

Геотехнический мониторинг Николаевского карьера с применением дистанционных методов зондирования

¹**ФРОЛОВА Ольга Вячеславовна**, PhD, ведущий инженер-геолог, olyafrolova3@gmail.com,

²***ЗИМАНОВСКАЯ Наталья Александровна**, PhD, ассоциированный профессор, nata_zim@mail.ru,

¹**ОХОТЕНКО Андрей Иванович**, техник, aohotenko@yandex.kz,

¹**ЩЕРБАКОВ Денис Александрович**, директор, d.chsherbakov.at@gmail.com,

¹**ТЕЛЫГАРАЕВА Анель**, горный инженер, anelya.kazybaikyzy@bk.ru,

¹ТОО «Восточно-Казахстанский Региональный технопарк «Алтай», Казахстан, Усть-Каменогорск, ул. Д. Серикбаева, 37,

²НАО «Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева», Казахстан, Усть-Каменогорск, ул. А.К. Протозанова, 69,

*автор-корреспондент.

Аннотация. В последнее время широкое применение при картировании и определении параметров трещин в массиве горных пород получил метод георадиолокационного зондирования (георадар). Целью работ является выявление в вертикальном геологическом разрезе на хвостах Николаевской горно-обогатительной фабрики разрывных нарушений, а также прослеживание их на глубину. Работы проводились в пределах Артемьевского производственного комплекса в Шемонаихинском районе Восточно-Казахстанской области. Для достижения поставленной цели были проведены профильные геофизические исследования методом георадиолокационного зондирования, электромагнитного профилирования, а также аэрофотосъёмка дроном.

Ключевые слова: георадар, георадиолокационное профилирование, электромагнитное профилирование, аэрофотосъёмка, геофизические исследования, мониторинг, Восточный Казахстан.

Введение

На сегодняшний день весьма актуальным остаётся вопрос получения информации о земной поверхности методами неразрушающего контроля, с использованием различных методов дистанционного зондирования Земли (ДМЗ). Большую популярность набирают беспилотные летательные аппараты (БПЛА) ввиду их многочисленных преимуществ. Преимущества использования данного комплекса методов заключаются в следующем:

- низкая стоимость картографических и геодезических работ с применением БПЛА, в сравнении с подобными работами;
- дроны обладают высокой производительностью и могут работать в труднодоступных для человека местах;
- высокая точность фото и геодезических данных.

С целью оценки и мониторинга состояния Николаевского карьера Артемьевского производственного комплекса был применён комплекс геофизических методов (георадиолокация, электромагнитное профилирование) и аэрофотосъёмки

с использованием беспилотных летательных аппаратов типа дрон. Целью данной работы являлся объективный анализ фактического состояния борта карьера Николаевской обогатительной фабрики (рисунок 1).

Николаевская обогатительная фабрика находится юго-восточнее с. Березовка на расстоянии 1 км в Шемонаихинском районе Восточно-Казахстанской области Республики Казахстан. Николаевская обогатительная фабрика предназначена для обогащения медно-цинковых и полиметаллических руд. Готовой продукцией являются медный, свинцовый и цинковый концентраты.

Для достижения поставленной цели были проведены профильные геофизические исследования методом георадарного профилирования по 6 трекам (6 профилей), общей протяжённостью 313 погонных метров. Работы производились в три этапа. Исследования производились с использованием георадара ОКО-2 с антенным комплексом АБ 90 с частотой 90 МГц и передатчиком импульсной мощностью 20 МВт (18 kV) (рисунок 1).



Рисунок 1 – Сборка георадара «ОКО-2»

На следующем этапе было проведено электромагнитное профилирование подземным детектором воды (электротомограф) PQWT S500 (рисунок 2а) – (1 профиль) и трехкатушечной индукционной системой для электромагнитного профилирования АЭМП-14 (рисунок 2б) – (3 профиля) с целью выявления активных родников, ключей в коренных породах и степени замачивания и деформации. В заключение была проведена аэрофотосъемка с дрона Mavic 2 Zoom (DJI) (рисунок 2б) с составлением ортофотоплана аварийного участка с целью мониторинга состояния склона.

Методы исследования

Георадиолокационный метод. Георадиолокационный метод изучения геологической среды для нашей страны является технологически новым методом. Несмотря на давние теоретические

разработки, реализация перспективных научных идей оказалась возможной только на современном уровне развития технологической основы создания аппаратуры и компьютерной базы для создания систем сбора и обработки информации [4].

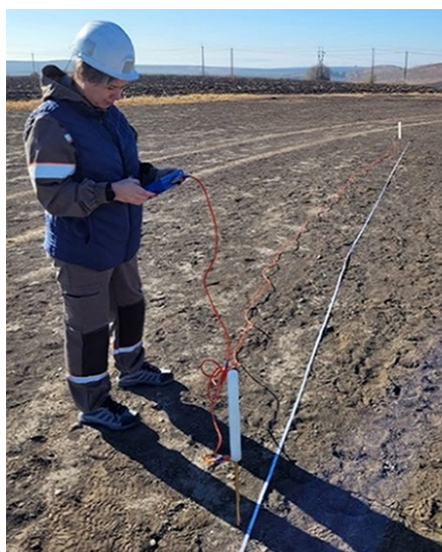
Принцип действия аппаратуры подповерхностного радиолокационного зондирования (в общепринятой терминологии – георадара) основан на излучении сверхширокополосных (наносекундных) импульсов метрового и дециметрового диапазона электромагнитных волн и приеме сигналов, отраженных от границ раздела слоев зондируемой среды, имеющих различные электрофизические свойства [5].

Геосканирование с помощью георадара «Око-2» возможно проводить при пошаговой записи, при непрерывной записи и при записи по колесу. Наши исследования проводились при записи с помощью колеса. Перед началом сканирования проводится процедура корректировки колеса.

В результате сканирования получают радарограммы, обработка и интерпретация которых проводились с помощью специального программного приложения «GeoScan32».

Метод электромагнитного профилирования

Данный метод представляет собой комбинацию электрического зондирования и профилирования, это целый комплекс, включающий в себя как методику полевых наблюдений, так и технологию обработки и интерпретации полевых данных. Ее особенностью является многократное использование в качестве питающих и измерительных одни и те же фиксированные на профиле наблюдения положения электродов. Суть методики измерений заключается в многократных повторных измерениях сигнала в приемных линиях, при различных положениях питающей. Таким



а



б

а – PQWT S500; б – АЭМП-14 и дрон Mavic 2 Zoom

Рисунок 2 – Аппаратура электромагнитного профилирования

способом реализуется своеобразная «подсветка» геологического разреза с разных позиций источника и проецирование измененного геологическими объектами сигнала на приемные линии.

На рисунке 3 приведена схема стандартной двухэлектродной установки, с которой проводились данные исследования. Двухэлектродная установка обладает наибольшим горизонтальным покрытием и глубиной.

Аэрофотосъёмка производилась квадрокоптером DJI Mavic 2 ZOOM в автоматическом режиме с составлением полётного задания в программе Pix4Dcapture. С помощью программы Agisoft PhotoScan создаётся цифровая модель рельефа на основе полученных геопривязанных снимков. Затем была создана карта высот. И в заключение строятся ортофотоплан и цифровая модель местности. С помощью полученных результатов в камеральных условиях есть возможность производить любые измерения, например, площадь и объём обследуемого объекта, включая труднодоступные и опасные для жизни и здоровья места.

Научные результаты

Для выявления в вертикальном геологическом разрезе разрывных нарушений, прослеживание их на глубину в пределах исследуемой площади были проведены георадарные исследования площадки карьера (рисунок 4а). Всего было пройдено 6 профилей (рисунок 4б).

Трек 1 пройден практически в центре площад-

ки карьера. По треку пройден один георадарный разрез. Его длина 53 метра. На представленной радарограмме (рисунок 5а) по горизонтали указано расстояние в метрах, а по вертикали – время прихода отраженных сигналов в наносекундах. Красным на радарограмме отмечены аномалии трещин на отметке 8 м, 41 м и 52 м сигнал прослеживается до глубины 6 метров.

Также заметна разница по плотности грунта материковой основы. В левой части он более плотный. В области под данными аномальными зонами отмечаются зоны инфильтрации (отмечены чёрным контуром). Очевидна возможность возникновения проседания, оползня одной из частей относительно другой.

Трек 2 пройден на расстоянии 1 метра от трека 1, ближе к бровке уступа. Трек состоит из 1 георадарного разреза. Его длина 56 метров (рисунок 5б). Красным на радарограмме отмечены разрывные нарушения на отметках 8 м и 20 м, сигналы прослеживаются до глубины 5,4 метра. По разрезу установлено несколько тектонических зон, по которым отмечаются вертикальные перемещения блоков горных пород.

Трек 3 расположен в 1 метре от трека 1, над пульпопроводом. По данному треку пройден один георадарный разрез длиной 59 метров. На радарограмме, приведённой на рисунке 5в, отмечаются аномалии волновой картины, за счёт отражённых сигналов от надповерхностных объектов. Обработка данных полевых радарограмм услож-

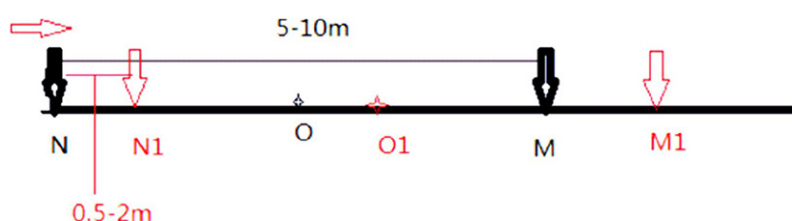


Рисунок 3 – Стандартная схема двухэлектродной установки (N, M – электроды)



а



б

а – участок работ, б – профили (жёлтый – профиля восток-запад, красный – профиля запад-восток)

Рисунок 4 – Участок работ и расположение профилей

няется тем, что волны-помехи затрудняют выявление и прослеживание полезных волн. Красным выделены помехи вероятно от опор линии электропередачи на отметках 8, 30 и 52 метра.

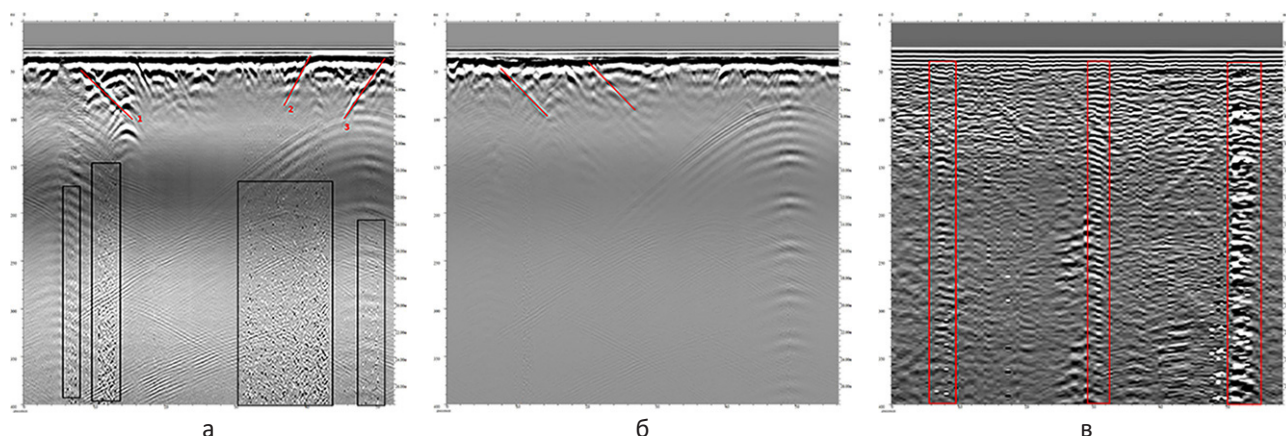
На радарограммах профилей 4, 5 и 6 аномалий волновой картины не обнаружено.

В результате проведенного электромагнитного профилирования аппаратурой PQWT был получен геоэлектрический разрез по профилю 1 (рисунок 6).

По результатам интерпретации четко выра-

жены зоны низкоомных сопротивлений в местах разлома и схода оползня. Выраженный объем замачивания коренных пород без движения воды в границах разлома, предположительно выход воды происходит в трещинах разлома.

По данным, полученным с аппаратуры АЭМП-14, четко прослеживается наличие источника воды в месте разлома, замачивание края дороги вдоль бровки, что позволяет сделать вывод о движении воды в место оползня со склона выше места отрыва горной массы (рисунок 7).



а – по профилю 1; б – по профилю 2; в – по профилю 3

Рисунок – 5 Радарограммы «ОКО-2»

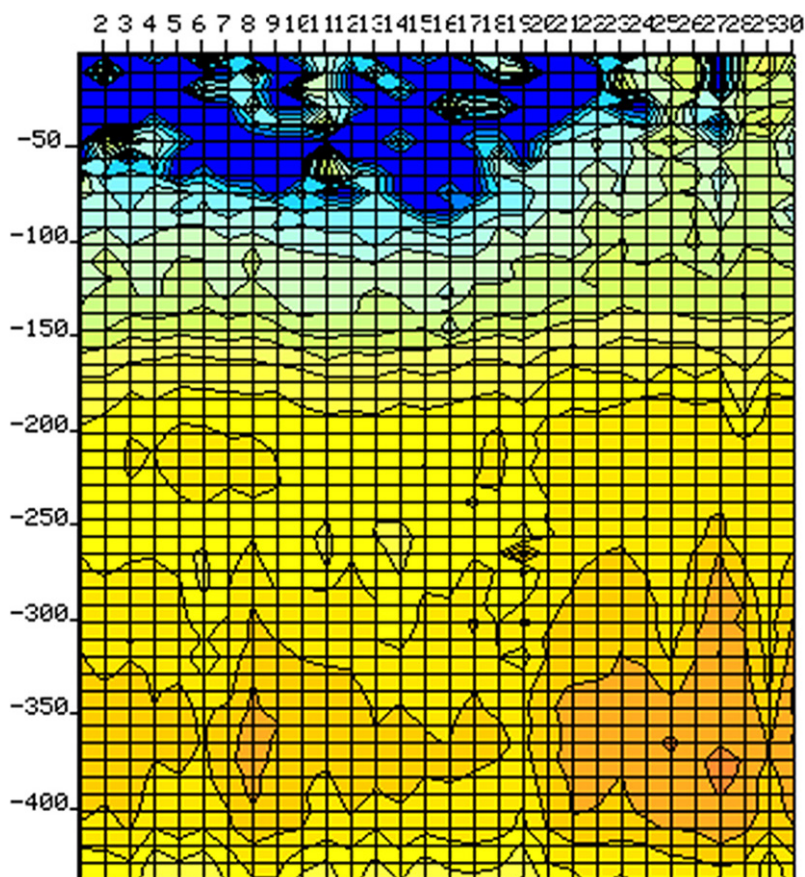


Рисунок 6 – Геоэлектрический разрез по профилю 1

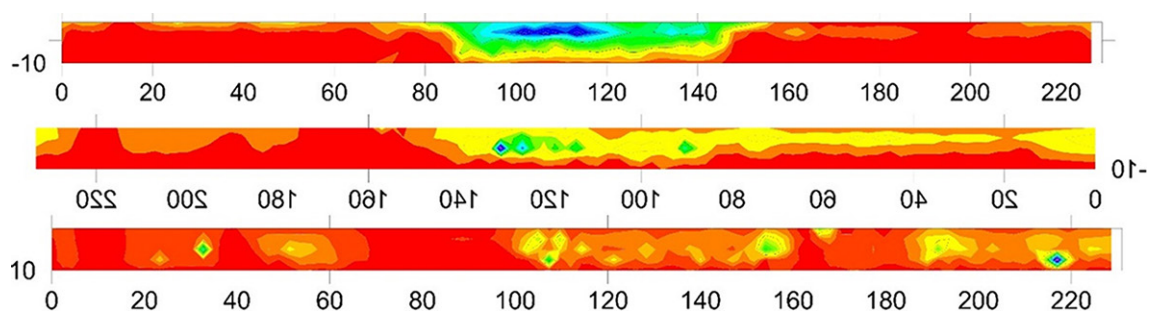


Рисунок 7 – Графики кажущегося удельного электрического сопротивления (АЭМП-14)

После получения исходных данных в виде геопривязанных аэрофотоснимков с дрона с помощью программы Agisoft PhotoScan был построен ортофотоплан (рисунок 8).

На ортофотоплане чётко выделяется зона оползневого смещения горных масс, зона обрушения трещины и направление движения несвязанных горных масс.

Выводы

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что трещины с углами падения относительно линии профиля 25-30 градусов образуют устойчивый отраженный сигнал. Материалы зондирования площадки на частоте 90 МГц позволяют с использованием только процедуры коррекции амплитуд надежно проследить положение в массиве трещин, закартированных ранее на поверхности.

На основе анализа записи для закартированных ранее трещин были выявлены характерные признаки их отображения в волновом поле.

На радарограммах заметна разница по плотности грунта материковой основы. В левой части он более плотный. Из этого следует, что возможно возникновение проседания, оползня одной из частей относительно другой. Также выявленные зоны разуплотнения вероятно могут создать условия для постепенного сползания верхних слоев в правую сторону.

Вертикальные границы разлома и замачивания коренных пород у основания, выявленные при поведении электромагнитного профилирования, подтверждают наличие разрывного нарушения и отрыва от коренных пород склона (склоновой



Рисунок 8 – Зона оползневого смещения горных масс на ортофотоплане

сдвиг). Всё вышеизложенное позволяет сделать вывод о наличии вне видимой зоны обрушения отрицательных изменений по напряженно-деформированному состоянию пород в массиве, изменению физико-механических свойств пород, нарушению устойчивости бортов, несущей способности основания склона.

Данная статья подготовлена по результатам исследований, финансируемых Комитетом науки МОН РК (грант № ИРН AP14870280).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Grandjean G., Gourry J.C. GPR data processing for 3D fracture mapping in a marble quarry (Thassos, Greece). Journal of Applied Geophysics, 36, 1996, pp. 19-30.
2. Orlando L. Semiquantitative evaluation of massive rock quality using ground penetrating radar. Journal of Applied Geophysics, 52, 2003, pp. 1-9.
3. Seol S.J., Kim J.H., Song Y., Chung S.H. Finding the strike direction of fractures using GPR. Geophysical Prospecting, 49, 2001, pp. 300-308.

4. Владов М.Л., Старовойтов А.В. Введение в георадиолокацию. Учебное пособие. – М.: Издательство МГУ, 2004. – 153 с.
5. Рекомендации по проведению георадиолокационных измерений для решения геологических задач / ООО «Логические системы». Раменское, 2008. 28 с.

Қашықтықтан зондтау әдістерін қолдана отырып, Николаев карьерінің геотехникалық мониторингі

¹**ФРОЛОВА Ольга Вячеславовна**, PhD, жетекші инженер-геолог, olyafrolova3@gmail.com,

²***ЗИМАНОВСКАЯ Наталья Александровна**, PhD, қауымдастырылған профессор, nata_zim@mail.ru,

¹**ОХОТЕНКО Андрей Иванович**, техник, aohotenko@yandex.kz,

¹**ЩЕРБАКОВ Денис Александрович**, директор, d.chsherbakov.at@gmail.com,

¹**ТЕЛГАРАЕВА Анель**, тау-кен инженері, anelya.kazybaikyzy@bk.ru,

¹«Алтай» Шығыс Қазақстан өңірлік технопаркі» ЖШС, Қазақстан, Өскемен, Д. Серикбаев көшесі, 37,

²«Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті» КеАҚ, Қазақстан, Өскемен, А.К. Протозанов көшесі, 69,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Георадиолокациялық зондтау тау жыныстары массивіндегі жарықшақтарды картаға түсіруде кеңінен қолданылды. Жұмыстың мақсаты – Николаев тау-кен байыту фабрикасының құйрықтарындағы жарылғыш бұзылуларды анықтау. Жұмыстар Артемьев өндірістік кешенінде жүргізілді. Келесі геофизикалық зерттеулер жүргізілді: радиолокациялық зондтау, электрмагниттік профильдеу және дронды аэрофототүсірілім. Кешенде осы әдістерді қолдану әдістемесі геологиялық жұмыстардың тиімділігін арттыруға ықпал етеді. Мұның бәрі қаржылық, адами ресурстар мен уақытты үнемдеуге мүмкіндік береді.

Кілт сөздер: георадар, георадиолокациялық профильдеу, электрмагниттік профильдеу, аэрофототүсірілім, геофизикалық зерттеулер, мониторинг, Шығыс Қазақстан.

Geotechnical Monitoring of the Nikolaevsky Quarry Using Remote Sensing Methods

¹**FROLOVA Olga**, PhD, Leading Geological Engineer, olyafrolova3@gmail.com,

²***ZIMANOVSKAYA Natalya**, PhD, Associate Professor, nata_zim@mail.ru,

¹**OKHOTENKO Andrey**, Technician, aohotenko@yandex.kz,

¹**CHSHERBAKOV Denis**, Director, d.chsherbakov.at@gmail.com,

¹**TELGARAEVA Anel**, Mining Engineer, anelya.kazybaikyzy@bk.ru,

¹«East Kazakhstan Regional Technopark «Altai» LLP, Kazakhstan, Oskemen, D. Serikbayev Street, 37,

²NCJSC «D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University», Kazakhstan, Oskemen, A.K. Protozanov Street, 69,

*corresponding author.

Abstract. Georadiolocation sounding has been widely used in mapping cracks in the rock mass. The purpose of the work was to identify faults in the tailings of the Nikolaevsky mining and processing plant. The work was carried out at the Artemyevsky production complex. Geophysical research was carried out: georadar sounding, electromagnetic profiling and aerial photography with a drone. The methodology of applying these methods in a complex contributes to improving the efficiency of geological work. All this allows you to save money, human resources and time.

Keywords: georadar, georadiolocation profiling, electromagnetic profiling, aerial photography, geophysical research, monitoring, East Kazakhstan.

REFERENCES

1. Grandjean G., Gourry J.C. GPR data processing for 3D fracture mapping in a marble quarry (Thassos, Greece). Journal of Applied Geophysics, 36, 1996, pp. 19-30.
2. Orlando L. Semiquantitative evaluation of massive rock quality using ground penetrating radar. Journal of Applied Geophysics, 52, 2003, pp. 1-9.
3. Seol S.J., Kim J.H., Song Y., Chung S.H. Finding the strike direction of fractures using GPR. Geophysical Prospecting, 49, 2001, pp. 300-308.
4. Vladov M.L., Starovojtov A.V. Vvedenie v georadiolokaciju. Uchebnoe posobie. – Moscow: Publ. MGU, 2004. – 153 p.
5. Rekomendacii po provedeniyu georadiolokacionnyh izmerenij dlya resheniya geologicheskikh zadach / ООО «Logicheskie sistemy». Ramenskoe, 2008. 28 p.