УДК 621.396.96: 556: 622.33(001)

Г.А.КУЛЯНДИН, *младший научный сотрудник, gansik.ku@mail.ru*
А.В.ОМЕЛЬЯНЕНКО, *д-р техн. наук, заведующий лабораторией, igds@igds.ysn.ru*
Л.Л.ФЕДОРОВА, *канд. техн. наук, доцент, lar-fed-90@rambler.ru*
Институт горного дела Севера им. Н.В.Черского СО РАН, Якутск

G.A.KOULYANDIN, *junior research assistant, gansik.ku@mail.ru*
A.V.OMELYANENKO, *Dr. in eng. sc., head of laboratory, igds@igds.ysn.ru*
L.L.FEDOROVA, *PhD in ing. sc., associate professor, lar-fed-90@rambler.ru*
Mining Institute of the North of the Russian Academy of Science, Siberian subdivision, Yakutsk

ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ И ОБВОДНЕННОСТИ ПЕРЕКРЫВАЮЩИХ ПОРОД ПРИ ОТРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ

Представлены результаты георадиолокационных исследований перекрывающих пород на угольных месторождениях по выявлению зон обводнения и нарушенности. Проведено оконтуривание зоны обводнения вскрышных пород на отрабатываемых участках Кангаласского месторождения. На основе данных бурения методом георадиолокации выявлен и оконтурен наклонно залегающий угольный пласт на рабочем участке Нерюнгринского угольного месторождения.

***Ключевые слова*:** георадиолокация, зоны обводнения и нарушенности, Кангаласское и Нерюнгринское угольные месторождения, Республика Саха (Якутия).

GEORADAR RESEARCHES OF STRUCTURAL FEATURES AND WATER CUTTING OF OVERBURDEN ROCKS FOR COAL OPEN-CAST MINING

The results of georadar researches of overburden rocks in the coal deposits for identify the areas of the water cutting and disturbance have been presented. The contouring of zone of the water cutting of overburden rocks on Kangalassky coal deposits has been done. Based on drilling data, the GPR method has been identified and localized hading coal seam of Neryungrinskiy coalfield.

***Key words*:** ground Penetrating Radar, areas of water cutting and disturbance, Kangalassky coalfield, Neryungrinskiy coalfield, the Republic of Sakha (Yakutiya).

Своевременное выявление и оконтуривание критических зон на участках проявления геологических нарушений и обводнения позволит заблаговременно предусмотреть комплекс технологических мероприятий, обеспечивающих безопасность и эффективность работ. При открытых горных работах на угольных месторождениях Якутии преобладает взрывной способ подготовки мерзлых пород к выемке. В условиях обводненности разрабатываемых блоков ухудшаются показатели взрывных работ и выемки пород. Обводненность и повышенная влажность породы способствуют налипанию, примерзанию пород к рабочим органам выемочно-погрузочного оборудования и емкостям транспортных средств, простоям и удорожанию себестоимости разработки. Поэтому знание условий обводнения взрываемого блока необходимо для выбора рациональных параметров взрывных работ, типа взрывчатого вещества и конструкции

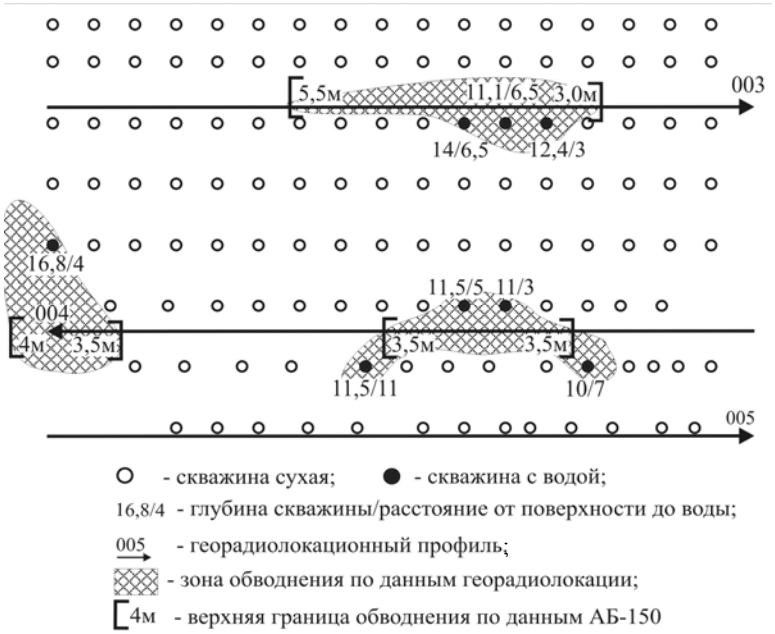

Рис.1. Результат картирования зоны обводнения на вскрышном блоке № 2 по данным георадиолокации

скважинного заряда, прогноза состояния экскаваторного забоя [1]. Нами проведены исследования возможностей современного геофизического метода импульсной георадиолокации при выявлении зон обводнения и нарушенности разрабатываемых участков.

Метод георадиолокации основан на дифракции электромагнитных волн при распространении в гетерогенной среде, имеющей неоднородности с различными электрофизическими параметрами. При этом измеряется время прохождения отраженных сигналов t и оценивается их интенсивность. Глубина отражающей границы определяется как $h = vt/2$, где $v = c/\sqrt{\varepsilon'}$ – скорость распространения сигналов в среде; c – скорость распространения радиоволн в вакууме; ε' – диэлектрическая проницаемость, зависящая от минерального состава породы и влагонасыщенности.

Интенсивность сигналов зависит от пространственных характеристик и контрастности электрофизических свойств объектов исследований. Глубинные возможности определяются параметром Г – потерями энергии электромагнитных сигналов при распространении в исследуемой среде [2].

Подповерхностные радиолокаторы, реализующие метод георадиолокации, применяются в диапазоне глубин от нескольких сантиметров до десятков метров, при этом используются спектры частот от 20 до 2000 МГц. Низкочастотные антенны в виде линейных вибраторов используются для обнаружения или обследования объектов, расположенных на глубинах 10-30 м, в то время как высокочастотные в виде рупорных антенн позволяют детально обследовать первые метры разреза.

Для подтверждения наличия обводненности и картирования границ обводнения на Кангаласском буроугольном месторождении проведены георадиолокационные исследования. В пределах участка отработки мощность перекрывающих пород достигает 38 м, все породы многолетнемерзлые.

При бурении взрывных скважин на блоке наблюдались залповые выбросы воды из соседних скважин на высоту до нескольких метров, при этом несколько скважин были залиты водой [1].

Анализ геологического строения участка и результатов рекогносцировочных зондирований показал, что для проведения исследований по площадному картированию обводнения достаточно возможностей георадара в спектре частот 100-200 МГц (АБ-150). Этот диапазон позволяет в условиях данного участка получить георадиолокационный разрез с достаточной разре-

шающей способностью (до 0,35 м) и выделить верхнюю границу обводнения. Для обнаружения нижней границы обводнения, ввиду большего затухания высокочастотных сигналов в обводненной зоне, необходимо проводить исследования в более низком спектре частот. Так, для картирования границ обводнения на вскрышном блоке № 3 несколько профилей были дополнены георадиолокационными разрезами, полученными АБДЛ-30 (в спектре частот 25-100 МГц).

На схеме вскрышного блока № 2 отмечены скважины, в том числе обводненные, отображен план георадиолокационных профилей и оконтурены зоны обводнения по данным георадиолокации (рис.1). Глубина скважин варьирует от 9 до 20 м. В качестве примера по выявлению зон обводнения рассмотрен профиль 003, проложенный по 3-му ряду скважин. Профилирование проводилось в непрерывном режиме, при временной развертке по глубине 200 нс, что при $\varepsilon' = 4{,}0$ определяет глубинность до 15 м. Реальная глубина исследований на данном участке составила 7 м. Обработка полученных данных проводилась с помощью программы GeoScan32, также предназначенной для управления приборами подповерхностного зондирования ОКО-2М.

На интерпретационном разрезе по профилю 003 выделена геологическая структура аномалии размерами примерно 27 м в длину и 6,5 м в глубину (рис.2). Границы аномалии представлены на радарограмме высокоамплитудными сигналами, начинающимися примерно с 13 м по профилю и постепенно уходящими вниз от поверхности на глубину до 6,5 м. Затем сигнал плавно поднимается вверх, образуя аномалию, интерпретируемую как зона обводнения. Это также подтверждается низкочастотными сигналами в этой зоне, обусловленными затуханием высоких частот в среде с более высокой диэлектрической проницаемостью ε' (4,0 для сухих и около 60 для обводненных вскрышных пород).

Аналогичные работы были выполнены на вскрышном блоке № 3, на участке размером 67×72 м. Георадиолокационные

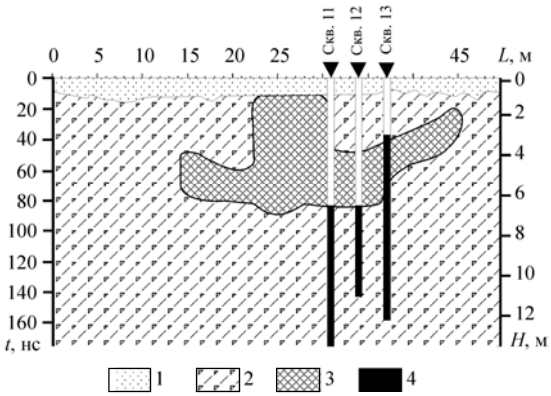

Рис.2. Интерпретация георадиолокационного разреза по участку обводнения (профиль 003)

1 – сезонно-талый слой; 2 – вскрышные породы; 3 – зона обводнения по данным георадиолокации; 4 – вода

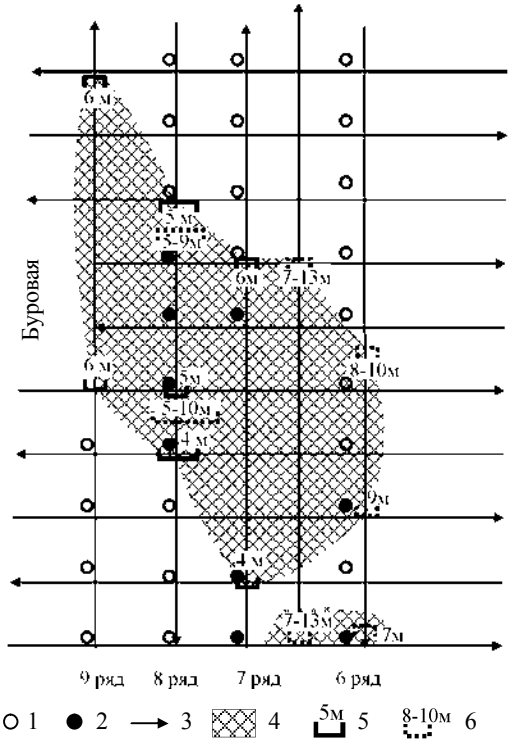

Рис.3. Результат картирования зоны обводнения на вскрышном блоке № 3 по данным георадиолокации

1 – скважина сухая; 2 – скважина с водой; 3 – георадиолокационный профиль; 4 – зона обводнения по данным георадиолокации; 5 – верхняя граница обводнения по данным АБ-150; 6 – верхняя и нижняя границы обводнения по данным АБДЛ-30

исследования проведены по 15 профилям. Схема расположения профилей и скважин, сведения о наличии воды в скважинах, уровень обводнения по данным георадиолокации и результат картирования зоны обводненности представлены на рис.3.

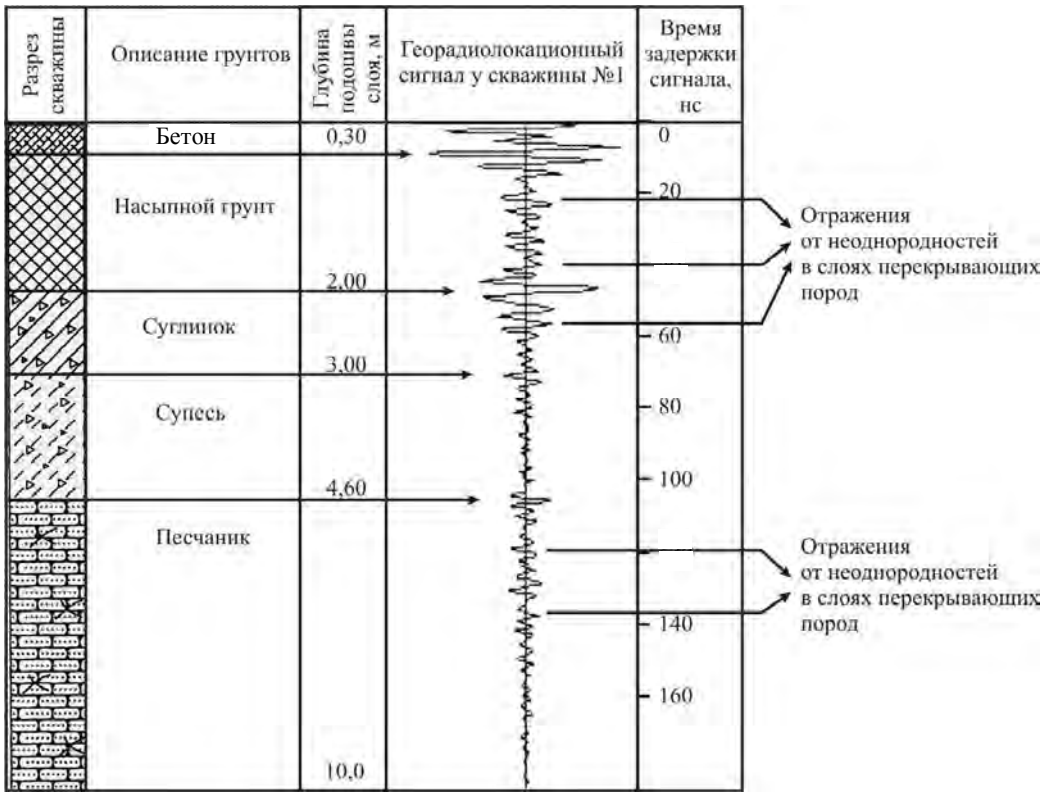

Рис.4. Сопоставление данных бурения по скв.1 и георадиолокационных данных рекогносцировочных зондирований

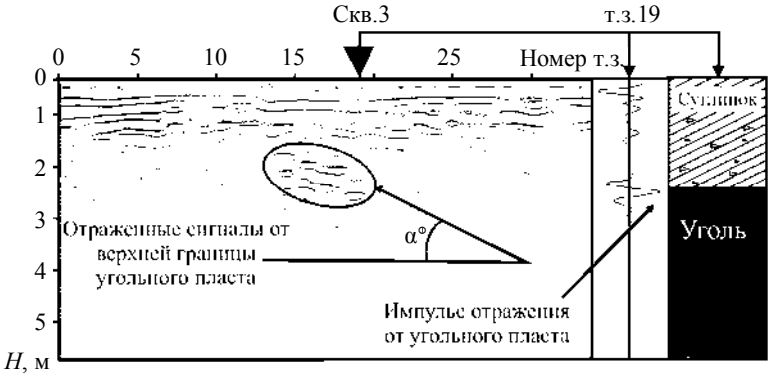

Рис.5. Выявление угольного пласта по данным георадиолокации

Результаты исследований показали, что данные георадиолокации об уровне распространения обводненности согласуются с предварительными замерами в скважинах, а некоторое различие по определению границ обводненной зоны связано с проведением буровых и георадиолокационных работ в разное время.

Дальнейшие исследования перекрывающих пород на угольных месторождениях были посвящены определению параметров залегания нарушенного угольного пласта в пределах рабочего участка. Задача решалась в Нерюнгринском районе. Здесь возможно применение георадара в спектре частот 100-500 МГц, так как согласно данным разведочного бурения пласт угля зафиксирован на глубине 2,5 м. Всего по линии разведочного бурения подготовлено три скважины глубиной 10 м. В скв.1 и скв.2 угольный пласт не обнаружен.

В окрестности скв.1 проведены рекогносцировочные зондирования георадаром ОКО-2М [3] в спектре частот 100-200 МГц

(антенный блок АБ-150) и 350-450 МГц (АБ-400). По сопоставлению данных бурения скв.1 и георадиолокационных сигналов определена средняя скорость распространения электромагнитных волн: $v = 0{,}087$ м/нс (рис.4). Эта скорость принята для расчета глубинного разреза.

Из-за высокой разрешающей способности в спектре частот 350-450 МГц на данном участке выявляется множество отражений от мелких неоднородностей в слоях перекрывающих пород (рис.4), в связи с чем на радарограммах затруднено выделение отражений от угольного пласта. Для устранения этого недостатка далее рассматривались данные, полученные в спектре 100-200 МГц. На рис.5 показан сигнал в точке зондирования (т.з.) 19 около скв.3, на котором присутствует отраженный импульс, по амплитудно-спектральным характеристикам отождествляемый с границей угольного пласта. На радарограмме такие импульсы зафиксированы по оси синфазности с т.з. 13 по т.з. 20 под углом α° в пределах глубин 2-2,5 м.

В результате проведенных исследований установлено, что выход угольного пласта имеет некоторый уклон α° в сторону севера и пласт практически вертикально выклинивается к поверхности в зоне разлома (рис.6).

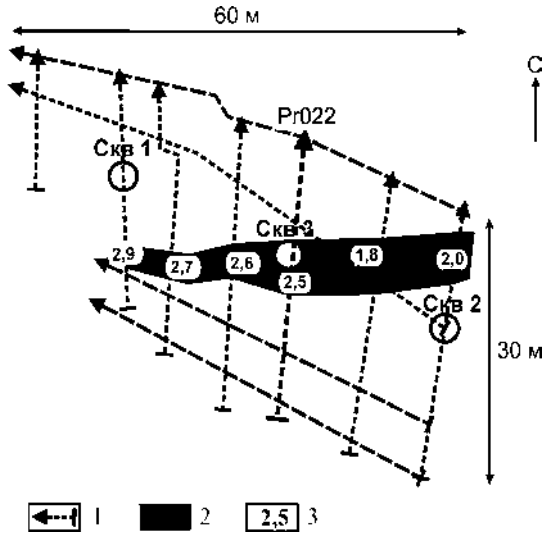

Рис.6. План участка исследований и результат оконтуривания выхода угольного пласта

1 – план георадиолокационных профилей; 2 – угольный пласт; 3 – мощность перекрывающих угольный пласт пород

Полученные результаты исследований показали высокую эффективность метода георадиолокации при изучении верхней части геологического разреза с целью выявления структурных особенностей разрабатываемого массива.

На георадиолокационных разрезах отраженными импульсами четко прослеживается геометрия верхней границы угольного пласта, перекрытого рыхлыми отложениями, что позволяет определить пространственное положение пласта. При этом нужно учитывать, что линии георадиолокационных профилей необходимо прокладывать вкрест простирания протяженной неоднородности.

Георадиолокационные исследования позволили картировать участки обводнения и показали возможность дистанционного картирования обводненности взрывных блоков. Полученные результаты могут помочь в выборе рациональных параметров вскрышных работ при открытой разработке месторождений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дистанционный прогноз обводненности взрывных блоков при открытой разработке месторождений криолитозоны / Л.Л.Федорова, Г.А.Куляндин, С.В.Панишев, А.П.Винокуров // Современные технологии освоения минеральных ресурсов: Сб. материалов 6-й Междунар. научно-технической конференции. Красноярск: ИПК Сиб. федер. ун-та, 2008. С. 181-188.

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

3. *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.

REFERENCE

1. *Fedorova L.L.*, *Kulyandin G.A.*, *Panishev S.V.*, *Vinokurov A.P.* Remote prognosis of watering explosive blocks in open-cast mining in permafrost // Modern technology development of mineral resources: Materials 6-th International scientific and technical conferences. Krasnoyarsk: IPK Sib. Feder. University Press, 2008. P. 181-188.

2. *Omelyanenko A.V.*, *Fedorova L.L.* Georadar study of permafrost. Yakutsk: Izd YSC SB RAS, 2006. 136 p.

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