы пользуются относительно небольшим распространением и содержат кварц, альбит и вкрапленность сульфидов.

Палеозойские породы повсеместно перекрыты чехлом рыхлых мезозой-кайнозойских образований. Мезозойские образования представлены корами выветривания и бокситоносными породами сеноман-турона и аятской свиты сантон-кампа. Коры выветривания, образованные в триас-раннемеловое время, развиты по всем палеозойским отложениям. Они подразделяются на площадные и линейные, развитые вдоль разрывных нарушений. Наиболее мощными являются коры линейного типа (50-100 м и до 180 м). Коры площадного типа имеют мощность 5-50 м. Они представлены рыхлыми охристо-глинистыми и глинисто-щебенистыми образованиями, сохранившими реликтовую структуру исходных пород, переходящих с глубиной в неизменные породы. Минеральный состав кор выветривания представлен глинистыми минералами, гидрослюдами, хлоритом, полуразложившимися полевыми шпатами, кварцем, окислами и гидроокислами железа и марганца. В них локализованы вторичные окисленные и полуокисленные, сыпучие медно-золотые руды. На образованиях коры выветривания залегают поздне-меловые отложения, представленные пестроцветными глинами с прослоями и линзами бокситов, песками и глинами с растительным детритом сеноман-турона, и песчаниками с железисто-кремнистым цементом, черными глинами, оолитовыми железными рудами аятской свиты сантон-кампа. Кайнозойские образования представлены эоцен-олигоценовыми серыми, зеленовато-серыми глинами с прослоями песков и кварцитовидных песчаников, перекрытых повсеместно мало-мощным чехлом четвертичных покровных суглинков. Мощность кайнозойских образований колеблется от 10 до 40 метров.

Рудная минерализация на месторождении представлена минералами меди, серебра, висмута, самородным золотом, пиритом и др. Она локализуется в гидротермально-измененных среднедевонских базальтах, дайках диоритовых порфири-

тов, преимущественно в их экзоконтактовой части, и в диоритах среди метасоматитов, а также в зонах актинолитизации (тремолитизации) по серпентинитам. Морфология у большинства медно-золоторудных зон лентообразная, линзовидная, субмеридионального направления. В процессе разработки месторождения установлены и рудные зоны сложной «амебообразной» формы.

При проведении поисковых работ на флангах месторождения, с целью возможного выделения под покровом мощного чехла мезозой-кайнозойских осадков рудовмещающей толщи, представленной гидротермально-измененными базальтами, прорванными серией даек диоритовых порфиритов и прослеживания ее по площади, был выполнен большой объем площадных геофизических исследований, включающий высокоточную магниторазведку, гравиразведку и дипольное электропрофилерование. Вследствие сложного литологического состава мезозой-кайнозойских образований и пород палеозойского фундамента, результаты геофизических работ оказались недостаточно информативными. В связи с этим АО «Варваринское» было принято решение о проведении на рудном поле месторождения опытных работ по оценке принципиальной возможности применения георадиолокационного зондирования, георадаром серии «Лоза», для расчленения разреза и выделения под чехлом рыхлых мезозой-кайнозойских образований продуктивных пород. Опытные-методические работы были выполнены прибором «Лоза-Н» с антенным комплексом 1000 см (15 МГц) и передатчиком «Б. Берта» с импульсной мощностью 20 МВт (21 кВ) в 2011 году. Эти работы показали высокую эффективность применения георадара в литологическом расчленении и изучении разреза рыхлых мезозой-кайнозойских образований. При наличии мощного чехла рыхлых осадков, создающим экранирующий эффект для радиоволн, коренной фундамент зачастую фиксируется в виде изотропной среды. В связи с чем, в качестве основы для литологического расчленения пород палеозойского фундамента, служат особенности строения вертикального профиля гипергенных образований, развитых по литологическим разностям. На георадарограммах рудовмещающие базальты среднего девона отчетливо фиксируются повышенными мощностями образований кор выветривания, прорывающие их мощные дайки диоритовых порфиритов, включающих золоторудные зоны вкрапленной и прожилково-вкрапленной минерализации в их экзо-эндоконтактах, как правило, отмечаются пониженной мощностью образований кор выветривания. За счет этого области развития потенциально перспективных на поиски медно-золоторудных интервалов имеют отчетливый клавишный характер. По-видимому, разная мощность гипергенных образований, развитых по базальтам и дайкам, является следствием их существенных различий в физико-механических свойствах и степени гидротермально-метасоматической проработки. Маломощные дайки диоритовых порфиритов, залегающие наклонно среди стратифицированной толщи базальтов, из-за близости вещественного состава этих пород и широко проявленных процессов гидротермально-метасоматических изменений, наложенных как на базальты, так и на дайки, на георадарограммах не выделяются. Установленные в вертикальном профиле коры выветривания зоны повышенной проводимости, по-видимому, отвечают минерализованным зонам. Последние могут быть представлены окисленными рудами, либо зонами ожелезнения, омарганцевания, образовавшимися за счет окисления пиритовых горизонтов. Разрывные нарушения выделяются на георадарограммах резким уменьшением мощности, либо увеличением мощности

гипергенных образованиях, либо их изгибами, локальными увеличениями мощности.

В результате опытно-методических работ 2011 года удалось определить характерные особенности вертикального профиля коры выветривания (георадарообраз) рудовмещающей пачки базальтов, прорванной мощными дайками диоритовых порфириров, по неоднородностям в корах выделить предполагаемые оси минерализованных зон, и подтвердить эффективность применения георадарного зондирования для выделения и прослеживания перспективных отложений по площади.

Ниже приведены наиболее типичные примеры результатов георадарного профилирования и их интерпретации, полученные в процессе опытно-методических работ на опорном профиле.

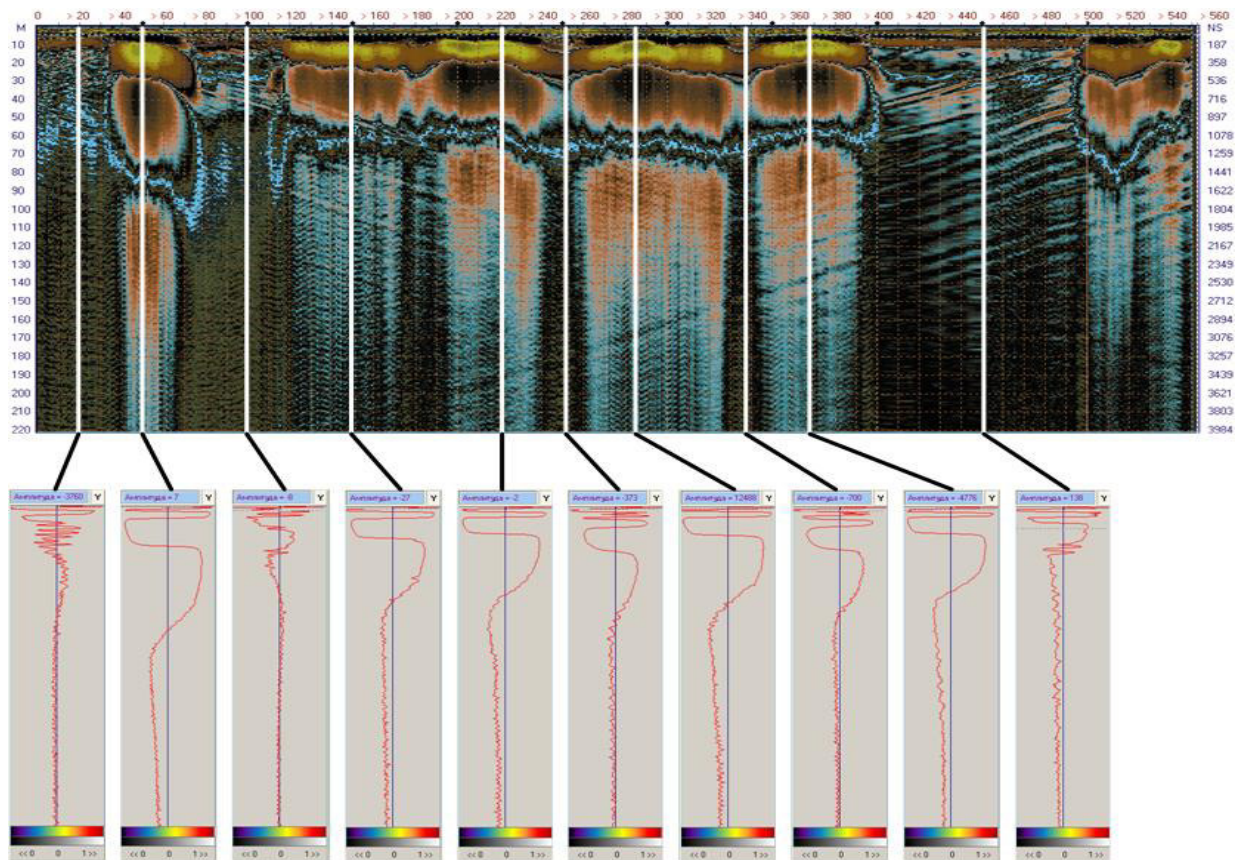


Рис. 2. Радарограмма опорного профиля опытно – методических работ, выполненных в сентябре 2011.

Результаты зондирования представляются в виде волновых форм отдельных измерений. Сигнал имеет дипольную структуру, при отражении эта структура сохраняется, может измениться только его полярность. Геологический слой на радарограмме представлен двумя отраженными импульсами, от верхней и нижней границ. Мощность слоя характеризуется временем задержки между первым и вторым импульсом. Таким образом, повышенная частота говорит о большем количестве слоев, а смещения «хвостовой» части волновой формы сигнала относительно оси симметрии на различных пикетах георадарного разреза характеризует различную проводимость среды на этих пикетах.

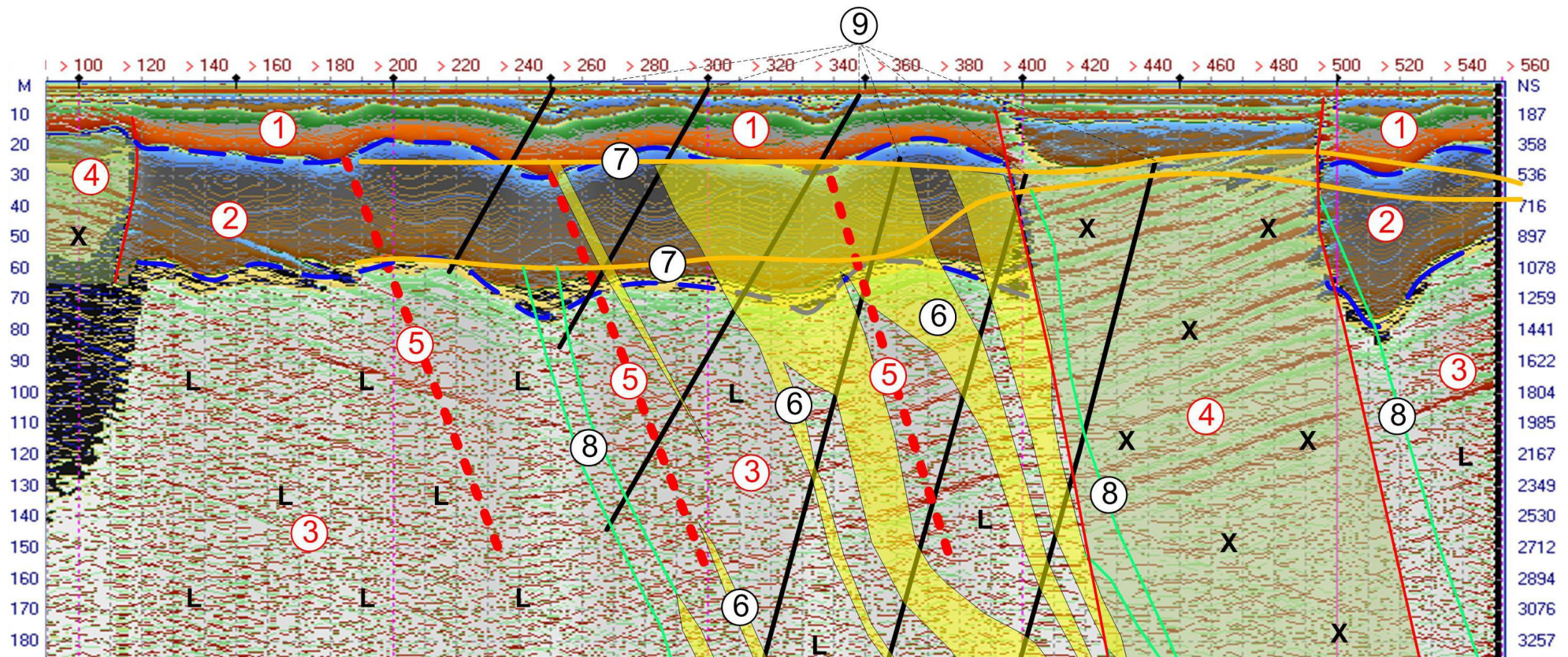


Рис. 3. Георадарограмма опорного профиля (низкочастотная фильтрация в режиме производной функции), с геологической интерпретацией, совмещенная с результатами поискового бурения.

1-5 предполагаемые геологические границы по данным георадарного зондирования: 1-нерасчлененные кайнозойские образования (суглинки, глины, пески); 2-триас-раннемеловые глинисто-щебенистые коры выветривания; 3-гидротермально-измененные базальты среднего девона (рудовмещающая толща); 4-дайки диоритовых порфиритов среднекаменноугольного интрузивного комплекса; 5-интервалы перспективные на выявление медно-золоторудной минерализации.

6-8 геологические границы, установленные в результате поискового бурения: 6-рудные тела; 7-границы образований кор выветривания; 8-контуры развития дайки диоритовых порфиритов; 9-стволы поисковых скважин.

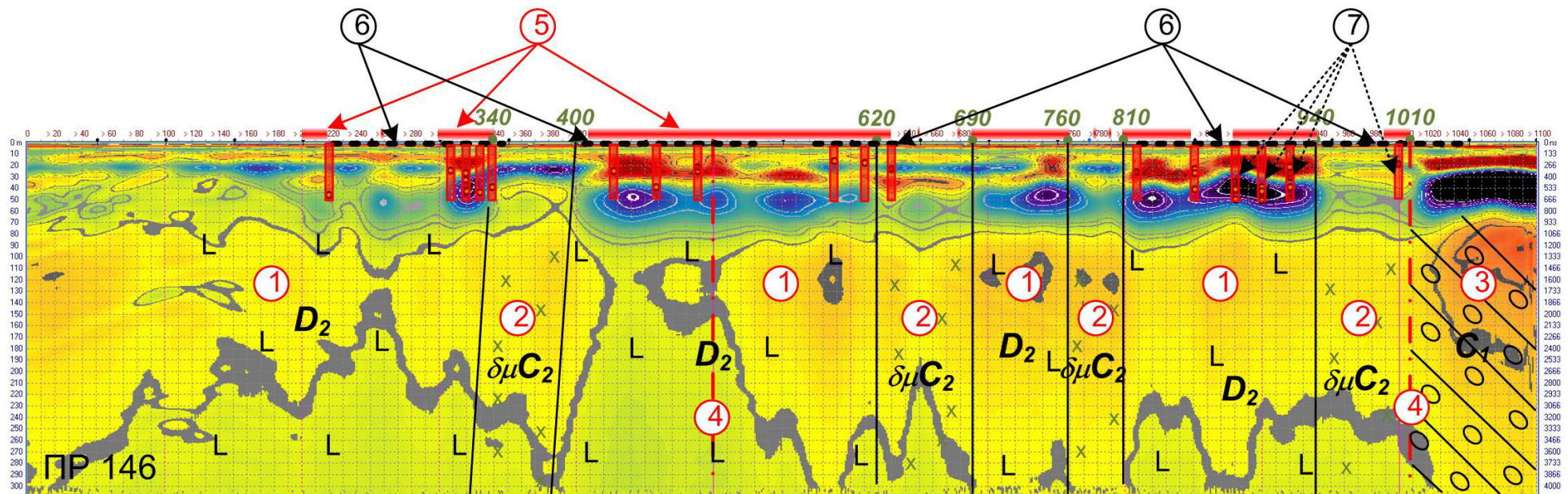


Рис.4. Георадарограмма профиля 146 участок «Южный» (амплитудная фильтрация) с результатами интерпретации и бурения скважин КГК (работы 2012 года):

1-3 предполагаемые геологические границы по данным георадарного зондирования: 1-гидротермально-измененные базальты среднего девона (рудовмещающая толща); 2-дайки диоритовых порфиров среднекаменноугольного интрузивного комплекса; 3-конгломераты нижнего отдела каменноугольной систем; 4-разрывные нарушения; 5-интервалы перспективные на выявление медно-золоторудной минерализации

6-7 результаты бурения: 6-интервалы фактически оцененные картировочным бурением; 7-стволы скважин, вскрывших медно-золоторудную минерализацию.

На основании полученных результатов опытно-методических работ, АО «Варваринский ГОК» было принято решение о проведении в 2012 году георадарного зондирования флангов Варваринского рудного поля. Перед Исполнителем была поставлена геологическая задача, проследить под покровом мощного чехла рыхлых мезокайнозойских образований по площади рудовмещающую толщу, георадарный образ которой установлен по результатам опытно-методических работ 2011 года, разрывные нарушения и выделить предполагаемые границы развития минерализованных зон.

Эти работы были выполнены в зимний период 2012 года на участках «Южный», «Северный», «К-6» и на профиле «Карьер».

При проведении опытно – методических работ 2011 год, для перевода временного разреза в глубинный, эхосигналы по профилю (временной разрез), были увязаны с результатами ранее проведенных буровых работ. Скорость распространения волны была выбрана на основании геологического разреза предоставленного геологической службой АО «Варваринское», на котором по данным 7-ми скважин колонкового бурения была нанесена верхняя и нижняя границы коры выветривания и составила 5,5 см/нСек. Выбранная скорость была отнесена на всю глубину разреза.

Опытно – методические работы 2011 года проводились в осенний период (сентябрь), работы 2012 года в зимний (январь – март). Физические условия для проведения измерений контрастно отличались. В первом случае работы выполнялись при повышенной увлажненности грунта (дожди), во втором при промерзании грунта и наличии снежного покрова. При таких изменениях условий измерений скорость распространения волны существенно разнится. Для решения вопроса сходности результатов работ выполненных при разных погодных (физических) условиях, в январе 2012 года были выполнены повторные измерения на части профиля 130, ранее отработанного в сентябре 2011 года.

Как и следовало ожидать, скорость распространения волны при промерзании грунта значительно возросла. Для уточнения ее величины на относительно ровном участке профиля 126, в районе пикета 350 были выполнены измерения для построения годографа. Они показали увеличения скорости распространения волны в различных слоях от 6 до 7,84 и 8,1 см/нСек, а так же наличие горизонта на глубинах 10 - 20 метров, где скорость распространения волны падала (до 2 см/нСек), что могло быть связано с повышенным увлажнением в этом слое. Средняя скорость распространения волны в грунте была принята 7,5 см/нСек и отнесена на всю глубину разреза.

Георадарное профилирование, общим объемом 40 пог. км, в 2012 году было выполнено на участках «Южный», «Северный», «А-6» и на профиле «Карьер».

Литологическое расчленение пород глубинного разреза основано на методе аналогий с результатами опытно-методических работ 2011 года. Для формирования георадарообраза терригенных (конгломераты, песчано-сланцевые отложения и известняки) и интрузивных образований (диориты), использованы исторические данные картировочного и поискового бурения. Результаты георадарного зондирования по профилям приведены в виде частотной и амплитудной фильтраций. Частотная фильтрация наиболее соответствует наблюдаемому разрезу; амплитудная позволяет усилить слабые сигналы и получить более контрастное отображение сигнала, в том числе и по предполагаемым зонам минерализации. На профилях с амплитудной фильтрацией, вынесенных на план, в соответствии с их фактическим положе-

нием на участках, показаны элементы геологического строения и их корреляция по профилям. Выполненная геологическая интерпретация результатов георадарного зондирования позволила составить схематические карты палеозойского фундамента участков. На картах показаны области развития «продуктивной» пачки среднедевонских базальтов, прорванных дайками диоритовых порфиритов, терригенных отложений, интрузивных пород, разрывные нарушения, участки с неясным геологическим строением, предполагаемые интервалы развития медно-золотого, штокверкового и скарнового типов оруденения. Исходя из геологической поисковой модели, полученной по результатам опытно-методических работ 2011 года, проведено ранжирование пройденных профилей по степени перспективности с выделением перспективных участков, участков с неясными перспективами

Эффективность использования георадарного зондирования в процессе глубинных поисков подтверждена бурением поисково-картировочных скважин установкой КГК. На рис.4 приведен фрагмент георадарограммы с амплитудной фильтрацией, на которую вынесены границы литологических разностей и перспективных интервалов на выявление рудной минерализации, выделенных по результатам зондирования, и стволы картировочно-поисковых скважин, вскрывших рудную минерализацию.

Выводы:

1. Имея высокий энергетический потенциал, георадары, обладают значительным преимуществом в геологии по отношению к другим геофизическим методам. Стандартный шаг георадарных измерений (20-70 см) гарантирует получение непрерывного вертикального геологического разреза по профилю, с детальной характеристикой его внутренней структуры, в отличие от существующих, в настоящее время, методов геофизических исследований, в процессе выполнения которых наблюдения имеют точечный характер.

2. Георадарное зондирование на поисковых площадях рационально проводить в два последовательных этапа. На первом этапе следует выполнить в небольших объемах опытно-методические работы на изученных бурением профилям (опорных), для определения степени информативности результатов глубинного зондирования и формирования георадарообраза основных литологических разностей горных пород и минерализованных зон, развитых на участке. После получения положительных результатов, зондирование рационально проводить на слабоизученных участках, на которых по аналогии с опорными профилями, можно проводить геологическую интерпретацию георадарограмм.

3. Оперативность в получении результатов, высокая информативность и эффективность георадарного зондирования позволяют рекомендовать этот метод для широкого применения в практике геологоразведочных работ.

Литература

1. Изюмов С.В., Дручинин С.В., Вознесенский А.С. Теория и методы георадиолокации //Москва, «Горная книга», 2008
2. Федоров А.П., Михно А.Н., Мальченко Е.Г., Фрейман Г.Г. Некоторые аспекты использования георадара «Люза» // Геология и охрана недр. 2011.№2 (39). С.67-69.