ЛИТОСФЕРА, 2017, № 1, с. 116–125

УДК 550.838

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТИТАНОМАГНЕТИТОВЫХ РУД ГУСЕВОГОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ В ЕСТЕСТВЕННОМ ЗАЛЕГАНИИ (ПО ИЗМЕРЕНИЯМ В СКВАЖИНАХ)

© 2017 г. В. С. Иванченко*, Ю. Г. Астраханцев*, Н. А. Белоглазова*, И. И. Глухих*, Л. Г. Строкина*, С. В. Калугина**

**Институт геофизики УрО РАН*
620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, 100
E-mail: Ivanchenko_05@mail.ru
***ОАО "ЕВРАЗ КГОК"*
624351, Свердловская область, г. Качканар, ул. Свердлова, 2

Поступила в редакцию 18.12.2015 г.
Принята к печати 20.04.2016 г.

В работе приведены данные о намагниченности (естественная полная, естественная остаточная и индуцированная намагниченности, углы наклонения полной и остаточной намагниченностей, коэффициент Кенигсбергера) титаномагнетитовых руд Гусевогорского месторождения в естественном залегании, определенные по результатам трехкомпонентной скважинной магнитометрии в буровзрывных скважинах Качканарского ГОКа. Сделан вывод о том, что наблюдаемые изменения естественной остаточной намагниченности свидетельствуют о формировании титаномагнетитовых руд в разных термодинамических зонах, а в результате последующих геологических процессов, приведших к распаду твердых растворов, основные магнитные фазы этих залежей оказались достаточно близкими по составу и магнитной структуре.

Ключевые слова: *титаномагнетит, естественная полная намагниченность, остаточная намагниченность, индуцированная намагниченность, буровзрывная скважина, трехкомпонентные геомагнитные измерения.*

ВВЕДЕНИЕ

Руды Гусевогорского массива представлены неравномерной вкрапленностью титаномагнетита. К балансовым рудам относятся блоки с содержанием железа общего более 15.5%. По технологическим свойствам нормальнообогатимые руды обеспечивают получение концентрата с содержанием железа 63.8%, труднообогатимые – при нормальной производительности – менее 60.0%, сложные труднообогатимые – 55.0–58.0% при снижении производительности в 1.5 раза и увеличении потерь железа в хвостах на 2.0–2.5% [11]. Для технологической оценки руд большое значение имеет содержание железа в магнитной и немагнитной фракциях, зависящее от петрографического состава, текстурно-структурных особенностей руд. Контроль содержания железа и расчет планируемых параметров осуществляются на всех этапах технологического цикла, начиная с буровзрывных скважин.

Содержание железа на первоначальном этапе (буровзрывные скважины) определяется магнитным экспресс-методом, т.е. на основе корреляционных зависимостей по данным измерения магнитной восприимчивости. Учитывая, что эксплуатационная добыча ведется с четырех залежей (Главной, Северной, Западной и Южной), такие зависимости должны быть установлены для каждой залежи, а для исключения систематической погрешности необходима постоянная проверка этих зависимостей. Одним из методов снижения погрешности магнитного экспресс-метода может служить регулярный контроль за изменением непосредственно в массиве естественной намагниченности добываемых руд.

В практике решения геолого-разведочных и технологических задач при разведке и добыче магнетитовых и титаномагнетитовых руд информация об их магнитных свойствах используется достаточно широко [6, 9, 10 и др.]. При изучении (по образцам) структурно-чувствительных характеристик, в частности естественной остаточной намагниченности, магнетитовых кварцитов докембрия Кольского полуострова и Карелии при разных воздействиях (ударных, взрывных, статистических, термических), авторы работы [3] установили: распределение в породах остаточной намагниченности может служить критерием их динамического режима; независимо от природы остаточной намагниченности этот параметр всегда характеризует состояние вещественно-структурного ансамбля и степень его стабильности при влиянии геологических процес-

сов; “жесткая” и “мягкая” компоненты естественной остаточной намагниченности имеют различную природу. Полученные данные позволили авторам данной работы считать, что *каждое рудное тело – это высокоорганизованный ансамбль с упорядоченной макроструктурой, в пределах которой когерентными могут быть многие составные элементы или подсистемы, а не результат деформации с непременными следствиями: усреднением, хаотизацией, разупорядочиванием.* При исследовании естественной остаточной намагниченности (результаты расчетов по трехкомпонентным скважинным измерениям) на четырех железорудных месторождениях Среднего Урала Г.В. Иголкиной и А.Н. Бахваловым [4, 5] установлено закономерное изменение векторов естественной остаточной намагниченности для четырех типов рудной минерализации, различающихся структурно-текстурными особенностями и генезисом.

В связи с этим изучение магнетизма титаномагнетитовых руд месторождения актуально как для исследования вопросов генезиса, так и при оценке технологических характеристик руд. В данной работе приведены результаты изучения намагниченности титаномагнетитовых руд Гусевогорского месторождения по измерениям в естественном залегании (преимущественно Главной и Северной залежей).

Предыдущими исследованиями установлено, что Главная залежь, расположенная в центральной части Гусевогорского массива, сложена преимущественно диаллагитами неравномерно-зернистой структуры [8]. В геологическом строении Главной залежи определено преобладание северо-западного простирания основных структурных элементов, фиксирующихся положением контактов разных пород, ориентировкой полосчатости в них, направлением наиболее крупных тектонических зон. Аналогичная закономерность наблюдается в залегании различных текстурных типов руд и распределении железа, титана и ванадия. Северная залежь, занимающая северо-западную часть Гусевогорского массива, сложена неравномерно-зернистыми диаллаговыми пироксенитами. Для нее характерны северо-западное простирание и крутое падение главных структурных элементов-контактов между петрографическими разностями пород, полосчатость и наличие крупных жил плагиоклазитов.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

Для определения намагниченности горных пород в естественном залегании на Качканарском ГОКе проводились трехкомпонентные магнитометрические измерения в скважинах магнитометром-инклинометром МИ-3803М, разработанном в лаборатории скважинной геофизики Института геофизики УрО РАН. Магнитометр, построенный на базе феррозондов и акселерометров, позволяет за одну спускоподъемную операцию осуществлять непрерывные измерения трех составляющих вектора геомагнитного поля, величины магнитной восприимчивости горных пород, вскрытых скважиной, магнитного азимута, визирного и зенитного углов скважины [1]. Комплекс таких измерений выполнен на территории действующего Качканарского ГОКа в буровзрывных скважинах Северного и Главного карьеров и эталонной скважине на Западном карьере.

Расчеты модулей и направлений естественной полной, индуцированной и остаточной намагниченностей выполнены по методике, основанной на том, что полная естественная намагниченность горных пород является векторной суммой индуцированной и остаточной намагниченностей $\vec{I} = \vec{I}_r + \vec{I}_i$ [2], где $\vec{I}_i = \vec{I}_{iZ} + \vec{I}_{iH}$. При этом: $\vec{I}_{iZ} = æ\vec{Z}_a$ – вертикальная составляющая индуцированной намагниченности горных пород; æ – магнитная восприимчивость горных пород; $\vec{Z}_a = \vec{Z}_{изм} - \vec{Z}_0$, где Z_0 – нормальное поле в точке измерений; $\vec{I}_{iH} = æ\vec{H}_a$ – горизонтальная составляющая индуцированной намагниченности; $\vec{H}_a = \vec{H}_{Hизм} - \vec{H}_0 \cos A_{Hизм}$ – аномальные значения вертикальной и горизонтальной составляющих геомагнитного поля; $A_{Hизм}$ – азимут измеренной горизонтальной составляющей геомагнитного поля $\vec{I}_r = \vec{I}_{rZ} + \vec{I}_{rH}$, где $\vec{I}_{rZ}$ и $\vec{I}_{rH}$ – вертикальная и горизонтальная составляющие остаточной намагниченности горных пород; $\vec{I}_{rH}$ – горизонтальная составляющая остаточной намагниченности. Высчитывается по формуле $\vec{I}_{rH} = \vec{I}_H - \vec{I}_{iH} \cos A_{Hизм}$.

Так как скважинные измерения в карьерах проводятся фактически внутри рудного тела, где практически отсутствует выход в нормальное магнитное поле, то основной проблемой при расчетах намагниченности горных пород является определение значений Z_0 и H_0. Так, при обработке результатов измерений в буровзрывных скважинах на Северном карьере уровень нормального поля принимался равным значению, измеренному в интервалах пересечения практически немагнитных плагиоклазитовых жил. На Главном карьере, где мощные плагиоклазитовые жилы не встречены, нормальное поле устнавливали по результатам трехкомпонентной наземной магнитной съемки в районе скважинных измерений или по зонам пересечения безрудных пироксенитов.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Измерения в эталонной скважине Западного карьера

Разрез скважины сложен плагиоклазовыми амфиболсодержащими пироксенитами. В верх-

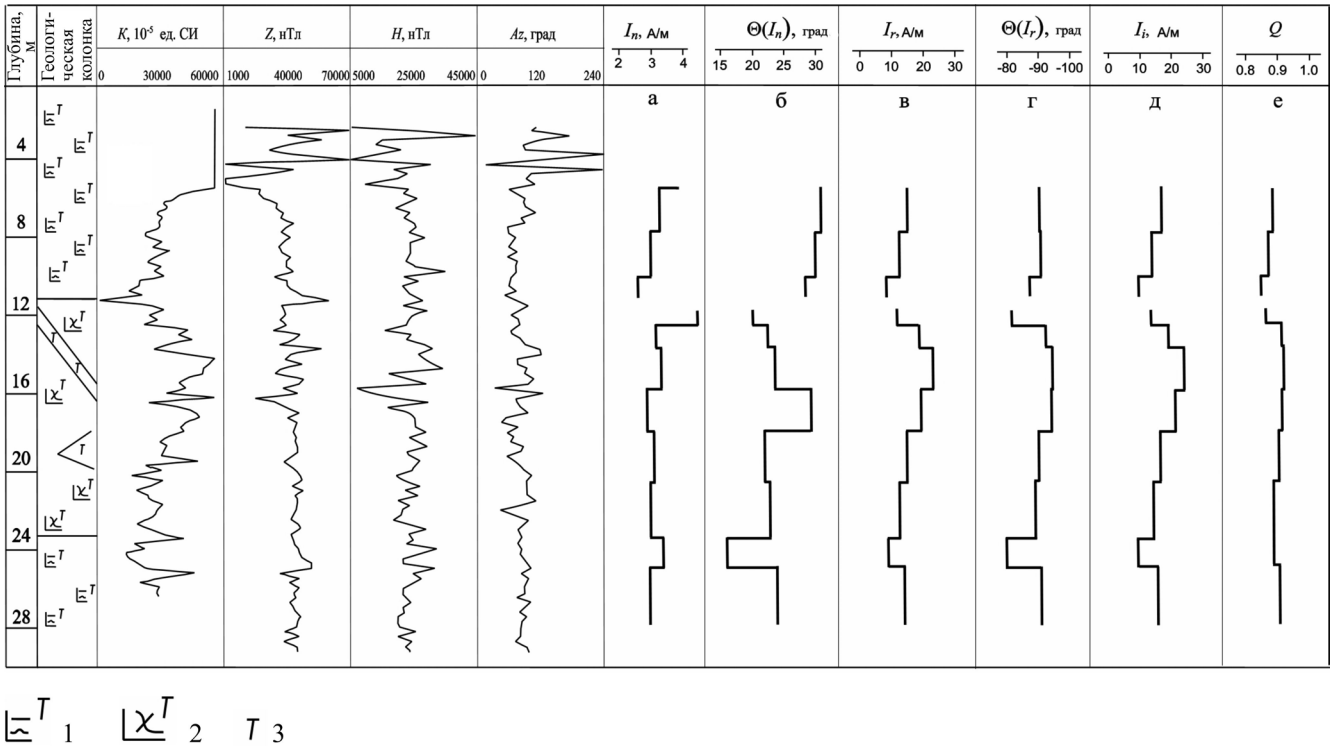

Рис. 1. Результаты скважинной магнитометрии и вычисления полной (а – модуль, б – направление), остаточной (в – модуль, г – направление), индуцированной (д – модуль) составляющих намагниченности и коэффициента Кенигсбергера (е) по эталонной скважине Западного карьера.

1 – мелко-среднезернистые пироксениты плагиоклазовые амфиболсодержащие, 2 – средне-крупнозернистые пироксениты плагиоклазовые амфиболсодержащие, 3 – разноориентированные прожилки плагиоклазов.

Fig. 1. Results borehole magnetometry and calculate the total (а – module, б – direction), residual (в – module, г – direction), induced (д – module) components of the magnetization and factor Koenigsberger (e) of etalon borehole West quarry.

1 – small-medium-grained pyroxenite, 2 – medium-coarse-grained pyroxenite, 3 – different oriented plagioclase viens.

ней и нижней частях разреза пироксениты мелко-среднезернистые, а средняя часть характеризуется переходом сверху вниз от мелко-среднезернистой к средне-крупнозернистой структуре. Информация о геологическом разрезе скважины позволила сопоставить результаты вычислений полной, индуцированной и остаточной естественных намагниченностей с особенностями титаномагнетитовых руд, вскрытых скважиной (рис. 1).

Мелко-среднезернистые плагиоклазовые амфиболсодержащие пироксениты с мелко-средневкрапленным оруденением в естественном залегании (верхняя и нижняя части разреза) характеризуются содержанием общего железа в пределах 11.04–18.78 мас. %, примесей V_2O_5 – от 0.087 до 0.169 и TiO_2 – от 0.74 до 1.80. Индуцированная намагниченность этой разновидности пироксенитов меняется в пределах 9.6–16.9 А/м, модуль естественной остаточной намагниченности соизмерим по величине с индуцированной (8.5–14.9 А/м), но имеет направление, обратное современному магнитному полю (наклонение от –93 до –80°). В итоге полная естественная намагниченность этих пород имеет довольно низкое значение (2.5–3.3 А/м) и углы наклонения в диапазоне 16.0–31.0. Соотношения между остаточной *Ir* и индуктивной *Ii* намагниченностями в этих случаях часто описывают так называемым коэффициентом Кенигсбергера *Q*, являющимся отношением их модулей: $Q = I_r/I_i$, хотя полной информации о направлении суммарного вектора намагниченности коэффициент *Q*, конечно, не дает. Пусть, например, $Q = 1$. Если направления векторов совпадают, то это приводит к удвоению амплитуды магнитной аномалии, но если направления противоположны, магнитная аномалия над таким объектом практически пропадает. В нашем случае коэффициент Кенигсбергера меняется в пределах 0.85–0.90.

Среднюю часть разреза исследуемой скважины слагают средне-крупнозернистые плагиоклазовые амфиболсодержащие пироксениты с разноориентированными прожилками плагиоклазитов и крупновкрапленными включениями шлирового оруденения. Эти породы характеризуются более высо-

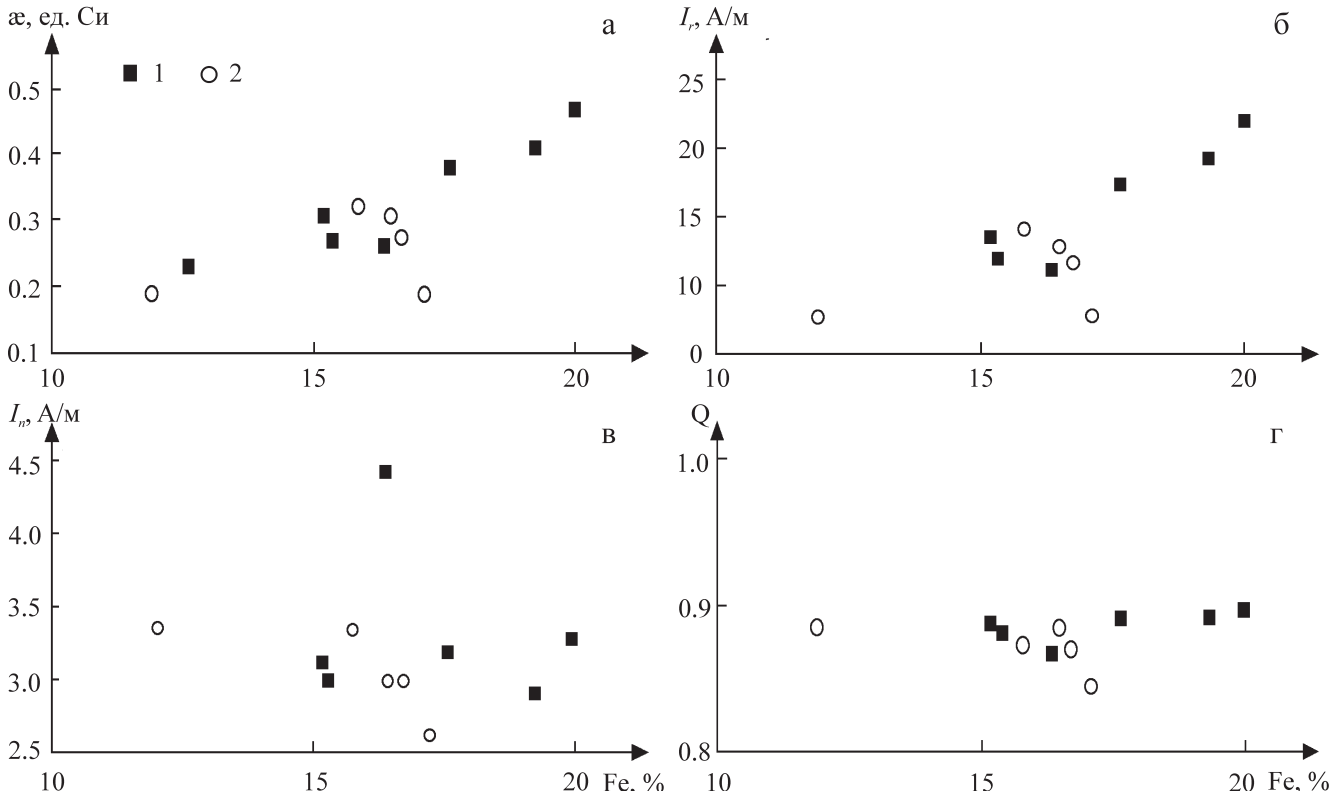

Рис. 2. Зависимость от содержания общего железа магнитной восприимчивости (а), модуля остаточной намагниченности (б), модуля полной намагниченности (в), коэффициента Кенигсбергера (г).

1 – мелко-среднезернистые пироксениты, 2 – средне-крупнозернистые пироксениты.

Fig. 2. Depending on the content of total iron the magnetic susceptibility (a), module residual magnetization (б), module full magnetization (в), coefficient Koenigsberger (г).

1 – small-medium-grained pyroxenite, 2 – medium-coarse-grained pyroxenite.

ким содержанием общего железа (14.04–21.56), повышенным содержанием V_2O_5 (0.111–0.198) и почти таким же – TiO_2 (0.95–1.60), все в мас. %. Этим породам свойственны более высокие значения индуцированной (13.5–24.8 А/м) и остаточной (11.0–24.0 А/м) составляющих естественной намагниченности. Остаточная намагниченность также имеет отрицательные значения наклонения (–95°…–81°). Полная естественная намагниченность обладает довольно низкими значениями (2.9–4.4 А/м) и углами наклонения в пределах 20–29°. Коэффициент Кенигсбергера близок к единице (0.87–0.92).

На рис. 2 представлена корреляционная зависимость магнитной восприимчивости, модулей остаточной и полной намагниченностей и коэффициента Кенигсбергера от содержания общего железа в пироксенитах разных фракций. Видно, что величина магнитной восприимчивости (рис. 2а) и остаточной составляющей естественной намагниченности (рис. 2б) имеют прямую зависимость от содержания общего железа в породах этого комплекса. Данная зависимость практически одинакова и для средне-крупнозернистых пироксенитов с крупновкрапленным и шлировым оруденением, и для мелко-среднезернистых плагиоклазовых амфиболсодержащих пироксенитов с мелко-средневкрапленным оруденением.

Полная естественная намагниченность практически не зависит от количества и размера магнитной фракции, поскольку направление остаточной естественной намагниченности в данном случае противоположно таковому индуцированной (рис. 2в). Коэффициент Кенигсбергера изменяется в диапазоне 0.85–0.93 и так же слабо зависит от содержания общего железа, а вернее – от количества магнитной фракции (рис. 2г). Эта закономерность нарушается лишь в зонах контактов плагиоклазовых жил с вмещающими породами.

Измерения на Главном и Северном карьерах

По результатам трехкомпонентных измерений магнитного поля и магнитного азимута в буровзрывных скважинах Северного и Главного карьеров проведены вычисления полной, индуцированной и остаточной естественных намагничен-

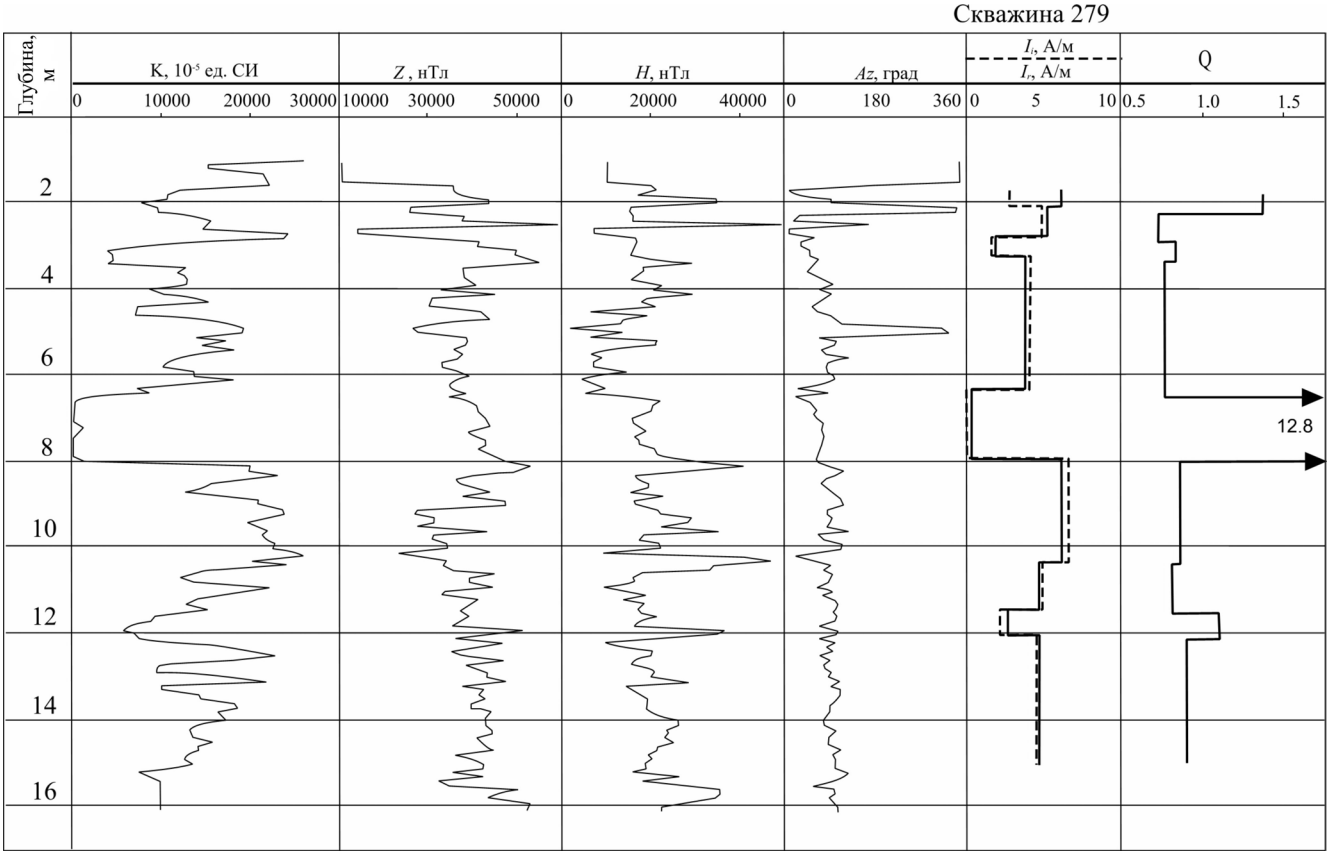

Рис. 3. Данные трехкомпонентной скважиной магнитометрии на Северном карьере (скв. 279) и результаты вычислений естественной остаточной и индуцированной намагниченостей.

Fig. 3. Data three components borehole magnetometry in the North quarry (borehole 279) and the results of calculations of natural remanent magnetization and induced magnetization.

Таблица 1. Диапазон изменения намагниченности Гусевогорских титаномагнетитовых руд

Table 1. Range of magnetization titanomagnetite ores of Gusevogorskoye deposit

Залежь (карьер)	Виды намагниченности, А/м									Угол наклонения намагниченности						Коэффициент Кенигсбергера		
	Индуцированная			Остаточная			Полная			Полной			Остаточной					
	min	max	N	min	max	N	min	max	N	min	max	N	min	max	N	min	max	N
Северная	0.50	23.0	8.0	1.0	23.0	3.0	1.5	6.5	2.5	–5.0	+65	+25	–105	+10	–75	0.55	1.3	0.85
Главная	0.50	23.0	9.0	1.0	25.0	7.0	0.5	6.5	3.5	–5.0	+85	+25	–195	+10	–55	0.55	1.9	0.95

Примечание. N – наиболее вероятное значение.

Note. N – the most probable value.

ностей, а также углов наклонений полной и остаточной намагниченностей и коэффициентв Кенигсбергера.

В качестве примера на рис. 3 приведены результаты измерений и вычислений остаточной, индуцированной намагниченностей и коэффициента Кенигсбергера по скважине 279 Северного карьера. Видно, что максимальное значение коэффициента Кенигсбергера (12.2) приходится на интервал с минимальными величинами магнитной восприимчивости, соответствующий безрудным жильным породам. На рис. 4 представлены примеры изменения с глубиной индуцированной и остаточной естественных намагниченностей по буровзрывным скважинам Северного и Главного карьеров.

В табл. 1 даются результаты вычисления индуцированной, остаточной и полной естественных намагниченностей по карьерам. На рис. 5, 6 представлены сравнительные вариационные кривые этих параметров по залежам.

Диапазон изменения намагниченностей в естественном залегании практически одинаков для обе-

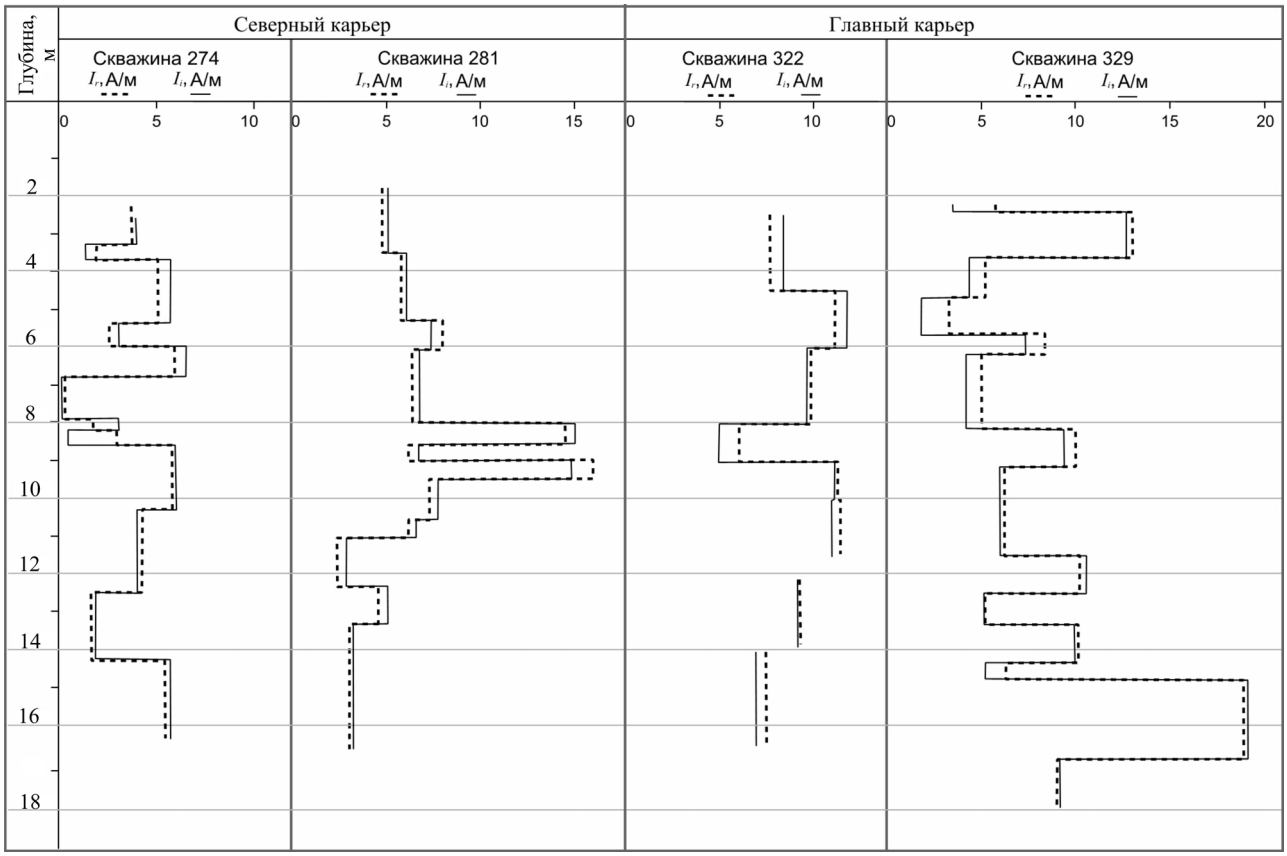

Рис. 4. Результаты вычислений индуцированной и остаточной намагнченностей по скважинам Северного (274, 281) и Главного (322, 329) карьеров.

Fig. 4. The results of calculations induced and residual magnitizations by the wells of North (274, 281) and the Main (322, 329) quarry.

их залежей. Так, полная намагниченность на Северной залежи изменяется в пределах 1.5–6.5 А/м, а на Главной – 0.5–6.5 А/м. Индуцированная намагниченность изменяется в пределах 0.5–23.0 А/м на Северной и Главной завлежах. Остаточная намагниченность соизмерима по величине с индуцированной и изменяется в пределах 1.0–23.0 А/м на Северной залежи и 1.0–25.0 А/м – на Главной. По-видимому, наблюдаемое некоторое различие текстурно-структурных параметров руд этих залежей (характер оруденения Северной залежи отличается от такового Главной развитием преимущественно мелковкрапленного оруденения с пониженным содержанием железа) не оказывает принципиального влияния на величины полной естественной намагниченности, а повышение наиболее вероятного значения ее на Главной залежи обусловлено повышением среднего содержания железа.

Однако законы распределения этих параметров различны. Для полной естественной намагниченности характерен закон распределения, близкий к одномодальному, с наиболее вероятным значением намагниченности 3.5 А/м для руд Главной залежи и 2.5 А/м – для руд Северной (см. рис. 5а). Распределение значений остаточной и индуцированной намагниченностей подчиняется более сложному закону. Для Главной залежи вариационные кривые остаточной и индуцированной намагниченностей могут быть разложены на две кривые, а для Северной – на три, соответствующие одномодальным законам распределения с самыми вероятными значениями для каждого из видов намагниченности. Для остаточной намагниченности руд Главной залежи – 7.0 и 13.0 А/м, Северной - 3.0, 7.0 и 16.0 А/м (см. рис. 5б). Вероятные значения индуцированной намагниченности руд Главной залежи 9.0 и 15.0 А/м, Северной – 3.0, 8.0 и 17.0 А/м (см. рис. 5в). Пониженные значения полной естественной намагниченности объясняются тем, что направления остаточной намагниченности и индуцированной противоположны.

Наклонение полной естественной намагниченности (см. рис. 6а) руд Северной залежи меняется от –5 до +65°, при наиболее вероятном значении +25°. На Главной залежи наклонение полной намагниченности изменяется в более широком диа-

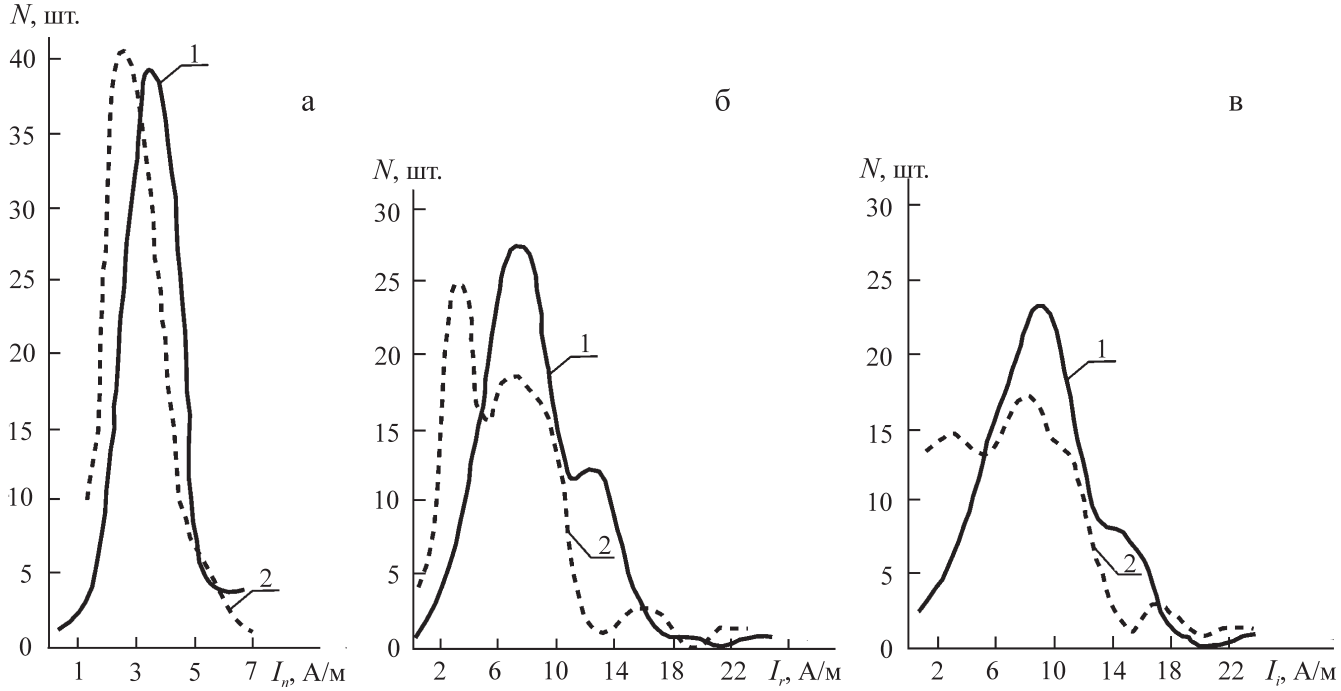

Рис. 5. Вариационные кривые изменения намагниченности титаномагнетитовых руд: а – полной, б – остаточной, в – индуцированной.

1 – Главная залежь, 2 – Северная залежь.

Fig. 5. The variations curve of the magnetization change titanomagnetite ores: a – complete magnetization, б – residual magnetization, в – induced magnetization.

1 – Main deposit, 2 – North deposit.

пазоне – от –5 до +85°, самое вероятное значение при этом так же равно +25°. Законы распределения углов наклона полной естественной намагниченности на обоих карьерах различны и отличаются от одномодальных. Также отклоняются от одномодальных и различаются законы распределения углов наклонения остаточной намагниченности титаномагнетитовых руд Северной и Главной залежей (см. рис. 6б). Хотя диапазоны изменения у них одинаковы – от –105 до +10° – при разложении вариационных кривых на составляющие значения мод, для Главной залежи: –85, –55, –40 и –20°, Северной: –75, –45, –20 и +5°. При этом максимально вероятное значение угла наклонения остаточной намагниченности руд Северной залежи –75°, Главной –55°.

Изменение коэффициента Кенигсбергера (рис. 7) для всех руд практически укладывается в диапазон 0.5–1.5. Однако наиболее вероятные значения по карьерам незначительно различаются: для руд Северной залежи Q = 0.85, Главной – Q = 0.95. Встреченные участки с повышенными значениями коэффициента Кенигсбергера (от 2.3 до 17.7) связаны со слабомагнитными породами (жилами плагиоклазитов или безрудными оливиновыми пироксенитами).

С изменением напряженного состояния рудных залежей под воздействием взрывных работ может быть связано уменьшение величины естественной остаточной намагниченности и коэффициента Кенигсбергера, на что при анализе аномалий геомагнитных съемок обратила внимание Е.В. Кощеева [7]. Аналогичное явление отмечается и при отработке месторождений магнетитовых кварцитов на Кольском полуострове и в Карелии при проведении повторных наземных магнитных съемок [3].

Наблюдаемое изменение естественной намагниченности внутри рудной залежи и месторождения в целом свидетельствует о формировании доменных структур и первичной термоостаточной намагниченности, соответственно, в разных термодинамических зонах, обусловленных проявлением на месторождении трех типов зональности и возникновением в диапазонах 625–650°С и 700–750°С определенных типов руд [8]. Наиболее вероятное склонение первичной термоостаточной намагниченности на Главной залежи –55°, на Северной –75°. Насыщенность рудных растворов, сформировавших Главную и Северную залежи, была различной, а в результате последующих геологических процессов, приведших к распаду твердых растворов, основные магнитные фазы этих за-

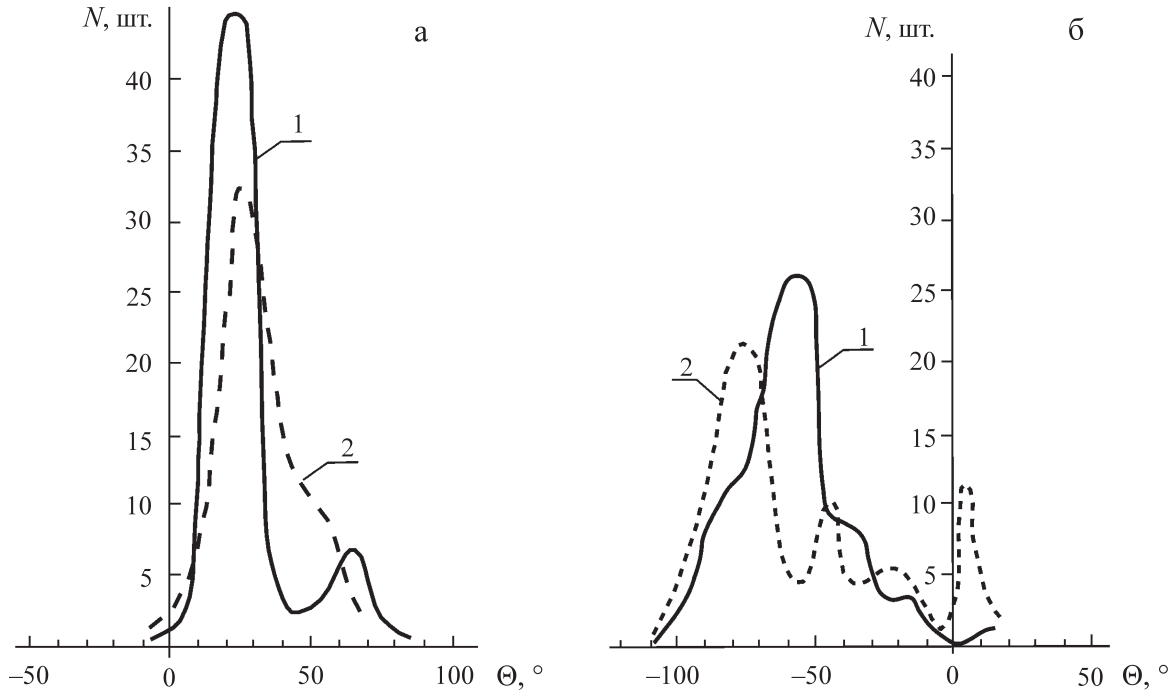

Рис. 6. Вариационные кривые распределения углов наклонения: а – полной намагниченности, б – остаточной намагниченоости.

1 – Главная залежь, 2 – Северная залежь.

Fig. 6. The variation curve of distribution of angles of inclination: a – complete magnetization, б – residual magnetization.

1 – Main deposit, 2 – North deposit.

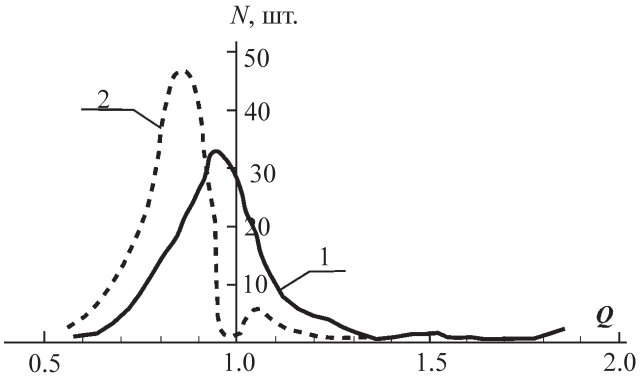

Рис. 7. Вариационные кривые изменения коэффициента Кенигсбергера.

1 – Главная залежь, 2 – Северная залежь.

Fig. 7. The variation curve of distribution of coefficient Koenigsberger.

1 – Main deposit, 2 – North deposit.

лежей оказались достаточно близкими по составу и магнитной структуре. Об этом свидетельствует незначимое различие вариационных кривых индуцированной намагниченности залежей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, результаты исследований позволяют сделать следующие выводы.

– Намагниченность титаномагнетитовых руд в естественном залегании (полная, составляющие остаточная и индуцированная) может быть определена по результатам измерений трех компонент геомагнитноного поля и магнитной восприимчивости в буровзрывных скважинах.

– Диапазоны изменения полной естественной намагниченности 1.5–6.5 А/м (наиболее вероятное значение 2.5 А/м) и углов наклонения от –5 до +65° (самое вероятное значение +25°) для Северной залежи и соответствующие значения для Главной: 0.5–6.5 А/м (3.5 А/м) и от –5 до +85° (+25°). Некторые различия текстурно-структурных параметров руд на этих карьерах не оказывают принципиальное влияние на величины полной естественной намагниченности, а повышение ее максимально вероятного значения на Главном карьере обусловлено увеличением среднего содержания железа.

– Диапазоны изменения модуля естественной остаточной намагниченности равны 1–23 А/м на Северной залежи и 1–25 А/м – на Главной, а угла

наклонения – от –105 до +10° и от –195 до +10° соответственно. Законы распределения не являются одномодальными, и при разложении вариационной кривой выделяются наиболее вероятные значения модуля естественной остаточной намагниченности: 3, 7, 16 А/м для Северной залежи; 7, 13 А/м – для Главной. Самые вероятные углы наклонения естественной остаточной намагниченности: –75° (максимальная вероятность), –45, –20, +5° – для руд Северной залежи; для руд Главной: –85, –55° (максимальная вероятность), –40, –20°. По-видимому, наиболее вероятные значения углов склонения естественной остаточной намагниченности отвечают таковым первичной термоостаточной намагниченности. Наблюдаемые изменения естественной остаточной намагниченности свидетельствуют о формировании доменных структур в разных термодинамических зонах. Последующие изменения геодинамической обстановки, в частности напряженного состояния горных пород, привели к уменьшению величины первичной остаточной намагниченности, но могли способствовать возрастанию динамической намагниченности. Насыщенность рудных растворов, сформировавших Главную и Северную залежи, была различной, а в результате последующих геологических процессов, приведших к распаду твердых растворов, основные магнитные фазы этих залежей оказались достаточно близкими по составу и магнитной структуре.

– Диапазоны изменения индуцированной намагниченности для руд Северной и Главной залежей одинаковы (0.5–23.0 А/м), поскольку определяются диапазоном изменения магнитной минерализации.

Работа выполнена при поддержке Проекта фундаментальных исследований УрО РАН № 15-11-5-9 (0394-2015-0018) и гранта РФФИ-Урал № 13-05-96019.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астраханцев Ю.Г., Белоглазова Н.А. (2012) Комплексная магнитометрическая аппаратура для исследования сверхглубоких и разведочных скважин. Екатеринбург: УрО РАН, 120 с.
2. Белоглазова Н.А., Глухих И.И., Корнилков С.В., Кощеева Е.В. (2014) К вопросу определения намагниченности горных пород по результатам трехкомпонентных скважинных измерений. *Уральский геофизический вестник*, (2), 22-29.
3. Горяинов П.М., Балабонин И.Л., Тюремнов В.А. (1990) Типы железорудных ансамблей и их геомагнитная систематика. Апатиты: КНЦ АН СССР, 171 с.
4. Иголкина Г.В. (2002) Скважинная магнитометрия при исследовании сверхглубоких и глубоких скважин. Екатеринбург: УрО РАН, 214 с.
5. Иголкина Г.В., Бахвалов А.Н. (1998) Определение намагниченности зон магнетитовой минерализации по данным скважинной магнитометрии. *Междунар. науч. конф.* “*Наука и образование – ведущий фактор стратегии «Казахстан-2030»*”. Караганда: КарГТУ, 692-695.
6. Использование магнетизма горных пород при геологической съемке (1986). Науч. ред. Л.Е. Шолпо. Л.: Недра, 224 с.
7. Кощеева Е.В. (2012) Магнитная характеристика эксплуатационных блоков Гусевогорского месторождения. *Международная научно-практическая конференция* “*Уральские горные инженеры – регионам*”. Под ред. Н.Г. Валиева. Екатеринбург: УГГУ, 189-190.
8. Формация титаномагнетитовых руд и железистых кварцитов. Железорудные месторождения Урала (1984). Отв. ред. А.М. Дымкин. Свердловск: УНЦ АН СССР, 264 с.
9. Чернышева Л.В., Смелякова Г.А., Зайцева Г.И. (1981) Типоморфизм магнетита и его использование при поисках и оценке рудных месторождений. М.: Недра, 236 с.
10. Шолпо Л.Е. (1977) Использование магнетизма горных пород для решения геологических задач. Л.: Недра, 183 с.
11. Яковлев В.Л., Лаптев Ю.В., Яковлев А.М. (2014) Геоинформационная оценка изменчивости качества титаномагнетитовых руд Гусевогорского месторождения. *Литосфера*, (5), 122-128.

Study of natural magnetization titanomagnetite ores Gusevogorskoye deposit (from measurements in boreholes)

© 2017 г. V. S. Ivanchenko*, Yu. G. Astrachantsev*, N. A. Beloglazova*, I. I. Glukhikh*, L. G. Strokina*, S. V. Kalugina**

**Institute of Geophysics, Urals Branch of RAS*
***Company "EVRAZ KGOK"*

The work shows the results of measurements magnetization (natural complete, natural residual and induced magnetization, inclination of angles complete and residual magnetization, ratio Koenigsberger) titanomagnetite ores Gusevogorskoye deposit in natural situ. The data was received by results of a three-component borehole magnetometer, measurement in explosive holes in Kachkanar. It is concluded that the observed changes in the natural residual magnetization indicate the formation of titanomagnetite ores in different thermodynamic areas as a result of subsequent geological processes that led to the disintegration of solid solutions. The main magnetic phase of these deposits were quite similar in composition and magnetic structure.

Key words: *titanomagnetites, natural total magnetization, residual magnetization, induced magnetization, explosive borehole, three-component geomagnetic measurements.*

REFERENCES

1. Astrahantsev Yu.G., Beloglazova N.A. (2012) *Kompleksnaya magnitometricheskaya apparatura dlya issledovaniya sverkhglubokikh i razvedochnykh skvazhin*. [Integrated magnetometric instruments for research of ultra-deep exploration wells]. Ekaterinburg, UrO RAN Publ., 120 p. (In Russian)
2. Beloglazova N.A., Glukhikh I.I., Kornilkov S.V., Koshcheeva E.V. (2014) On the question of determining the magnetization of the rocks on the results of the three-component downhole measurements. *Urals Geofiz. Vest.*, (2), 22-29. (In Russian)
3. Goryainov P.M., Balabonin I.L., Tyuremnov V.A. (1990) *Tipy zhelezorudnykh ansamblei i ikh geomagnitnaya sistematika.* [The types of iron ensembles and their geomagnetic systematic]. Apatity, KNTs AN SSSR Publ., 171 p. (In Russian)
4. Igolkina G.V. (2002) *Skvazhinnaya magnitometriya pri issledovanii sverkhglubokikh i glubokikh skvazhin.* [The study of borehole magnetometry ultra-deep and deep wells].Ekaterinburg: UrO RAN Publ., 214 p. (In Russian)
5. Igolkina G.V., Bakhvalov A.N. (1998) Determination of magnetization of magnetite mineralization zones according borehole magnetometry. *Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya* "*Nauka i obrazovanie – vedushchii faktor strategii* «*Kazakhstan-2030*»".[International scientific conference "Science and education – the leading factor of strategy «Kazakhstan-2030»"] Karaganda: KarGTU, 692-695. (In Russian)
6. *Ispol'zovanie magnetizma gornykh porod pri geologicheskoi s"emke* (1986). [Using the magnetism of rocks at geological survey (Ed. L.E. Sholpo)]. Leningrad, Nedra Publ., 224 s. (In Russian)
7. Koshcheeva E.V. (2012) The magnetic characteristics of the operational units Gusevogorskoye field. *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya* "*Ural'skie gornye inzhenery – regionam*" (Red. N.G. Valieav) [International scientific-practical conference "Uralian mining engineers for regions" (Ed. N.G. Valiev)] Ekaterinburg: UGGU, 189-190. (In Russian)
8. *Formatsiya titanomagnetitovykh rud i zhelezistykh kvartsitov. Zhelezorudnye mestorozhdeniya Urala* (1984). (Red. A.M. Dymkin). [The formation of titanomagnetite ores and ferruginous quartzite. Iron ore deposits of the Urals (Ed. A.M. Dymkin) Sverdlovsk: UNTs AN SSSR Publ., 264 p. (In Russian)
9. Chernysheva L.V., Smelyakova G.A., Zaitseva G.I. (1981) *Tipomorfizm magnetita i ego ispol'zovanie pri poiskakh i otsenke rudnykh mestorozhdenii*. [Typomorphism of magnetite and its use for the search and evaluation of mineral deposits] Moscow, Nedra Publ., 236 p. (In Russian)
10. Sholpo L.E. (1977*) Ispol'zovanie magnetizma gornykh porod dlya resheniya geologicheskikh zadach*. [The use of rock magnetism for solving geological problems]. Leningrad, Nedra Publ., 183 p. (In Russian)
11. Yakovlev V.L., Laptev Yu.V., Yakovlev A.M. (2014) Geoinformation estimate the variability of quality titanomagnetite ores Gusevogorskoye field. *Litosfera*, (5), 122-128. (In Russian)