

Состав и магнитные свойства горных пород Зареченской и Никольской магнитных аномалий (Восточное побережье оз.Байкал)

Д. Ю. Сайлымбы^{1,2*}, *А. В. Вишневецкий*^{1,3}, *П. Г. Дядьков*^{1,2}

¹ Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Российская Федерация

² Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука, г. Новосибирск, Российская Федерация

³ Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева, г. Новосибирск, Российская Федерация

* e-mail: dayana.saylymby@mail.ru

Аннотация. Определен минеральный состав образцов горных пород Зареченской и Никольской магнитных аномалий, который сопоставлен с магнитными свойствами этих образцов, такими как индуктивная и остаточная намагниченности, температура Кюри, анизотропия магнитной восприимчивости и фактор Кенигсберга. Рассмотрено влияние минерального состава на магнитные свойства горных пород. Это, в свою очередь, позволит в дальнейшем повысить достоверность интерпретации результатов выполняемого здесь тектономагнитного мониторинга.

Ключевые слова: минеральный состав, индуктивная намагниченность, остаточная намагниченность, анизотропия магнитной восприимчивости, тектономагнитный мониторинг, Зареченская и Никольская магнитные аномалии

Composition and magnetic properties of rocks of Zarechenskaya and Nikolskaya magnetic anomalies (East coast of Lake Baikal)

D. Yu. Saylymby^{1,2*}, *A. V. Vishnevsky*^{1,3}, *P. G. Dyadkov*^{1,2}

¹ Novosibirsk State University, Novosibirsk, the Russian Federation

² Institute of Petroleum Geology and Geophysics A.A. Trofimuka, SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation

³ Institute of Geology and Mineralogy named after V.S. Sobolev, Novosibirsk, Russian Federation

* e-mail: dayana.saylymby@mail.ru

Abstract. The mineral composition of rock samples of the Zarechenskaya and Nikolskaya magnetic anomalies was determined. The mineral composition was compared with the magnetic properties of rocks, such as inductive and remanent magnetization, Curie temperature, anisotropy of magnetic susceptibility, and the Koenigsberg factor. The influence of the mineral composition on the magnetic properties of rocks is considered. This, in turn, will further increase the reliability of the interpretation of the results of tectonomagnetic monitoring performed here.

Keywords: mineral composition, inductive magnetization, remanent magnetization, anisotropy of magnetic susceptibility, tectonomagnetic monitoring, Zarechenskaya and Nikolskaya magnetic anomalies

Магнитные свойства горных пород обусловлены главным образом магнитными минералами, обладающими ферромагнитными свойствами. К ним относятся минералы рода магнетита, гематит и ильменит. Магнитные зерна имеют

разные распределения по размеру и форме, разную концентрацию и разные взаимоотношения друг с другом. Эти особенности различным образом отражаются на тех или иных магнитных параметрах горных пород [1].

Актуальность работы обусловлена необходимостью оценки значений магнитоупругих коэффициентов для массивов горных пород, являющихся источниками Зареченской и Никольской магнитных аномалий (рис. 1), в районе которых проводятся многолетние тектономагнитные исследования ИНГГ СО РАН [2, 3].

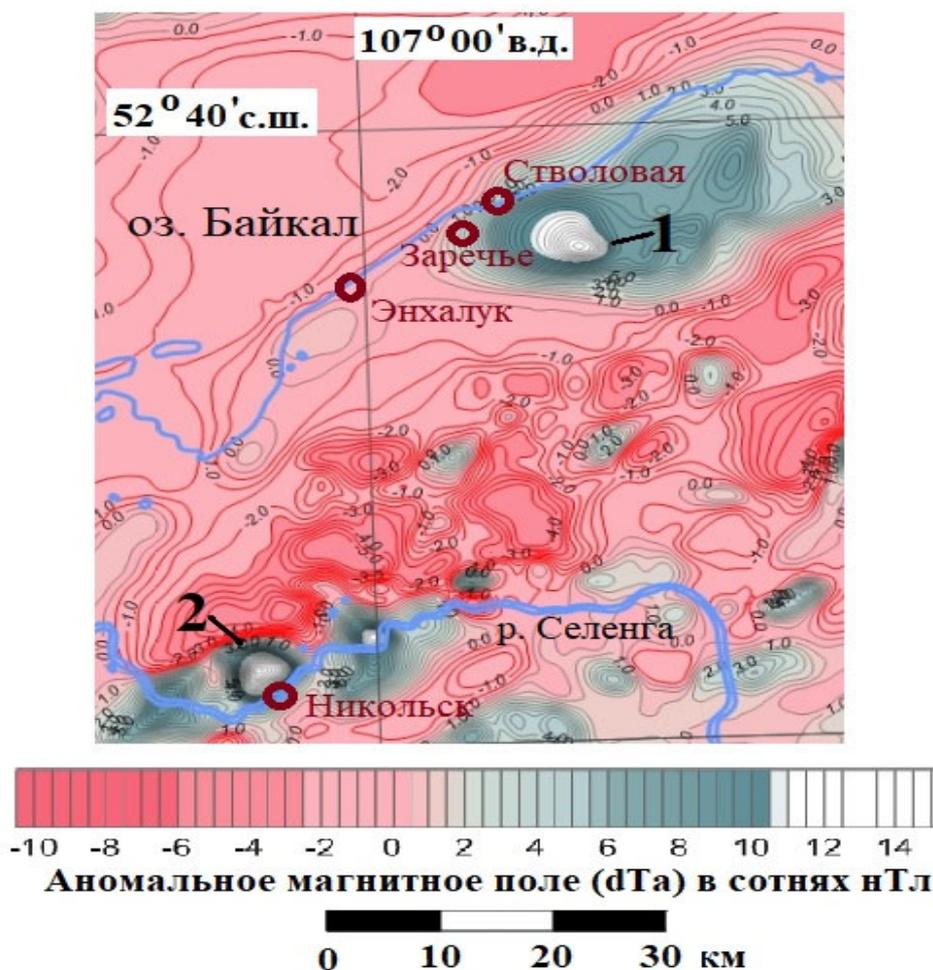


Рис. 1. Зареченская (1) и Никольская (2) магнитные аномалии на карте аномального магнитного поля (dTа), составленной по данным аэромагнитной съемки масштаба 1: 200 000

Для исследования были использованы образцы, отобранные на Зареченской и на Никольской магнитных аномалиях, в районе пунктов тектономагнитных наблюдений. Источником Зареченской магнитной аномалии является повышенная намагниченность обширного и, вероятно, глубоко залегающего массива горных пород архейского возраста.

С целью определения состава горных пород был сделан анализ в сканирующем электронном микроскопе Tescan Mira 3 с ЭДС Oxford X-Max 50.

Минеральный состав горных пород

Место	№	Образцы	Тип породы	Размер зерен, мм	Содержание магн. мин., %		
					Магнетит FeFe ₂ O ₄	Титаномагнетит Fe(Fe,Ti) ₂ O ₄	Ильменит FeTiO ₃
Никольск	1	NIK KAR	гнейс биотит-роговообманковый	0.1-0.4	1.4	0.53	0.66
	2	NIK KSV	гнейс биотит-авгит-роговообманковый	0.1-0.3	1.28	0.38	1.63
Заречье	1	ZARCK20	гнейс биотит-роговообманковый	2-4	2.05	—	0.05

Состав пород Никольской магнитной аномалии

Петрографическое исследование показало, что тип породы образца NIK-KAR - гнейс биотит-роговообманковый с 2-3 об. % кварца. Объёмная доля оксидов 2,6%, магнетит – 1,4%, ильменит – 0,66%, титаномагнетит – 0,53%. Минералы представлены изометричными зёрнами магнетита 0,1-0,4 мм, изометричными, слабовытянутыми зёрнами ильменита и сложными ильменит-титаномагнетитовыми сростаниями схожей размерности.

Тип породы образца NIK-KSV - гнейс биотит-авгит-роговообманковый с 3-4 об. % кварца. Объёмная доля оксидов – 3,3%, магнетит – 1,28%, ильменит – 1,63%, титаномагнетит – 0,38%. Минералы представлены изометричными зёрнами магнетита 0,1-0,3 мм, изометричными, слабовытянутыми зёрнами ильменита и сложными ильменит-титаномагнетитовыми сростаниями (изометричные зёрна до 0,2 мм).

Состав пород Зареченской магнитной аномалии

Тип породы образца ZARCK20 гнейс биотит-роговообманковый с ~10 об. % кварца. Объёмная доля оксидов – 2,1%, магнетит – 2,05%, ильменит – 0,05%. Минералы представлены скоплениями и ксеноморфными выделениями зерен магнетита (размер гнезд 2-4 мм). В тесном сростании с магнетитом встречаются отдельные редкие зёрна ильменита, их доля от количества рудных минералов не более 3%. Отметим высокую степень недоуверности определения количественного содержания магнитных минералов у этого образца ввиду небольшого

размера изучаемого образца и существенного влияния на результат статистически малого числа гнезд темноцветов в нем.

Магнитные свойства

Таблица 2

Магнитные свойства образцов горных пород

Место	№	Образец	κ * 10^{-3} СИ	Pj	T	\bar{I}_r , A/m	I_i , A/ m	Q
Никольск	1	НИККАР.1	16.63	1.038	0.778	0.398	0.798	0.499
	2	НИККАР.2	21.23	1.044	0.752	0.780	1.020	0.765
	3	НИККАР.3	18.44	1.033	0.805	1.003	0.885	1.133
	4	НИККСВ.1	12.71	1.061	0.016	0.649	0.610	1.063
	5	НИККСВ.2	14.94	1.076	-0.390	0.838	0.717	1.168
Заречье	1	ZARCK20.1	6.614	1.094	0.195	0.168	0.317	0.529
	2	ZARCK20.2	9.15	1.114	0.704	0.576	0.439	1.312
	3	ZARCK20.3	13.04	1.104	0.424	1.113	0.626	1.778

Температура Кюри. При проведении термомагнитного анализа образцов горных пород Зареченской магнитной аномалии было получено, что температура Кюри составляет 580°C [4]. Это свидетельствует о том, что главным магнитным минералом является магнетит. Важно также отметить, что термомагнитные кривые архейских гнейсов Северокитайского кратона имеют похожий вид и весьма близкую температуру Кюри, равную 580°C [5].

Анизотропия магнитной восприимчивости. В работе [6] были определены магнитные свойства горных пород Зареченской и Никольской магнитных аномалий (Табл. 2). При анализе эллипсоида анизотропии магнитной восприимчивости использовались параметры Pj (корректированная степень анизотропии) и T (параметр формы эллипсоида). В результате проведенных измерений было получено, что большинство исследованных образцов обладают средней степенью анизотропии магнитной восприимчивости $1.03 < Pj < 1.1$. Значения параметра T, характеризующего форму эллипсоида, в большинстве варьируют от -0.3 до 0.8, при этом примерно в 7 случаев эллипсоид обладает вытянутой формой (T>0), в одном случае – сплюснутой (T<0). Как правило, вытянутая форма эллипсоида анизотропии магнитной восприимчивости в магматических телах интерпретируется как результат движения магмы, а сплюснутая – как следствие статических процессов: сжатия при охлаждении тела или кристаллизации “in situ”.

Фактор Q. Более низкими значениями Q характеризуются образцы НИККАР.1, НИККАР.2, что говорит о преобладании индуктивной намагниченности над остаточной для биотит-роговообманковых гнейсов Никольской аномалии. Для биотит-авгит-роговообманковых гнейсов Никольской аномалии (образцы НИККСВ.1 и НИККСВ.2) характерно равенство остаточной и индуктивной

намагниченностей. Биотит-роговообманковые гнейсы Зареченской магнитной аномалии характеризуются преобладанием (в среднем ~ в 1.5 раза) остаточной намагниченности над индуктивной для образцов ZARCK20.2 и ZARCK20.3. Для образца ZARCK20.1 наблюдается обратный эффект - преобладание индуктивной намагниченности над остаточной (Табл. 2).

Сопоставление магнитных свойств с составом горных пород

Эффект значительного разброса значений остаточной намагниченности и, соответственно, фактора Q у образцов Зареченской магнитной аномалии, по всей видимости, связан с неравномерностью распределения гнезд скопления магнетита и, соответственно, их неравным количеством в каждом из образцов, что обусловлено их крупным размером, достигающем 4 мм. Этот размер на порядок превышает размер зерен и сростаний магнетита у образцов Никольской аномалии.

По этой же причине мы будем иметь высокую степень недостоверности определения количественного содержания магнитных минералов у образца ZARCK20 Зареченской магнитной аномалии ввиду его небольшого размера и существенного влияния на результат статистически малого числа гнезд темноцветов в нем.

Наличие титаномагнетита в образцах горных пород Никольской магнитной аномалии может указывать на более высокие значения магнитоупругих коэффициентов, т.е. несколько большую чувствительность к изменениям механических напряжений в земной коре, по сравнению с породами Зареченской магнитной аномалии [7].

В тоже время, большой размер зерен магнетита как у образцов Никольской аномалии, так и у образца Зареченской аномалии, указывает на многодоменный состав магнитных минералов, что, согласно [8], позволяет ожидать если и не высокие, то и не самые низкие значения магнитоупругих коэффициентов для этих пород.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке темы ПФНИ FWZZ-2022-0019.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Храмов А.Н., и др. Палеомагнитология // А.Н. Храмов, Г.И. Гончаров, Р.А. Комиссарова. – Недра. – 1982. – 312 с.
2. Дядьков П.Г., Мандельбаум М.М., Татьков Г.И., Ларионов В.А., Жирова Н.В., Михеев О.А., Низамутдинов Р.С., Чебаков Г.И. Особенности развития сейсмостектонического процесса и процессов подготовки землетрясений в центральной части Байкальской рифтовой зоны по результатам тектономагнитных исследований // Геология и геофизика. – 1999. – Т. 40, № 3. – С. 346-359.
3. Дядьков П.Г., Романенко Ю.М., Дучкова А.А., Козлова М.П., Кулешов Д.А., Цибизов Л.В. О критериях выделения областей подготовки сильных байкальских землетрясений на основе анализа сейсмического режима и результатов тектономагнитного мониторинга // ГИАБ. – 2017. – №12. – спец. выпуск 36. – С. 11-18.

4. Сайлымбы Д.Ю., Дядьков П.Г., Михальцов Н.Э. Температура Кюри горных пород Зареченской магнитной аномалии (восточное побережье оз. Байкал). Интерэкспо ГЕО-Сибирь - "Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология": Материалы XVI международной научной конференции (г. Новосибирск, 20-24 апреля 2020 г.) – ИНГГ СО РАН – Новосибирск – С.590-595 – 2020.

5. Wang H., Liu Q. Zhao W., Li Z. and Zheng J. Magnetic properties of Archean gneisses from the northeastern North China Craton: the relationship between magnetism and metamorphic grade in the deep continental crust // *Geophys. J. Int.* – 2015. – 201. – P. 486–495. doi: 10.1093/gji/ggv036.

6. Дядьков П.Г., Сайлымбы Д.Ю., Михальцов Н.Э., Левичева А.В. Индуктивная и остаточная намагниченность пород Зареченской и Никольской магнитных аномалий (восточное побережье оз. Байкал) Интерэкспо ГЕО-Сибирь - "Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология": Материалы XVII международной научной конференции (г. Новосибирск, 19-21 мая 2021 г.) – ИНГГ СО РАН – Новосибирск – том Т. 2 – № 2 – С.48-54 – 2021

7. Stacey, F. D., and M. J. S. Johnston, Theory of piezomagnetic effect in titanomagnetite-bearing rocks // *Pure Appl. Geophys.* – 1972. – 97. – P. 146-155.

8. Kean, W., Day, R., Fuller M., and Schmidt, V. The effect of uniaxial compression on the initial susceptibility of rocks as a function of grain size and composition of their constituent titanomagnetites // *Journal of Geophysical Research.* – 1976. – 81. – P. 861–872.

© Д. Ю. Сайлымбы, А. В. Вишневецкий, П. Г. Дядьков, 2022