DOI:10.25698/UGV.2024.2.6.49 УДК 550.832

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОН ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД В МЕЖСКВАЖИННОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Баженова Е.А., Дорогань У.В. – Институт геофизики им.Ю.П. Булашевича УрО РАН, Екатеринбург

Аннотация. В работе рассматривается методика определения зон геодинамической активности горных пород межскважинного пространства в пределах рудного месторождения по результатам построения литолого-геофизических профилей по соседним скважинам. Определены участки напряженно-деформированного состояния горных пород в межскважинном пространстве, выделенные по результатам каротажа электромагнитного излучения (ЭМИ) на частоте 120 кГц. Рассчитаны коэффициенты корреляции между аномалиями кривых ЭМИ. Рассмотрен возможный источник выделенных аномальных зон электромагнитного излучения в межскважинном пространстве.

Электромагнитное излучение, скважина, каротаж, напряженно-деформированное состояние, геодинамическая активность

Введение

Изучение современной геодинамической обстановки рудных месторождений является важным вопросом на начальной стадии разработки полезных ископаемых для предотвращения возможных катастрофических явлений, возникающих в процессе добычи ресурсов. Известные в настоящее время методы геолого-геофизических, геодезическо-маркшейдерских, геомеханических и гидрогеологических исследований геодинамической активности массивов горных пород проводятся уже в процессе разработки месторождений для отслеживания изменения напряженно-деформированного состояния разрабатываемых участков (Романевич, 2015), однако не всегда удаётся предсказать такие техногенные катастрофические явления, как горные удары, обвалы, оползни и т.д. Одной из причин техногенных событий может быть образование областей зональной дезинтеграции массивов горных пород вокруг цилиндрической выработки (Смирнов, Дырдин, 2017), в частности – скважины. Зональная дезинтеграция выражается в формировании областей разрушения и трещиноватости, чередующиеся с неразрушенными участками массива. Основной характеристикой данного явления можно считать то, что вследствие различного воздействия на массив горных пород происходит формирование зоны разгрузки и эволюция системы трещин, вызывающие образование новых зон дезинтеграции на некотором расстоянии от первой.

Одним из примеров зон дезинтеграции массивов горных пород в условиях естественного залегания могут служить участки кавернообразования в стволах скважин, влияющие на проведение геолого-геофизических исследований. Образование каверн является своего рода завершающей стадией разрушения массива, которая отражается на диаграммах кавернометрии. Начальную стадию образования зоны дезинтеграции, стадию изменения напряженно-деформированного состояния горных пород и зарождения трещин, можно выявить, применяя методы скважиной геофизики, являющиеся индикаторами процессов трещинообразования. К таким методам относятся измерения сигналов геоакустической эмиссии и электромагнитного излучения. Отклик сигналов акустической эмиссии (АЭ) и электромагнитного излучения (ЭМИ) на изменение напряженно-деформированного состояния массивов и образования и распространения трещин был обнаружен еще в прошлом столетии. В настоящее время исследование взаимосвязи сигналов АЭ и ЭМИ при изменении напряженно-деформированного состояния, как в лабораторных, так и в реальных условиях ведется в различных научных направлениях. Так, авторами (Вострецов и др., 2013; Kong et. al., 2018; Кульков, Имашев, 2019; Бизяев и др., 2020) описываются эксперименты по установлению связи между стадиями разрушения образцов горных пород и сигналами электромагнитного излучения и геоакустической эмиссии (ГАЭ) в лабораторных условиях. В реальных условиях измерения сигналов ЭМИ и ГАЭ выполняют в

шахтах и на карьерах для выявления и мониторинга зон повышенной напряженности в массивах горных пород и для оценки реакции геологической среды на техногенные взрывы (Рассказов и др., 2011; Потапов, Шведикова, 2011; Рассказов и др., 2015; Вдовин, Белоглазова, 2020; Zhang et. al., 2020). На дневной поверхности измерения выполняют для исследования естественных электромагнитных и геоакустических сигналов литосферного происхождения и выявления тектонически нарушенных зон (Боков, Воробьев, 2013; Уваров и др., 2016; Hamimi et. al., 2018). Измерения сигналов ГАЭ и ЭМИ в скважинах позволяют выявлять зоны повышенной напряженности и трещиноватости массивов горных пород в естественном залегании и оценивать связь вариаций сигналов ГАЭ и ЭМИ с деформационными процессами известной физической природы (Троянов и др., 2011; Гаврилов и др., 2015; Беляков и др., 2017).

В данной работе впервые показаны возможности применения каротажа электромагнитного излучения для определения зон геодинамической активности горных пород в межскважинном пространстве на примере Северо-Тараташского участка.

Объект исследований

Планомерное исследование геологического строения Северо-Тараташского участка было начато с 1930 года и окончено лишь несколько лет назад. Основная цель исследований заключалась в поиске и разведке месторождений железной руды и попутных ценных компонентов. В ходе всесторонних геологических и геофизических исследований был выявлен ряд месторождений железистых кварцитов Северо-Тараташского выступа (Формации…, 1984).

Исследуемый участок «относится к Куватальскому проявлению, к третьей группе по сложности геологического строения. Проявление Куватал расположено в северо-восточной части Тараташского рудного района. В структурном плане проявление приурочено к северо-восточной части Тараташского антиклинория, граничащего на востоке с позднепротерозойским прогибом Уралтауской структурно-фациальной зоны по Юрюзань-Зюраткульскому глубинному разлому, который представлен здесь Восточно-Тараташской зоной рассланцевания. Проявление магнетитовых кварцитов Куватал локализовано в интенсивно дислоцированном юго-восточном крыле Куватальско-Лысогорской антиклинали, которое представляет собой некрутую (30-50°) моноклиналь, осложнённую флексурами и флексуроподобными складками волочения, разделёнными между собой на тектонические блоки дизъюнктивами взбросо-надвигового характера.

На площади проявления Куватал выделяется шесть тектонических блоков. Тектонические блоки разделены между собой пятью взбросо-надвигами. Падение сместителей взбросо-надвигов умеренно крутое 60–40° до пологого 20–10° на восток-юго-восток в центральной и южной части проявления; на восток-северо-восток в северной части, сходящееся и расходящееся, что создаёт чешуйчато-надвиговый рисунок тектоники. За счёт расчленённости рельефа в плане взбросо-надвиги имеют волнообразную форму. В северо-восточных сечениях они имеют террасообразную форму с примыканием друг к другу, в юго-восточных направлениях прямолинейные секущие линии с глубиной переходящие в параболически изогнутые.

Тектонические зоны взбросо-надвигов являются несомненными магмоводами, по которым произошло внедрение маломощных (до первых десятков метров) тел гранофировых и крупнопорфировых диабазовых порфиритов, диабазов и двупироксеновых габбро–диабазов.

Для всего проявления Куватал характерен постепенный переход как сверху вниз, так и с севера на юг мигматитов в гнейсы» (Технико-экономическое обоснование…, 2017).

Таким образом, исследуемый участок имеет сложное геологическое и тектоническое строение, и представляет научный и практический интерес при изучении современной геодинамической обстановки.

Цель и задачи исследования

Основной целью исследований Северо-Тараташского участка является изучение его современной геодинамической активности. Основные задачи исследования – оценка напряженно-

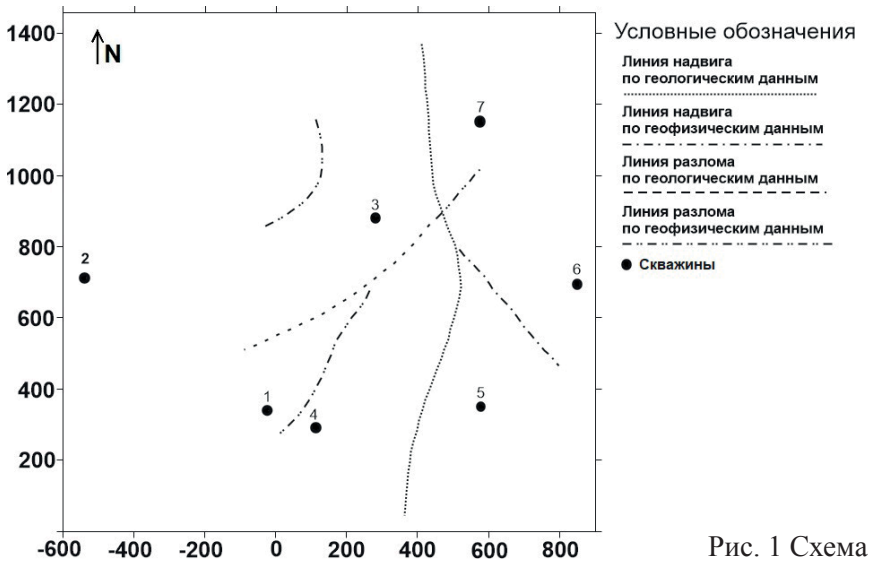


Рис. 1 Схема тектонических нарушений

деформированного состояния горных пород и выявление в межскважинном пространстве зон геодинамической активности.

Методика исследований

Для оценки напряженно-деформированного состояния горных пород и выявления в межскважинном пространстве зон геодинамической активности, проводилось обобщение данных о тектоническом строении части Северо-Тараташского железорудного месторождения на участке общей площадью 1400 м х 1400 м. По имеющейся геологической и геофизической информации была составлена схема тектонических нарушений в районе ранее исследованных скважин (рис. 1) в масштабе 1:10000.

Расстояние между скважинами изменяется от 160 м (скв. 1 и 4) до 1180 м (скв. 2 и 7). Наиболее удалённой от выявленных тектонических нарушений является скважина 2, находящаяся в западной части участка, а самые близкие к разлому, выделенному по геофизическим данным, являются скважины 1 и 4. При этом интерес представляет и скважина 3, находящаяся в непосредственной близости от нескольких дизъюнктивов.

Таким образом, район скважин 1–3–4 наиболее актуален для выявления зон геодинамической активности горных пород в межскважинном пространстве.

По результатам ранее выполненных работ по скважинам Северо-Тараташского участка с аппаратурно-программным комплексом МЭШ-42 (Белоглазова и др., 2017; Баженова, 2022), индикатором напряженно-деформированного состояния и геодинамической активности горных пород в пределах исследуемого участка был выбран параметр электромагнитного излучения на частоте 120 кГц (*F*3).

Выбор частоты сигналов ЭМИ для отслеживания зон геодинамической напряжённости обусловлен тем, что на более низких частотах возникновение электромагнитной эмиссии часто связано с зонами оруденения и узких контактов горных пород с разными прочностными свойствами. Также, при сопоставлении результатов каротаж ЭМИ по 7-ми скважинам были выявлены общие характерные особенности аномальных участков кривых параметра *F*3 в интервале глубин 200–600 м, что позволило предположить о наличии общего источника ЭМИ в данном частотном диапазоне в районе исследованных скважин.

По имеющейся геологической информации были построены литологические разрезы каждой скважины. На каждый разрез были нанесены результаты измерения сигналов ЭМИ на частоте 120 кГц в интервале глубин 200–600 м. Для выявления связи сигналов ЭМИ с литологией и тектоническими нарушениями были проведены расчёты коэффициентов корреляции уровня электромагнитной эмиссии между соседними скважинами. Коэффициенты корреляции рассчитывались для участков с аномальными флуктуациями сигналов ЭМИ, имеющих сопо-

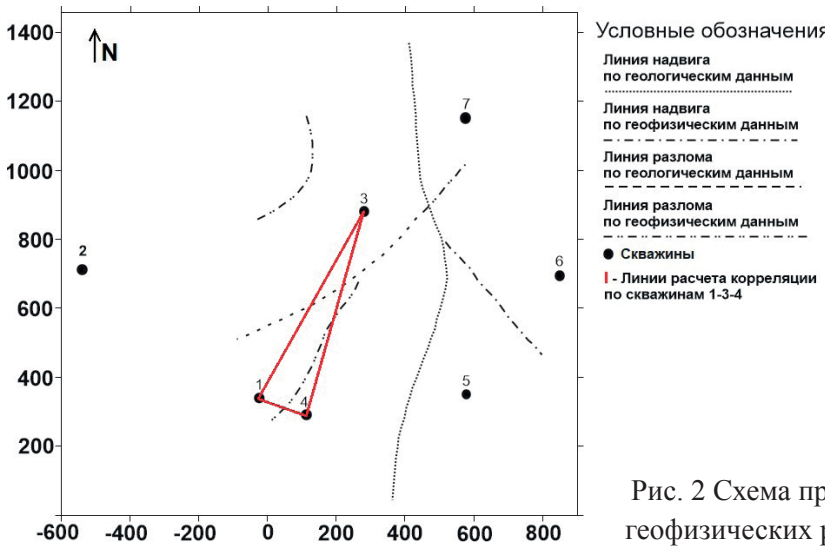


Рис. 2 Схема профилей для построения литолого-геофизических разрезов между скважинами 1–3–4

ставимую форму аномалии. Для расчета коэффициентов с кривых ЭМИ снимались пиковые значения амплитуд сигналов. Коэффициенты корреляции рассчитывались на уровне значимости 0,05.

Результаты и обсуждения

На рис. 2 представлена схема для построения литолого-геофизических разрезов и расчетов коэффициентов корреляции по скважинам 1–3–4. Как было сказано выше, этот участок интересен тем, что скважины 1 и 4 находятся в непосредственной близости от разлома, а расстояние между ними составляет всего лишь 160 м.

На рис. 3 представлен литолого-геофизический разрез между скважинами 1 и 4. Несмотря на то, что скважины находятся очень близко, наблюдается сильное различие в их литологическом составе, обусловленное тектоническим нарушением, проходящим между ними. Основными породами, слагающими стенки скважины 1, являются гнейсы, пересечённые дайками долеритов, в то время как в разрезе скважины 4 преобладают мигматиты.

Наиболее чёткую корреляцию геологического строения можно провести лишь по дайкам долеритов, габбро и биотитовых плагиомигматитов, проследить остальные породы в межскважинном пространстве достаточно сложно. Прослеживается восстающее залегание даек от скважины 1 к скважине 4 (с-з падение). По кривой ЭМИ в скважине 1 можно выделить два аномальных участка. Первый находится в интервале глубин 348–428 м и отмечается довольно интенсивной знакопеременной аномалией с амплитудными отклонениями от среднего уровня до ±0,2 пТл, приуроченой к переслаиванию долеритов, гнейсов и габбро. Вторая зона в интервале глубин 508–580 м отмечается, слабой положительной аномалией, приуроченной к биотитовым плагиомигматитам и частично долеритам с гнейсами. В скважине 4 по кривой ЭМИ так же выделяется два аномальных интервала. Первый, 395–475 м представляет собой интенсивную, преимущественно, знакопеременную аномалию с отклонением от среднего уровня до ±0.2 пТл, приуроченную к переслаиванию долеритов и биотитовых плагиомигматитов. Второй участок находится в интервале глубин 475–560 м, и представляет собой слабую положительную аномалию, приуроченную к биотитовым плагиомигматитам с дайкой габбро.

В скважине 4 формы аномалий ЭМИ несколько отличаются от аномалий в скважине 1, но, тем не менее, интерполяция между ними возможна. На рисунке 3 красными линиями отмечены границы аномальных зон в межскважинном пространстве по профилю 1–4. Падение первого аномального участка между скважинами 1–4 юго-восточное и не совпадает с падением пород, тогда как падение второй аномальной зоны совпадает с залеганием биотитовых плагиомигматитов.

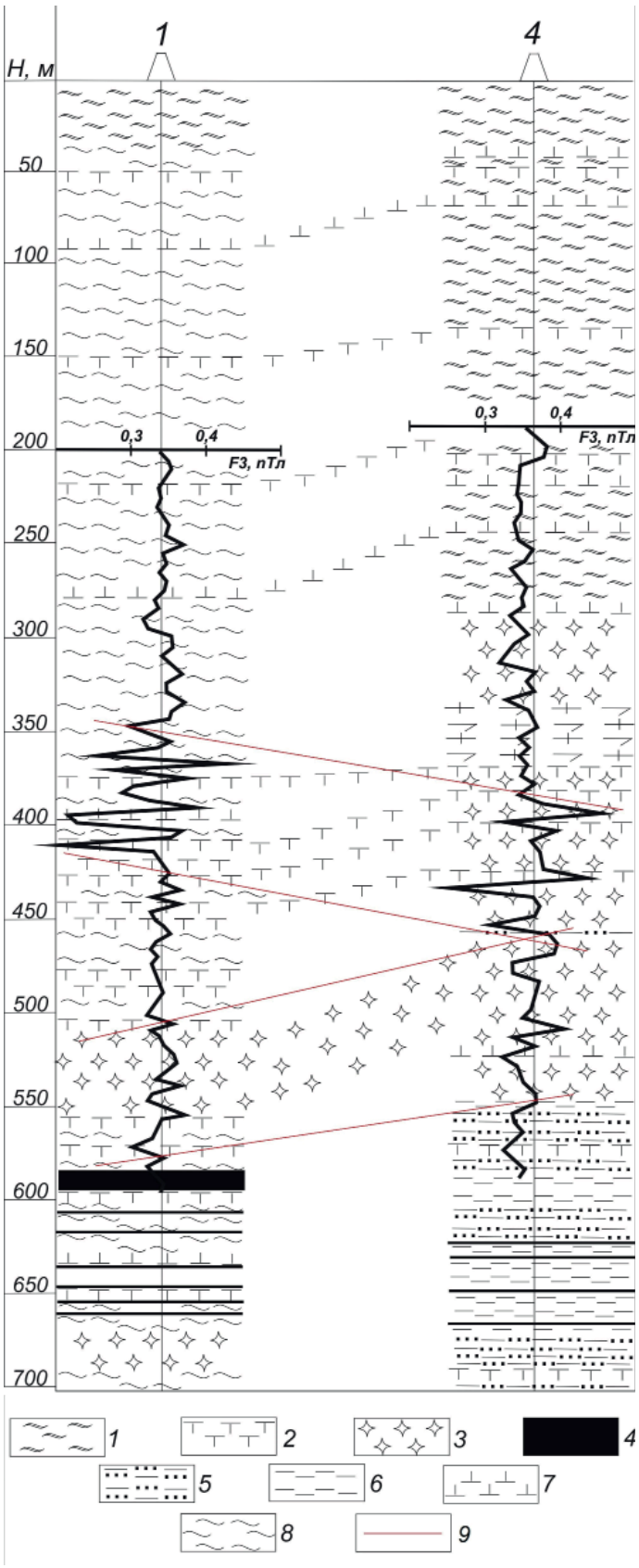


Рис. 3 Геолого-геофизический разрез между скважинами 1 и 4

1 – мигматиты; 2 – долериты; 3 – биотитовые плагиомигматиты; 4 – магнетитовые кварциты; 5 – кварцито-гнейсы; 6 – кристаллические сланцы; 7 – габбро; 8 – гнейсы; 9 – границы аномальных зон ЭМИ

Для подтверждения правильности межскважинной корреляции были рассчитаны коэффициент корреляции аномальных интервалов кривых ЭМИ. На уровне значимости 0,05 коэффициент корреляции верхней аномалии составил 0,91, а нижней – 0,86.

Похожая картина наблюдается на геолого-геофизическом разрезе по профилю 1–3, представленному на рисунке 4. Расстояние между скважинами 1 и 3 составляет 620 м. Литологические разрезы между скважинами 1 и 3 практически не совпадают. Основными породами скважины 3 являются биотитовые плагиомигматиты, амфиболитовые гнейсы, долериты и габбро, магнетитовые кварциты. Наиболее четкую корреляцию можно проследить лишь по биотитовым плагиомигматитам, дайкам долеритов и габбро. Прослеживается восстающее залегание пород от скважины 1 к скважине 3 (с-з падение).

По кривой ЭМИ в скважине 3 аномальная зона охватывает интервал глубин 398–590 м, представляет интенсивную знакопеременную аномалию с максимальным отклонением от среднего уровня до ±0,15 пТл. Аномалия приурочена к массивам амфиболитовых гнейсов, биотитовых плагиомигматитов и габбро. Не смотря на различие в ширине аномалий кривых ЭМИ между скважинами 1 и 3, интерполяция возможна, так как прослеживается сопоставимость форм аномалий ЭМИ. На геолого-геофизическом разрезе по линии 1–3 границы аномалий в межскважинном пространстве так же отмечены красными линиями (см. рис. 4). Наблюдается юго-восточное падение зоны дезинтеграции между скважинами и увеличение её мощности в скважине 3. Коэффициент корреляции между аномальными интервалами ЭМИ, на уровне значимости 0,05 составил 0,78.

Расстояние между скважинами 3 и 4 составляет порядка 630 м. Корреляцию геологического разреза межскважинного пространства можно провести по долеритам и амфиболитовым гнейсам (рис. 5). Падение пород северо-западное. Ано-

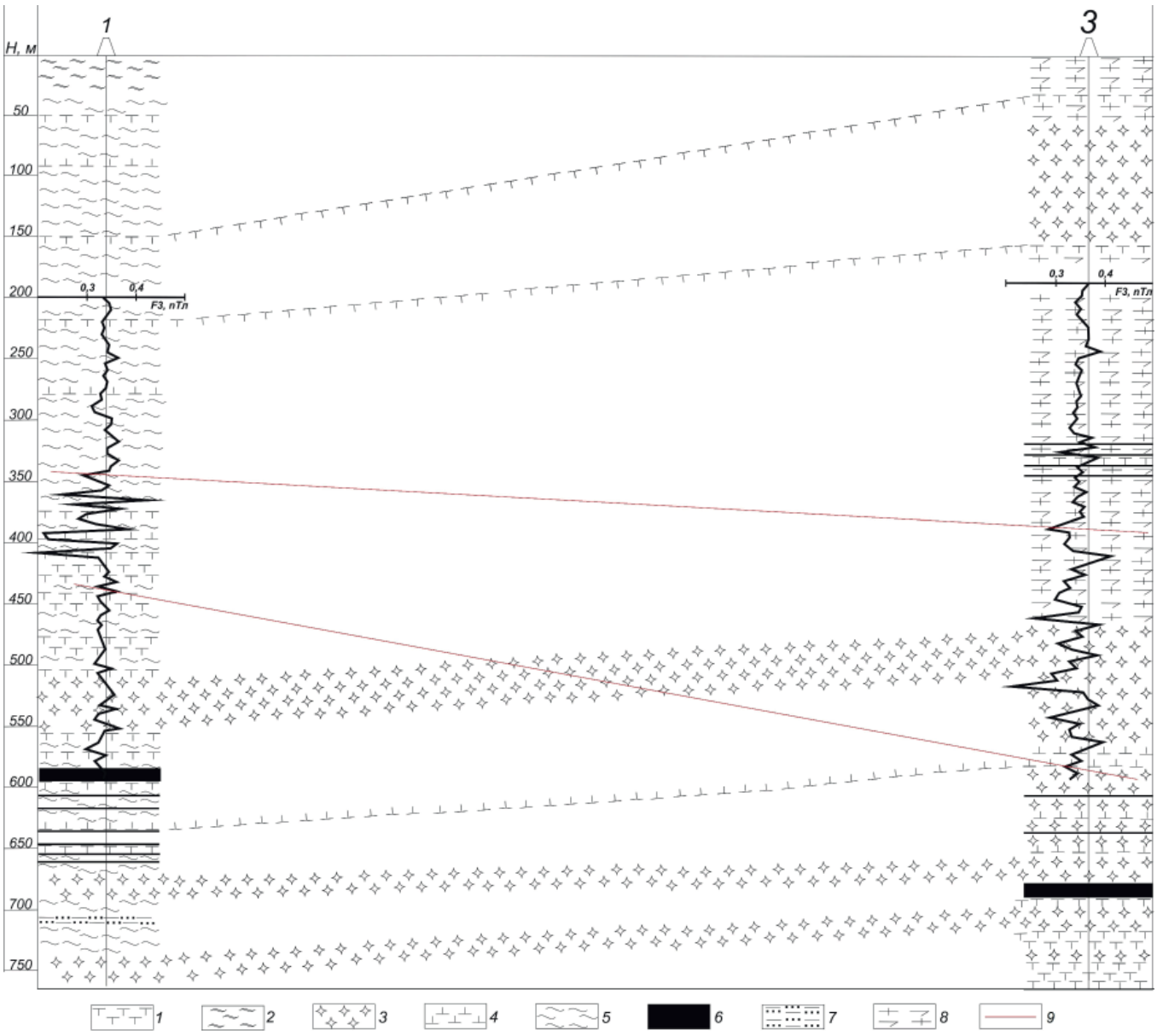


Рис. 4 Геолого-геофизический разрез между скважинами 1 и 3
1 – долериты; 2 – мигматиты; 3 – биотитовые плагиомигматиты; 4 – габбро; 5 – гнейсы; 6 – магнетитовые кварциты; 7 – кварцито-гнейсы; 8 – амфиболитовые гнейсы; 9 – границы аномальной зоны ЭМИ

малии ЭМИ по скважинам 3 и 4 практически совпадают по глубине, и, тем не менее, наблюдается небольшое юго-восточное падение и расширение зоны дезинтеграции в межскважинном пространстве от скважины 4 к скважине 3. Коэффициент корреляции между аномалиями ЭМИ, на уровне значимости 0,05 составил 0,75.

Заключение

Анализ полученных результатов по профилям 1–4, 1–3 и 3–4, позволяет предположить, что аномальная зона ЭМИ, отмечающая зону дезинтеграции пород между этими скважинами, имеет преимущественно юго-восточное падение в сторону скважины 3 и практически не совпадает с залеганием пород. Также стоит отметить расширение аномалии от скважин 1 и 4 к скважине 3. Значения коэффициентов корреляции аномальных участков ЭМИ между скважинами позволяют предположить общий источник аномальных флуктуаций сигналов ЭМИ на частоте 120 кГц. Возможным источником может быть напряженное состояние массивов горных пород в зоне тектонических нарушений, по которым происходит развитие областей дезинтеграции массивов горных пород в районе скважин 1–3–4. При этом стоит отметить

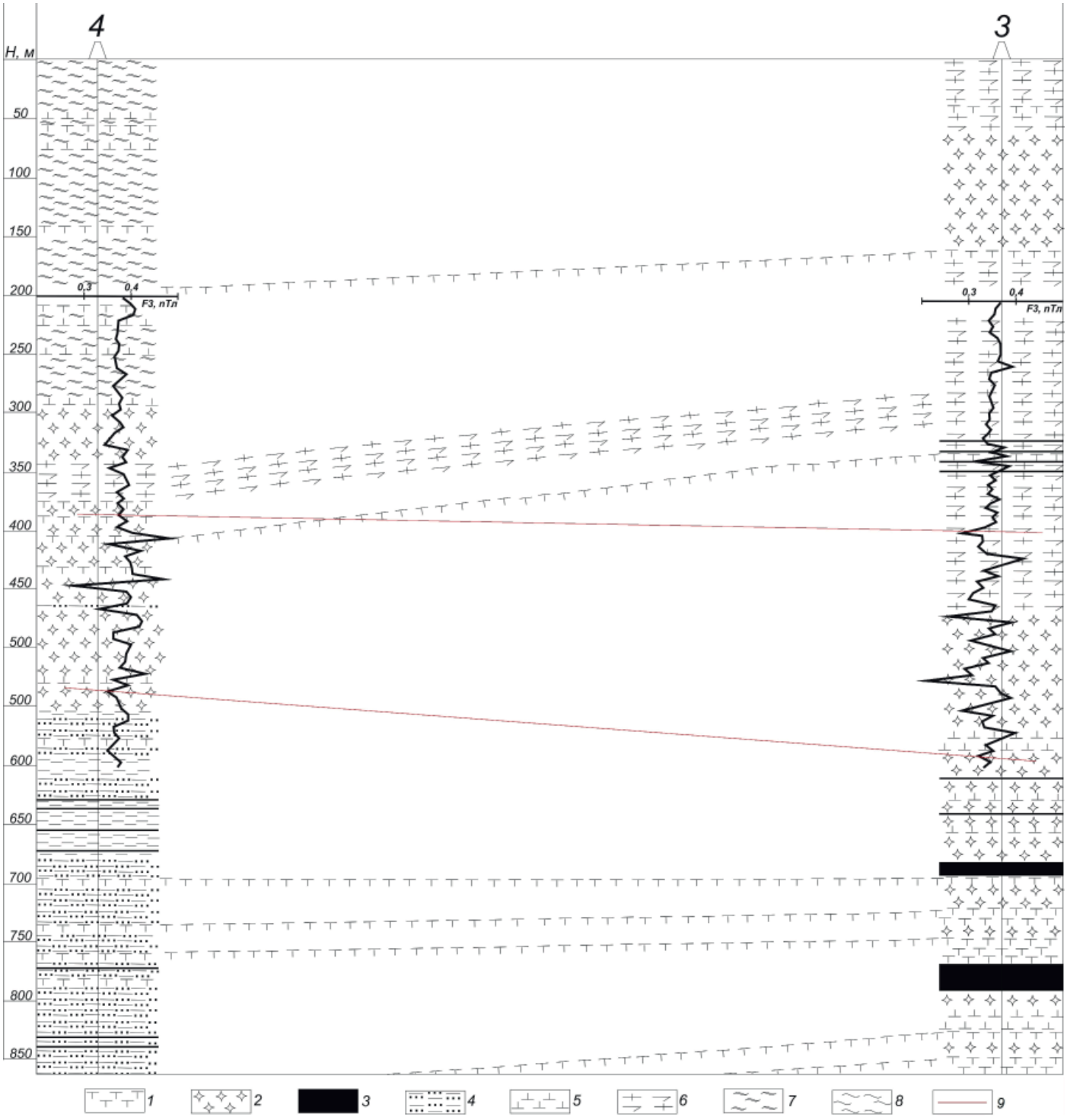


Рис. 5. Геолого-геофизический разрез между скважинами 3 и 4
1 – долериты; 2 – биотитовые плагиомигматиты; 3 – магнетитовые кварциты; 4 – кварцито-гнейсы; 5 – габбро; 6 – амфиболитовые гнейсы; 7 – мигматиты; 8 – гнейсы; 9 – границы аномальной зоны ЭМИ

небольшое снижение интенсивности аномальных флуктуаций ЭМИ в скважине 3, которое может быть обусловлено удаленностью скважины от тектонического нарушения.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно предположить, что в процессе формирования дизъюнктивных нарушений в пределах Северо-Тараташского участка образовались зоны тензочувствительных пород, которые оказались наиболее уязвимы при бурении скважин. В результате этого процесса в этих зонах начало происходить изменение напряженно-деформированного состояния и образование систем трещин, генерирующих сигналы ЭМИ на частоте 120 кГц.

Литература

Баженова Е.А. Выделение тектонически нарушенных зон в пределах рудного месторождения по комплексу геофизических методов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2022. № 5. С. 67–83.

Белоглазова Н.А., Баженова Е.А., Вдовин А.Г. Геодинамическая обстановка Северо-Тараташского участка по геофизическим исследованиям скважин // Уральский геофизический вестник. 2017. № 1(29). С. 60–65.

Беляков А.С., Диденкулов И.Н., Жигалин А.Д., Лавров В.С., Малеханов А.И., Николаев А.В. Сейсмоакустический мониторинг в Воротиловской глубокой скважине: методика и результаты // Геология и геофизика Юга России. 2017. № 3. С. 5–12.

Бизяев А.А., Савченко А.В., Цупов М.Н., Смирнягин И.И., Смирнов М.Н. Исследования сигналов электромагнитного излучения, сопутствующих разрушению горных пород // Современные тенденции и инновации в науке и производстве: Материалы IX международной научно-практической конференции. Междуреченск: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2020. С. 105-1–105-6.

Боков В.Н., Воробьев В.Н. Изменчивость геоакустической эмиссии и изменения атмосферной циркуляции // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2013. № 32. С. 43–54.

Вдовин А.Г., Белоглазова Н.А. Геофизические исследования динамической устойчивости массивов горных пород при разработке карьера // Уральский геофизический вестник. 2020. № 1(39). С. 4–11.

Вострецов А.Г., Кривецкий А.В., Бизяев А.А., Яковицкая Г.Е. Характеристики электромагнитного излучения горных пород при их разрушении в лабораторных экспериментах // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. 2013. № 2(21). С. 46–54.

Гаврилов В.А., Полтавцева Е.В., Дещеревский А.В., Бусс Ю.В., Морозова Ю.В. Мониторинг состояния геосреды на основе синхронных геоакустических и электромагнитных скважинных измерений: использование естественного электромагнитного излучения // Сейсмические приборы. 2015. Т. 51. № 4. С. 41–57.

Кульков Д.С., Имашев С.А. Анализ сигналов акустической эмиссии в образцах геоматериалов в условиях одноосного сжатия // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2019. № 2-1(50). С. 274–280.

Потапов П.В., Шведикова И.Н. К вопросу исследований геомеханического состояния горных пород и активности электромагнитного излучения на участках полей шахт «Южная» и «Черниговская» геофизическими методами // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2011. № 1. С. 48–52.

Рассказов И.Ю. Геоакустические предвестники горных ударов // Вестник Дальневосточного государственного технического университета. 2011. № 3/4(8/9). С. 121–143.

Рассказов И.Ю., Мигунов Д.С., Аникин П.А., Гладырь А.В., Терешкин А.А., Желнин Д.О. Геоакустический портативный прибор нового поколения для оценки удароопасности массива горных пород // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2015. № 3. С. 169–179.

Романевич К.В. Разработка критериев и методики идентификации геодинамических процессов по электромагнитному излучению вблизи выработок неглубокого заложения: Автореф. дис. … канд. тех. наук. ИПКОН РАН. М., 2015.

Смирнов В.Г., Дырдин В.В. Возможная модель образования зоны дезинтеграции вмещающих пород вблизи цилиндрической выработки // Материалы XII международной научно-практической конференции. Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах. 22–23 ноября 2017 года. Кемерово: Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 2017. С. 125.

Технико-экономическое обоснование временных разведочных кондиций для подсчета запасов железных руд проявления Куватал Северо-Тараташского участка в Челябинской области

(подземная отработка): отчет о НИР / ответственный исполнитель А. С. Закмс; Открытое акционерное общество «Магнитогорский металлургический комбинат». Челябинск, 2017. 5 книг. 2-е папки. Рег. № 75-16-645.

Троянов А.К., Дьяконов Б.П., Мартышко П.С., Астраханцев Ю.Г., Начапкин Н.И., Гаврилов В.А., Белоглазова Н.А. Сейсмоакустическая эмиссия и электромагнитное излучение трещиноватых пород в скважинах // Доклады Академии наук. 2011. Т. 436. № 1. С. 118–120.

Уваров В.Н., Малкин Е.И., Санников Д.В. Электромагнитное проявление геоакустической эмиссии литосферы // Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. 2016. № 1(12). С. 55–65.

Формации титаномагнетитовых руд и железистых кварцитов: Железорудные месторождения Урала / отв. ред. Дымкин А.М. Свердловск: УНЦ АН СССР. 1984. 264 с.

Hamimi Z., Hagag W., Osman R., El-Bialy M., Abu El-Nadr I., Ei Sayed Fadel M. The active Kalabsha Fault Zone in Southern Egypt: detecting faulting activity using field-structural data and EMR-technique, and implications for seismic hazard assessment // Arabian Journal of Geosciences. 2018. Vol. 11. No. 15. Pp. 421. DOI: 10.1007/s12517-018-3774-1.

Kong B., Wang E., Li Z. Regularity and coupling correlation be-tween acoustic emission and electromagnetic radiation during rock heating process // Geomechanics and Engineering. 2018. Vol. 15. No.5. Pp. 1125–1133. DOI: 10.12989/gae.2018.15.5.1125

Zhang Q., Wang E., Feng X., Yue N., Ali M., Lin S., Wang H. Rockburst Risk Analysis During High-Hard Roof Breaking in Deep Mines // Natural Resources Research. 2020. Vol. 29. No. 17. Pp. 4085–4101. DOI: 10.1007/s11053-020-09664-w.

DETERMINATION OF ZONES OF GEODYNAMIC ACTIVITY OF ROCKS IN THE INTERWELL SPACE

Bazhenova E.A., Dorogan U.V. – Institute of Geophysics UB of RAS, Yekaterinburg

Abstract. The paper considers a technique for determining the zones of geodynamic activity of rocks in the inter-well space within an ore deposit based on the results of constructing lithological and geophysical profiles from neighboring wells. The sections of the stress-strain state of rocks in the inter-well space are identified, identified by the results of logging electromagnetic radiation (EMR) at a frequency of 120 kHz. The correlation coefficients between the anomalies of the EMR curves are calculated. A possible source of the identified anomalous zones of electromagnetic radiation in the downhole space is considered.

Electromagnetic radiation, borehole, logging, stress-strain state, geodynamic activity

References

Bazhenova E.A. Vydelenie tektonicheski narushennyh zon v predelah rudnogo mestorozhdenija po kompleksu geofizicheskih metodov // Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten' (nauchno-tehnicheskij zhurnal). 2022. № 5. S. 67–83.

Beloglazova N.A., Bazhenova E.A., Vdovin A.G. Geodinamicheskaja obstanovka Severo-Taratashskogo uchastka po geofizicheskim issledovanijam skvazhin // Ural'skij geofizicheskij vestnik. 2017. № 1(29). S. 60–65.

Beljakov A.S., Didenkulov I.N., Zhigalin A.D., Lavrov V.S., Malehanov A.I., Nikolaev A.V. Seismoacoustic monitoring in the Vorotilovskaya deep well: method-ology and results. Geologija i geofizika Juga Rossii. 2017. №3. S. 5–12.

Bizjaev A.A., Savchenko A.V., Cupov M.N., Smirnjagin I.I., Smirnov M.N. Studies of electromagnetic radiation signals accompanying the destruction of rocks / Modern trends and innovations in science and production: Materials of the IX Inter-national Scientific and Practical Conference. Mezhdurechensk, Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, 2020, pp. 105-1–105-6.

Bokov V.N., Vorob'ev V.N. Variability of geoacoustic emission and changes in atmospheric circulation. Uchenye zapiski Rossijskogo gosudarstvennogo gidrome-teorologicheskogo universiteta. 2013. №32. S. 43–54.

Vdovin A.G., Beloglazova N.A. Geophysical studies of dynamic stability of rock massifs during quarry development. Ural'skij geofizicheskij vestnik. 2020. №1(39). S. 4–11.

Vostrecov A.G., Kriveckij A.V., Bizjaev A.A., Jakovickaja G.E. Characteristics of electromagnetic radiation of rocks during their destruction in laboratory experiments. Doklady Akademii nauk vysshej shkoly Rossijskoj Federacii. 2013. №. 2(21). S. 46–54.

Gavrilov V.A., Poltavceva E.V., Deshherevskij A.V., Buss Ju.V., Morozova Ju.V. Monitoring of the state of the geo-environment based on synchronous geoacoustic and electromagnetic borehole measurements: the use of natural electromagnetic radiation. Sejsmicheskie pribory. 2015. Vol. 51. №4. S. 41–57.

Kul'kov D.S., Imashev S.A. Analysis of acoustic emission signals in geomaterial samples under uniaxial compression conditions. Izvestija Kyrgyzskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta im. I. Razzakova. 2019. №2-1(50). S. 274–280.

Potapov P.V., Shvedikova I.N. On the issue of studying the geomechanical state of rocks and the activity of electromagnetic radiation in the fields of the Yuzhnaya and Chernihiv mines by geophysical methods. Vestnik nauchnogo centra po bezopasnosti rabot v ugol'noj promyshlennosti. 2011. №1. S. 48–52.

Rasskazov I.Ju. Geoacoustic precursors of mountain impacts. Vestnik Dal'nevostochnogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. 2011. №3/4(8/9). S. 121–143.

Rasskazov I.Ju., Migunov D.S., Anikin P.A., Gladyr' A.V., Tereshkin A.A., Zhelnin D.O. Geoacoustic portable device of a new generation for assessing the impact hazard of a rock mass. Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznyh iskopaemyh. 2015. №3. S. 169–179.

Romanevich K.V. Razrabotka kriteriev i metodiki identifikacii geodinamicheskih processov po jelektromagnitnomu izlucheniju vblizi vyrabotok neglubokogo zalozhenija: Avtoref. dis. … kand. teh. nauk. IPKON RAN. M., 2015.

Smirnov V.G., Dyrdin V.V. Vozmozhnaja model' obrazovanija zony dezintegracii vmeshhajushhih porod vblizi cilindricheskoj vyrabotki // Materialy XII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti predprijatij v promyshlenno razvityh regionah. 22–23 nojabrja 2017 goda. Kemerovo: Kuzbasskij gosudarstvennyj tehnicheskij universitet im. T.F. Gorbacheva, 2017. S. 125.

Tehniko-jekonomicheskoe obosnovanie vremennyh razvedochnyh kondicij dlja podscheta zapasov zheleznyh rud projavlenija Kuvatal Severo-Taratashskogo uchastka v Cheljabinskoj oblasti (podzemnaja otrabotka): otchet o NIR / otvetstvennyj ispolnitel' A. S. Zakms; Otkrytoe akcionernoe obshhestvo «Magnitogorskij metallurgicheskij kombinat». Cheljabinsk, 2017. 5 knig. 2-e papki. Reg. № 75-16-645.

Troyanov A.K., Martyshko P.S., Astrakhantsev Y.G., Nachapkin N.I., Beloglazova N.A., D'Yakonov B.P., Gavrilov V.A. Seismoacoustic emission and electromagnetic radiation of fractured rocks in deep wells // Doklady Earth Sciences. 2011. T. 436. № 1. C. 70–72.

Uvarov V.N., Malkin E.I., Sannikov D.V. Electromagnetic manifestation of geoacoustic emission of the lithosphere. Vestnik KRAUNC. Fiziko-matematicheskie nauki. 2016. №1(12). S. 55–65.

Formacii titanomagnetitovyh rud i zhelezistyh kvarcitov: Zhelezorudnye mestorozhdenija Urala / otv. red. Dymkin A.M. Sverdlovsk: UNC AN SSSR. 1984. 264 s.

Hamimi Z., Hagag W., Osman R., El-Bialy M., Abu El-Nadr I., Ei Sayed Fadel M. The active Kalabsha Fault Zone in Southern Egypt: detecting faulting activity using field-structural data and EMR-technique, and implications for seismic hazard assessment. Arabian Journal of Geosciences. 2018. Vol. 11. No. 15. Pp. 421. DOI: 10.1007/s12517-018-3774-1.

Kong B., Wang E., Li Z. Regularity and coupling correlation be-tween acoustic emission and electromagnetic radiation during rock heating process. Geomechanics and Engineering. 2018. Vol. 15. No.5. Pp. 1125–1133. DOI: 10.12989/gae.2018.15.5.1125

Zhang Q., Wang E., Feng X., Yue N., Ali M., Lin S., Wang H. Rockburst Risk Analysis During High-Hard Roof Breaking in Deep Mines. Natural Resources Re-search. 2020. Vol. 29. No. 17. Pp. 4085–4101. DOI: 10.1007/s11053-020-09664-w.