

УДК 537.736:550.382.3(571.56 + 751.65)

## МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ПЕРМСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮГА ОМУЛЕВСКОГО ПОДНЯТИЯ, СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ

Колесов Е.В., Иванов Ю.Ю., Ведерников И.Л.

ФГБУН «Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило»  
Дальневосточного отделения Российской академии наук, Магадан, e-mail: pal105@neisri.ru

Пермские отложения являются важным объектом для решения многих вопросов стратиграфии и тектоники Омuleвского поднятия. Исследованы четыре разреза пермских осадочных отложений кипрейской, туринской и рогачевской свит в бассейне р. Таскан на Северо-Востоке России. Стратиграфическое положение и возраст свит обосновывается с помощью определений остатков брахиопод и двустворок. Отложения представлены алевролитами, аргиллитами и известняками, имеющими низкие величины магнитных параметров. Естественная остаточная намагниченность варьируется по разрезам в пределах  $0,1-795 \cdot 10^{-3}$  А/м, магнитная восприимчивость – от 2 до  $640 \cdot 10^{-6}$  ед. СИ. Магнитные минералы представлены магнетитами. В индуктивной намагниченности доминирует парамагнитная компонента. Аутигенные сульфиды железа (пирит) являются характерными минералами отложений и часто представлены фрамбоидами, перспективными для реконструкции условий седиментации. Характерное поведение магнитной восприимчивости, установленное в разрезе, позволяет провести более точное расчленение и взаимную стратиграфическую корреляцию отложений.

**Ключевые слова:** Пермь, магнитные свойства, кипрейская, туринская, рогачевская свиты, Омuleвское поднятие

## MAGNETIC PROPERTIES OF PERMIAN SEDIMENT FROM THE SOUTHERN OMULEVKA UPLIFT, NORTH-EAST RUSSIA

Kolesov E.V., Ivanov Y.Y., Vedernikov I.L.

North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute n.a. N.A. Shilo, Far East Branch, Russian Academy Science, Magadan, e-mail: pal105@neisri.ru

Permian sediments are an important object for the solution of many problems of stratigraphy and tectonic of the Omulevka Uplift. Four Permian sections of Kiprey, Turin and Rogachev sedimentary Formations in the Taskan basin located on the North-East Russia were studied. Stratigraphic positions and age of the formations are determined on the basis of brachiopods and bivalves fossils. Deposits consist of siltstones, mudstones and limestones that have low values of magnetic parameters. The natural remanent magnetization of the sediments varies between  $0,1-795 \cdot 10^{-3}$  A/m, magnetic susceptibility – from 2 to  $640 \cdot 10^{-6}$  SI. Magnetic minerals are represented by magnetite. Induced magnetization dominated by the paramagnetic components. Authigenic iron sulfides (pyrite) are common minerals of sediments. Pyrite shows framboidal texture and is important for paleoenvironmental reconstruction. The characteristic distribution of the magnetic susceptibility along the sections allows more precise correlate of sediments.

**Keywords:** Permian, magnetic properties; Kiprey, Turin, Rogachev Formations, Omulevka uplift

Омuleвское поднятие в тектоническом отношении представляет собой крупный горст, ограниченный со всех сторон разломами. На юге и юго-западе поднятие примыкает к Иньяли-Дебинскому синклинию, на северо-западе частично скрыто под структурами Момо-Зырянского прогиба, на востоке через систему разломов граничит с Приколымским поднятием. В геологическом строении Омuleвского поднятия принимают участие различные породы – от позднего протерозоя до поздней юры. Пермские отложения, играя подчиненную роль по сравнению с другими породами, тем не менее являются важным источником информации для решения многих вопросов стратиграфии и тектоники этой структуры. Отложения южной части Омuleвского блока изучались В.Н. Зединым, Г.М. Соуновым, В.М. Мерзляковым, О.Н. Оморовым, В.И. Шпикерманом, Н.И. Караваевой. Итогом многолетних литолого-стратиграфических исследований явилось создание

местной стратиграфической схемы для перми [3]. В то же время за исключением единичных работ [4, 5, 6] магнетизм пермских толщ юга Омuleвского поднятия освещен недостаточно. Магнитные свойства горных пород широко используются для стратиграфических целей, в частности, для выделения дробных литологических единиц, корреляции отложений, определения источников сноса и условий осадконакопления.

### Материалы и методы исследований

Исследованы четыре разреза перми, расположенные в бассейне р. Таскан (рис. 1).

Данные седиментологических, палеонтологических и геохимических исследований этих разрезов опубликованы в работе [2]. В настоящей статье приведены результаты изучения магнитных свойств пород.

Измерения естественной остаточной намагниченности (ЕОН,  $J_n$ ) проведены на спин-магнитометре JR-5A (AGICO Ltd.) в СВКНИИ ДВО РАН и на двухосном криогенном магнитометре в Геофизическом институте университета Аляски (г. Фербенкс, США). Измерения магнитной восприимчивости ( $k$ ) выполне-

ны на многофункциональном каппаметре MFK1-FA (AGICO Ltd.). Параметры магнитного гистерезиса измерены на автоматическом коэрцитиметре J-meter [1]. Анализ индуктивной намагниченности от температуры  $J_i(T)$  выполнен на магнитных весах в поле индукции 500 мТл [1]. Скорость нагрева составляла 100°C в минуту. Исследования зависимости остаточной намагниченности насыщения от температуры проводились на терморокгенераторе JRT-Meter (КФУ)

со скоростью нагрева 20°C до температуры 700°C. Для оценки стабильности ЕОН проведено размагничивание образцов переменным магнитным полем амплитудой 5, 10, 20, 40, 60 мТл на приборе LDA-3 (AGICO Ltd.). Вязкая компонента намагниченности оценена по анализу ЕОН после выдержки образцов в положениях «по полю» и «против поля» в течение 5–15 суток. Для обчета результатов измерений использована программа «Remasoft».

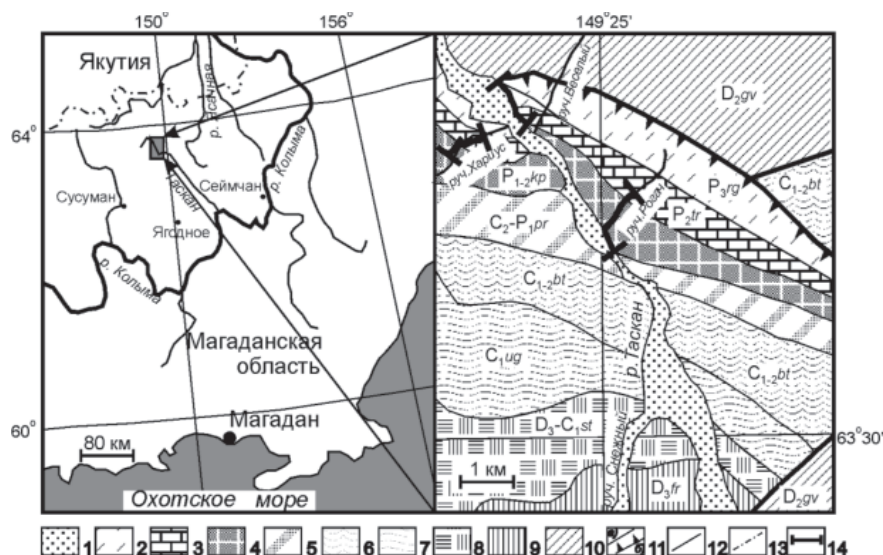


Рис. 1. Схема расположения разрезов:

- 1 – четвертичные отложения ( $Q$ ); 2 – рогачёвская свита ( $P_3rg$ ); 3 – туринская свита ( $P_2tr$ ); 4 – кипрейская свита ( $P_{1-2kr}$ ); 5 – прибавкинская свита ( $C_2-P_1pr$ ); 6 – батьковская свита ( $C_{1-2}bt$ ); 7 – угрюминская свита ( $C_1ug$ ); 8 – стрелкинская свита ( $D_3-C_1st$ ); 9 – породы франского яруса ( $D_3fr$ ); 10 – породы живетского яруса ( $D_2gv$ ); 11 – разрывные нарушения: а – сбросы и взбросы, б – надвиги; 12 – геологические границы; 13 – граница Магаданской области и Якутии; 14 – изученные разрезы

#### Стратиграфо-литологическая характеристика отложений

Исследованы отложения кипрейской, туринской и рогачёвской свит, характеристика которых в сокращенном объеме приведена согласно работе [2].

**Кипрейская свита** согласно с постепенным переходом залегает на туффилах прибавкинской свиты среднего карбона – мунгуджакского надгоризонта нижней перми. Свита представлена в основном темно-серыми аргиллитами. В ее низах выделяется пачка флишоидного переслаивания аргиллитов и колымиевых известняков. Наблюдаются редкие слои (5–10 см) серых массивных известняков. На основании определений остатков брахиопод и двустворок свита отнесена к джигдалинскому – нижней части омонского региональных надгоризонтов стратиграфической шкалы перми Северо-Востока России [2]. Мощность свиты около 300 м.

**Туринская свита** сложена ритмичным чередованием слоев светло-серых массивных колымиевых известняков, таких же известняков с биогенными текстурами и пачек зеленовато-серых аргиллитов. Микроструктура известняков с биогенными текстурами пелитоморфная, кристаллически-зернистая, комковатая. Мощности слоев известняков колеблются в пределах 10–50 см, аргиллитов – в основном 1–5 см, реже до 30 см. В средней части свиты выделяются две пачки (10 и 20 м) темно-серых аргилли-

тов. Немногочисленные остатки иноцеромоподобных двустворок свидетельствуют о принадлежности свиты к омонскому надгоризонту средней перми (исключая его самую нижнюю часть) [2]. Мощность свиты около 120 м.

**Рогачёвская свита.** Сложена почти исключительно черными массивными аргиллитами с ничтожно малым количеством обломочной примеси зерен кварца и полевых шпатов. Текстура пород массивная, реже – яснопятнистая за счет густоватых предположительно бактериального происхождения. Характерно присутствие раковин остракод (?) размером 0,1–0,2 мм в поперечнике. В породах довольно часто встречаются обломки призматического слоя раковин иноцеромоподобных двустворок. По всему разрезу свиты через 2–15 м по мощности в аргиллитах залегают приуроченные к определенным уровням караваеобразные тела известняка. Расстояние между этими образованиями по латерали 2–5 м, их диаметр – от 0,5 до 1,5 м. Известняк содержит 5–10% обломочных зерен кварца и полевых шпатов алевритовой размерности. Караваеобразные тела известняков не являются будинами, т.к. вмещающие аргиллиты (за исключением нескольких локальных зон) не несут следов динамометаморфических преобразований. Контакт известняка и прослоев раковинного слоя носит характер притыканий. Все это, видимо, говорит о биогенном (строматолитовом) происхождении известняков.

Для свиты в целом характерны глинисто-кремнистые конкреции эллипсоидальной или сферической формы от нескольких сантиметров до 30 см в поперечнике. Остатки кольмид, обнаруженные в породах, позволяют отнести свиту к гижигинскому-хивачскому горизонтам региональной шкалы (исключая самые верхи перми) [2]. Видимого контакта с вышележащими триасовыми породами в данном районе не наблюдалось. Общая мощность свиты 370 м.

**Результаты исследований и их обсуждение**

*Магнито-минералогические исследования.* Изучение состава минералов, отвечающих за магнитное состояние пород, проводилось с помощью термомагнитного анализа. Исследовалась зависимость индуктивной намагниченности  $J_i(T)$  и остаточной намагниченности насыщения  $J_{rs}(T)$  от температуры. Установлено четыре характерных типа кривых  $J_i(T)$ .

Первый тип кривых (рис. 2, а) характеризует отложение, в которых после прогрева практически не произошло изменений, графики кривых зависимости индуктивной

намагниченности при двух нагревах практически повторяемы. Вогнутый характер кривых указывает на преобладание парамагнитных минералов. Кривые  $J_i(T)$  второго типа (рис. 2, б) имеют также вогнутую форму. В отличие от первого типа кривые второго нагрева лежат ниже первого, что указывает на разрушение минералов. Для кривых третьего типа в процессе нагрева (рис. 2, в) отмечается рост  $J_i$  в интервале температур 420–450°C, фиксируя новообразование магнитного минерала (магнетита). Рост  $J_i$  обусловлен декомпозицией сульфида железа (пирита) [1]. После охлаждения намагниченность насыщения практически не увеличивается, указывая, что новообразованный магнетит неустойчив к нагреву. Для четвертого типа (рис. 2, г) кривых также характерен рост намагниченности в процессе первого нагрева в интервале температур 420–450°C. Но в этом случае образуются устойчивый магнетит и моноклинный пирротин, причем индуктивная намагниченность после нагрева увеличивается в десятки раз.

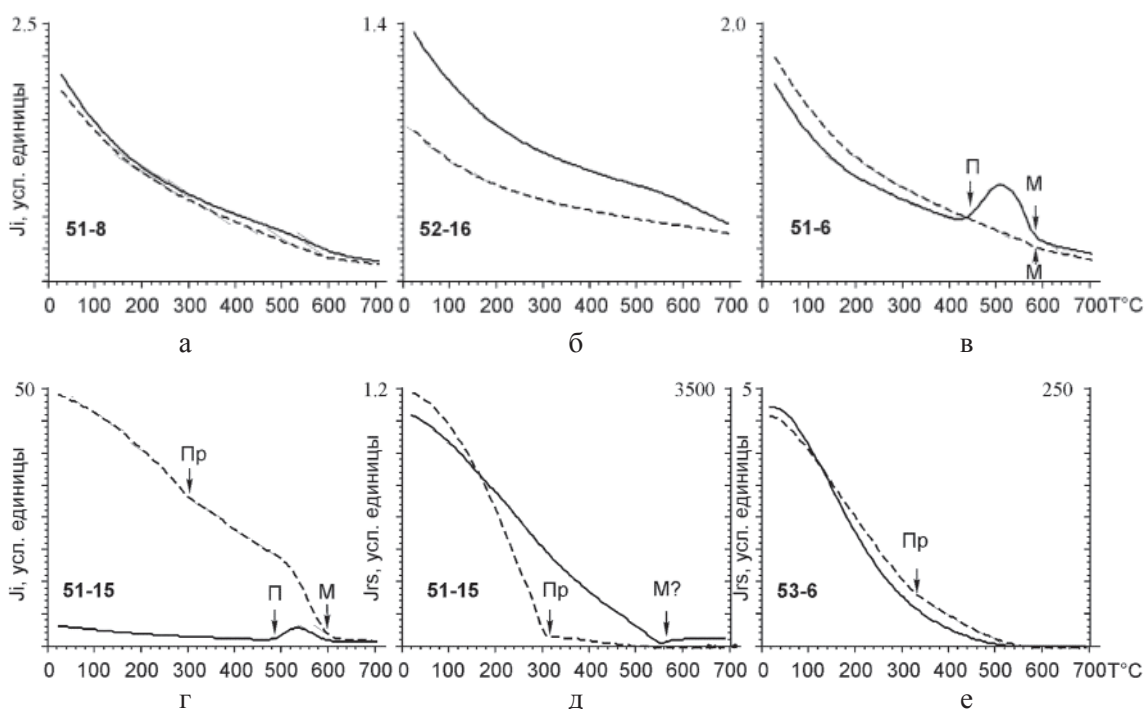


Рис. 2. Кривые зависимости индуктивной намагниченности (а–г) и остаточной намагниченности насыщения (д–е) от температуры. Цифрами обозначены номера образцов, сплошная (пунктирная) линия – кривые первого (второго) нагрева. П – пирит, Пр – пирротин, М – магнетит

На кривых зависимости остаточной намагниченности насыщения от температуры  $J_{rs}(T)$  первого нагрева выделяется магнетит (рис. 1, д, е). При втором нагреве фиксируются новообразованные моноклинный пирротин и магнетит. Остаточная намагниченность насыщения после нагрева увели-

чивается в сотни и тысячи раз по сравнению с первоначальной величиной.

Сульфиды железа диагностируются оптическими методами в шлифах. Они находятся часто в виде скоплений круглой формы (до 10 мк), представляющих фрамбоиды.

*Магнитный гистерезис.* Гистерезисные измерения образцов показывают, что кривые зависимости индуктивной намагниченности от прикладываемого поля (до 500 мТл) представляют прямые линии, не образуя петли, что свидетельствует о полном преобладании парамагнитных минералов, предположительно сульфидов и гидроокислов железа.

*Стабильность ЕОН.* В процессе размагничивания образцов переменным магнитным полем до 60 мТл разрушения намагниченности практически не происходит. Терморазмагничивание приводит к спаду намагниченности при температурах 400–600 °С, при этом направления намагниченности становятся часто хаотичными из-за помех, вызванных новообразованными магнитными минералами.

*Магнитные свойства.* Магнитные параметры отложений сведены в таблице. Естественная остаточная намагниченность свит во всех разрезах обладает низкими значениями, за исключением отложений кипрейской свиты разреза Разгуляй, где они варьируются в широких пределах – от менее единицы до  $795 \cdot 10^{-3}$  А/м. В разрезе Рогач значения величин ЕОН кипрейских отложений менее единицы  $10^{-3}$  А/м. Во всех остальных разрезах туринской и рогачевской свит средние величины ЕОН составляют первые единицы  $10^{-3}$  А/м. Фактор Q почти всех изученных отложений редко превышает единицу. Контрастным поведением и высокими значениями фактора Q отличаются породы кипрейской свиты разреза Разгуляй, повышенными значениями этого параметра характеризуются также отложения туринской свиты.

#### Магнитные свойства пород

Свита	$J_n, 10^{-3}$ А/м От–до (среднее)	$k, 10^{-6}$ ед. СИ От–до (среднее)	Фактор Q От–до (среднее)
<i>Разрез Рогач</i>			
Кипрейская	0,10–0,90 (0,37)	103,08–597,40 (261,54)	0,02–0,14 (0,04)
<i>Разрез Веселый</i>			
Кипрейская	0,60–4,60 (1,67)	81,00–1342,0 (406,72)	0,03–0,55 (0,12)
Туринская	1,50–8,80 (3,57)	80,00–207,08 (145,84)	0,24–1,26 (0,63)
Рогачевская	0,25–9,40 (3,30)	243,54–542,30 (353,82)	0,01–0,79 (0,23)
<i>Разрез Разгуляй</i>			
Кипрейская	0,2–795,0 (166,00)	113,13–540,51 (295,27)	0,01–71,63 (17,26)
Туринская	3,81–7,54 (5,56)	75,42–138,27 (93,02)	1,11–2,50 (1,57)
Рогачевская	0,60–5,60 (2,82)	62,85–339,40 (192,74)	0,04–0,75 (0,40)
<i>Разрез Хариус</i>			
Туринская	0,25–2,80 (1,13)	2,05–140,00 (47,73)	0,34–1,86 (1,07)
Рогачевская	1,00–15,30 (4,10)	100,00–1590,00 (640,28)	0,02–0,33 (0,20)

Распределение величин магнитной восприимчивости ( $k$ ) носит закономерный характер. В двух разрезах (Веселый, Разгуляй), в которых вскрыты все три свиты, на фоне пониженных величин  $k$  в отложениях туринской свиты отчетливо выделяются более высокие значения  $k$  в породах кипрейской и рогачевской свит (рис. 3).

Характерное поведение магнитной восприимчивости в этих разрезах позволяет расчленить их по этому параметру и провести более точную корреляцию с другими, рядом расположенными разрезами. Именно такая корреляция представлена на рис. 3. Исходя из того, что величины магнитных параметров связаны с определенными стратиграфическими уровнями и их распределение по вертикали прослеживается по латерали, можно предполагать, что они (магнитные параметры) обусловлены, по-видимому, седиментационными процессами. Наличие фрамбоидального пирита указывает на бескислородные условия на дне бассейна [10].

Размер фрамбоидов и частота их встречаемости имеют важное значение при реконструкции седиментационной среды, в частности, на границе перми и триаса [7, 8, 9, 11].

#### Выводы

1. Породы, слагающие кипрейскую, рогачевскую и туринскую свиты являются слабомагнитными.

2. Намагниченность связана с однодоменным магнетитом, диагностика которого термомагнитным методом сильно затруднена в связи со значительными содержаниями гидроокислов и сульфидов железа.

3. Магнитная восприимчивость является важным параметром при региональной корреляции разновозрастных отложений.

4. Наличие фрамбоидов предполагает, что морфологические исследования пирита являются перспективными для реконструкции условий седиментации.

*Исследования частично поддержаны грантом РФФИ № 11-05-00053.*



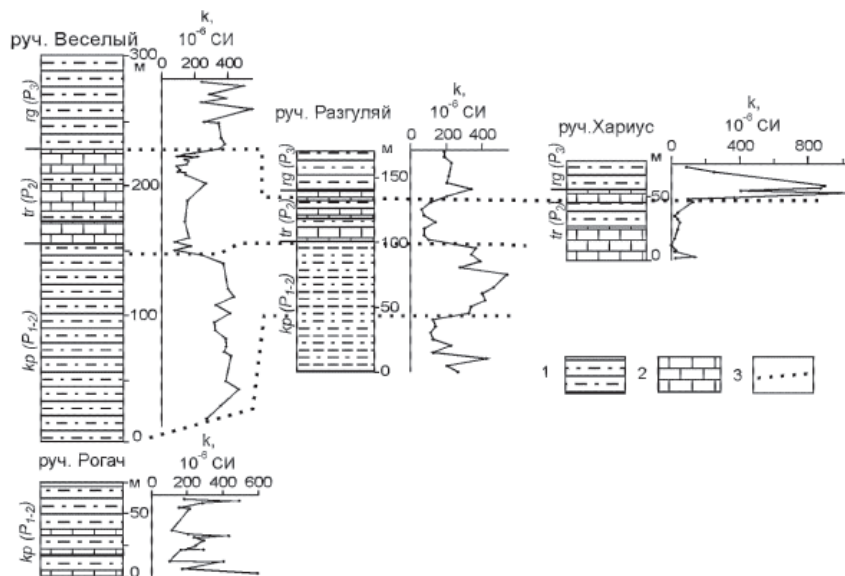


Рис. 3. Схема корреляции разрезов:  
 1 – алевролиты и аргиллиты; 2 – известняки; 3 – линии петромагнитной корреляции.  
 Свиты:  $rg (P_2)$  – рогачевская,  $tr (P_2)$  – туринская,  $kp (P_{1-2})$  – кипрейская

**Список литературы**

1. Буров Б.В., Нургалиев Д.К., Ясонов П.Г. Палеомагнитный анализ / под ред. В.П. Боронина. – Казань: Изд-во КГУ, 1986. – 167 с.  
 2. Бяков А.С., Колесов Е.В., Ведерников И.И. Предварительные результаты изучения пермских отложений юга Омuleвского блока (Северо-Восток Азии) // Геология, география и биологическое разнообразие Северо-Востока России: тезисы докл. Дальневост. регион. конф. (Магадан, 28-30 нояб. 2006 г.). – Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2006. – С. 71–75.  
 3. Караваева Н.И. К стратиграфии карбона и перми юго-западной части Омuleвского поднятия // Докембрий и палеозой Северо-Востока СССР: тезисы докл. межведомственного стратигр. совещ. по докембрию и палеозою Северо-Востока СССР. – Магадан: СВКНИИ ДВНЦ АН СССР, 1974. – С. 137–139.  
 4. Колесов Е.В. Палеомагнетизм палеозоя Омuleвского поднятия (Северо-Восток Азии). – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2004. – 79 с.  
 5. Колесов Е.В. Магнитостратиграфия палеозоя Северо-Востока России. – Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2010. – 161 с.  
 6. Минюк П.С., Колесов Е.В., Стоун Д., Иванов Ю.Ю. Предварительные результаты палеомагнитных исследований палеозойских отложений Омuleвского поднятия, Северо-Восток Азии // Палеомагнитные и магнитные исследования горных пород на Северо-Востоке России. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2001. – С. 31–40.  
 7. Dustira A.M., Wignall P.B., Joachimski M., Blomeier D., Hartkopf-Fröder C., Bondm D.P.G. Gradual onset of anoxia across the Permian–Triassic Boundary in Svalbard, Norway // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. – 2013. – Vol. 374. – P. 303–313.  
 8. Nielsen J. K., Shen Y. Evidence for sulfidic deep water during the Late Permian in the East Greenland basin // Geology. – 2004. Vol. 32. – P. 1037–1040.  
 9. Shen W., Lin Y., Xu L., Li J., Wu Y., Sun Y. Pyrite framboids in the Permian–Triassic boundary section at Meishan, China: Evidence for dysoxic deposition // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. – 2007. – Vol. 253. – P. 323–331.  
 10. Wilkin R.T., Barner H.L. Formation processes of framboidal pyrite // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 1997. – Vol. 61. – P. 323–338.  
 11. Wignall P.B., Newton R., Brookfield M. E. Pyrite framboid evidence for oxygen-poor deposition during the Permian–Triassic crisis in Kashmir // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. – 2005. – Vol. 216, № 3–4. – P. 183–188.

**References**

1. Burov B.V., Nurgaliev D.K., Jasonov P.G. Paleomagnitnyy analiz / [pod red. V.P. Boronina]. Kazan: izd-vo KGU, 1986. 167 p.  
 2. Bjakov A.S., Kolesov E.V., Vedernikov I.I. Predvaritel'nye rezul'taty izuchenija permskikh otlozhenij juga Omulevskogo bloka (Severo-Vostok Azii) // Geologija, geografija i biologicheskoe raznoobrazie Severo-Vostoka Rossii: tezisy

dokl. Dal'nevost. region. konf. (Magadan, 28-30 nojab. 2006 g.). Magadan: SVNC DVO RAN, 2006. pp. 71–75.

3. Karavaeva N.I. K stratigrafii karbona i permi jugo-zapadnoj chasti Omulevskogo podnjatija // Dokembriji i paleozoji Severo-Vostoka SSSR: tezisy dokl. mezhdomstvennogo stratigr. sovehh. po dokembriju i paleozoju Severo-Vostoka SSSR. Magadan: SVKNII DVNC AN SSSR, 1974. pp. 137–139.

4. Kolesov E.V. Paleomagnetizm paleozoja Omuljovskogo podnjatija (Severo-Vostok Azii). Magadan: SVKNII DVO RAN, 2004. 79 p.

5. Kolesov E.V. Magnitostratigrafija paleozoja Severo-Vostoka Rossii. Magadan: SVNC DVO RAN, 2010. 161 p.

6. Minjuk P.S., Kolesov E.V., Stoun D., Ivanov JU.JU. Predvaritel'nye rezul'taty paleomagnitnykh issledovanij paleozojiskikh otlozhenij Omulevskogo podnjatija, Severo-Vostok Azii // Paleomagnitnye i magnitnye issledovanija gomyykh porod na Severo-Vostoke Rossii. Magadan: SVKNII DVO RAN, 2001. pp. 31–40.

7. Dustira A.M., Wignall P.B., Joachimski M., Blomeier D., Hartkopf-Fröder C., Bondm D.P.G. Gradual onset of anoxia across the Permian–Triassic Boundary in Svalbard, Norway // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2013. Vol. 374. pp. 303–313.

8. Nielsen J. K., Shen Y. Evidence for sulfidic deep water during the Late Permian in the East Greenland basin // Geology. 2004. Vol. 32. pp. 1037–1040.

9. Shen W., Lin Y., Xu L., Li J., Wu Y., Sun Y. Pyrite framboids in the Permian–Triassic boundary section at Meishan, China: Evidence for dysoxic deposition // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2007. Vol. 253. pp. 323–331.

10. Wilkin R.T., Barner H.L. Formation processes of framboidal pyrite // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1997. Vol. 61. pp. 323–338.

11. Wignall P.B., Newton R., Brookfield M. E. Pyrite framboid evidence for oxygen-poor deposition during the Permian–Triassic crisis in Kashmir // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2005. Vol. 216, no. 3–4. pp. 183–188.

**Рецензенты:**

Бяков А.С., д.г.-м.н., заведующий лабораторией стратиграфии и тектоники ФГБУН «Северо-Восточный комплексный, научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило» ДВО РАН, г. Магадан;  
 Палымский Б.Ф., д.г.-м.н., главный научный сотрудник лаборатории стратиграфии и тектоники, ФГБУН «Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило» ДВО РАН, г. Магадан.  
 Работа поступила в редакцию 14.04.2013.