

ГОРНОПРОМЫШЛЕННАЯ И НЕФТЕГАЗОВАЯ ГЕОЛОГИЯ, ГЕОФИЗИКА

УДК 550.832.9

DOI: 10.21440/0536-1028-2018-8-66-74

КАРОТАЖ ЕСТЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ НА ПРИМЕРЕ ГУСЕВОГОРСКОГО И СЕВЕРО-ТАРАТАШСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЙ

ВДОВИН А. Г.¹, ИВАНЧЕНКО В. С.¹

¹ Институт геофизики Уральского отделения РАН
(Россия, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, 100)

Целью работы является изучение эффекта естественного электромагнитного излучения на различных частотах (45 кГц, 80 кГц, 120 кГц) на Гусевогорском титаномагнетитовом месторождении и Северо-Тараташском железорудном месторождении и выделение наиболее информативного частотного диапазона.

Актуальность работы обуславливают впервые проведенные исследования связи естественного электромагнитного излучения (ЕЭМИ), измеренного в буровзрывных скважинах Гусевогорского месторождения, с напряженным состоянием горного блока и его трещиноватостью.

Методология исследования. Исследования проводились в буровзрывных скважинах Гусевогорского титаномагнетитового месторождения. Они включали первичные поточечные измерения на спуске скважинного прибора, непрерывные измерения при подъеме, а также повторные измерения после технологического подрыва близ расположенного блока. На Северо-Тараташском железорудном месторождении проведены исследования при выполнении одной спуско-подъемной операции. Представленные результаты измерений получены с использованием аппаратуры, разработанной в Институте геофизики УрО РАН.

Результаты. Приведены результаты опробования методики поточечного и непрерывного каротажа естественного электромагнитного излучения в скважинах на железорудных месторождениях различного типа. Данные эксперимента изучения зон трещиноватости горных пород, а также выявления тектонических нарушений в околоскважинном пространстве являются отражением практической реализации метода при изучении тектоники рудных полей.

Выводы. Проведенные в карьере исследования показали, что распределение уровней ЕЭМИ указывает на возможность обнаружения тектонических нарушений в околоскважинном пространстве по их динамической активности. Анализ результатов каротажа электромагнитной эмиссии, выполненного на разведочной скважине Северо-Тараташского железорудного месторождения, с точки зрения связи зон тектонического нарушения с высокоамплитудными аномалиями ЕЭМИ также позволил объяснить полученные в скважине результаты.

Ключевые слова: естественное электромагнитное излучение; железорудное месторождение; трещиноватость.

Введение. Горные удары, обвалы, внезапные выбросы и другие виды геодинамических проявлений являются причинами, затрудняющими разработку месторождений полезных ископаемых. Эти процессы порождаются в массивах горных пород действием полей больших механических напряжений, увеличивающихся

с глубиной обработки, а также вследствие структурной неоднородности и нарушенности массива, и определяются свойствами слагающих его горных пород. Динамически активные зоны в толщах пород могут являться причиной катастрофических явлений на поверхности Земли и разрушения крупных техногенно-опасных промышленных объектов. Процесс перерастания микротрещиноватости в макротрещины, в крупные нарушения сплошности, в зоны разломов был и остается одним из ведущих процессов в эволюции Земли, формировании геологических структур и образовании месторождений полезных ископаемых.

На границе разрывов берегов трещин возникают электрические заряды, которые сопровождаются естественным электромагнитным излучением (ЕЭМИ). Известно, что трещина практически никогда не распространяется равномерно, она пульсирует, скорость ее меняется по величине и по направлению, особенно при ветвлении. При этом от поверхности и вершины трещины отходят упругие волны, в результате чего релаксируют напряжения в среде. Этот процесс идет при любом режиме роста трещин. Однако трещина может застопориться у барьера в виде какой-либо неоднородности. Напряжения в ее вершине возрастают и после прорыва импульсно излучаются. Импульсные преобразования происходят и при крутом изменении траектории трещины [1].

В настоящее время при контроле над геодинамической обстановкой применяется мониторинг геофизических полей. В отечественной и зарубежной практике метод исследования электромагнитного излучения (ЭМИ) широко распространен вследствие простоты регистрации сигналов и большого количества разнообразных средств обработки и анализа данных.

Интерес ученых связан в основном с поиском прогностических признаков катастрофических природных явлений (землетрясений, горно-тектонических ударов), с теоретическим возникновением ЕЭМИ и с лабораторными экспериментами. Так, сравнение данных трехлетних наблюдений естественного электромагнитного излучения с подземной (скважина Г-1) и наземной антенной (пункт Карымшино), выполненное коллективом В. А. Гаврилова [2, 3], позволило установить условия приема наиболее важной информации для скважинных и наземных наблюдений (суточный ход электромагнитного излучения, нарушение суточного хода, уменьшение амплитуды суточного хода и снижение фонового уровня естественного электромагнитного излучения перед сильными землетрясениями, наличие корреляции между сигналами). Измерения электромагнитного излучения на частотах 5, 9 и 80 кГц, выполненные в Геофизической обсерватории Витоша (Болгария), показали отклонение интенсивности от нормального суточного изменения перед землетрясением в зоне Вранча [4]. В работах В. Н. Шумана, Ю. А. Богданова и других [5, 6] показана тесная связь измерений электромагнитного излучения в диапазоне частот 2–50 кГц с глубинной структурой геологического разреза. При проведении лабораторных исследований на моделях неоднородных сред, описанных в работе [7], показано, что ЭМИ возникает уже на первых стадиях нагружения, составляющих единицы и первые десятки процентов от разрушающих напряжений. В работе [8] лабораторными экспериментами установлено, что при импульсном акустическом возбуждении амплитудные параметры ЭМИ существенно зависят от проводимости горной породы, и при наличии небольшого процента акцессорных минералов в высокопроводящей породе значительно увеличиваются. На горнорудных предприятиях, шахтах, в лабораторных условиях изучают пространственно-временные закономерности процессов электромагнитного излучения, сопровождающие и предшествующие разрушению горных пород.

Ряд зарубежных ученых рассматривает возникновение ЭМИ в кГц–МГц диапазонах, наблюдающееся от нескольких дней до нескольких часов перед землетрясениями. В работе [9] показано, что электромагнитный импульс возникает при трении двух тектонически нарушенных областей и предшествует землетрясению. В работе [10] указывается, что появление электромагнитного предшественника землетрясения в килогерцевом диапазоне происходит в результате первичных разрушений неровностей.

Для оценки трещиноватости и нарушенности массива проводятся специальные исследования керна, кавернометрия, волновой акустический каротаж, скважинная электроразведка и т. д. Данные методы, как правило, позволяют судить лишь об образовавшихся зонах трещиноватости и нарушенности ствола скважины, но при этом не имеют возможности оценивать активность процессов трещинообразования в этих зонах и отслеживать их динамику.

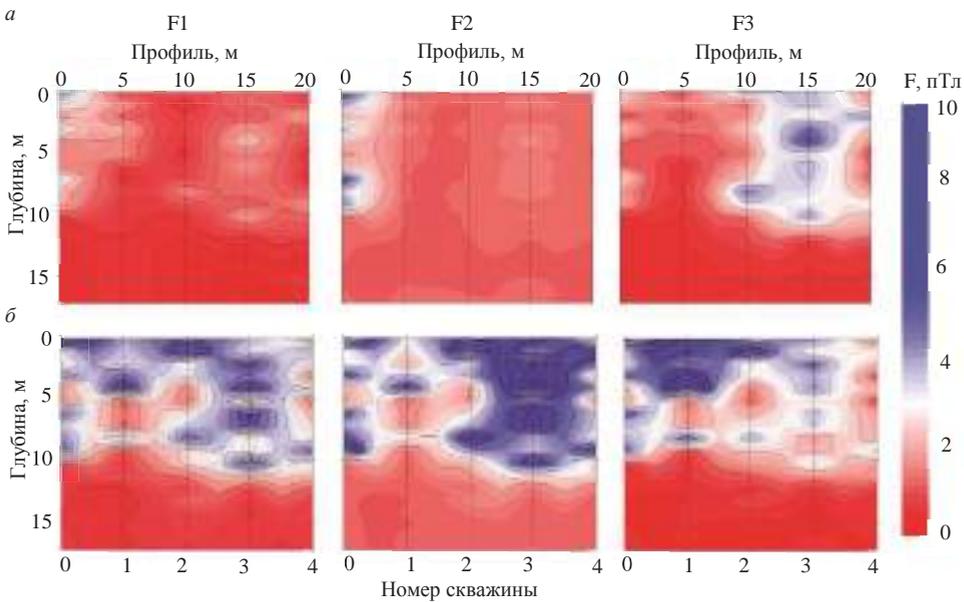


Рис. 1. Результаты измерений ЕЭМИ в скважинах на Гусевогорском титаномагнетитовом месторождении:

a – до взрыва; *б* – после взрыва

Fig. 1. The results of measuring NEMR in the wells of Gusevogorskoye titanomagnetite deposit:

a – before the explosion; *б* – after the explosion

Аппаратура и методика измерений. В институте геофизики УрО РАН разработан программно-аппаратурный комплекс МЭШ-42 [11], позволяющий одновременно и непрерывно производить измерения естественных электромагнитных полей на трех частотах 45 (F1), 80 (F2), 120 (F3) кГц и геоакустической эмиссии (ГАЭ) в частотных диапазонах 100–500, 500–5000 и 2500–5000 Гц. Если на нефтегазовых месторождениях измерения ГАЭ широко применяются для определения характера насыщенности коллекторов на стадии эксплуатации скважин и при контроле за разработкой нефтяных и газовых месторождений, то на рудных месторождениях на сегодняшний день исследования ЕЭМИ имеют лишь научный интерес и применяются на стадии разработки методико-технологической базы для определения и выделения нарушенности горных пород.

Блок ЕЭМИ выполнен по схеме супергетеродинного приемника. В качестве приемной антенны используется измерительное устройство с чувствительным магнитоприемником индукционного типа со стержневым ферритовым сердечником.

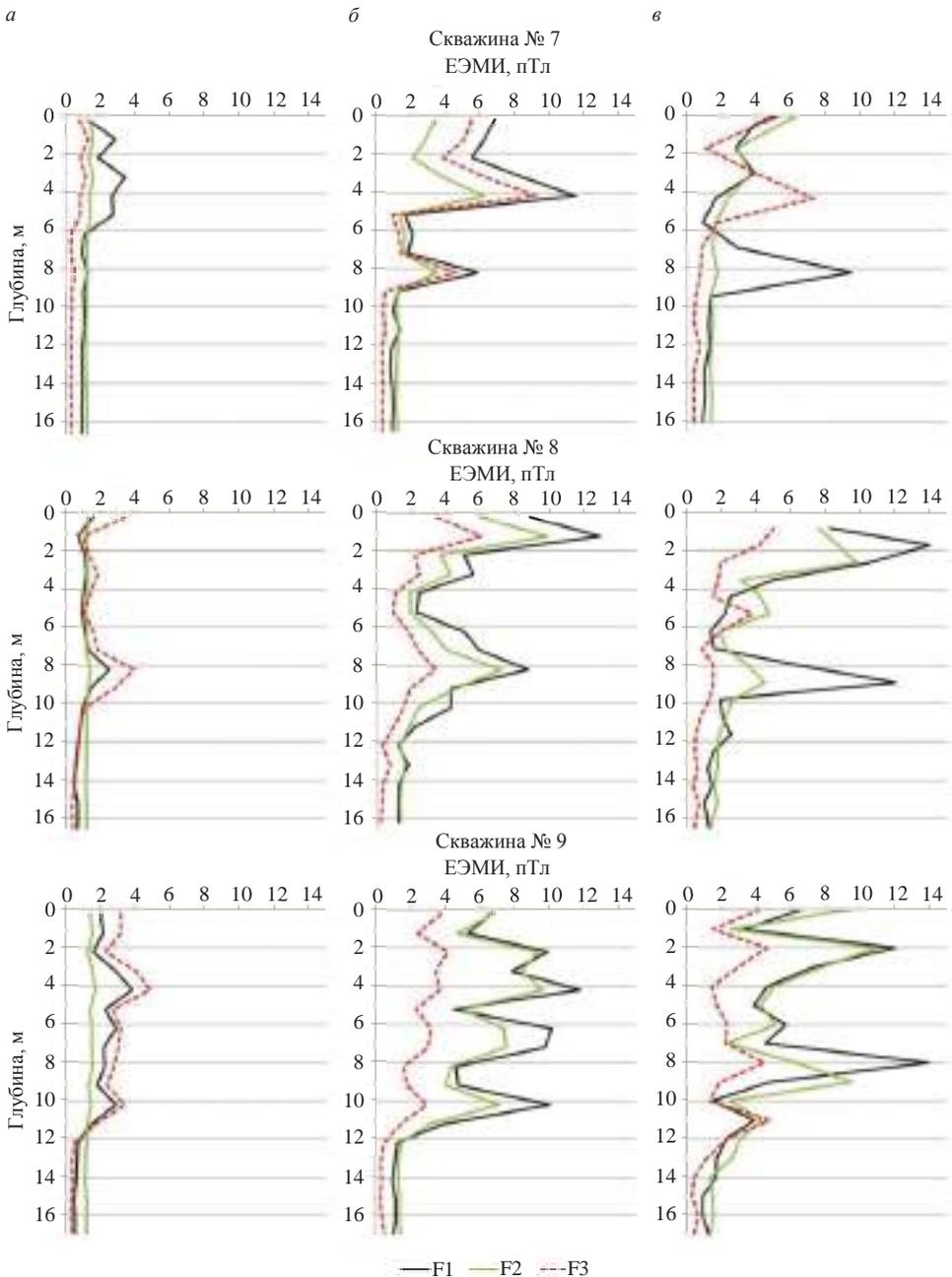


Рис. 2. Результаты ЕЭМИ в скважинах на Гусевогорском титаномagnetитовом месторождении:
а – до взрыва; *б* – после взрыва; *в* – непрерывный каротаж

Fig. 2. The results of NEMR in the wells of Gusevogorskoye titanomagnetite deposit:
a – before the explosion; *б* – after the explosion; *в* – continuous logging

Результаты исследований. Исследования проведены в буровзрывных скважинах на разрабатываемом Гусевогорском месторождении Качканарской группы. Гусевогорское месторождение территориально находится в Нижне-Туринском

районе Свердловской области. Промышленное оруденение представлено вкрапленностью титаномагнетита и сосредоточено в нескольких залежах. Добыча полезных ископаемых ведется карьерным способом. Рудные минералы представлены магнетитом и ильменитом.

В районах разработки и добычи полезных ископаемых всегда существует опасность проявления горно-тектонических ударов и техногенных землетрясений, что неизбежно влечет за собой экономические и человеческие потери. Поэтому проблема оценки степени воздействия природных и техногенных явлений

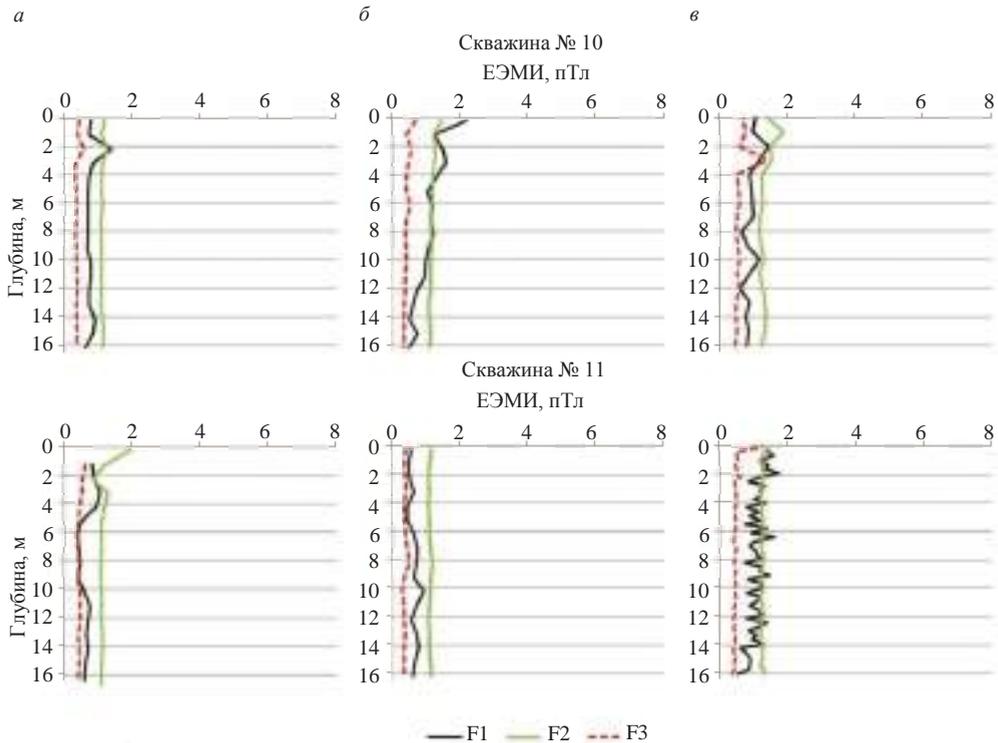


Рис. 3. Результаты ЕЭМИ в скважинах на Гусевогорском титаномагнетитовом месторождении: а – до взрыва; б – после взрыва; в – непрерывный каротаж

Fig. 3. The results of NEmR in the wells of Gusevogorskoye titanomagnetite deposit: а – before the explosion; б – after the explosion; в – continuous logging

на массив горных пород приобретает особую остроту. Поскольку электромагнитное излучение является чувствительным к микродеформациям, протекающим в геологической среде, проведение измерений в скважине позволяет получать новую информацию о динамике зарождения и развития структурного разрушения пород. Такие измерения представляют определенный интерес при выполнении каротажных работ, имеют практическое значение как при бурении скважин, так и при изучении тектоники месторождений.

Измерения выполнены до проведения взрывных работ в пяти буровзрывных скважинах Главного карьера, находящихся на одном профиле на расстоянии 5 м друг от друга (рис. 1, а). В скважине 3, находящейся на расстоянии 15 м от нулевой скважины, выделяется зона с повышенными значениями сигналов F3. Повторные измерения, выполненные через несколько часов после технологического взрыва близлежащего блока (рис 1, б), выявили сильную дифференциацию в сигналах ЕЭМИ (амплитудный уровень во всех трех частотных диапазонах увеличился). Анализ дополнительной информации показал, что при подготовке к тех-

нологическим взрывам и закачке взрывчатого вещества в тело скважины возникает проблема его перерасхода вследствие нарушения обрабатываемого блока (повышенная трещиноватость). Данная проблема решается путем использования специальных «рукавов» для закачки взрывчатого вещества, что влечет дополнительные экономические расходы.

Проведенные исследования послужили предпосылкой для разработки экспресс-метода анализа нарушения массива. Так, на первом этапе проводится поточечный каротаж естественного электромагнитного излучения. После спуска снаряда на забой скважины, на подъеме, ведется непрерывный каротаж. По данной методике были выполнены измерения в других буровзрывных блоках, которые, для контроля, включали также измерения после взрыва.

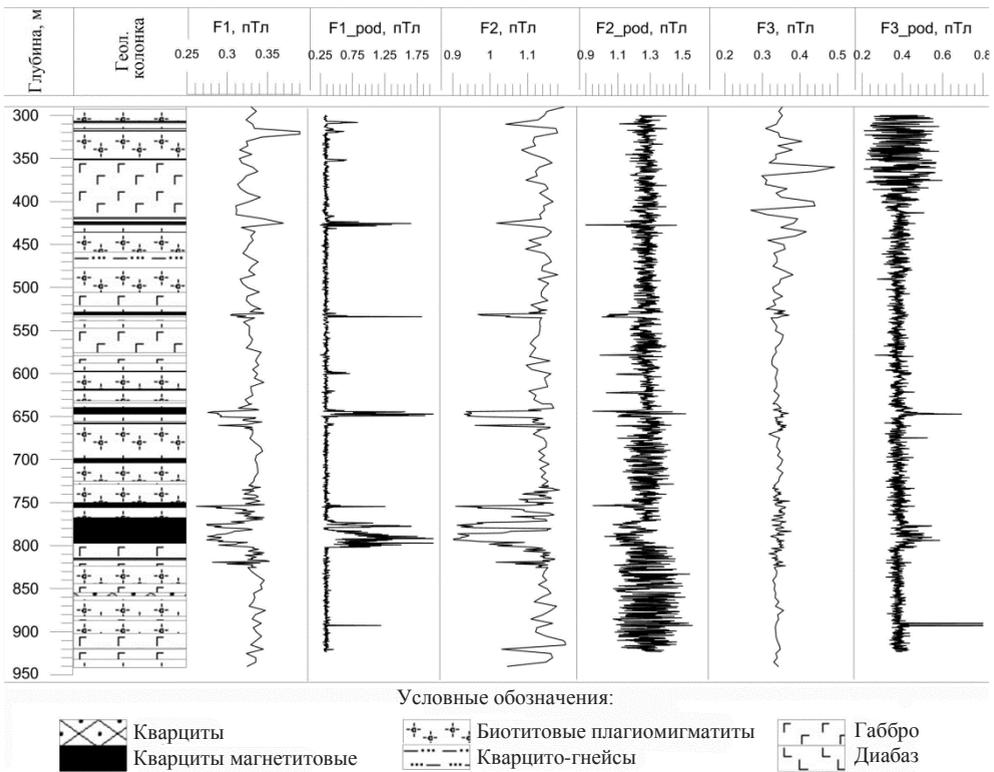


Рис. 4. Сопоставление каротажа ЕЭМИ по точкам (F) и при подъеме (F_{pod})
 Fig. 4. The comparison of NEMR logging by points (F) and when lifting (F_{pod})

На рис. 2 представлены измерения, выполненные в трех скважинах (скв. 7–9). Первичный поточечный каротаж (рис. 2, а) показал невысокий, близкий к фоновому, уровень сигналов. Измерения, выполненные на подъеме (рис. 2, в), выявили зоны, где уровень сигналов увеличивается до пяти раз. Повторный поточечный каротаж после взрыва (рис. 2, б) показал аналогичную картину, характер изменений интенсивности излучения похожий.

Проведение взрывных работ вызывает большие акустические и механические нагрузки, в результате чего происходит изменение напряженно-деформированного состояния массива горных пород. В плотно консолидированных породах увеличение сигналов ЕЭМИ не происходит, а в тектонически нарушенных зонах происходят процессы перераспределений напряжений, что и отражается на графиках. При проведении непрерывного каротажа при подъеме скважинного снаряда на стенки

скважины накладывает дополнительное механическое воздействие, которое, несмотря на много меньший масштаб по сравнению со взрывными работами, вызывает сопоставимые по амплитуде сигналы в зонах высоких напряжений.

На рис. 3 приведены результаты измерений, выполненных в двух скважинах на другом блоке карьера (скв. 10, 11).

По измеренным значениям можно сделать вывод о том, что исследуемые массивы не имеют в своем составе нарушенных зон, подверженных напряжениям, т. е. массив плотно консолидированный.

На рис. 4 приведены результаты измерений естественного электромагнитного излучения в скважине на Северо-Тараташском железорудном месторождении.

Поточечные измерения показали, что при общем фоновом уровне выделяются участки с низкими показателями естественного электромагнитного излучения на частотах 45 и 80 кГц, соответствующие зонам оруденения. Это объясняется тем, что магнетитовый слой выступает своего рода «экраном» вследствие потери энергии электромагнитного сигнала в проводящей среде. С другой стороны, при проведении непрерывного каротажа описанные интервалы выделяются положительными аномалиями по F1, что говорит о наличии микродефектов в околоскважинном пространстве, возможно, вызванных нарушением сплошности массива горных пород в результате бурения. В интервал 300–400 м на диаграмме на частоте 120 кГц (F3) по поточечным и непрерывным измерениям выделяется высокоамплитудная знакопеременная аномалия. Скважина пробурена вблизи двух известных тектонических нарушений (разломов) земной коры [12]. Измерения геоакустической эмиссии также свидетельствуют о процессах интенсивного трещинообразования в этой зоне.

Обсуждение результатов и выводы. При изучении сигналов электромагнитной эмиссии на Гусевогорском железорудном месторождении предполагалось, что титаномагнетитовая руда в силу своей высокой электропроводности будет являться экраном для естественного электромагнитного излучения и основным информативным параметром будут сигналы геоакустической эмиссии (ГАЭ). Однако проведенные в карьере исследования показали, что распределение уровней ЕЭМИ указывает на возможность обнаружения тектонических нарушений в околоскважинном пространстве по их динамической активности. Анализ результатов каротажа электромагнитной эмиссии, выполненного на разведочной скважине Северо-Тараташского железорудного месторождения, с точки зрения связи зон тектонического нарушения с высокоамплитудными аномалиями ЕЭМИ также позволил объяснить полученные в скважине результаты.

Приведенные данные эксперимента изучения зон трещиноватости горных пород, а также выявления тектонических нарушений в околоскважинном пространстве являются отражением практической реализации метода при изучении тектоники рудных полей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дьяконов Б. П., Мартышко П. С., Троянов А. К., Астраханцев Ю. Г., Начапкин Н. И. Выделение периодичностей низкочастотных деформационных процессов в вариациях электромагнитного излучения в Уральской сверхглубокой скважине // Доклады Академии наук. 2010. Т. 430. № 1. С. 105–107.
2. Гаврилов В. А., Власов Ю. А., Морозова Ю. В., Федористов О. В., Яковлева Ю. Ю. Методы и результаты скважинных геоакустических и электромагнитных измерений на Камчатском геодинамическом полигоне // Связь поверхностных структур земной коры с глубинными: матер. XIV Международ. конф. Ч. 1. Петропавловск: КарНЦ, 2008. С. 107–108.
3. Гаврилов В. А., Дружин Г. И., Полтавцева Е. В. Результаты одновременных измерений естественных электромагнитных СНЧ-ОНЧ излучений с использованием подземной и наземной антенн // Солнечно-земные связи и предвестники землетрясений: сб. докл. IV Международ. науч. конф. Доп. том. Петропавловск-Камчатский: ИКИР ДВО РАН, 2007. С. 14–19.
4. Ралговски Ц. М., Комаров Л. И. Об электромагнитных предвестниках землетрясений во Вранче 30.08.1986 г. // Известия Академии наук СССР. Физика Земли. 1988. № 11. С. 72–76.

5. Шуман В. Н. Электромагнитные сигналы литосферного происхождения в современных наземных и дистанционных зондирующих системах // Геофизический журнал. 2007. Т. 29. № 2. С. 3–16.

6. Богданов Ю. А., Бондаренко Н. В., Захаров И. Г., Лойко Н. П., Лусин В. В., Черняков А. М., Чертов О. Р. Аппаратурно-методическое обеспечение метода анализа спонтанной электромагнитной эмиссии Земли // Геофизический журнал. 2009. Т. 31. № 4. С. 34–43.

7. Шамина О. Г. Об особенностях спектров продольных и поперечных волн // Физика Земли. 2000. № 11. С. 35–39.

8. Беспалько А. А., Яврович Л. В., Федотов П. И. Связь параметров электромагнитных сигналов с электрическими характеристиками горных пород при акустическом и квазистатическом воздействиях // Известия Томского политехнического университета. 2005. Т. 308. № 7. С. 18–23.

9. Eftaxias K., Contoyiannis Y., Balasis G., Karamanos K., Kopanas J., Antonopoulos G., Koulouras G., and Nomicos C. Evidence of fractional-Brownian-motion-type asperity model for earthquake generation in candidate pre-seismic electromagnetic emissions // Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 2008. No. 8, P. 657–669.

10. Potirakis S. M., Minadakis G., and Eftaxias K. Relation between seismicity and pre-earthquake electromagnetic emission in terms of energy, information and entropy content // Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 2012. No. 12, P. 1179–1183.

11. Астраханцев Ю. Г., Белоглазова Н. А., Троянов А. К., Глухих И. И., Вдовин А. Г. Сквжинные исследования динамического состояния горных пород с использованием новой аппаратуры // Уральский геофизический вестник. 2013. № 2 (22). С. 4–12.

12. Антипин А. Н., Баженова Е. А., Вдовин А. Г., Федосов М. А., Хацкевич Б. Д. Результаты комплексирования наземных геофизических методов на Северо-Тараташском участке // Уральский геофизический вестник. 2017. № 2 (30). С. 4–8.

Поступила в редакцию 13 июня 2018 года

Для цитирования: Вдовин А. Г., Иванченко В. С. Каротаж естественного электромагнитного излучения на железорудных месторождениях на примере Гусевогорского и Северо-Тараташского месторождений // Известия вузов. Горный журнал. 2018. № 8. С. 66–74.

Сведения об авторах:

Вдовин Алексей Геннадьевич – научный сотрудник Института геофизики УрО РАН. E-mail: agvd@bk.ru

Иванченко Виктор Сергеевич – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института геофизики УрО РАН. E-mail: ivanченко_05@mail.ru

LOGGING OF NATURAL ELECTROMAGNETIC RADIATION IN IRON ORE DEPOSITS BY THE EXAMPLE OF GUSEVOGORSKOYE AND SEVERO-TARATASHSKOYE DEPOSITS

Vdovin A. G.¹, Ivanchenko V. S.¹

¹ Institute of Geophysics, UB RAS, Ekaterinburg, Russia.

Research aim is to study the effect of natural electromagnetic radiation at various frequencies (45 kHz, 80 kHz, and 120 kHz) at the Gusevogorskoye titanomagnetite deposit and Severo-Taratashskoye iron ore deposit, and distinguish the most informative frequency range.

Research relevance conditions in the first conducted studies of the connection between natural electromagnetic radiation (NEMR), measured in the drilling and blasting wells of the Gusevogorskoye deposit, and the strained state of the rock block and its rock jointing.

Research methodology. The research was conducted in drilling and blasting wells of the Gusevogorskoye titanomagnetite deposit. It included primary point-to-point measurements when lowering a sonde, continuous measurements during lifting, and repeated measurements after technological explosion near the located block. At the North Taratashskoye iron ore deposit, investigations were carried out during one run. The presented measurement results were obtained using apparatus developed at the Institute of Geophysics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.

Results. The results of testing the technique of point-to-point and continuous logging of natural electromagnetic radiation in wells at iron ore deposits of various types are presented. The data of the experiment on studying the zones of rock jointing, as well as tectonic disturbances detection in the wellbore space, are a reflection of the method practical implementation in the study of the ore field tectonics.

Conclusions. Studies carried out in the quarry have shown that the distribution of the NEMR levels indicates the possibility of detecting tectonic disturbances in the wellbore space by their dynamic activity. The electromagnetic emission logging results analysis performed at the exploratory well of the Severo-Taratashskoye iron ore deposit, from the point of view of tectonic disturbance zones tie with NEMR high-amplitude anomalies, also allowed to explain the results obtained in the well.

Key words: natural electromagnetic radiation; iron ore deposit; rock jointing.

The research has been carried out with finance support from the project of UB RAS no. 18-5-5-52.

DOI: 10.21440/0536-1028-2018-8-66-74

REFERENCES

1. D'iakonov B. P., Martyshko P. S., Troianov A. K., Astrakhantsev Iu. G., Nachapkin N. I. [Identifying periodicities in low frequency deformational processes in the variations of electromagnetic radiation in the Ural super-deep well]. *Doklady Akademii nauk – Proceeding of the USSR Academy of Sciences*, 2010, vol. 430, no. 1, pp. 105–107. (In Russ.)
2. Gavrilo V. A., Vlasov Iu. A., Morozova Iu. V., Fedoristov O. V., Iakovleva Iu. Iu. [Methods and results of borehole geo-acoustic and electromagnetic measurements at the Kamchatka geodynamic polygon. Proc. 14th Internat. Conf. "Connection between the Surface Structures and Underlying Structures of the Earth's Crust". Pt. 1]. Petrozavodsk, Karelian RC RAS Publ., 2008, pp. 107–108. (In Russ.)
3. Gavrilo V. A., Druzhin G. I., Poltavtseva E. V. [Results of simultaneous measurements of the natural electromagnetic SLF-VLF radiations with the use of subsurface and ground based antennae. Proc. 4th Internat. Sci. Conf. "Solar-Terrestrial Bonds and Earthquake Precursors". Suppl. vol.]. Petropavlovsk-Kamchatsky, IKIR FEB RAS Publ., 2007, pp. 14–19. (In Russ.)
4. Ralgovski Ts. M., Komarov L. I. [Regarding electromagnetic earthquake precursors in Vrancea on 30th August, 1986]. *Izvestiia Akademii nauk SSSR. Fizika Zemli – Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR. Terrestrial Physics*, 1988, no. 11, pp. 72–76. (In Russ.)
5. Shuman V. N. [Electromagnetic signals of lithospheric origin in modern ground based and remote sounding systems]. *Geofizicheskii zhurnal – Geophysical Journal*, 2007, vol. 29, no. 2, pp. 3–16. (In Russ.)
6. Bogdanov Iu. A., Bondarenko N. V., Zakharov I. G., Loiko N. P., Lusin V. V., Cherniakov A. M., Chertov O. R. [Hardware-methodological support of the method of terrestrial spontaneous electromagnetic emission analysis]. *Geofizicheskii zhurnal – Geophysical Journal*, 2009, vol. 31, no. 4, pp. 34–43. (In Russ.)
7. Shamina O. G. [Regarding the features of longitudinal and transverse waves spectra]. *Fizika Zemli – Physics of the Solid Earth*, 2000, no. 11, pp. 35–39. (In Russ.)
8. Bespal'ko A. A., Iavrovich L. V., Fedotov P. I. [Connection between the parameters of electromagnetic signals and electric characteristics of rocks under acoustic and quasi-static impacts]. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta – Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2005, vol. 308, no. 7, pp. 18–23. (In Russ.)
9. Eftaxias K., Contoyiannis Y., Balasis G., Karamanos K., Kopanas J., Antonopoulos G., Koulouras G., and Nomicos C. Evidence of fractional-Brownian-motion-type asperity model for earthquake generation in candidate pre-seismic electromagnetic emissions. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 2008, no. 8, pp. 657–669.
10. Potirakis S. M., Minadakis G., and Eftaxias K. Relation between seismicity and pre-earthquake electromagnetic emission in terms of energy, information and entropy content. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 2012, no. 12, pp. 1179–1183.
11. Astrakhantsev Iu. G., Beloglazova N. A., Troianov A. K., Glukhikh I. I., Vdovin A. G. [Borehole investigations of the dynamic state of rocks using new equipment]. *Ural'skii geofizicheskii vestnik – Ural Geophysical Bulletin*, 2013, no. 2 (22), pp. 4–12. (In Russ.)
12. Antipin A. N., Bazhenova E. A., Vdovin A. G., Fedosov M. A., Khatskevich B. D. [The results of integration of the ground based geophysical methods at the North-Taratash section]. *Ural'skii geofizicheskii vestnik – Ural Geophysical Bulletin*, 2017, no. 2 (30), pp. 4–8. (In Russ.)

Information about authors:

Vdovin Aleksei Gennad'evich – researcher of the Institute of Geophysics, Ural Branch of RAS. E-mail: agvd@bk.ru

Ivanchenko Viktor Sergeevich – Candidate of Geological-Mineralogical Science, senior researcher of the Institute of Geophysics, Ural Branch of RAS. E-mail: ivanchenko_05@mail.ru