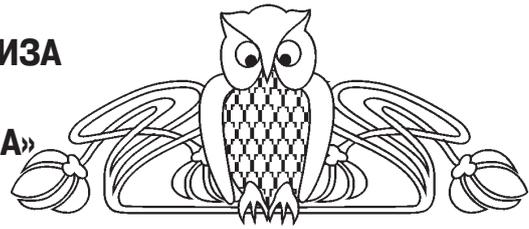




УДК 550.2, 551.763.3, 550.384

ОПЫТ ЦИКЛОСТРАТИГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПЕТРОМАГНИТНЫХ ДАННЫХ ПО РАЗРЕЗУ ТУРОНА–МООСТРИХТА «НИЖНЯЯ БАННОВКА» (юг Саратовского Правобережья)



А. М. Суринский, А. Ю. Гужиков

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского
E-mail: arsur91@yandex.ru; aguzhikov@yandex.ru

Путем спектрального анализа кривой магнитной восприимчивости, построенной по результатам измерений почти 10 000 образцов, в разрезе турона–маастрихта близ с. Нижняя Банновка на юге Саратовской области выявлены циклы большого и малого эксцентриситетов земной орбиты. Путем сопоставления петромагнитных вариаций с разными вариантами эвстатических кривых в разрезе намечены аналоги известных секвенций. Рассчитаны скорости формирования отложений, установлены перерывы в осадконакоплении и оценен их временной объем.

Ключевые слова: верхний мел, циклостратиграфия, петромагнетизм, магнитная восприимчивость, циклы Миланковича, эвстатические циклы, секвенс-стратиграфия.

Experience of Cyclostratigraphic Analysis of Petromagnetic Data on the Turonian–Maastrichtian Section «Nizhnaya Bannovka» (Volga River Right Bank, Southern Saratov Region)

А. М. Surinskiy, A. Yu. Guzhikov

On the base of spectral Fourier analysis of magnetic susceptibility time series of nearly 10 000 measurements of rock samples in the turonian-maastrichtian sediments, exposed near Nizhnaya Bannovka village (Volga River Right Bank, Southern Saratov Region) there were detected long and short eccentricity cycles. Petromagnetic variations, correlated with different variants of eustatic curves detected the presence of well known sequences. The study includes the calculations of sedimentation rates, localization of sedimentation breaks and estimation of their duration.

Key words: Late Cretaceous, cyclostratigraphy, petromagnetism, magnetic susceptibility, Milankovitch cycles, eustatic cycles, sequence stratigraphy.

DOI: 10.18500/1819-7663-2017-17-2-117-124

Введение

В 2015–2016 гг. проведено детальное петромагнитное изучение верхнего мела, за исключением сеноманского яруса, в опорном разрезе «Нижняя Банновка» с целью выявления в стратиграфической летописи астрономических циклов известной длительности.

Разрез расположен на правом берегу Волги, близ границы Саратовской и Волгоградской областей, в 1–2.5 км к югу от одноименного села. Турон–коньяк исследован в четвертом (считая

от залива Банный вниз по течению) крупном распадке, прорезающем береговые обрывы. Обнажение 3069 (турон–коньяк) имеет координаты N: 50°43'22.6", E: 45°39'17.5". Отложения сантона и кампана были исследованы в Можжевеловом овраге: обн. 3070 – N: 50°42'57.30", E: 45°38'53.07"; обн. 3071 – N: 52°42'57.75", E: 45°38'38.97"; обн. 3075 и 3076 – N: 50°42'55.23", E: 45°38'33.43"; обн. 3083, 3086 и 3087 – N: 50°42'57.4", E: 45°38'26.7", верхи кампана и маастрихт – на южном склоне горы Сырт близ обращенного к Волге оползневого обрыва (обн. 3081, 3088 – N: 50°42'29.8", E: 45°38'59.4") (рис. 1).

Краткая характеристика разреза

Турон–коньяк. Разрез (рис. 2, а) начинается с пласта фосфоритов разных генераций, включающего перемытый материал из залегающего ниже сеномана. Выше следует неоднократное чередование мергелей (в основании разреза песчанистых) и писчего мела или мелоподобных мергелей. В кровле этого карбонатного комплекса располагается еще один уровень с фосфоритами, переполненный обломками туронских–коньякских пород (так называемый «губковый горизонт»), представляющий собой уже подошву сантона. Е. В. Милановский [1] полагал, что разрез представлен только туронским ярусом, но большинство исследователей выделяют в разрезе и турон, и коньяк [2–5]. При этом надежные предпосылки для обоснования положения ярусной границы по палеонтологическим остаткам отсутствуют, а на подъярусную принадлежность пород имеются различные точки зрения: Р. Р. Габдуллин [3] и Д. П. Найдин [4] считают, что в разрезе присутствуют средний, верхний турон и нижний коньяк, а В. М. Харитонов с соавторами [5] относят отложения к нижнему–верхнему турону и нижнему–верхнему коньяку, исходя из двучленного деления обоих ярусов. Мощность турона–коньяка составляет 18.2 м.

Сантон–кампан. Выше по разрезе следует толща, представленная многократным чередованием слоев опок и кремнистых глин разной мощности (от первых сантиметров до нескольких метров). Границы между слоями в большинстве случаев не резкие. Внутри кремнисто-терригенной толщи присутствуют толстый (4.5 м), латерально выдержанный пласт глауконитового песчаника, являющийся хорошим литологиче-

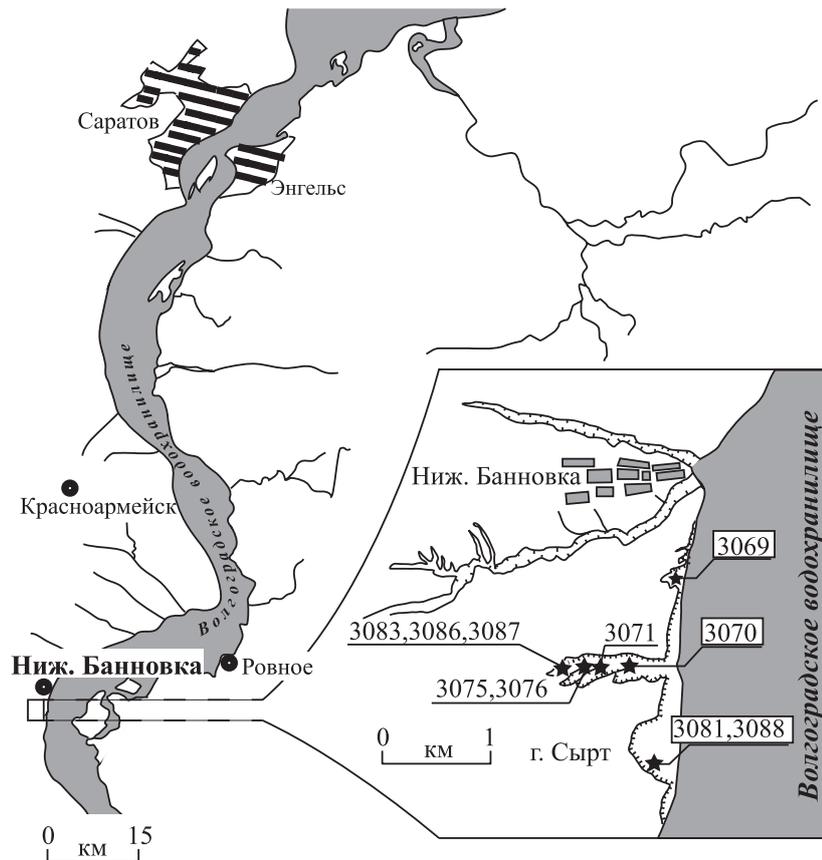


Рис. 1. Схема расположения обнажений турона–маастрихта близ с. Нижняя Банновка. Цифрами обозначены номера обнажений

ским маркером, и несколько линзовидных прослоев глауконитовых песчаников. В опоках также встречаются уровни, обогащенные глауконитом. Граница между сантонским и кампанским ярусами до настоящего времени однозначно не установлена, но все исследователи [1–7], изучавшие этот разрез, единодушны в том, что отложения выше маркирующего слоя глауконитового песчаника относятся к кампану. Кровля толщи представлена изобилующим остатками белемнитов глауконитовым песчаником, который относится к биоzone *Belemnitella langei* верхнего кампана [8]. Общая мощность сантона–кампана 112.5 м.

Маастрихт. Венчают разрез верхнего мела карбонатные алевритистые глины. Доля терригенной компоненты в них увеличивается снизу вверх, вплоть до того, что кровля разреза представлена уже глинистыми алевритами и песчаниками. Благодаря комплексным био- и магнитостратиграфическим данным надежно установлены позднемаастрихтский возраст этой карбонатно-терригенной толщи и перерыв на границе кампана–маастрихта, стратиграфический объем которого равен, по крайней мере, терминальному кампану – нижнему маастрихту, а длительность составляет не менее 4.5 млн лет [8]. Мощность верхнего маастрихта 20 м. Выше залегают опоки плиоцена.

Методика работ

В основе циклостратиграфических исследований лежит принцип, подразумевающий наличие связи между процессами осадконакопления и вариациями орбитальных параметров Земли, известных как циклы Миланковича [9]. Наличие подобной связи определяется климатическими изменениями, которые будучи обусловленными перераспределением инсоляции вследствие астрономических факторов влияют на характер седиментации.

Использование петромагнитных данных как индикаторов циклов Миланковича популярно при анализе разрезов осадочных толщ [10], благодаря оптимальному сочетанию их высокой геологической информативности с экспрессностью определений. Магнитная восприимчивость (K) – величина пропорциональная концентрации пара- и ферромагнитных минералов в породе. В карбонатных и кремнистых отложениях значения K определяются в основном концентрациями аллотигенного ферромагнитного материала пелитовой размерности терригенного и/или космогенного генезиса. Петромагнитные вариации по разрезу могут быть связаны с изменением активности терригенного привноса и/или разной

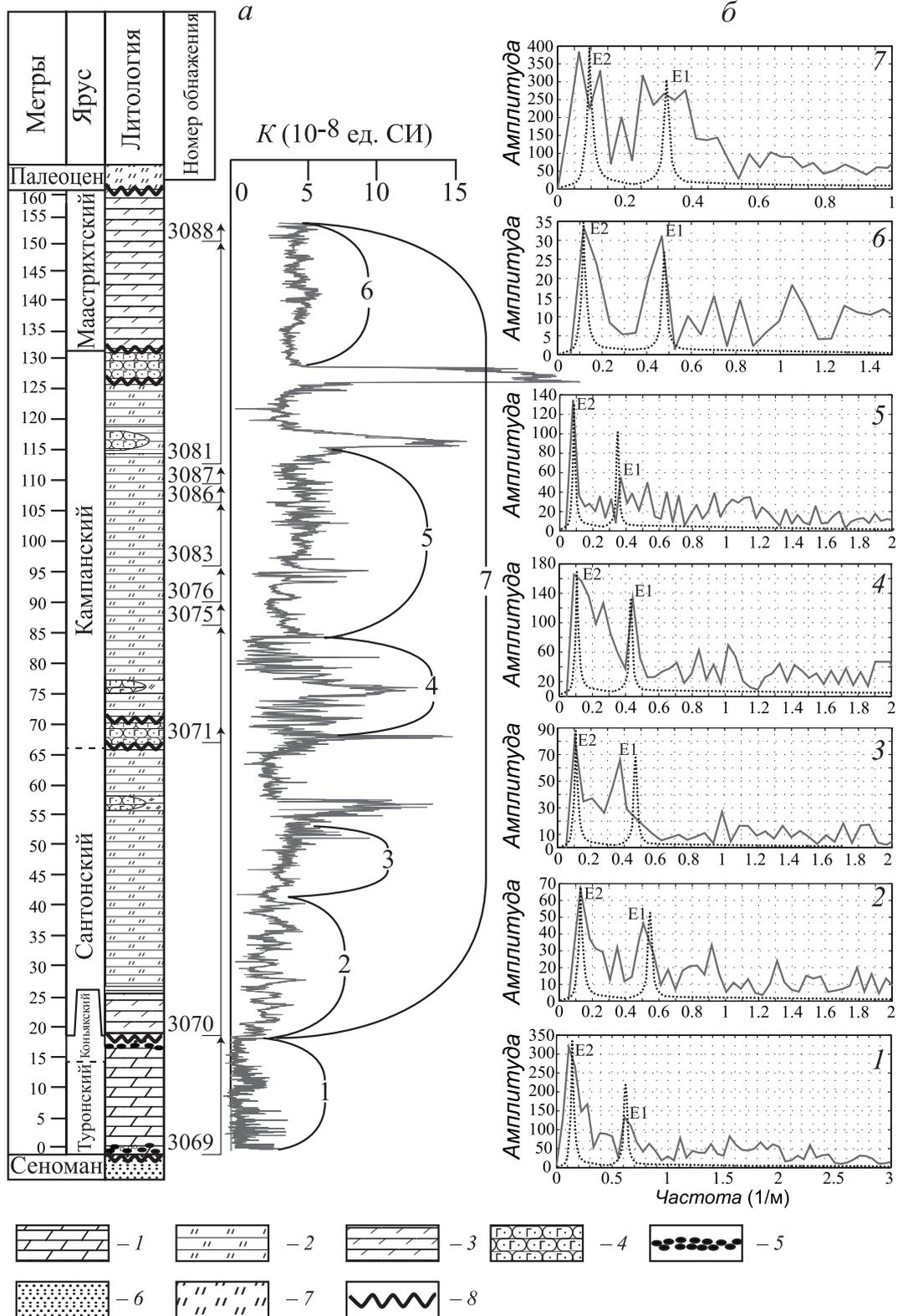


Рис. 2. Петромагнитная (а) и спектральные характеристики (б) разреза турона–маастрихта «Нижняя Банновка». Номера (с 1 по 7) спектрограмм (б) соответствуют номерам интервалов разреза (а), по которым они построены. Сплошной линией показаны спектрограммы вертикальных рядов K , пунктиром – спектрограммы идеальной кривой, являющейся суммой циклов E1 и E2.

Условные обозначения: 1–7 – породы: карбонатные (1), кремнисто-терригенные (2), карбонатно-терригенные (3), глауконитовые песчаники (4), фосфориты (5), пески (6), опоки (7); 8 – перерывы в осадконакоплении



степенью разубоживания аллотигенных компонентов в карбонатной (кремнистой) матрице за счет колебаний скорости образования кальцита (кремнезема) [11].

Нами измерена удельная магнитная восприимчивость у 9660 образцов, равномерно взятых в туроне–коньяке с 1 820 уровней, соответствующих каждому сантиметру мощности [12], а в кампане–маастрихте – с 1400 уровней, через каждые 10 см мощности. С каждого уровня было взято по три образца весом 5–12 г, по которым рассчитаны средние значения K , вынесенные на сводный график параметра по разрезу (см. рис. 2). Измерение удельной магнитной восприимчивости проводилось на капабридже МФК-1В, а взвешивание образцов – на электронных весах ВК-300.

С помощью пакета программ MATLAB спектральному (Фурье) анализу с предварительным исключением тренда подвергнуты вертикальные последовательности значений магнитной восприимчивости и сглаженные кривые K . Сглаживание путем осреднения в скользящем окне (размером от 5 до 50 см), перемещающегося по разрезу с шагом 1 см (в туроне–коньяке) и 10 см (в сантоне–маастрихте), проводилось с целью подавления шумов – единичных выбросов и нерегулярных высокочастотных колебаний. Наличие перерывов в осадконакоплении произвольной длительности не сказывается существенно на спектральной характеристике ряда, если число гиатусов гораздо меньше количества циклов (рис. 3, а, б).

Спектральный анализ проводился как по всему разрезу в целом, так и (учитывая разные темпы формирования отложений) по разным его частям. В общей сложности были испробованы десятки различных вариантов разбиения сводной кривой K по разрезу на интервалы (см. рис. 2, а), подвергнутые по отдельности фурье-анализу (см. рис. 2, б). Лучшие результаты в виде наиболее выразительных (высокоамплитудных) спектрограмм были получены после исключения данных по глауконитовым прослоям при раздельном исследовании карбонатной (туронской–коньякской) и кремнисто-терригенно-карбонатной (сантонской–маастрихтской) толщ (см. рис. 2, б-1 и 2, б-7).

Результаты работ

Все полученные спектрограммы для туронского–коньякского интервала имеют сходный характер. Например, на спектрограмме по сглаженной (с окном 20 см мощности) кривой магнитной восприимчивости высокие амплитуды локализуются в интервалах частот 0.12-0.17 и 0.60-0.68 (1/м), отвечающих периодам 5.88-8.33 и 1.47-1.67 (м), соответственно (см. рис. 2, б-1). Кратность периодов (~4:1) совпадает с кратностью циклов Миланковича, соответствующих большому (~400 000 лет) и малому (~100 000 лет) циклам эксцентриситета земной орбиты (E2 и E1 соответственно). Менее продолжительные циклы наклона оси вращения Земли к эклиптике (~40 000 лет) и прецессии земной оси (~25 000 лет) надежно не

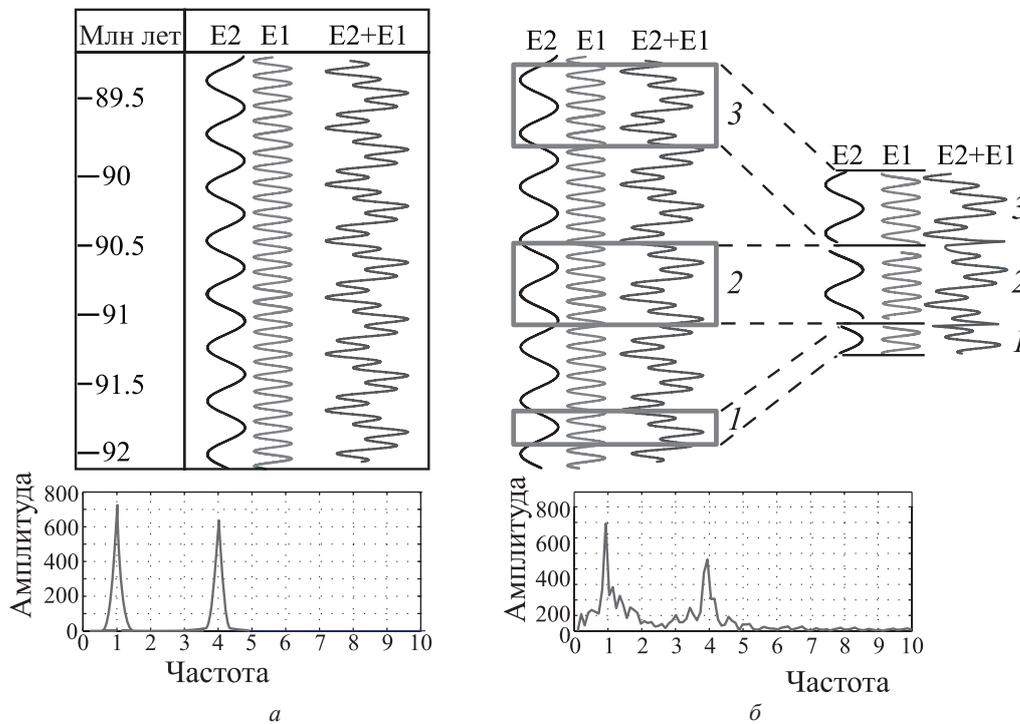


Рис. 3. Схема, иллюстрирующая устойчивость спектральной характеристики идеального ряда, представляющую собой сумму циклов E1 и E2 (а) после его редуцирования (б). Цифрами 1, 2, 3 обозначены интервалы идеальной кривой цикличности



выделяются, что неудивительно, учитывая неравномерную скорость осадконакопления.

Спектральный анализ магнитной восприимчивости по разным интервалам кремнисто-терригенно-карбонатной толщи также обнаруживает периоды с кратностью, близкой к 4:1 (см. рис. 2, б-2-6), но наиболее отчетливые, самые высокоамплитудные пики выделяются при рассмотрении сантона–маастрихта в целом (см. рис. 2, б-7).

Судя по результатам фурье-анализа, породы турона–коньяка образовались за период, равный примерно трем циклам E2 (см. рис. 3), т. е. за ~1.2 млн лет. Средний темп формирования туронской–коньякской толщи мощностью 18.2 м, получается при этом равным ~1.5 см/тыс. лет, что в два раза превышает среднюю скорость седиментации (0.735 см/тыс. лет), полученную в результате циклостратиграфического анализа этих же отложений Р. Р. Габдуллиным [3].

Сантону–маастрихту соответствуют одиннадцать с четвертью циклов большого эксцентриситета (см. рис. 3), т. е. ~4,5 млн лет. Средняя скорость формирования отложений при этом составляет 2,4 см/тыс. лет (варьируя от 1.6 до 3.2 см/тыс. лет). По очень приблизительным оценкам Д. П. Найдина [4], сделанным на основе секвентного анализа, сантонская–маастрихтская толща в разрезе Нижняя Банновка возникла за ~15 млн лет. Эта цифра должна быть несколько уменьшена за счет того, что Д. П. Найдин оперировал продолжительностью сантона–маастрихта 18 млн лет (а не современной оценкой – 16 млн лет [13]). Но в любом случае наши расчеты свидетельствуют о длительности накопления сантонских–маастрихтских отложений, примерно в 3 раза меньшей, чем следует из работы [4].

Мы считаем, что оценки временных промежутков, соответствующих формированию верхнемеловых пород, полученные Д. П. Найдным [4] и Р. Р. Габдуллиным [3], завышены из-за неучета ряда перерывов в осадконакоплении. Мы попытались установить положение плоскостей размыва в разрезе путем сопоставления графика магнитной восприимчивости с секвенс-стратиграфической (эвстатической) кривой (см. рис. 3), исходя из того, что повышенные величины K фиксируют обогащение осадка терригенными пара- и ферромагнитными частицами, происходящее в условиях близкой суши [11, 14].

В туронском–коньякском интервале на графике магнитной восприимчивости намечается три двучленных ритма, характеризующиеся в нижних частях относительно высокими значениями параметра, а в верхних частях низкими (рис. 4). Мергели, отмеченные K от 2 до 4×10^{-8} ед. СИ, слагают нижние части секвенций, образовавшиеся на начальных стадиях развития трансгрессий, а слабомагнитные наиболее чистые карбонатные разности ($K < 2 \times 10^{-8}$ ед. СИ) отвечают высоким стояниям уровня моря. Исходя

из представлений о среднетуронском–раннеконьякском возрасте отложений [3, 4], уровни обогащения терригенным веществом можно сопоставить с подошвами секвенций 2.6, 2.7 и 3.1 [15] или с нижними частями секвенций Tu2, Tu3 и Tu4 [16] (рис. 4).

Крупный гиатус, маркируемый «губковым горизонтом» на границе турона–коньяка соотносится, вероятно, с понижением уровня Мирового океана на границе секвенций 3.3–3.4 по [15] или Sa2–Sa3 по [16] (рис. 4).

Глауконитовые уровни в разрезе, отмеченные относительно высокими значениями K ($10-23 \times 10^{-8}$ ед. СИ), отождествляются нами с эпохами наиболее сильного обмеления морского бассейна, происходившими при самых значительных эвстатических падениях, и коррелируются с основаниями секвенций 3.5, 4.1, 4.3, 4.4 и UZA4.5 [15] (или с основаниями секвенций Sa3, Cam1, Cam4, Cam5 и Cam8 [16]) (см. рис. 4).

Для того чтобы время формирования секвенций, слагающих разрез турона–коньяка, не превышало ~1.2 млн лет, необходимо допустить, что границам секвенций 2.6–2.7 и 2.7–3.1 [15] (или Tu2–Tu3 и Tu3–Tu4 [16]) соответствуют перерывы в осадконакоплении, связанные с глобальными эвстатическими падениями, длительностью ~700 тыс. лет и ~800 тыс. лет, соответственно (рис. 5, а). Продолжительность перерывов внутри сантона–маастрихта, соответствующих границам секвенций 3.3–3.4, 3.4–3.5, 3.5–4.1, 4.2–4.3, 4.3–4.4 и 4.4–UZA 4.5 [15] (или Sa2–Sa3, Sa3–Cam1, Cam1–Cam2, Cam4–Cam5, Cam5–Cam6 и Cam8–Cam9 [16]), определена как ~4.5, ~1.3, ~1.6, ~1.4, ~3 и ~4.5 млн лет соответственно (см. рис. 5, а). Однако оценка временного объема каждого гиатуса на рис. 5, а достаточно условна, и суммарная длительность (~16.3 млн лет) может быть перераспределена между ними в довольно широких пределах, в частности, за счет многочисленных диаستم (см. рис. 5, б).

Выводы

Предложенная нами циклостратиграфическая модель разреза турона–маастрихта «Нижняя Банновка», базирующаяся на результатах спектрального анализа вертикального ряда магнитной восприимчивости в совокупности с секвенс-стратиграфической интерпретацией петромагнитных данных позволяет выявить гиатусы и оценить их суммарную длительность, способствуя тем самым наиболее точным оценкам продолжительности седиментации и темпов формирования изученных отложений (за исключением глауконитов). Средняя скорость карбонатного осадконакопления в туроне–коньяке составляет 1.5 см/тыс. лет, а кремнисто-терригенного в сантоне–кампане и терригенно-карбонатного в позднем маастрихте – 2.4 см/тыс. лет.

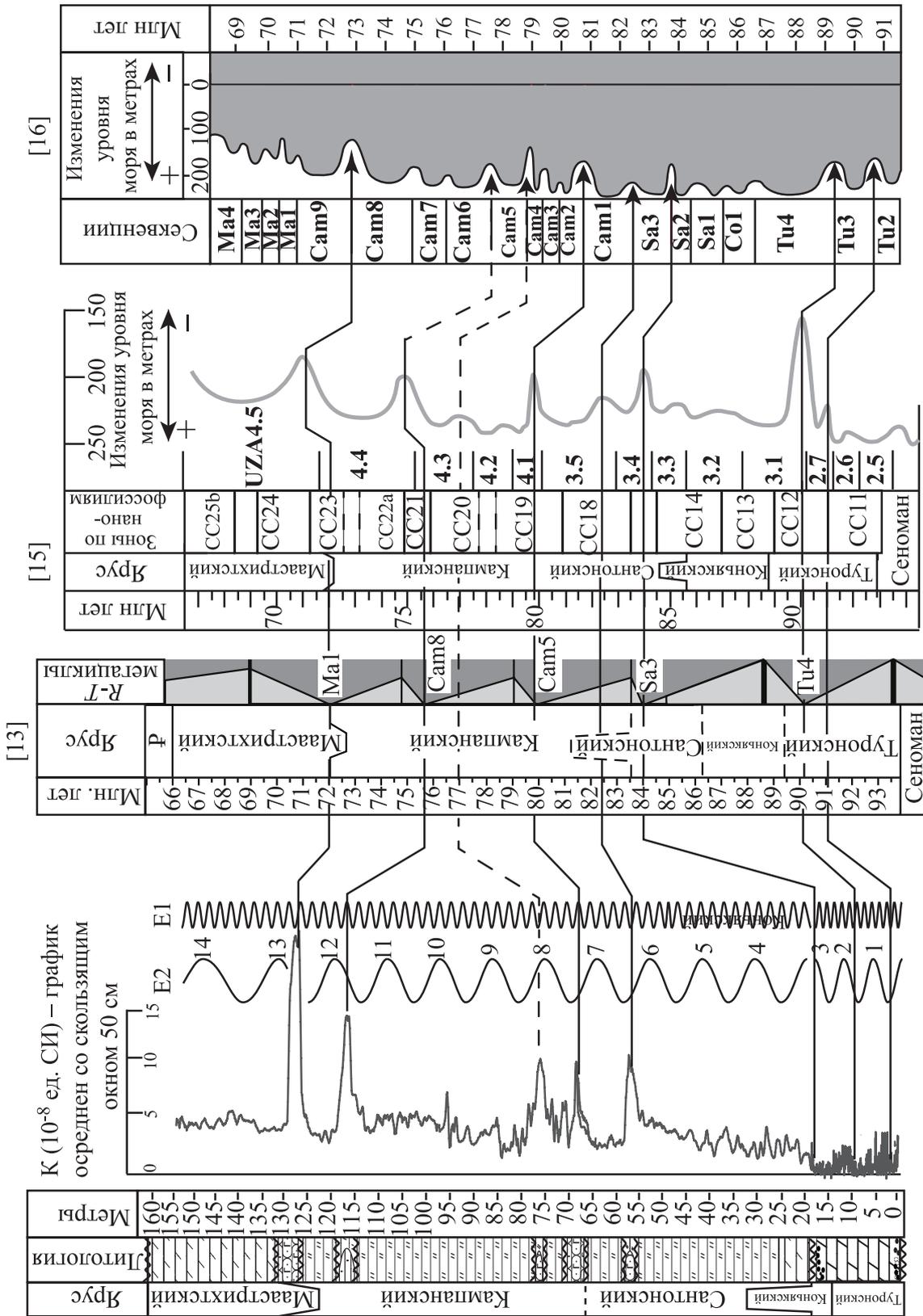


Рис. 4. Петромагнитная, циклостратиграфическая характеристика разреза турона-маастрихта «Нижняя Банновка» и результаты сопоставления петромагнитной ритмичности с эвстатическими колебаниями и секвенциями по данным разных авторов. Нумерация циклов большого эксцентриситета – 1–14. Условные обозначения см. рис. 2

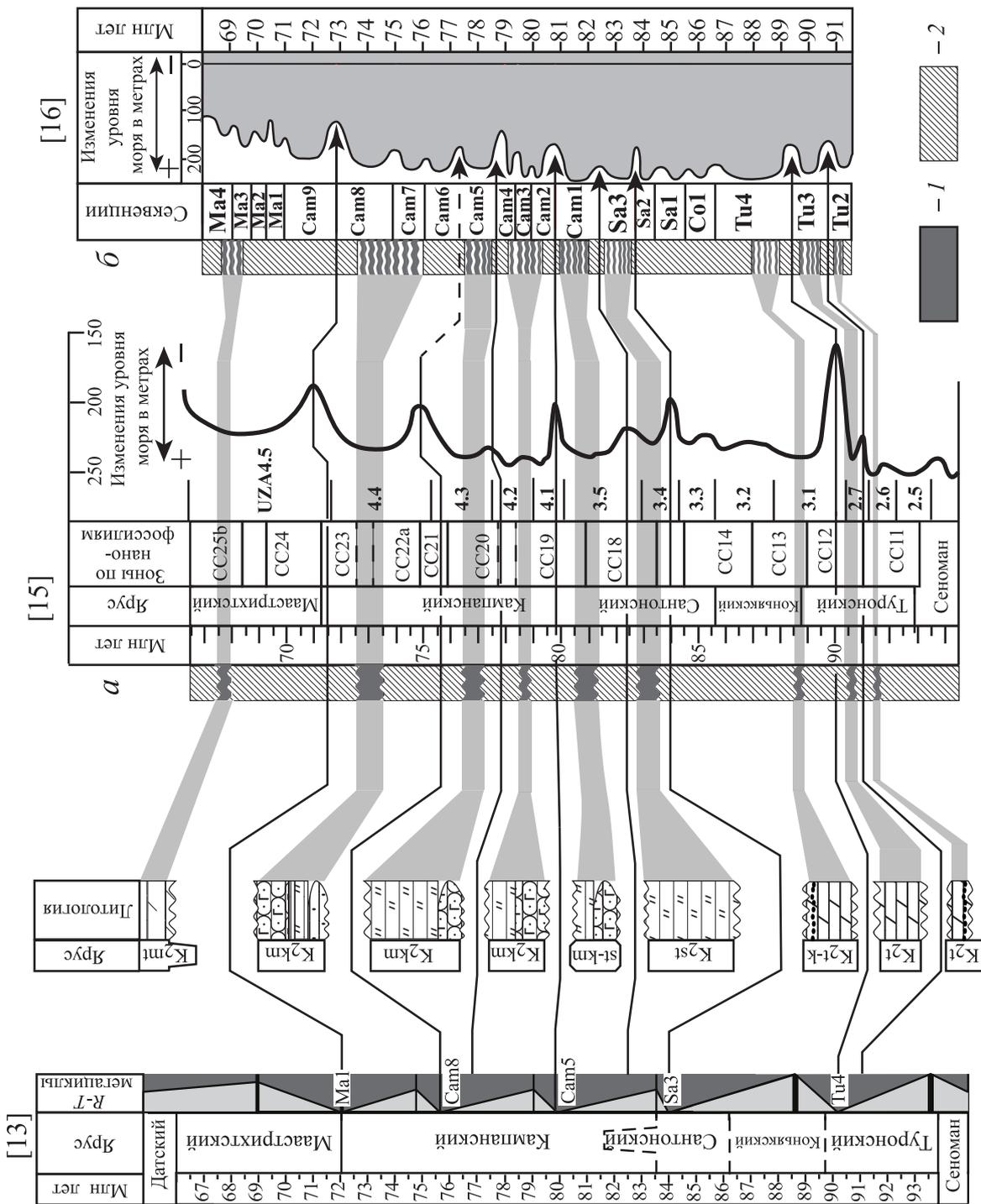


Рис. 5. Результаты цикло- и секвенс-стратиграфической интерпретации петромагнитных данных по разрезу турона-маастрихта Нижняя Банновка: выявление гиатусов и различные оценки их длительности (а, б). Интервалы времени, соответствующие седиментации (1) и перерывам в осадконакоплении (2). Остальные условные обозначения см. на рис. 2



Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 16-35-00339-мол_а, 16-35-00219-мол_а).

Библиографический список

1. Милановский Е. В. Очерк геологии Среднего и Нижнего Поволжья. М. ; Л. : Гостоптехиздат, 1940. 276 с.
2. Первушов Е. М., Архангельский М. С., Иванов А. В. Каталог местонахождений остатков морских рептилий в юрских и меловых отложениях Нижнего Поволжья. Саратов : Колледж, 1999. 230 с.
3. Габдуллин Р. Р. Верхнемеловые отложения Русской плиты : секвенная стратиграфия и циклы Милановича // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4, Геология. 2007. № 5. С. 16–25.
4. Найдин Д. П. Эвстазия и эпиконтинентальные моря Восточно-Европейской платформы. Ст. 2. Верхнемеловые секвенции платформы // Бюл. МОИП, отд. геол. 1995. Т. 70, вып. 5. С. 49–64.
5. Харитонов В. М., Иванов А. В., Сельцер В. Б. Стратиграфия турон-коньякских отложений Нижнего Поволжья // Недра Поволжья и Прикаспия. 2003. Вып. 36. С. 48–60.
6. Герасимов П. А., Мигачева Е. Е., Найдин Д. П., Стерлин Б. П. Юрские и меловые отложения Русской платформы : Очерки региональной геологии СССР. М. : Изд-во Моск. ун-та, 1962. Вып. 5. 195 с.
7. Глазунова А. Е. Палеонтологическое обоснование стратиграфического расчленения меловых отложений Поволжья. Верхний мел. М. : Недра, 1972. 204 с.
8. Гужиков А. Ю., Барабошкин Е. Ю., Беньямовский В. Н., Вишневецкая В. С., Копаевич Л. Ф., Первушов Е. М., Гужикова А. А. Новые био- и магнитостратиграфические данные по кампанским-маастрихтским отложениям классического разреза Нижняя Банновка (юг Саратовского Правобережья) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2017. Т. 25, № 1. С. 24–61.
9. Strasser A., Higl F., Henkel P. Cyclostratigraphy – concepts, definitions and applications // Newsletters on Stratigraphy. 2006. Vol. 42, № 2. P. 75–114.
10. Kodama A., Hinnov L. Rock magnetic cyclostratigraphy. UK : West Sussex, Wiley & Sons, 2015. 166 p.
11. Гужиков А. Ю. Геологическая информативность магнетизма керн и шлама осадочных пород, полученных при бурении разведочных скважин // Приборы и системы разведочной геофизики. 2013. № 4. С. 51–61.
12. Суринский А. М., Гужиков А. Ю., Александров П. Н. Результаты циклостратиграфического анализа петромагнитных данных по разрезу турона – коньяка «Нижняя Банновка» (юг Саратовского Правобережья) // Меловая система России и ближнего зарубежья : проблемы стратиграфии и палеогеографии : сб. науч. тр. / под ред. Е. Ю. Барабошкина. Симферополь : Черноморпресс, 2016. С. 267–269.
13. Gradstein F., Ogg J. G., Schmitz, M. D., Ogg, G. M. The Geologic Time Scale. Oxford ; Elsevier, 2012. P. 855–921.
14. Guzhikov A., Molostovsky E. Some features of the Early Cretaceous sedimentation in the Cis-Caucasia reflected in magnetic properties of the sedimentary cover // Geodiversitas. 1999. № 21 (3). P. 365–385.
15. Miller K. G., Sugarman P. J., Browning J. V., Kominz M. A., Hernández J. C., Olsson R. K., Wright J. D., Feigenson M. D., Van Sickle W. Late Cretaceous chronology of large, rapid sea-level changes; glacioeustasy during the greenhouse world // Geology. 2003. Vol. 31. P. 585–588.
16. Snedden J. W., Liu C. A Compilation of Phanerozoic Sea-Level Change, Coastal Onlaps and Recommended Sequence Designations // AAPG Search and Discovery Article 40594. URL: http://www.searchanddiscovery.com/documents/2010/40594snedden/ndx_snedden.pdf (дата обращения: 28.02.2016).

Образец для цитирования:

Суринский А. М., Гужиков А. Ю. Опыт циклостратиграфического анализа петромагнитных данных по разрезу турона-маастрихта «Нижняя Банновка» (юг Саратовского Правобережья) // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2017. Т. 17, вып. 2. С. 117–124. DOI: 10.18500/1819-7663-2017-17-2-117-124.

Cite this article as:

Surinskiy A. M., Guzhikov A. Yu. Experience of Cyclostratigraphic Analysis of Petromagnetic Data on the Turonian–Maastrichtian Section «Nizhnyaya Bannovka» (Volga River Right Bank, Southern Saratov Region). *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Earth Sciences*, 2017, vol. 17, iss. 2, pp. 117–124. DOI: 10.18500/1819-7663-2017-17-2-117-124.