

УДК 550.38: 550.8

И.А. Степанов<sup>1</sup>, А.Ю. Казанский<sup>2</sup>, Д.Н. Киселев<sup>3</sup>, Л.Р. Косарева<sup>4</sup>,  
М.А. Рогов<sup>5</sup>, Е.М. Тесакова<sup>6</sup>, Е.В. Щепетова<sup>7</sup>, Я.А. Шурупова<sup>8</sup>

## ВОЗМОЖНОСТИ ПЕТРОМАГНИТНЫХ МЕТОДОВ ПРИ ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ РЕКОНСТРУКЦИЯХ НА ПРИМЕРЕ ЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ (КЕЛЛОВЕЙ–НИЖНИЙ ОКСФОРД) РАЗРЕЗА МИХАЙЛОВЦЕМЕНТ (РЯЗАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

На основе детального комплексного петромагнитного, литологического и микропалеонтологического изучения опорного для Московской синеклизы разреза Михайловцемент (Рязанская область) реконструированы колебания уровня Среднерусского моря в келловей–раннем оксфорде. По изменению в разрезе петромагнитных параметров установлено 7 петромагнитных интервалов, отвечающих различным этапам развития бассейна. Эти этапы сопоставлены с колебаниями уровня моря, установленными на основании изменения литологического состава пород и особенностей комплексов остракод. В целом характер изменения уровня моря в келловей–оксфорде, установленный по комплексу методов в ходе изучения разреза Михайловцемент, совпадает с глобальными тенденциями.

*Ключевые слова:* петромагнетизм, палеокеанология, седиментология, остракодовый анализ, келловей, оксфорд, Московская синеклиза.

On the basis of detailed, combined rock-magnetic, lithological, and micropaleontological study of the Mikhailovtsement section of the Moscow syncline (Ryazan region), the fluctuations in Central Russian Sea level in Callovian–Early Oxfordian were reconstructed. According to the variations of rock-magnetic parameters over the section, seven rock-magnetic intervals were established which correspond to different stages of basin evolution. These stages are compared with sea level fluctuations established on the basis of changes in the lithology of rocks and the ostracod complexes. In general, the nature of sea level change in Callovian–Oxfordian, revealed by combination of the methods during the study of Mikhailovtsement section coincides with global trend.

*Key words:* rock-magnetism, paleoecology, sedimentology, ostracod analysis, Callovian, Lower Oxfordian, Moscow syncline.

**Введение.** Петромагнитные характеристики осадочных горных пород — весьма чувствительные индикаторы изменений окружающей среды и климата, их можно использовать для стратиграфии и корреляции, а также палеоэкологических реконструкций. Методики таких реконструкций хорошо разработаны для осадочных отложений неоген–четвертичного времени, например [Evans, Heller, 2003], тогда как для более древних отложений публикации немногочисленны [Гужиков, 2013; Пименов и др., 2009; Барабошкин и др.,

2015]. Цель работы — реконструкция условий осадконакопления морских келловейских и нижнеоксфордских отложений разреза Михайловцемент по комплексу петромагнитных данных и ее сравнение с палеоэкологическими и седиментологическими моделями.

**Материалы и методы петромагнитных исследований.** В карьере завода ОАО Михайловцемент в окрестностях г. Михайлов (Рязанская область, 54°12'39» с.ш., 38°56'43» в.д.) расположен одноименный разрез (рис. 1, а), один из опорных раз-

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра региональной геологии и истории Земли, магистрант; *e-mail:* [ilya\\_stepanov\\_65@mail.ru](mailto:ilya_stepanov_65@mail.ru)

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра региональной геологии и истории Земли, вед. науч. с., докт. геол.-минер. н.; Геологический институт РАН, вед. науч. с.; *e-mail:* [kazansky\\_alex@mail.ru](mailto:kazansky_alex@mail.ru)

<sup>3</sup> Ярославский государственный педагогический университет имени К.Д. Ушинского, кафедра географии, доцент, канд. геол.-минер. н.; *e-mail:* [dnkiselev@mail.ru](mailto:dnkiselev@mail.ru)

<sup>4</sup> Казанский (Приволжский) федеральный университет, кафедра геофизики и геоинформационных технологий, мл. науч. с.; *e-mail:* [lina.kosareva@mail.ru](mailto:lina.kosareva@mail.ru)

<sup>5</sup> Геологический институт РАН, вед. науч. с., канд. геол.-минер. н.; *e-mail:* [russianjurassic@gmail.com](mailto:russianjurassic@gmail.com)

<sup>6</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра региональной геологии и истории Земли, вед. науч. с., докт. геол.-минер. н.; Геологический институт РАН, вед. науч. с.; *e-mail:* [ostracon@rambler.ru](mailto:ostracon@rambler.ru)

<sup>7</sup> Геологический институт РАН, ст. науч. с., канд. геол.-минер. н.; *e-mail:* [shepetova.map@gmail.com](mailto:shepetova.map@gmail.com)

<sup>8</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, биологический факультет, кафедра биологической эволюции, аспирант; *e-mail:* [shurupova.ya@yandex.ru](mailto:shurupova.ya@yandex.ru)

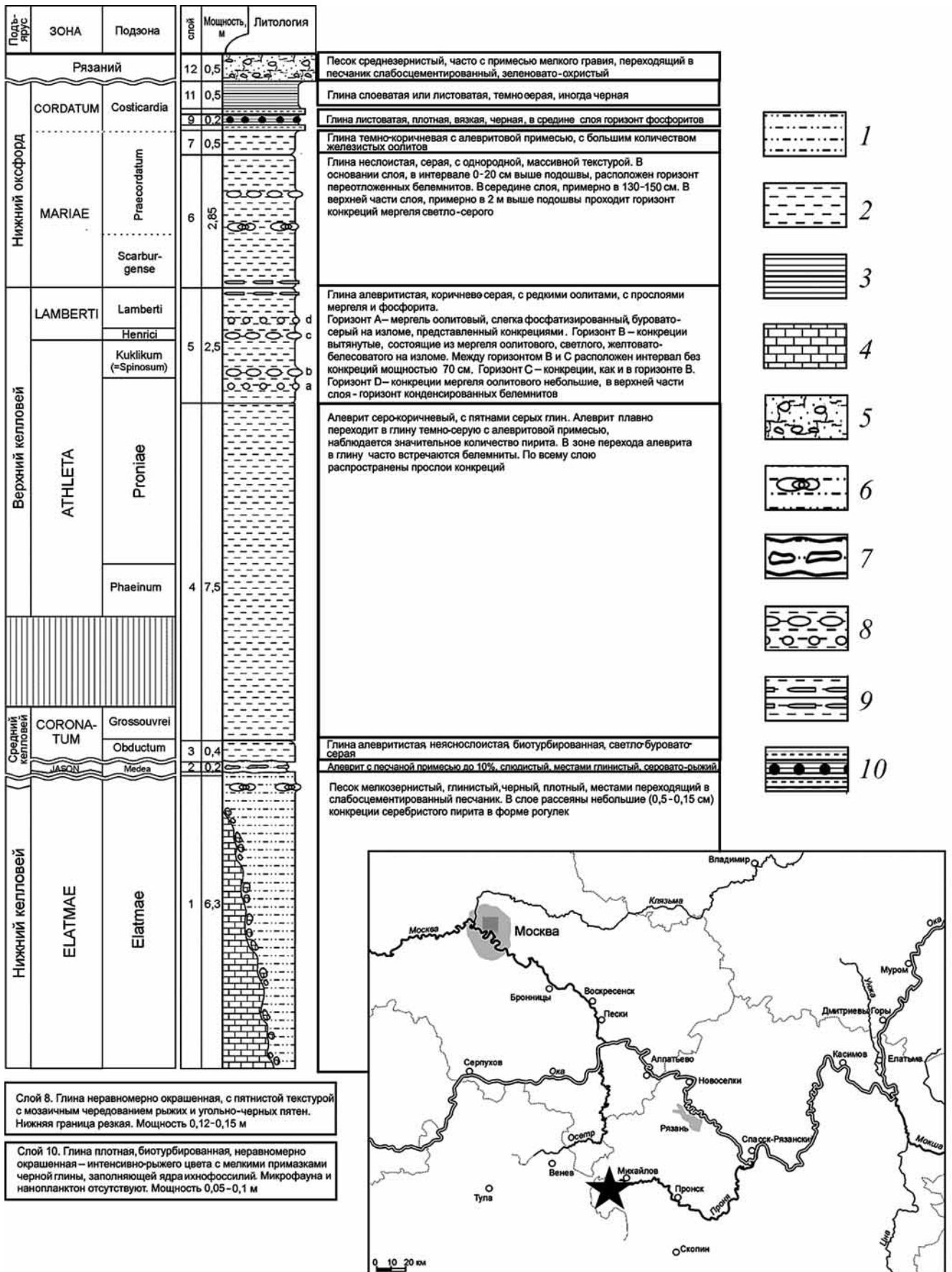


Рис. 1. Географическое положение опорного разреза Михайловцемент (показано звездочкой), литологическая колонка и биостратиграфическое расчленение разреза по аммонитам: 1 – алеврит, 2 – аргиллит, 3 – глина, 4 – известняк, 5 – сулинок, 6 – гнезда аммонитов, 7 – стяжения песчаника, 8 – конкреции мергеля, 9 – прослои белемнитов, 10 – фосфоритовые конкреции

резов для келловейских и нижнеоксфордских отложений Московской синеклизы. В опорном разрезе Михайловцемент отложения нижнего келловей и низов среднего келловей представлены фрагментарно, но верхняя часть среднего келловей и верхний келловей содержат наиболее биостратиграфически полную для Русской плиты последовательность аммонитов [Киселев, 1999]. Эти отложения насыщены микро- и макрофоссилиями, детально расчленены по остракодам, фораминиферам и известковому нанопланктону [Тесакова и др., 2017], а по остракодам выполнены комплексные палеоэкологические реконструкции [Tesakova, Shurupova, 2018].

Карьер Михайловцемент вскрывает известняки каменноугольного возраста, на которых несогласно залегают келловейские—оксфордские породы, перекрытые маломощным прослоем песков с фосфоритами рязанского возраста. Юрская часть разреза представлена песками, алевролитами и глинами и подразделяется на 11 слоев. Краткое описание разреза и его расчленение по аммонитам приведены на рис. 1, б. В мае 2017 г. М.А. Роговым и Д.Н. Киселевым из келловейских и нижнеоксфордских отложений (слои 1–6) отобрано 116 неориентированных образцов; ими же выполнено расчленение разреза по аммонитам и его описание. Общая мощность опробованных отложений составила 18,4 м, за исключением небольшого интервала вблизи границы среднего и верхнего келловей, закрытого осыпью. Шаг отбора из отложений нижнего оксфорда варьировал от 20 до 70 см, из келловейского интервала — от 5 до 40 см (рис. 1, б). Литологический анализ шлифов из тех же образцов и соответствующая модель выполнены Е.В. Щепетовой. Из проб, взятых М.А. Роговым в том же карьере в 2005 г., проанализировано 29 комплексов остракод и реконструированы палеоусловия [Tesakova, Shurupova, 2018].

**Коэрцитивная спектрометрия.** Все образцы были изучены методом коэрцитивной спектрометрии в Институте геологии и нефтегазовых технологий КФУ (г. Казань) на коэрцитивном спектрометре «J\_meter» конструкции П.Г. Ясонова [Буров и др. 1986; Jasonov et al., 1998], позволяющем одновременно измерять параметры индуктивного и остаточного намагничивания/размагничивания образцов в поле до 1,5 Тл. По кривым нормального остаточного намагничивания и перемагничивания определены следующие петромагнитные параметры: намагниченность насыщения (Js), остаточная намагниченность насыщения (Jrs), коэрцитивная сила (Bc), остаточная коэрцитивная сила (Bcr) и величина начальной намагниченности ( $\chi_{int}$ ). В соответствии с методикой [Kosareva et al., 2015] для всех образцов определены вклад парамагнитной составляющей в общий сигнал по индуктивной кривой нормального намагничивания и вклад ферромагнитной и суперпарамагнитной составля-

ющих. На этом основании внесены соответствующие поправки в значения параметров Js и Bs и определены ферромагнитная ( $\chi_{fer}$ ) и парамагнитная ( $\chi_{par}$ ) составляющие магнитной восприимчивости. Дополнительно рассчитывались величина магнито жесткой составляющей остаточной намагниченности насыщения (hard isothermal remanent magnetization)  $HIRM = (Jrs_{(700 \text{ мТл})} - Jrs_{(-300 \text{ мТл})})/2$  и соотношение между магнито жесткими и магнитомягкими минералами  $S = -Jrs_{(-30 \text{ мТл})}/Jrs_{(700 \text{ мТл})}$ .

Чтобы определить составляющие ферромагнитной фракции для всех образцов проведен компонентный анализ по спектрам нормального намагничивания методами непрерывного вейвлет-преобразования вейвлетом, построенным на основе гауссиана (МНАТ) [Косарева и др., 2015]. Диагностика компонентов разложения с разными положениями максимума коэрцитивного спектра (ПМКС) проводилось в соответствии с работой [Egli, 2003]. Были диагностированы следующие компоненты: терригенная D+EX (detrital magnetite + extracellular magnetite) с интервалом ПМКС в интервале 0–20 мТл; «мягкая» биогенная BS (biogenic soft) с интервалом ПМКС 30–65 мТл; «жесткая» биогенная BH (biogenic high) с интервалом ПМКС 65–95 мТл и «жесткая» H (high) с ПМКС >100 мТл. Компонента H в разрезе Михайловцемент имеет чрезвычайно широкую дисперсию, что позволяет разделить ее на две составляющие. Составляющая HH (high hematite) с ПМКС в пределах 100–650 мТл, вероятно, связана с гематитом. У составляющей HG (high goethite) ПМКС превышает 650 мТл, что определяется наличием высококоэрцитивного минерала гётита (?). Такое разделение подтверждается диапазонами параметра S: как правило, у образцов, содержащих гётит,  $S < 0$  [Liu et al., 2007], а у образцов, содержащих гематит,  $S > 0$ . Гистограммы распределения ПМКС нормального остаточного намагничивания для различных компонент показаны на рис. 2.

**Термомагнитный анализ,** использованный для диагностики магнитных минералов по значениям температуры Кюри и фазовым переходам, проводился в дифференциальной модификации (ДТМА) по индуцированной намагниченности (Ji) на авторегистрирующих крутильных магнитных весах, действующих по нулевому методу [Буров, Ясонов, 1979]. Скорость нагрева составляла 100 °С/мин. Для 26 образцов получены по две диаграммы последовательного нагрева до 800 °С в поле 0,2 Тл.

**Термокаппметрия.** Для диагностики пирита и сидерита, трансформирующихся в магнетит при нагреве свыше 400 °С [Буров, Ясонов, 1979], выполнены два последовательных измерения величины магнитной восприимчивости образцов на каппабридже МФК-1 до и после его нагрева до 500 °С в течение часа. Разница между двумя измерениями — «термокаппа» ( $d\chi$ ) отражает содержание новообразованного магнетита в образце

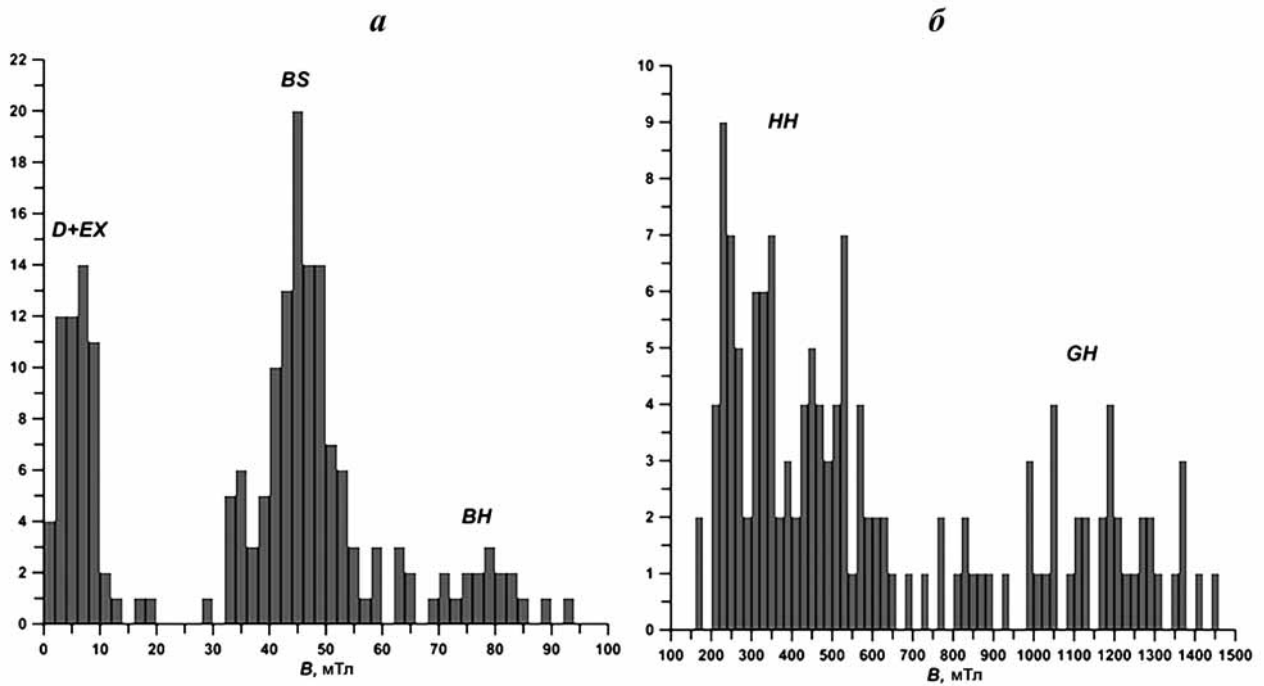


Рис. 2. Определение ферромагнитных компонент: гистограмма распределения ПМКС нормального остаточного намагничивания для полей 0–100 мТл (а) и гистограмма распределения ПМКС нормального остаточного намагничивания для полей 100–1500 мТл (б)

[Пименов и др., 2009]. Термокаппаметрический анализ выполнен для 108 образцов в лаборатории петрофизики СГУ (г. Саратов).

**Результаты исследований и их обсуждение.**

**Скалярные магнитные характеристики.** Поведение наиболее информативных скалярных магнитных характеристик приведено на рис. 3. Разрез хорошо дифференцируется по распределению петромагнитных параметров, что позволяет выделить в нем 7 петромагнитных интервалов, отвечающих разным этапам развития бассейна.

**Интервал 1** охватывает нижнюю часть слоя 1 (16,2–18,4 м) и характеризуется самым высоким содержанием ферромагнитной фракции ( $\chi_{fer}$ ) и высоким (60–80% от величины  $\chi_{int}$ ) содержанием парамагнитной ( $\chi_{par}$ ). Значительная часть намагниченности  $Jrs$  связана с магнитожесткими минералами (HIRM до 40% от  $Jrs$ ) и, соответственно, демонстрирует повышенную магнитную жесткость (высокие значения  $V_{sg}$  и низкие  $S$ ). ДТМА показал присутствие магнетита, грейгита, гематита и гётита, пирит и сидерит не встречены.

**Интервал 2** составляет верхнюю часть слоя 1 (16,2–13,8 м). Здесь уменьшаются величины  $\chi_{fer}$  и  $\chi_{par}$ , исчезают магнитожесткие минералы (HIRM ~10%) и, соответственно, уменьшается магнитная жесткость. По данным ДТМА здесь присутствуют грейгит и в меньшей степени пирит и гематит.

**Интервал 3** отвечает слоям 2, 3 и нижней части слоя 4 (13,8–12,3 м). В этом интервале увеличивается концентрация парамагнитных (повышение значений  $\chi_{par}$ ) и магнитожестких минералов

(увеличение HIRM) и, соответственно, магнитная жесткость. По данным ДТМА присутствуют магнетит, грейгит, гётит и в меньшем количестве гематит.

**Интервал 4** соответствует средней части слоя 4 (7,3–6,8 м). Здесь величины  $\chi_{fer}$  и  $\chi_{par}$  сохраняются такими же, как в интервале 3, тогда как количество магнитожестких минералов резко уменьшается (HIRM ~ 10÷12% от  $Jrs$ ) и, соответственно, снижаются значения  $V_{sg}$  и возрастают  $S$ . При этом вариации всех параметров минимальные. Исключение представляет параметр  $d\chi$ , значения которого возрастают вверх по разрезу, что свидетельствует о росте концентрации пирита в осадках. По данным ДТМА в осадках присутствует грейгит, пирит и, возможно, гематит.

**Интервал 5** охватывает верхнюю часть слоя 4 (6,8–5,5 м). Здесь вверх по разрезу постепенно увеличиваются значения всех петромагнитных параметров, лишь содержание пирита, согласно  $d\chi$ , сохраняется относительно постоянным. ДТМА фиксирует присутствие гетита, пирита и, возможно, сидерита.

**Интервал 6** отвечает слою 5 и самым нижним горизонтам слоя 6 с прослоями белемнитов (5,5–2,7 м). Это сложнопостроенная последовательность с самыми резкими колебаниями магнитных параметров за счет изменения содержания ферромагнитной фракции, что обусловлено концентрацией магнитожестких минералов (HIRM до 80%  $Jrs$ ,  $V_{sg}>350$  мТл;  $S<0$ ), и парамагнитной фракции за счет высокой концентрации пирита и сидерита

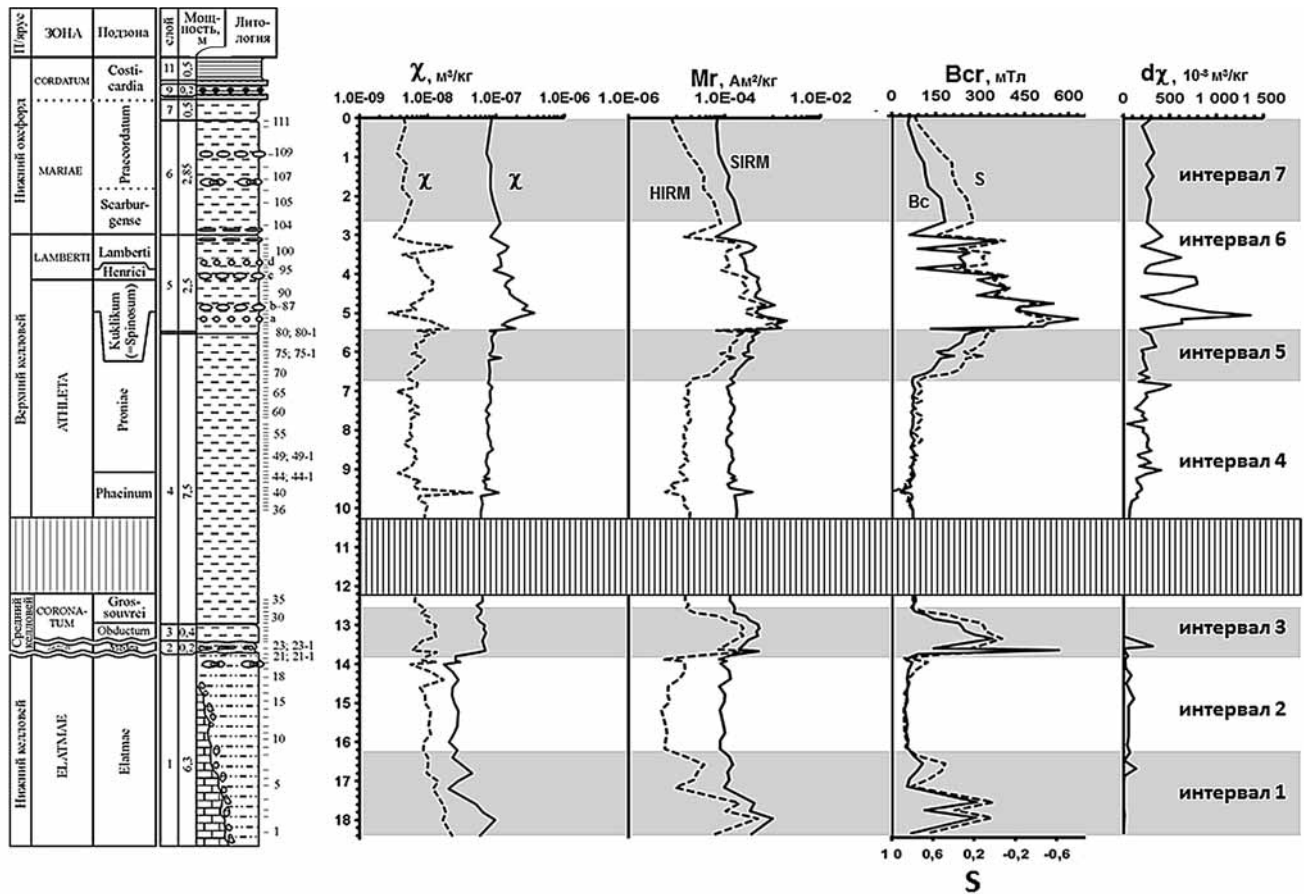


Рис. 3. Изменение скалярных петромагнитных параметров по разрезу. Условные обозначения см. на рис. 1

( $d\chi > 600 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ ). ДТМА здесь зафиксировал только наличие пирита и сидерита, поскольку остальные магнитные минералы маскируются из-за массового образования вторичного магнетита при температуре свыше  $400^\circ\text{C}$ .

*Интервал 7* охватывает большую часть слоя б (2,7–0 м). Значения петромагнитных параметров здесь постепенно уменьшаются ( $S$  — увеличивается) до значений, типичных для интервала 4. По данным ДТМА зафиксировано только присутствие пирита.

**Козрцитивная спектрометрия.** Совместный анализ результатов термомагнитного анализа и коэрцитивной спектрометрии позволил установить соответствие между компонентами с определенными ПМКС и ферромагнитными минералами. Предполагается, что компонента D+EX связана с крупнозернистым детритовым магнетитом, BS — с более мелкозернистым биогенным магнетитом; BH — с биогенным грейгитом, NH — с гематитом и HG с гётитом. Распределение ПМКС компонент по разрезу и относительный вклад каждой из них в общую намагниченность представлены на рис. 4.

Очевидно, что основу магнитной фракции в разрезе составляют биогенные минералы — грейгит (BH) и в меньшей степени магнетит (BS), что свидетельствует о преимущественно биогенном характере формирования магнитной фракции.

Концентрация грейгита и магнетита меняется в противофазе (рис. 4), вероятно, они продуцировались разными видами магнитотактических бактерий, имеющих разные экологические ниши. Смена «грейгитовых» и «магнетитовых» горизонтов по разрезу отвечает изменениям водной среды. Концентрация терригенного магнетита (D+EX) незначительна. Он присутствует в основном в интервалах с преобладанием биогенной составляющей, в интервалах с высоким содержанием гётита (HG) отсутствует. Гётит, определяющий высокую магнитную жесткость отложений, вероятно, формировался в регрессивных условиях, поскольку его концентрация резко возрастает за счет редукции биогенного и терригенного компонентов. В трансгрессивных интервалах наблюдается обратная зависимость — гематит (NH) в магнитной жесткости имеет второстепенное значение, его влияние ощущается только в интервале 7. Вклад гематита слабо коррелирует с изменениями остальных компонентов и, вероятно, связан не с колебаниями уровня моря, а с содержанием кислорода в среде.

**Сравнение и синтез петромагнитных, седиментологических и палеобиологических данных.** Седиментологические построения для разреза Михайловцемент базируются на полевых наблюдениях и изучении петрографических шлифов. Для палеорекоstructions использованы данные

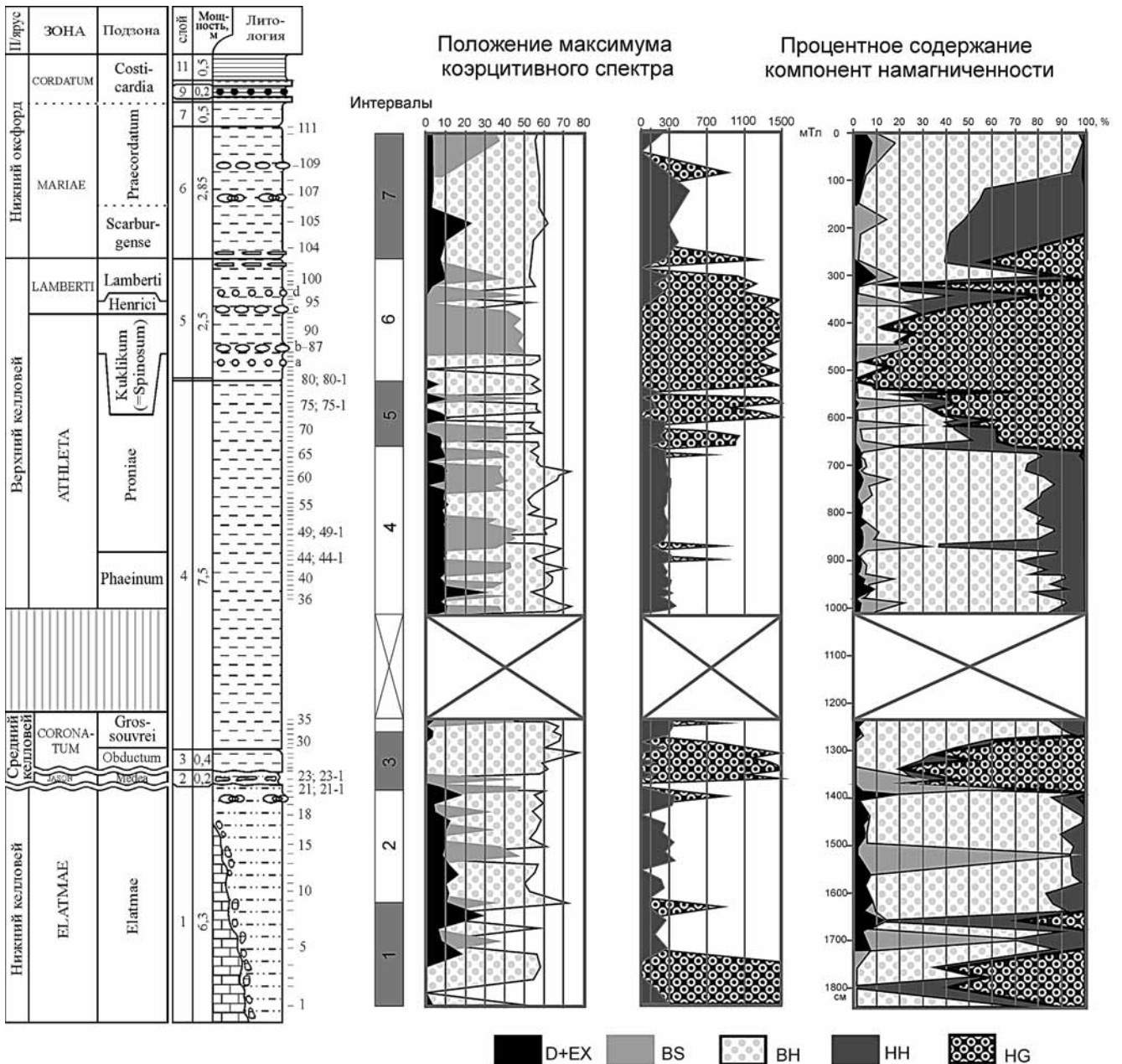


Рис. 4. Изменения по разрезу ПМКС нормального остаточного намагничивания (слева) и процентный вклад каждой ферромагнитной компоненты в общую  $J_{rs}$  (справа)

распределения аммонитов. Остракодовый анализ позволил оценить условия в палеобассейне, начиная с зоны Coronatum [Tesakova, Shuripova, 2018]. Синтез данных позволил реконструировать следующую историю его развития. Описание интервалов начинается с их седиментологической характеристики.

**Интервал 1.** Отложения накапливались в морской обстановке с нормальной соленостью, что установлено по многочисленным находкам аммонитов и белемнитов. Песчаные отложения, отвечающие этому интервалу, формировались в гидродинамически активных и крайне мелководных условиях. Такая обстановка подтверждается присутствием биогенных грейгита и магнетита, а трансгрессивный характер циклита фиксируется

по смене гематита и гётита в нижней части этого интервала на терригенный магнетит в верхней части интервала (рис. 4, 5).

**Интервал 2** соответствует преимущественно гидродинамически активной переходной обстановке от предфронтальной зоны пляжа (выше уровня обычных волн на глубине 2–20 м, в среднем 8–10 м [Рейнек, Сингх 1981]) к зоне шельфа (ниже глубины штормового базиса — 8–30 м, в среднем 10–15 м [Рейнек, Сингх, 1981]). Подобная обстановка иногда относится к внутренней зоне шельфа. Нормальная соленость палеобассейна подтверждается находками головоногих моллюсков, а в аналогах этого интервала — остатками фораминифер и нанопланктона [Тесакова и др., 2017]. Здесь преобладает биогенный грейгит, реже

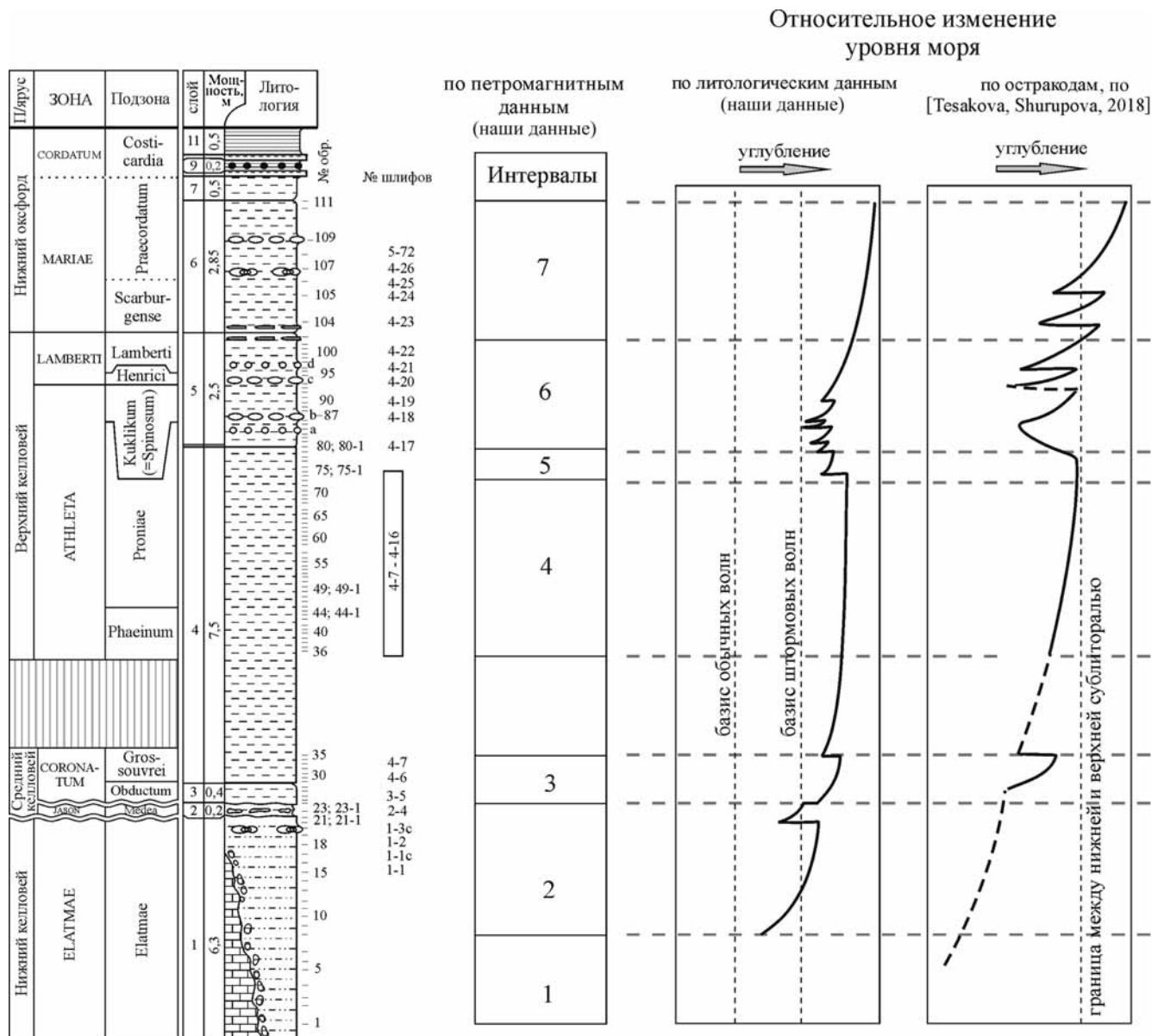


Рис. 5. Палеоэкологические реконструкции по петромагнитным, литологическим и палеонтологическим данным

магнетит, присутствие гематита в нижней части интервала свидетельствует о преимущественно кислородной обстановке в придонных слоях воды. Появление терригенного магнетита указывает на активизацию сноса обломочного материала с континента, а появление пирита — на первоначальное присутствие в осадках органического вещества (ОВ) и локальное развитие в осадке восстановительных обстановок.

**Интервал 3.** По заметному увеличению доли алевритовой фракции в глинистых отложениях в основании этого интервала фиксируются относительно слабый регрессивный тренд (по сравнению с верхней частью предыдущего интервала) и начало нового трансгрессивного цикла, что отражено в постепенном увеличении содержания глинистого материала, мелкого известкового биогенного детрита, возрастании доли остатков иглокожих и раковин бентосных фораминифер.

Аналогичная модель реконструируется по отсутствию в нижней части среднекелловейской зоны *Coronatum* (фаза *Obductum*) не только остатков остракод, но также фораминифер и нанопланктона; предполагается более низкое стояние моря по сравнению с фазами *Medea* и *Elatmae* среднего и раннего келловей. Это хорошо согласуется с преобладанием здесь гётита (за счет сокращения количества биогенного грейгита) и отсутствием терригенного магнетита. В то же время такому предположению противоречит присутствие здесь достаточно многочисленных и разнообразных аммонитов. Выше, в подзоне *Grossouvrei* зоны *Coronatum*, зафиксировано первое появление комплексов остракод, распространенных далее вверх по всему разрезу (совместно с фораминиферами и нанопланктоном), что свидетельствует о повышении уровня моря. Здесь же исчезает гётит, появляется терригенный магнетит и растет содержа-

ние биогенного грейгита. По результатам анализа размерных кластеров остракод в фазе Grossouvre существовали значения глубины, характерные для верхней сублиторали и постепенно нарастающие к концу этого интервала (но только в пределах этой биономической зоны!).

*Интервал 4.* Для него реконструируется стабильная обстановка «внешнего» шельфа, находившегося ниже базиса штормовых волн, но недалеко (в зоне действия генерированных штормами течений). Это устанавливается по присутствию в глинистых отложениях дискретных тонких прослоев с мелкими литокластами крупночешуйчатых зеленоватых глин, более характерных для нижележащих интервалов и, вероятно, заносившихся из соседних более близких к берегу фациальных обстановок. Возможен слабый регрессивный тренд, переходящий в слабый трансгрессивный, а затем стабильно высокое положение уровня моря. По остракодам тоже реконструирован трансгрессивно-регрессивный (Т/Р) цикл с наиболее полно сохранившейся в разрезе трансгрессивной фазой и вариациями глубины, не выходящей за пределы верхней сублиторали. Углубление бассейна подтверждается отсутствием гётита в отложениях, постоянным присутствием терригенного магнетита и гематита, поступавших в составе взвешенной глинистой мути, а также высоким содержанием биогенного грейгита. Увеличение содержания тонкодисперсного пирита свидетельствует о слабой аэрации придонных слоев морской воды и более высоком первоначальном содержании реакционноспособного органического вещества (ОВ) в осадках по сравнению с интервалом 4.

*Интервал 5* — сохраняется обстановка «внешнего» шельфа, однако в исследуемую часть бассейна начинают поступать железистые оолиты, что обуславливает постепенное увеличение концентрации гётита. Об аллотигенном происхождении оолитов свидетельствует ассоциация этих образований с окатанными кварцевыми зёрнами и детритом иглокожих сходной размерности, что, вероятно, отражает относительно слабоамплитудную регрессию, сместившую область седиментации ближе к базису штормовых волн — в зону действия течений, генерированных штормами. Палеонтологические данные свидетельствуют о высоком стоянии уровня моря в этом интервале все еще в пределах верхней сублиторали. Регрессия отмечается по росту концентрации гётита, появлению сидерита и сокращению как биогенной, так и терригенной составляющих магнитной фракции.

*Интервал 6.* Обстановка «внешнего» шельфа постепенно смещается ближе к базису штормовых волн. В целом седиментация была прерывистой — периоды поступления терригенного материала и материала из соседних более мелководных фациальных зон сменялись периодами замедленной седиментации и сопровождалась конденсацией

осадков (формирование конкреционных горизонтов оолитовых мергелей), вследствие этого, возможно, разрез этого интервала сокращен. Здесь распознается 3 Т/Р циклита. По остракодам также реконструируются 3 Т/Р циклита. По петромагнитным данным регрессивные части циклитов фиксируются по резкому увеличению содержания гётита за счет сокращения биогенных грейгита и магнетита, а также концентрации пирита и сидерита. В трансгрессивных интервалах, напротив, возрастает концентрация биогенных минералов, снижается количество сидерита и появляется терригенный магнетит.

*Интервал 7.* Для этого интервала продолжается трансгрессивный тренд, начавшийся в конце предыдущего интервала, что подтверждается и остракодовым анализом. Последний выявил внутри трансгрессии два отдельных события, маркирующих нижнюю сублитораль. По петромагнитным данным хорошо фиксируются только нижний Т/Р этап в нижней части интервала и последующая крупная трансгрессия в его верхней части. В регрессивных интервалах преобладает гётит, в трансгрессивных — биогенный грейгит и магнетит, появляется терригенный магнетит, количество гематита сокращается вверх по разрезу.

**Заключение.** Исследования показывают, что реконструкции условий осадконакопления, выполненные по петромагнитным данным, согласуются с аналогичными реконструкциями, основанными на литолого-минералогических и микрофаунистических материалах. Представленные кривые колебаний уровня моря, независимо построенные нами по данным трех разных методов, дополняют одна другую и не имеют принципиальных противоречий. Их тренды совпадают с эвстатическими кривыми, ранее построенными для Русской плиты на основе макрофаунистического, литологического и палеофациального анализов [Sahagian et al., 1996] и по остракодам [Тесакова, 2014], а также хорошо соотносятся с глобальными кривыми изменений уровня моря [Hallam, 2001; Наг, 2017]. Постоянный подъем моря с начала оксфорда фиксируется на всех обсуждаемых кривых (по нашим данным и данным указанных авторов).

Таким образом, келловейские трансгрессивно-регрессивные события на Русской плите в целом демонстрируют слабый трансгрессивный тренд, что совпадает с реконструкциями, предложенными ранее для рассматриваемого региона [Sahagian et al., 1996; Тесакова, 2014], но противоречит общему регрессивному тренду на кривой Б. Хака [Наг, 2017].

Дополнительное преимущество петромагнитных построений заключается в количественных оценках биопродуктивности бассейна по биогенной компоненте намагниченности и сноса осадочного материала с суши по терригенной компоненте.

**Благодарности.** Авторы искренне признательны анонимному рецензенту, благодаря которому статья приведена к настоящему виду.

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках тем госзадания ГИН (№ 0135-2018-0029, 0135-2018-

0035, 0135-2018-0051 и 0135-2018-0036), МГУ имени М.В. Ломоносова (№ АААА-А16-116021660031-5 и АААА-А16-116033010096-8) и при частичной поддержке РФФИ (проект № 18-05-00501).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Барбошкин Е.Ю., Гужиков А.Ю., Беньямовский В.Н.* и др. Новые данные о стратиграфии и условиях формирования эоценовых отложений на плато Актологай (Западный Казахстан) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2015. № 2. С. 67–76.

*Буров Б.В., Нургалеев Д.К., Ясонов П.Г.* Палеомагнитный анализ. Казань: Изд-во КГУ, 1986. 165 с.

*Буров Б.В., Ясонов П.Г.* Введение в дифференциальный термомагнитный анализ горных пород. Казань: Изд-во КГУ, 1979. 160 с.

*Гужиков А.Ю.* Геологическая информативность магнетизма керн и шлама осадочных пород, полученных при бурении разведочных скважин // Приборы и системы разведочной геофизики. 2013. № 4(46). С. 51–61.

*Киселев Д.Н.* Зональные и подзональные аммонитовые комплексы среднего келловоя центральной России // Проблемы стратиграфии и палеонтологии мезозоя: Научные чтения, посвященные М.С. Месежникову. СПб., 1999. С. 87–115.

*Косарева Л.Р., Утемов Э.В., Нургалеев Д.К.* и др. Разделение ферромагнитных компонент на основе анализа петель гистерезиса остаточной намагниченности // Физика Земли. 2015. № 5. С. 80–99.

*Пименов М.В., Глинских Л.А., Гужиков А.Ю.* и др. О возможном отражении палеоэкологических условий в петромагнетизме келловейско-оксфордских отложений разреза Дубки (г. Саратов) // Изв. Саратовского ун-та. Сер. Науки о Земле. 2009. Т. 9, вып. 1. С. 70–75.

*Рейнек Г.-Э., Сингх И.Б.* Обстановки терригенного осадконакопления (с рассмотрением терригенных кластических осадков). М.: Недра, 1981. 439 с.

*Тесакова Е.М.* Юрские остракоды Русской плиты: стратиграфическое значение, палеоэкология и палеогеография: Автореф. докт. дисс. М., 2014. 48 с.

*Тесакова Е.М., Шурупова Я.А., Устинова М.А.* Стратиграфия келловоя и нижнего оксфорда разреза

Михайловцемент (Рязанская обл.) по микрофауне и нанопланктону. М.: Наука, 2017. (Тр. ГИН РАН; Вып. 615). С. 264–300.

*Egli R.* Analysis of the field dependence of remanent magnetization curves // J. Geophys. Res. B: Solid Earth. 2003. Vol. 108, N 2. P. EPM 4-1–4-25.

*Evans M.E., Heller F.* Environmental magnetism. N.Y.: Academic Press, 2003. 299 p.

*Hallam A.* A review of the broad pattern of Jurassic sea-level changes and their possible causes in the light of current knowledge // Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol. 2001. Vol. 167, N 1–2. P. 23–37.

*Haq B.* Jurassic Sea-Level Variations: A Reappraisal // GSA Today. 2017. Vol. 28, N 1. doi:10.1130/GSATG359A.1.

*Jassonov P.G., Nourgaliev D.K., Bourov B.V.* et al. A modernized coercivity spectrometer // Geol. Carpathica. 1998. Vol. 49, N 3. P. 224–226.

*Kosareva L.R., Nourgaliev D.K., Kuzina D.M.* et al. Ferromagnetic, dia/paramagnetic and superparamagnetic components of Aral sea sediments: significance for environmental reconstruction // ARPN J. Earth Sci. 2015. Vol. 4, N 1. P. 1–6.

*Liu Q-S., Roberts A.P., Torrent J.* et al. What do the HIRM and S-ratio really measure in environmental magnetism? // Geochem., Geophys., Geosystems. 2007. Vol. 8, Q09011. 145 p.

*Sahagian D., Pinous O., Olfieriev A., Zakharov V.* Eustatic curve for the Middle Jurassic-Cretaceous based on Russian platform and Siberian stratigraphy: zonal resolution // Bull. AAPG. 1996. Vol. 80. P. 1433–1458.

*Tesakova E.M., Shurupova Ya.A.* Ostracod Analysis of Callovian and Lower Oxfordian Deposits of the Mikhailovtsement Section (Ryazan Region): Methods and Results // Paleontol. J. 2018. Vol. 52, N 13. P. 1547–1568.

Поступила в редакцию 25.10.2018

Поступила с доработки

Принята к публикации