

УДК 552.5: 553.251: 550.838.4

## ИСТОЧНИКИ ПАЛЕОМАГНИТНОГО СИГНАЛА В ВЫСОКОЖЕЛЕЗИСТЫХ МОРСКИХ ОСАДОЧНЫХ ПОРОДАХ

М. А. Рудмин<sup>1,\*</sup>, А. К. Мазуров<sup>1</sup>, академик РАН В. И. Сергиенко<sup>2</sup>, О. Г. Савичев<sup>1</sup>,  
член-корреспондент РАН И. П. Семилетов<sup>1,2</sup>

Поступило 10.09.2018 г.

Представлены результаты интерпретации изменения магнитного сигнала высокожелезистых морских осадочных пород на примере мел-палеогенового разреза Бакчарского месторождения (Западная Сибирь). Аномальные значения магнитной восприимчивости (МВ) определяются двумя факторами: (а) наложенным диагенетическим процессом, сопровождающимся формированием пирротина, грейгита и сидерита среди оолитовых железняков; (б) усилением континентального стока с накоплением терригенного магнетита и ильменита в алевритистом осадке на фоне увлажнения климата и повышения выветривания. Показано, что повышенные значения МВ в высокожелезистых отложениях могут быть связаны с формированием ферромагнитных сульфидов железа, что указывает на мобилизацию метана через древние донные осадки.

*Ключевые слова:* морские отложения, железняки, магнитные минералы, магнитная восприимчивость, Бакчарское месторождение, Западная Сибирь.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5652486153-56>

Среди железосодержащих минералов, встречаемых в морских отложениях, магнитные минералы представляют особый интерес, поскольку являются чувствительными индикаторами седиментационных, диагенетических и пост-осадочных процессов [1]. Железосодержащие магнитные минералы встречаются в виде оксидов (магнетит, гематит, ильменит), оксигидроксидов (гетит, ферригидрит, лепидокрокит) и сульфидов (грейгит, пирротин). Как правило, наличие или разубоживание этих минералов в валовом составе осадочных пород отражается на общем магнитном сигнале, в том числе магнитной восприимчивости (МВ). Учитывая высокую чувствительность и экспрессность измерений, магнитная восприимчивость на протяжении уже более 30 лет служит полезным инструментом в осадочной геологии [2]. Динамические изменения диагенеза или гидродинамики являются одними из основных факторов, контролирующих магнитную запись в современных и древних морских средах [1, 2].

Основная цель данной работы заключалась в изучении источников магнитного сигнала и определении геохимических и других природных факторов, контролирующих распределение и изменение МВ для высокожелезистых осадочных отложений.

Объектом для исследований послужило Бакчарское месторождение морских оолитовых железняков в юго-восточной части Западной Сибири. Разрез месторождения изменяется от 50 до 90 м на глубинах 150–250 м и представляет собой осадочную последовательность прибрежно-морских фаций мел-палеогенового возраста [3], которая характеризуется повышенным содержанием Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (общ) от 15 до 65% [4]. Железо на месторождении сконцентрировано в виде (гидро-)оксидов, филлосиликатов, карбонатов, реже сульфидов (пирит, пирротин, грейгит) и в единичных случаях фосфатов. Минеральные скопления в форме ооидов и пелоидов в отдельных частях разреза образуют мощные рудные тела: бакчарский, колпашевский, нарымский горизонты [3].

Аналитические работы выполнялись на образцах из керна скважин (рис. 1, более 260 проб) с использованием комплекса методов: литологический и петрографический анализ, сканирующая электронная микроскопия и рентгенодифракционный анализ. Фактическая выборка значений МВ составила более 25 000 измерений в 14 скважинах (рис. 1) с шагом

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

<sup>2</sup>Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской Академии наук, Владивосток

\*E-mail: [rudminma@tpu.ru](mailto:rudminma@tpu.ru)

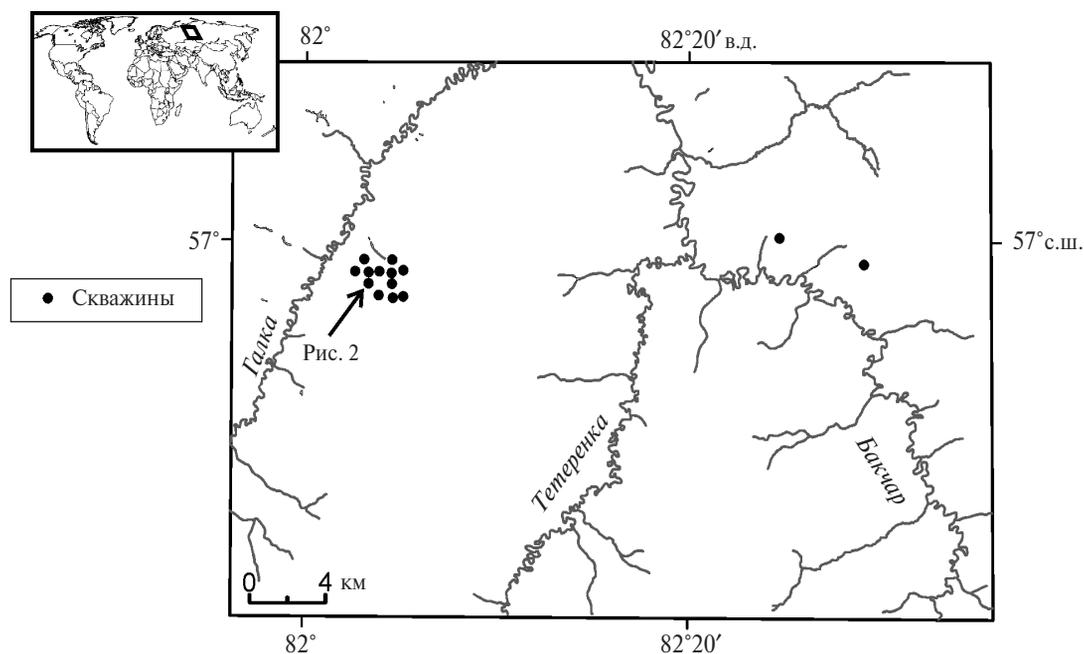


Рис. 1. Обзорная схема расположения скважин в пределах Бакчарского месторождения с измеренной МВ.

10 см. Замеры выполнялись капнометром Terraplus KT-10.

Магнитная восприимчивость всей железовмещающей толщи месторождения (рис. 2а) характеризуется широким разбросом значений от 2,9 до  $860 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ при медиане  $61,9 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ. Общая высокая флуктуация МВ в разрезе объясняется его неоднородностью, выраженной в изменении литотипов от песчаников, алевролитов и глин с обломками железистых минералов до железняков различного состава. При этом в вертикальном профиле выделяется две контрастные аномалии МВ (рис. 2а), которые в стратиграфическом плане приурочены к (1) подошве ипатовской свиты (ранний турон), (2) середине люлинворской свиты (палеоцен-эоцен). В зависимости от минерального состава руды описываются следующими изменениями магнитного сигнала. Сыпучие гётитовые руды (палеоцен) имеют вариации МВ от 37,8 до  $70,9 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ, сцементированные шамозит-гётитовые — от 50,5 до  $87,3 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ, сцементированные шамозит-сидерит-гётитовые — от 64,0 до  $125,4 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ.

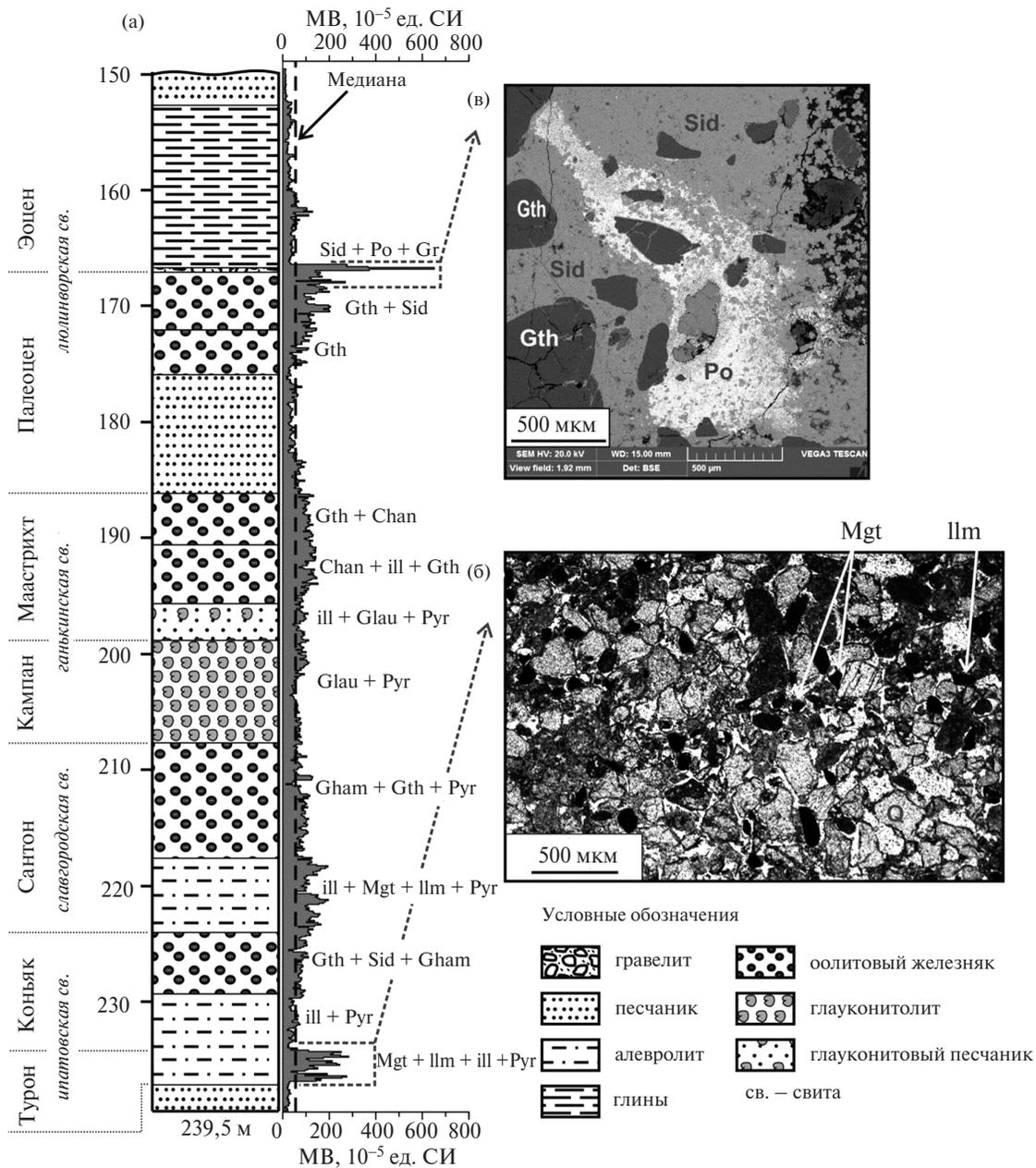
Магнитная восприимчивость терригенных пород, как правило, находится на уровне ниже общей медианы. Исключением являются туронские песчаные алевролиты и сантонские алевролиты. Первые, в свою очередь, характеризуются высокими значениями МВ в среднем  $243,9 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ. Аномальную МВ этих отложений в обоих случаях обеспечивает наличие магнетита и ильменита (рис. 2б).

Среднее содержание магнитных минералов в туронских алевролитах составляет 15,2%.

Помимо терригенных минералов как туронские, так и сантонские алевролиты обогащены органическими остатками, что может быть проинтерпретировано как результат интенсивного увлажнения климата, сопровождающееся усилением выветривания и сноса терригенного материала, вследствие чего происходили аккумуляция и накопление магнетита и ильменита в раннетуронское и раннесантонское время.

Отдельного внимания заслуживает вышеупомянутая контрастная аномалия в кровле бакчарского горизонта, которая связана со специфической минеральной ассоциацией: моноклинный пирротин-грейгит-сидерит (рис. 2в). Несмотря на невысокие концентрации пирротина и грейгита в общем составе пород (менее 2%), их наличие приводит к высокой намагниченности отложений (МВ от 84,6 до  $658,4 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ). Ранее было показано [5], что формирование этих минералов приурочено к палеоцен-эоценовому термическому максимуму.

Наиболее вероятной причиной этой климатической перестройки в изучаемом регионе послужила массивированная эмиссия метана, т.е. наложенный диагенетический процесс. Наличие флюидов метана среди сидеритового цемента, геохимическая характеристика пород, отвечающая аноксической среде, и специфическая пирротин-грейгитовая ассоциация, которая в современных морских осадках встречается



**Рис. 2.** а – репрезентативная литологическая колонка Бакчарского месторождения с профилем МВ (справа от профиля основная железистая минерализация в соответствующем интервале). б – снимок в проходящем свете туронского алевролита. в – СЭМ-снимок агрегата пирротина среди сидеритового цемента оолитового железняка. Gth – гётит, Glau – глауконит, Cham – шамозит, Sid – сидерит, Po – пирротин, Mgt – магнетит, Ilm – ильменит, ill – иллит-сметит, Pyr – пирит, Q – кварц.

в регионах метановых сипов [1, 6], послужили основанием для данной интерпретации [5].

Отклонение от средних значений МВ в высокожелезистых отложениях связано с концентрированием железистых минералов, при этом аномальные отклонения отражают специфику диагенеза или усилением континентального сноса. Повышенные значения МВ среди железняков могут быть связаны с формированием ферромагнитных сульфидов же-

леза, что указывает на мобилизацию метана через древние донные осадки. В этом аспекте высокожелезистые морские толщи представляют особый интерес, поскольку в недавних исследованиях [7] были продемонстрированы аномально повышенные содержания железа в районах действующих метановых сипов. Магнитная запись осадочных образований может служить перспективным инструментом для поиска подобных геологических обстановок в древ-

них бассейнах. Последнее отражает новые поисковые предпосылки для углеводородных месторождений, учитывая газоконденсатные источники метана во многих современных, а, следовательно, и в древних сипах.

Аномальные значения МВ среди терригенных пород (алевролитов) прибрежно-морской последовательности свидетельствуют о возможном усилении выветривания и континентального стока. Основываясь на вышеизложенном, авторы планируют уточнить возможность использования предложенного подхода на образцах осадков, отобранных в районах современной разгрузки пузырькового метана в морях Восточной Арктики [8–10].

**Источник финансирования.** Сбор фактического материала осуществлялся при поддержке Правительства РФ (контракт № 14.Z50.31.0012). Обработка материала, измерения МВ и аналитические работы выполнялись при поддержке РФФИ (грант № 18–35–00022).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Roberts A.P. // *Earth-Sci. Rev.* 2015. V. 151. P. 1–47.
2. Liu Q., Roberts A.P., Larrasoña J.C., Banerjee S.K., Guyodo Y., Tauxe L., Oldfield F. // *Rev. Geophys.* 2012. V. 50. № 4. P. 1–50.
3. Западно-Сибирский железорудный бассейн / Под ред. Ф.Н. Шахова. Новосибирск: СО РАН СССР, 1964. 448 с.
4. Рудмин М.А., Мазуров А.К. // *ДАН.* 2016. Т. 471. № 2. С. 1238–1241.
5. Rudmin M., Roberts A.P., Horng C.-S., Mazurov A., Savinova O., Ruban A., Kashapov R., Veklich M. // *Geochem., Geoph., Geosys.* 2018. V. 19. P. 1–22.
6. Larrasoña J.C., Roberts A.P., Musgrave R.J., Gràcia E., Piñero E., Vega M., Martínez-Ruiz F. // *Earth and Planet. Sci. Lett.* 2007. V. 261. № 3. P. 350–366.
7. Lemaître N., Bayon G., Ondréas H., Caprais J.-C., Freslon N., Bollinger C., Rouget M.-L., de Prunel A., Ruffine L., Olu-Le Roy K., Sarthou G. // *Earth and Planet. Sci. Lett.* 2014. V. 404. P. 376–388.
8. Сергиенко В.И., Лобковский Л.И., Семилетов И.П. и др. // *ДАН.* 2012. Т. 446. № 3. С. 330–335.
9. Shakhova N., Semiletov I., Sergienko V., et al. // *Phil. trans. Ser. A.* 2015. V. 373. № 2052. P. 1–13.
10. Shakhova N., Semiletov I., Gustafsson O., et al. // *Nature Commun.* 2017. V. 8. P. 1–13.

## SOURCES OF PALEOMAGNETIC SIGNAL IN IRON-BEARING MARINE SEDIMENTARY DEPOSITS

M. A. Rudmin<sup>1</sup>, A. K. Mazurov<sup>1</sup>, Academician of the RAS V. I. Sergienko<sup>2</sup>,  
O. G. Savichev<sup>1</sup>, I. P. Semiletov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation

<sup>2</sup>Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation

Received September 10, 2018

This paper presents the results of interpreting the change in the magnetic signal of ferruginous marine sedimentary rocks using the example of the Cretaceous-Paleogene Bakchar deposit (Western Siberia). Anomalous magnetic susceptibility (MS) values are determined by two factors: (a) a diagenetic process accompanied by the formation of pyrrhotite, greigite and siderite in ironstones, (b) an increase detrital input with deposition of magnetite and ilmenite in the siltstones on the background of climate moistening and intense weathering. It is shown that increased MS values in iron-bearing marine sedimentary deposits can be associated with the formation of ferrimagnetic sulfides, which indicates to the methane emission through ancient marine bottom sediments.

**Keywords:** marine sediments, ironstones, magnetic minerals, magnetic susceptibility, Bakchar deposit, Western Siberia.