

## **ИНДУКТИВНАЯ И ОСТАТОЧНАЯ НАМАГНИЧЕННОСТЬ ПОРОД ЗАРЕЧЕНСКОЙ И НИКОЛЬСКОЙ МАГНИТНЫХ АНОМАЛИЙ (ВОСТОЧНОЕ ПОБЕРЕЖЬЕ ОЗ. БАЙКАЛ)**

### ***Пётр Георгиевич Дядьков***

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3, к.г.-м.н., заведующий лабораторией, e-mail: DyadkovPG@ipgg.sbras.ru; Новосибирский государственный университет (НГУ), 630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова 2, доцент

### ***Даяна Юрьевна Сайлымбы***

Новосибирский государственный технический университет, 630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20, студент, e-mail: dayana.saylymby@mail.ru

### ***Николай Эдуардович Михальцов***

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3, к.г.-м.н., e-mail: MikhaltsovNE@ipgg.sbras.ru; Новосибирский государственный университет (НГУ), 630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова 2

### ***Александра Викторовна Левичева***

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3, к.г.-м.н., e-mail: LevichevaAV@ipgg.sbras.ru

Определена остаточная намагниченность, магнитная восприимчивость и ее анизотропия, а также фактор Q образцов горных пород Зареченской и Никольской магнитных аномалий, расположенных в районе Селенгинской депрессии на восточном побережье оз. Байкал. Знание магнитных свойств массивов горных пород, являющихся источниками этих аномалий, необходимо для оценки магнитоупругих коэффициентов, которые могут быть отличны для остаточной и индуктивной намагниченности. Это, в свою очередь, позволит в дальнейшем повысить достоверность интерпретации результатов выполняемого здесь тектономагнитного мониторинга.

**Ключевые слова:** индуктивная намагниченность, остаточная намагниченность, анизотропия магнитной восприимчивости, тектономагнитный мониторинг, Зареченская и Никольская магнитные аномалии, озеро Байкал

## **INDUCTIVE AND REMANENT MAGNETIZATION OF ROCKS OF ZARECHENSKAYA AND NIKOLSKAYA MAGNETIC ANOMALIES (EASTERN COAST OF OZ. BAIKAL)**

### ***Petr G. Dyadkov***

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Akademika Koptyuga Ave., Novosibirsk, 630090, Russia, PhD, Head of laboratory, e-mail: DyadkovPG@ipgg.sbras.ru; Novosibirsk State University (NSU), 630090, Novosibirsk, Pirogova Str. 2, associate professor

### ***Dayana Yu. Saylymby***

Novosibirsk State Technical University, Russia, 630073, Novosibirsk, K. Marx ave., 20, Student, e-mail: dayana.saylymby@mail.ru

***Nikolay E. Mikhaltsov***

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Akademika Koptyuga Ave., Novosibirsk, 630090, Russia, PhD, Researcher, e-mail: MikhaltsovNE@ipgg.sbras.ru  
Novosibirsk State University, Novosibirsk, 630090, Pirogova Str. 2.

***Alexandra V. Levicheva***

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Akademika Koptyuga Ave., Novosibirsk, 630090, Russia, PhD, Senior Researcher, e-mail: DyadkovPG@ipgg.sbras.ru

The remanent magnetization, magnetic susceptibility and its anisotropy, as well as the Q factor of the samples of rocks, from the Zarechenskaya and Nikolskaya magnetic anomalies have been determined. These anomalies locate near the Selenginskaya depression on the eastern coast of Lake Baikal. Knowledge of the magnetic properties of rock massifs that are the sources of these anomalies is necessary to assess the magnetoelastic coefficients, which may be different for remanent and inductive magnetization. This, in turn, will make it possible to further increase the reliability of the interpretation of the results of tectomagnetic monitoring performed here.

**Keywords:** inductive magnetization, remanent magnetization, anisotropy of magnetic susceptibility, tectomagnetic monitoring, Zarechenskaya and Nikolskaya magnetic anomalies, Lake Baikal

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 [1,2]. Ввиду того, что магнитоупругие коэффициенты имеют разные значения для индуктивной и остаточной намагниченностей, важным является определение каждой из этих намагниченностей и их соотношения (фактора Q).

Знание величин остаточной и индуктивной намагниченностей и планируемое в дальнейшем определение магнитоупругих коэффициентов для каждой из этих намагниченностей необходимо для обеспечения достоверной интерпретации регистрируемых в районе этих аномалий тектономагнитных эффектов, связанных с геодинамическими процессами и процессами подготовки землетрясений.

Основным средством достижения поставленной цели являлись лабораторные измерения магнитных свойств горных пород.

Магнитная восприимчивость – это коэффициент пропорциональности между величиной магнитного поля и намагниченностью вещества. Восприимчивость магнитных веществ зависит от напряженности, растет с увеличением размера зерен, падает с ростом дефектности зерен. Величина магнитной восприимчивости варьирует в разных типах пород [3].

Анизотропия магнитной восприимчивости (АМВ) – зависимость величины магнитной восприимчивости от направления приложенного магнитного поля.

Индуктивная намагниченность — намагниченность, вызванная действием внешнего магнитного поля и исчезающая после его снятия.

Остаточная намагниченность – намагниченность, которая формируется при образовании породы и не исчезает при снятии внешнего поля.

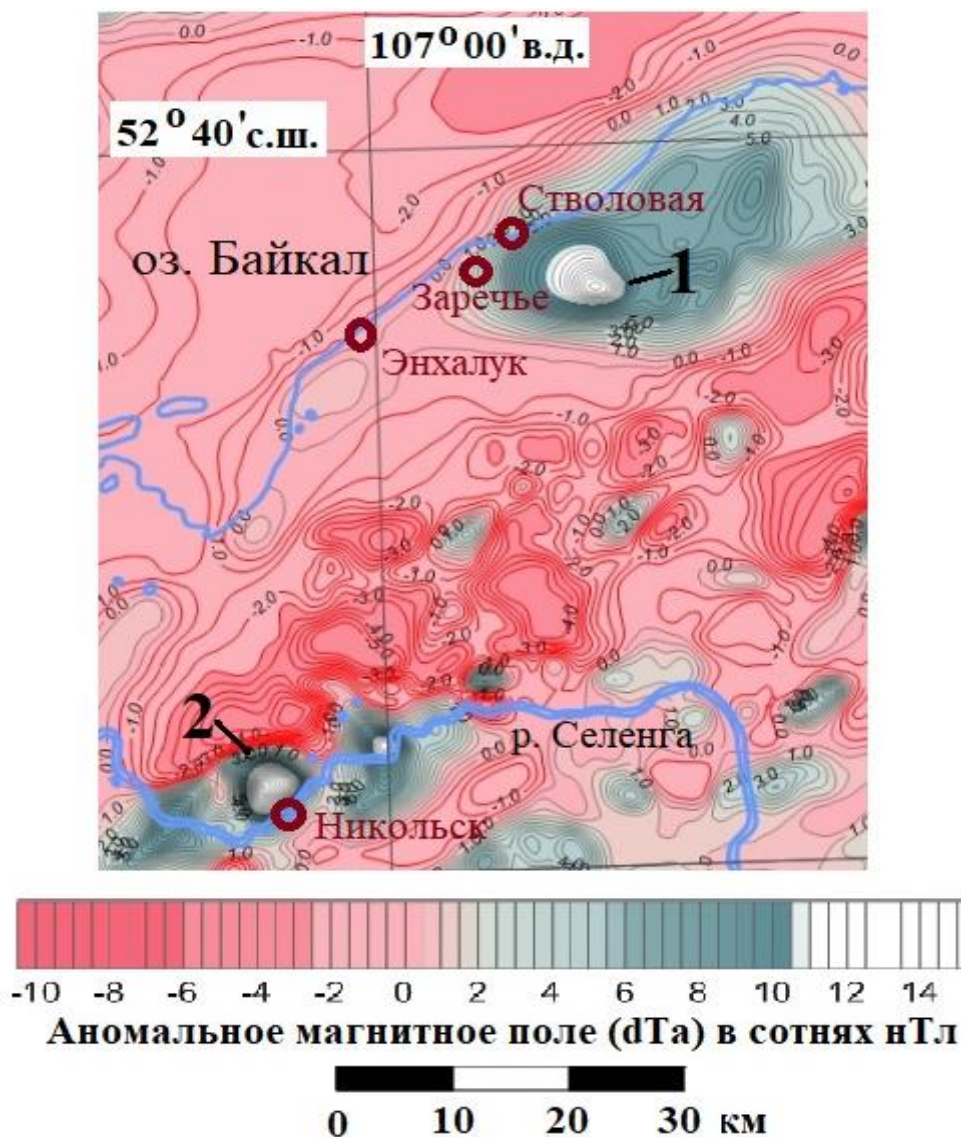


Рис. 1. Зареченская (1) и Никольская (2) магнитные аномалии на карте аномального магнитного поля (dTa), составленной по данным аэромагнитной съемки масштаба 1: 200 000

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, сложенного в основном гнейсогранитами [4].

Аномалиеобразующие породы Никольской магнитной аномалии сложены, в основном, граносиенитами и гранодиоритами.

Измерения зависимости магнитной восприимчивости и ее анизотропии проводились на приборе Kappabridges MFK1-FA, в лаборатории геодинамики и палеомагнетизма ИНГГ СО РАН. Принцип работы этой аппаратуры связан с измерением изменений индуктивности, обусловленных помещением в катушку образца. Для измерений требуется образец кубической формы с размерами ребра до 20 мм.

Таблица 1

Значения общей магнитной восприимчивости  $\kappa$ , степени анизотропии  $P_j$  и фактора формы эллипсоида  $T$ .

Место	№	Образцы	$\kappa \cdot 10^{-3}$	Standard err . [%]	$P_j$	$T$
Никольск	1	NIK KAR.1	16.63	0.0080	1.038	0.778
	2	NIK KAR.2	21.23	0.0148	1.044	0.752
	3	NIK KAR.3	18.44	0.0038	1.033	0.805
	4	NIK KSV.1	12.71	0.0126	1.061	0.016
	5	NIK KSV.2	14.94	0.0320	1.076	-0.390
Заречье	1	2017.1	15.43	0.0645	1.170	-0.303
	2	2017.2	29.49	0.1154	1.219	0.377
	3	ZARCK20.1	6.614	0.0216	1.094	0.195
	4	ZARCK20.2	9.15	0.0512	1.114	0.704
	5	ZARCK20.3	13.04	0.0112	1.104	0.424

При анализе эллипсоида анизотропии магнитной восприимчивости использовались параметры  $P_j$  (корректированная степень анизотропии) и  $T$  (параметр формы эллипсоида).

В результате проведенных измерений было получено, что большинство исследованных образцов обладают средней степенью анизотропии магнитной восприимчивости  $1.03 < P_j < 1.2$ .

Значения параметра  $T$ , характеризующего форму эллипсоида АМВ [5], в большинстве значения варьируют от -0.3 до 0.8, при этом примерно в 80% случаев эллипсоид обладает вытянутой формой ( $T > 0$ ), в 20% случаев – 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” [6].

Для измерения естественной остаточной намагниченности применялся ротационный магнитометр JR-6А, предназначенный для измерения трех компонент остаточной намагниченности горных пород. Измерения проводились в лаборатории естественных геофизических полей ИНГГ СО РАН. При

вращении образца с постоянной скоростью внутри пары катушек Гельмгольца в катушках наводится ЭДС, пропорциональная величине и направлению вектора остаточной намагниченности. Для измерений требуется образец кубической формы с размерами ребра 20 мм. Измерения проводятся при комнатной температуре. Процесс измерения полностью управляется компьютером.

Таблица 2

Значения средней остаточной  $\bar{I}_r$  и индуктивной  $I_i$  намагниченностей, фактора Кенингсбергера Q и оценка ошибки.

Место	№	Образцы	$\bar{I}_r$ A/m	$I_i$ A/m	Q	$\frac{I_{r2} - I_{r1}}{I_r} * 100\%$
Никольск	1	NIKKAR.1	0.398	0.798	0.499	8
	2	NIKKAR.2	0.780	1.020	0.765	1.3
	3	NIKKAR.3	1.003	0.885	1.133	3.3
	4	NIKKS.V.1	0.649	0.610	1.063	0.1
	5	NIKKS.V.2	0.838	0.717	1.168	2.3
Заречье	1	2017.1	1.469	0.741	1.983	0.1
	2	2017.2	2.257	1.415	1.595	1.9
	3	ZARCK20.1	0.168	0.317	0.529	6.5
	4	ZARCK20.2	0.576	0.439	1.312	2.7
	5	ZARCK20.3	1.113	0.626	1.778	4.1

Для каждого образца измерялись компоненты X, Y и Z естественной остаточной намагниченности. Также рассчитывалась величина модуля вектора естественной остаточной намагниченности.

Анализ результатов измерений позволяет отметить, что максимальной естественной остаточной намагниченностью обладали образцы 2017.1, 2017.2 и ZARCK20.3. Зареченской аномалии. Для всех образцов направления вектора остаточной намагниченности различаются, что, вероятно, связано, по нашему мнению, с существенно неравномерным распределением магнитных минералов в образцах. Чтобы определить в какой степени это может быть связано с ошибками измерений, для всех образцов были выполнены повторные измерения остаточной намагниченности. Расхождения между первым и вторым измерениями показаны в процентах в последнем столбце таблицы 2. Максимальное отличие в величине остаточной намагниченности составило 8 %, а для большей части образцов оно не превысило 3 %, что указывает на высокую степень достоверности полученных значений остаточной намагниченности.

Для определения фактора Кенингсбергера Q на основе данных об измеренных значениях магнитной восприимчивости были рассчитаны значения

индуктивной намагниченности по формуле  $I = k * H$  [3], где  $H$  - напряженность магнитного поля, которая для данного региона равняется 48 А/м.

Более низкими значениями  $Q$  характеризуются образцы NIKKAR.1, NIKKAR.2, что говорит о преобладании индуктивной намагниченности над остаточной для гранодиоритов Никольской аномалии.

Для граносиенитов Никольской аномалии характерно равенство остаточной и индуктивной намагниченностей.

Гнейсограниты Зареченской аномалии характеризуются преобладанием (в среднем ~ в 1.5 раза) величины остаточной намагниченности над индуктивной.

Таким образом, определена остаточная и индуктивная намагниченности, магнитная восприимчивость и ее анизотропия, а также фактор  $Q$  образцов горных пород Зареченской и Никольской магнитных аномалий, расположенных в районе Селенгинской депрессии на восточном побережье оз. Байкал. Это позволит повысить достоверность интерпретации регистрируемых здесь тектономагнитных аномалий.

*Работа выполнена при поддержке Программы ФНИ ИНГГ СО РАН.*

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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 сеймотектонического 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.
2. 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.
3. Трухин В. И. Введение в магнетизм горных пород. 1973.
4. Геологическая карта СССР масштаба 1:200000. Серия Прибайкальская, лист N-48-XXXVI, Недра, М., 1965.
5. Jelinek, V.Characterization of the magnetic fabrics of rocks. Tectonophysics. 1981. – 79, T 63-T 67.
6. O'Driscoll B., Ferre E.C., Stevenson S.T.E., Magee C. The significance of magnetic fabric in layered mafic-ultramafic intrusions. 2015. Chapter 7 in: Charlier B. et al., eds. Layered intrusions. Springer. – 2015. – P. 295-329.

#### REFERENCES

1. Dyadkov P. G., Mandelbaum M. M., Tatkov G. I., Larionov V. A., Zhirova N. V., Mikheev O. A., Nizamutdinov R. S., Chebakov G. I. Osobennosti razvitiya seismotektonicheskogo processa I processov podgotovki zemletryaseni v central'noi chasti Baikal'skoi riftovoi zonu po rezul'tatam tektonomagnitnuh issledovaniy // Geologya I Geofizika. – 1999. – Т. 40. – № 3. – S. 346-359.
2. Dyadkov P. G., Romanenko Yu. M., Duchkova A. A., Kozlova M. P., Kuleshov D. A., Tsibizov L. V. O kriteriyah vudeleniya oblastei podgotovki sil'nuh baikal'skih zemletryaseni na osnove analiza seismicheskogo rezhima I rezul'nanov tektonomagnitnogog monitoringa // GIAB. – 2017. –№12. – spec. vupysk 36. – S. 11-18.
3. Trukhin V. I. Vvedenie v magnetism gornuh porod. 1973.

4. Geologicheskaya karta SSSR masshtaba 1:200000. Seriya Pribaikal'skaya, list N-48-XXXVI, Nedra, M., 1965.
5. Elinek V., Characteristics of magnetic fabrics rock . Tectonophysics. –1981. –79, T 63-T 67.
6. O'Driscoll B., Ferre E. S., Stevenson S. T. E., Magee K. The significance of magnetic fabric in layered mafic-ultramafic intrusions. 2015. Chapter 7 in: Charlier B. et al., eds. Layered intrusions. Springer. –2015. – P. 295-329.

© П. Г. Дядьков, Д. Ю. Сайлымбы, Н. Э. Михальцов, А. В. Левичева, 2021