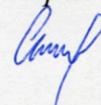


ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «САРАТОВСКИЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

На правах рукописи



Суринский Арсений Михайлович

**Петромагнитный метод как инструмент изучения
седиментационной цикличности верхнего мела и палеогена
Русской плиты и Крыма**

25.00.01 – Общая и региональная геология

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени

кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель:

доктор геолого-минералогических наук, профессор

Гужиков А.Ю.

Москва – 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
Глава 1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ.....	11
1.1 Понятие о циклостратиграфии и циклостратиграфическом анализе петромагнитных данных.	11
1.2 Состояние циклостратиграфической изученности мела Русской плиты и Горного Крыма.	23
Глава 2. МЕТОДИКА РАБОТ.....	27
2.1 Выбор объектов исследования, полевые и лабораторные работы.....	27
2.2 Математическая обработка петромагнитных данных.....	35
Глава 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	42
3.1. Берриас Центрального Крыма (разрез Алексеевка, р. Тонас).....	42
3.2. Турон-коньяк Нижнего Поволжья.	46
3.2.1. Разрез Нижняя Банновка	46
3.2.2. Разрез Каменный Брод	50
3.2.3. Озерки	52
3.3. Сантон-маастрихт Нижнего Поволжья.....	56
3.3.1. Разрез Нижняя Банновка	56
3.3.2. Вольск (карьер «Большевик»)	59
3.4. Кампан-маастрихт Юго-Западного Крыма	65
3.4.1. Чахмахлы	65
3.4.2. Токма.....	68
3.5. Эоцен Актолагая	72
Глава 4. ЦИКЛОСТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ПЕТРОМАГНИТНЫХ ДАННЫХ.....	77
4.1. Берриас Центрального Крыма (разрез Алексеевка, р. Тонас).....	77

4.2. Турон-коньяк Нижнего Поволжья.	80
4.2.1. Нижняя Банновка.	80
4.2.2. Каменный Брод.	80
4.2.3. Озерки.	83
4.3. Сантон-маастрихт Нижнего Поволжья.	85
4.3.1. Нижняя Банновка.	85
4.3.2. Вольск (карьер «Большевик»).	87
4.4. Кампан-маастрихт Юго-Западного Крыма.	89
4.4.1. Чахмахлы.	89
4.4.2. Токма.	89
4.5. Эоцен Актолагая.	92
Глава 5. КОМПЛЕКСНАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ О МАГНЕТИЗМЕ ВЕРХНЕГО МЕЛА И ПАЛЕОГЕНА РУССКОЙ ПЛИТЫ И КРЫМА.	94
5.1. Верхний мел Нижнего Поволжья.	95
5.1.1. Палеогеографическая обстановка на территории Нижнего Поволжья в позднемеловую эпоху.	95
5.1.2. Турон-коньяк Нижнего Поволжья.	102
5.1.2.1. Нижняя Банновка.	102
5.1.2.2. Каменный Брод.	108
5.1.2.3. Озерки.	108
5.1.3. Сантон-маастрихт Нижнего Поволжья.	111
5.1.3.1. Нижняя Банновка.	111
5.1.3.2. Вольск (карьер «Большевик»).	114
5.2. Кампан-маастрихт Юго-Западного Крыма.	124
5.3. Эоцен Актолагая.	128

ЗАКЛЮЧЕНИЕ	134
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	138

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследований

Циклостратиграфический анализ (циклостратиграфия) является одним из перспективных методов современной стратиграфии, который позволяет на основе астрономически обусловленной цикличности климата получать данные о продолжительности и скорости образования отложений. Для выявления астрономической цикличности можно использовать любые геологические данные (литологические, микропалеонтологические, геохимические, геофизические и т. д.), если есть основания считать, что они отражают динамику седиментационных процессов, а не вторичные (эпигенетические) преобразования пород. Петромагнитные характеристики выгодно отличаются от большинства других геологических данных оптимальным сочетанием их геологической информативности, позволяющей адекватно судить о седиментационной ритмичности, с экспрессностью определений. Это обстоятельство обусловило популярность использования петромагнитных методов в циклостратиграфии в последние десятилетия (Kodama, Hinnov, 2015 и др.). К сожалению, в России циклостратиграфический анализ петромагнитных данных широкого распространения, пока, не получил, хотя его использование актуально для детального расчленения и корреляции разрезов, расчетов темпов седиментации и временного объема стратиграфических гиатусов, а также решения других геологических задач.

Цель исследований

Выявление астрономических циклов известной длительности (циклов Миланковича: эксцентриситета земной орбиты, изменения угла наклона земной оси относительно эклиптики, прецессии) в разрезах мела и палеогена Русской плиты и Горного Крыма по петромагнитным данным. Использование полученных данных для детального расчленения и корреляции разрезов, расчетов скоростей формирования отложений и оценки длительности перерывов в осадконакоплении.

Задачи исследований

1. Детальное петромагнитное опробование опорных разрезов мела и палеогена Нижнего Поволжья, Прикаспия и Горного Крыма и проведение лабораторных измерений.
2. Выявление циклов путем математической обработки (спектрального анализа) последовательностей петромагнитных данных по стратиграфическим разрезам и обоснование их природы.
3. Комплексная геологическая интерпретация цикло-, био-, и магнитостратиграфических данных.

Фактический материал

Проведены детальные петромагнитные исследования восьми опорных разрезов мела и палеогена Русской плиты и Горного Крыма: с. Алексеевка (р. Тонас, Центральный Крым) – берриас, овраги Чахмахлы и Токма (Юго-западный Крым) – кампан-маастрихт, Нижняя Банновка, Вольск, Озерки, Каменный брод (Нижнее Поволжье) – турон-маастрихт, плато Актолагай (Прикаспий, Казахстан) – эоцен (ипр). Общий объем образцов, задействованных для циклостратиграфических исследований, составил 13 861 петромагнитную пробу, при суммарной мощности изученных отложений - 517 м.

Теоретическая и практическая значимость

Полученные на основе анализа магнитных свойств осадочных толщ циклостратиграфические данные, в сочетании с био- и магнитостратиграфическими материалами, позволили оценить скорости седиментации для разных типов отложений, оценить продолжительность перерывов в осадконакоплении, решить ряд задач, связанных с детальным расчленением и корреляцией разрезов, уточнением возраста и условий формирования пород.

Методология диссертационного исследования

Для достижения цели диссертационного исследования выбирались разрезы мела – палеогена, расположенные в различных структурно-фациальных зонах, в которых имелась возможность надежно увязать петромагнитные данные с

материалами других исследований. У отобранных образцов в лабораторных условиях измерялся широкий спектр магнитных свойств: магнитная восприимчивость, естественная остаточная намагниченность, гистерезисные параметры, термокаппаметрические характеристики. Для выявления во временных петромагнитных рядах циклов различной длительности использовался метод преобразования Фурье. Если кратность выявленных циклов совпадала с кратностью циклов Миланковича, то выявленные циклы ассоциировались с астрономическими периодами известной длительности. По количеству циклов Миланковича, зафиксированных в разрезах, можно судить о продолжительности формирования толщ и определять среднюю скорость осадконакопления путем деления продолжительности формирования на мощность пород. Для проведения корректной геологической интерпретации петромагнитных вариаций предварительно был обоснован выбор моделей формирования седиментационной ритмичности и проанализированы имеющиеся стратиграфические и палеогеографические материалы.

Защищаемые положения

1. В меловых–палеогеновых осадочных последовательностях Русской плиты и Горного Крыма путем спектрального анализа их магнитных свойств выявляются астрономические циклы известной длительности: изменений эксцентриситета земной орбиты (длительностью $\sim 400\,000$ и $\sim 100\,000$ лет) и наклона земной оси относительно эклиптики ($\sim 40\,000$ лет), которые могут быть использованы для расчета скоростей формирования карбонатных, карбонатно-терригенных и кремнисто-терригенных отложений.

2. Результаты комплексного анализа петромагнитных и циклостратиграфических данных по классическому разрезу верхнего мела Нижняя Банновка (юг Саратовского Правобережья) указывают на преимущественно туронский возраст вольской свиты, относимой в региональной стратиграфической схеме верхнего мела Восточно-Европейской платформы к коньякскому ярусу, позволяют в ряде разрезов верхнего мела Нижнего Поволжья

выявить неизвестные ранее перерывы в осадконакоплении и оценить их продолжительность.

3. Новый способ расчета скорости осадконакопления карбонатных отложений по их магнитной восприимчивости, в сочетании с традиционными методами, позволяет детально реконструировать изменения скорости седиментации по стратиграфическому разрезу.

Научная новизна

1. Получены новые детальные данные о магнетизме турона–маастрихта Нижнего Поволжья, берриаса и маастрихта Горного Крыма, эоцена Прикаспия. 2. Путем спектрального анализа петромагнитных вариаций по разрезам выявлены астрономические циклы известной длительности: изменений эксцентриситета земной орбиты (длительностью ~ 400 000 и ~ 100 000 лет) и наклона земной оси относительно эклиптики (~ 40 000 лет). 3. Рассчитаны скорости осадконакопления, которые для разных типов отложений варьируют от 0.61 до 2.5 см/тыс. лет в Нижнем Поволжье, от 10 до 11.5 см/тыс. лет в Горном Крыму и от 9.2 до 9.4 см/тыс. лет в Прикаспии. 4. Петромагнитная ритмичность в разрезах верхнего мела Нижнего Поволжья интерпретирована, как трансгрессивно-регрессивные циклы, соответствующие известным секвенциям. 5. Путем комплексного анализа циклостратиграфических, секвентных и биостратиграфических данных в разрезе Нижняя Банновка обоснован преимущественно туронский возраст вольской свиты, относимой ранее к коньякскому ярусу, в разрезах верхнего мела Поволжья выявлены перерывы в осадконакоплении и оценена их длительность. 7. Предложен новый способ расчета скоростей формирования карбонатных отложений по магнитной восприимчивости пород.

Степень достоверности

Достоверность научных выводов диссертанта обеспечивается использованием:

- комплексного подхода к исследованиям, при котором из опорных разрезов, по системе «образец в образец», отбирались пробы на различные виды

анализов, а анализ и интерпретация петромагнитных материалов проводились совместно с данными других методов – био- и магнитостратиграфического;

- представительного фактического материала – тысяч образцов, отобранных из восьми опорных разрезов с разных уровней с интервалом от 1 до 50 см;

- современного высокочувствительного оборудования для петромагнитных измерений,

- математических методов спектрального анализа для выделения астрономической цикличности.

Апробация работы

Результаты диссертационного исследования докладывались автором на конференции «Геологи XXI века» – (Саратов, 2011-2014 гг.), на «Ульяновском инновационном форуме» (Ульяновск, 13-15 мая 2015 г.), всероссийской конференции «Геологические науки 2014» (Саратов, 2014 г.), всероссийском совещании «Меловая система России. Проблемы стратиграфии и палеогеографии» (Феодосия, 2016 г.).

Результаты исследований докладывались в научных отчетах по проектам РФФИ (№№ 12-05-00196-а, 16-35-00219-мол_а, 16-35-00339-мол_а) и Минобрнауки России (госзадание в сфере научной деятельности № 1757).

По теме диссертации опубликовано 17 работ, из которых 2 в журналах, индексируемых международными базами данных Web of Sciences и Scopus, 6 в журналах, входящих в перечень ВАК Минобрнауки России. По тематике исследований получен патент на изобретение (Патент на изобретение РФ №2633659 «Способ оценки скорости осадконакопления»).

Структура и объем работы

Диссертация, объемом 153 страницы, состоит из 5 глав, введения и заключения, содержит 1 таблицу и 55 рисунков. Список литературы включает 129 наименований.

Благодарности

Искреннюю благодарность за всестороннюю помощь в создании работы, терпение, внимательность и поддержку автор выражает своему научному руководителю А.Ю. Гужикову. Автор глубоко признателен А.А. Гужиковой, Е.М. Первушовой, В.А. Фомину, А.Г. Маникину, В.А. Грищенко, Д.Д. Бондаренко, А.М. Михайлову (все СГУ) за помощь на всех этапах работы и постоянную моральную поддержку.

Автор выражает глубокую благодарность А.С. Караваеву (СГУ) и П.Н. Александрову (ЦГЭМИ ИФЗ РАН) за помощь в реализации технических средств обработки и анализа временных рядов на основе современного программного обеспечения.

Глубокую признательность автор выражает РФФИ за поддержку исследований (проект №16-35-00339-мол_а).

Глава 1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

1.1 Понятие о циклостратиграфии и циклостратиграфическом анализе петромагнитных данных

Циклостратиграфический анализ (циклостратиграфия) является одним из наиболее перспективных на сегодняшний день методов стратиграфии, который позволяет на основе астрономически обусловленной цикличности климата получать данные о продолжительности и скорости образования отложений. Согласно Геологическому словарю (2012), циклостратиграфия – это раздел стратиграфии, использующий для расчленения и корреляции отложений, особенности упорядоченной повторяемости частей разреза осадочных толщ. Целью циклостратиграфии является определение, характеристика и интерпретация периодических или квазипериодических вариаций в стратиграфической летописи и особенно их использование для построения и уточнения временных шкал.

Циклостратиграфия использует астрономические циклы известной продолжительности (циклы Миланковича) для датирования палеоклиматических, палеоокеанографических, седиментологических, и диагенетических процессов. В основе региональной или планетарной природы цикличности лежат изменения климата, с которыми связаны эвстатические колебания уровня Мирового Океана, документируемые в разрезах по фаціальным изменениям, несогласиям, а так же особенностям геохимического состава, биологической продуктивности и других параметров.

Для выявления астрономической цикличности можно использовать любые геологические данные (литологические, микропалеонтологические, геохимические, геофизические и т. д.), если есть основания считать, что они отражают динамику седиментационных процессов, а не вторичные (эпигенетические) преобразования пород.

Петромагнитные методы приобрели широкую популярность при исследованиях циклостратиграфического строения осадочных комплексов за счет

экспрессности метода, его универсальности к определению обстановок осадконакопления и относительной дешевизны.

Циклостратиграфия как наука берет свое начало со времени появления первых понятий о ритмах и циклах осадочных формаций и имеет достаточно длительную историю, сопоставимую с историей геологии в целом. Первые попытки систематизировать данные о последовательности напластований в осадочных комплексах можно найти в работах Н. Стенона, М. В. Ломоносова, Г.Х. Фюксея, Дж. Геттона, Д.И. Соколова, А.Д. Орбиньи.

В конце IX – начале XX века образование циклитов связывалось в основном, с вертикальными тектоническими движениями, на что указывал Д. И. Соколов при изучении чередования морских и пресноводных осадков. В то же время начинают более детально изучаться и сочетания литологических разностей пород.

Новый этап интереса к изучению цикличности осадконакопления резко возрос после 1930 г. благодаря работам американского ученого Д. Уэллера. В 1930 г. он выделил в угленосных отложениях типичную повторяющуюся совокупность пород, которая, в последствие была названа циклотемой, термин специально был предложен для описания углесодержащих осадочных отложений.

Модели формирования осадочных циклов и попытки их теоретического обоснования выдвигались независимо друг от друга различными исследователями, и при этом, в качестве определения циклов использовались многочисленные термины, однако, систематизировать накопленные знания и представить их в виде окончательной гипотезы удалось значительно позже. Впервые связь между цикличностью осадконакопления и вариациями орбитальных параметров Земли была установлена М. Миланковичем в начале прошлого столетия (Миланкович, 1939). Его представления основывались на закономерном чередовании ледниковых и межледниковых эпох в течение четвертичного периода. В результате проведенных М. Миланковичем наблюдений было выделено три группы циклов, различных по продолжительности и происхождению. Циклы эксцентриситета земной орбиты

представляют собой периодические изменения вытянутости орбиты Земли и бывают двух подтипов – циклы большого эксцентриситета продолжительностью 400 тыс. лет и циклы малого эксцентриситета продолжительностью 100 тыс. лет. Циклы угла наклона земной оси к плоскости эклиптики, происходят за счет периодичных отклонений земной орбиты на определенный угол и имеют продолжительность продолжительностью 40 тыс. лет. Циклы прецессии оси, характеризуются продолжительностью ~ 25.7 тыс. лет. Астрономическая теория палеоклимата является фундаментальным положением, составляет основу всех исследований в области циклостратиграфии. Не так давно в свет начали выходить труды, предлагающие выделение отдельного класса надциклов, продолжительностью 1 млн. и 2.4 млн. лет соответственно (Lourens, Hilgen, 1997), однако, факт существования таких видов цикличности пока еще не имеет точного обоснования.

После выхода основополагающей работы М. Миланковича (1939) методики изучения астрономической цикличности в разрезах осадочных толщ и расчета на ее основе скоростей осадконакопления разрабатывали Н.Б. Вассоевич (1948), W. Schwarzacher (1958, 1967, 1968, 1993, 1994) и другие исследователи. Но, по настоящему широкое признание и внедрение циклостратиграфического метода в геологию началось в последней четверти прошлого века, после математического обоснования циклов Миланковича в кернах скважин глубоководного бурения (Hays et al., 1976). С тех пор, количество публикаций с циклостратиграфическими данными, неуклонно возрастает. Исчерпывающие аналитические обзоры, посвященные становлению и развитию циклостратиграфии, можно найти в трудах Р.Р. Габдуллина (2000, 2004, 2008). В рамках настоящего исследования, из необозримого спектра работ циклостратиграфической направленности, уместно выделить работы А. Гэйла (Gale, 1995; 1996; 1999), который впервые применил петромагнитные данные для выявления ритмичности в карбонатных толщах и фундаментальный труд К.П. Кодамы и Л.А. Хиннов (Kodama, Hinnov, 2015), обобщающий достижения в области циклостратиграфического анализа петромагнитных данных за последние десятилетия. Также внимания заслуживает

работа А. И. Рыбкиной (2015), посвященная циклостратиграфическому анализу отложений миоцена прибрежной области Крымского полуострова в районе Керченского пролива. Задействованные в работе А. И. Рыбкиной детальные петромагнитные расчеты, подвергнутые спектральному анализу, оказались результативными и позволили выделить астрономические циклы и рассчитать скорость и продолжительность образования отложений понта и мессина в нескольких разрезах и, на основании полученных данных, провести палеорекострукции.

Современный этап циклостратиграфических исследований характеризуется постоянно пополняющейся базой данных по новым опорным разрезам и применением новых технологических шагов к определению цикличности (Imbrie 1980; Held, 1981; Mackenzie, 2004; Lerman, 2004, Shackleton et al., 1999; 2000; Herbert et al. 1995; Prokoph, 1996; 1997; Sprenger et al., 1992; Kodama, 1991; Pratt, 1984; Sbignev 1997, Russell, 2000; Rodionov, 2003; Pillans et al., 1998; Moore et al. 1982; Kissel et al., 1999; Husson et al. 2011; Hay, 1997; Ilyin, 1997; Komniz et al. 2003; Lamy et al, 1998; Reijmer 1992, Ten 1992; Tiedemann et al, 1989, Weedon, 1999). Многими авторами рассматривается как теоретическая сторона вопроса, так и результаты проявления орбитальной цикличности, отраженные в строении геологических объектов. Сложность проблемы образования циклов происходит, главным образом, от огромного многообразия факторов различной природы, совместное действие которых порождает циклиты. Однако родоначальником цепочки событий, приводящих к формированию цикличности, является орбитальное движение Земли. Из теории Миланковича известно, что эллиптическая земная орбита, имеет три основных параметра, изменение которых носит периодический характер: эксцентриситет земной орбиты, угол наклона земной оси относительно плоскости эклиптики и прецессия (Fischer, 1995). Каждый из обозначенных факторов контролирует количество энергии, поступающей от солнца на единицу земной поверхности.

Гипотеза, связывающая изменения глобального климата Земли с орбитально-обусловленными вариациями инсоляции, получила наибольшее

развитие при объяснении глобальных климатических изменений последнего миллиона лет и стала называться астрономической теорией палеоклимата.

Теоретическое обоснование изменений палеоклимата под действием вариаций инсоляции было просчитано с применением многочисленных моделей, каждая из которых в той, или иной мере объясняет обусловленность изменений глобального климата под действием вариаций орбитальных параметров.

Общим для всех теоретических моделей обусловленности климатических изменений вариациями орбитальных параметров является то, что они опираются на увеличение, либо уменьшение инсоляции земной поверхности, либо на перераспределение её количества в различных полушариях. Известно, что земная поверхность получает неравномерное количество солнечного тепла. Низкие широты получают намного больше солнечного тепла, чем высокие. Наклон земной оси относительно плоскости эклиптики, в настоящее время равный $\sim 23.5^\circ$, обуславливает неравномерность распределения инсоляции в различных полушариях, что отвечает за контрастность сезонов. Особенно высокие контрасты времен года наблюдаются в высоких широтах, что выражается в наличии полярного дня и полярной ночи.

Изменения угла земной оси к плоскости эклиптики, характеризующиеся периодичностью ~ 40 тыс. лет приводят периодическому возрастанию и убыванию контрастности сезонов, что имеет прямое отражение в темпах выветривания отложений под действием внешней агрессивной среды. С увеличением климатической контрастности между теплыми и холодными сезонами воздействует на темпы физического выветривания за счет интенсивности дезинтеграции объема породы под действием смены температуры.

Интенсивность потока солнечной радиации, достигающего земной поверхности, является одним из основных источников формирования климата и напрямую зависит от расстояния до Солнца. Это расстояние зависит от меры вытянутости эллипса земной орбиты, то есть от её эксцентриситета (E), определяемого по формуле:

$$E = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a} \quad (1),$$

где a и b – большая и малая полуоси эллипса соответственно. Вариации эксцентриситета орбиты весьма невелики с точки зрения небесной механики, ($E_{\min} = 0.0034$; $E_{\max} = 0.058$), однако их результат имеет ярко выраженное воздействие на глобальный климат. Считается, что периодичность циклов эксцентриситета орбиты делится на два типа: циклы большого эксцентриситета с периодом 400 тыс. лет и циклы малого эксцентриситета с периодом 100 тыс. лет. Воздействие всех типов изменений параметров земной оси на глобальный климат Земли происходит синхронно, а характер этих воздействий, в итоге, выражается в виде суммы всех факторов астрономической цикличности (рисунок 1).

Достаточно давно известен еще один вид цикличности, связанный с прецессией земной оси под действием гравитационного поля Луны и Солнца. Земная ось, при этом, совершает круговые движения, а её мнимое продолжение оказывается обращенным сначала к Полярной звезде, затем, к Веге.

Воздействие прецессии земной оси заключается в изменении сезонных контрастов инсоляции в различных полушариях. Прецессия не влияет на общее количество приходящей к Земле годовой инсоляции, так как увеличение летней инсоляции компенсируется увеличением зимней и наоборот, однако, при этом, контраст между теплыми и холодными сезонами изменяется, вместе с чем, меняется и скорость денудации. Периодичность циклов прецессии земной оси оценивается как 21-19 тыс. лет.

Периодические изменения солнечной активности также вносят свой вклад в механизм инсоляции земной поверхности. Циклы солнечной активности и их вклад в геологические процессы подробно рассмотрены в работах (Anderson et al. 1982; Cliver, 1994; Dean, 1997).

Все механизмы перераспределения солнечной энергии, достигающей земной поверхности, обусловленные вариациями орбитальных параметров Земли, имеют прямое воздействие на глобальный климат и, соответственно, на

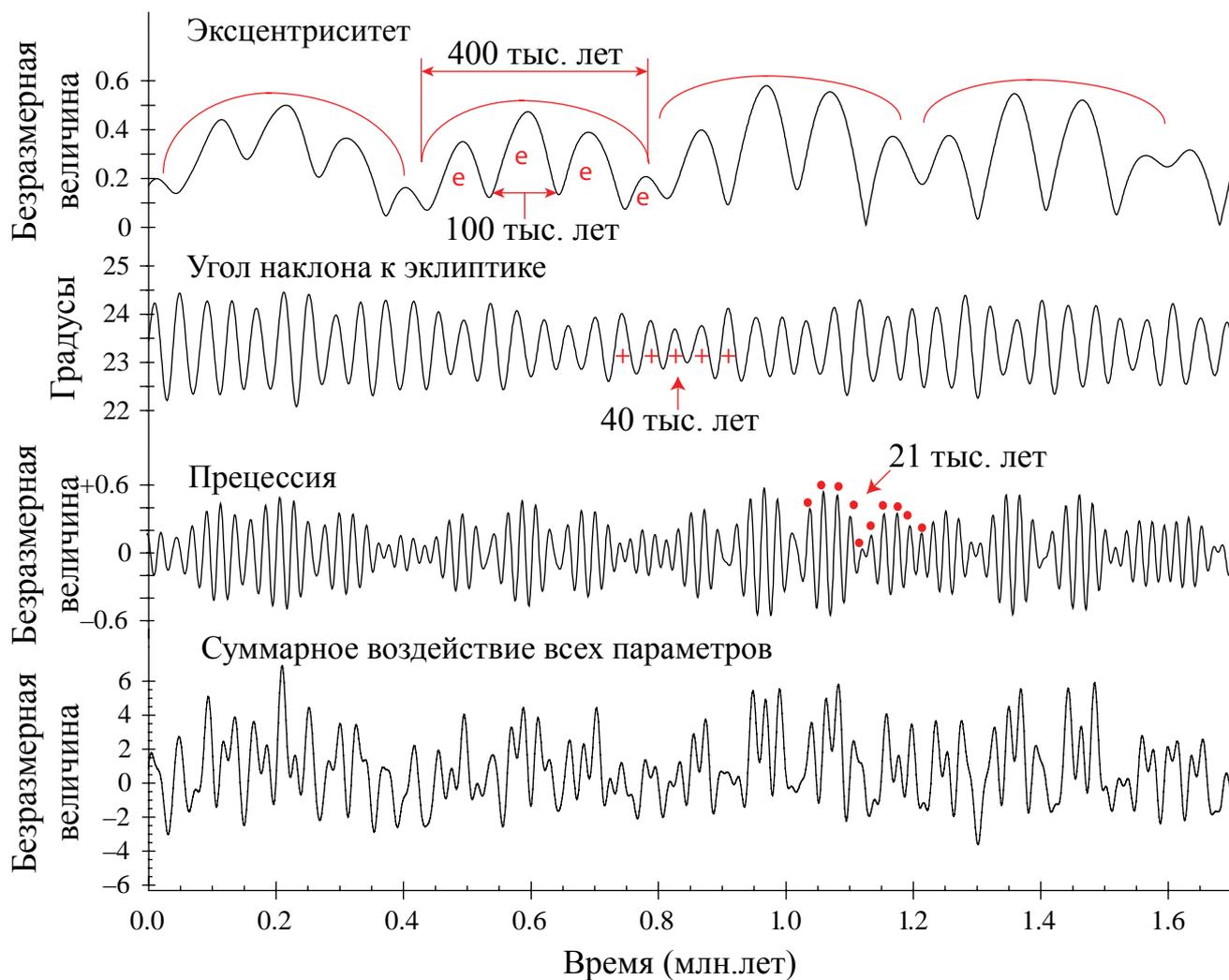


Рисунок 1. Теоретическое представление циклов Миланковича в виде графиков изменения орбитальных параметров (Kodama, Hinnov, 2015)

интенсивность экзогенных процессов, обуславливающих седиментационную ритмичность осадочных толщ.

Все механизмы перераспределения солнечной энергии, достигающей земной поверхности, обусловленные вариациями орбитальных параметров Земли, имеют прямое воздействие на глобальный климат и, соответственно, на интенсивность экзогенных процессов, обуславливающих седиментационную ритмичность осадочных толщ. Например, гумидизация климата приводит к активизации выветривания и интенсификации терригенного сноса (рисунок 2). Более долгопериодные изменения климата приводят к эвстатическим колебаниям, вследствие которых возникает сходный ритмический эффект в разрезах: трансгрессивные части ритмов, формировавшиеся при высоком уровне моря, отмечены минимальным, а регрессивные – максимальным количеством обломочного материала (рисунок 3). При неизменном количестве терригенного привноса в палеобассейн, повышение температуры морской воды способствует увеличению скорости образования карбонатных осадков и разубоживанию в них аллотигенных частиц (рисунок 4).

Приведенные примеры влияния климатических факторов, первопричиной которых являются астрономические циклы, на седиментационную ритмичность, разумеется, не исчерпывают всего многообразия подобных моделей, но являются одними из наиболее часто реализуемых в природе.

Седиментационная ритмичность может быть отчетливо проявлена в чередовании пластов и надежно фиксироваться при визуальном описании разрезов. Но в осадочных толщах, формировавшихся в удаленных от источников сноса центральных частях бассейнов, ее выявление зачастую бывает невозможно без привлечения дополнительных методов.

Петромагнитный метод выгодно выделяется среди прочих своей информативностью и оперативностью.

При аллотигенном генезисе ферромагнитных частиц вариации величин петромагнитных параметров по разрезу обусловлены, в основном, изменениями

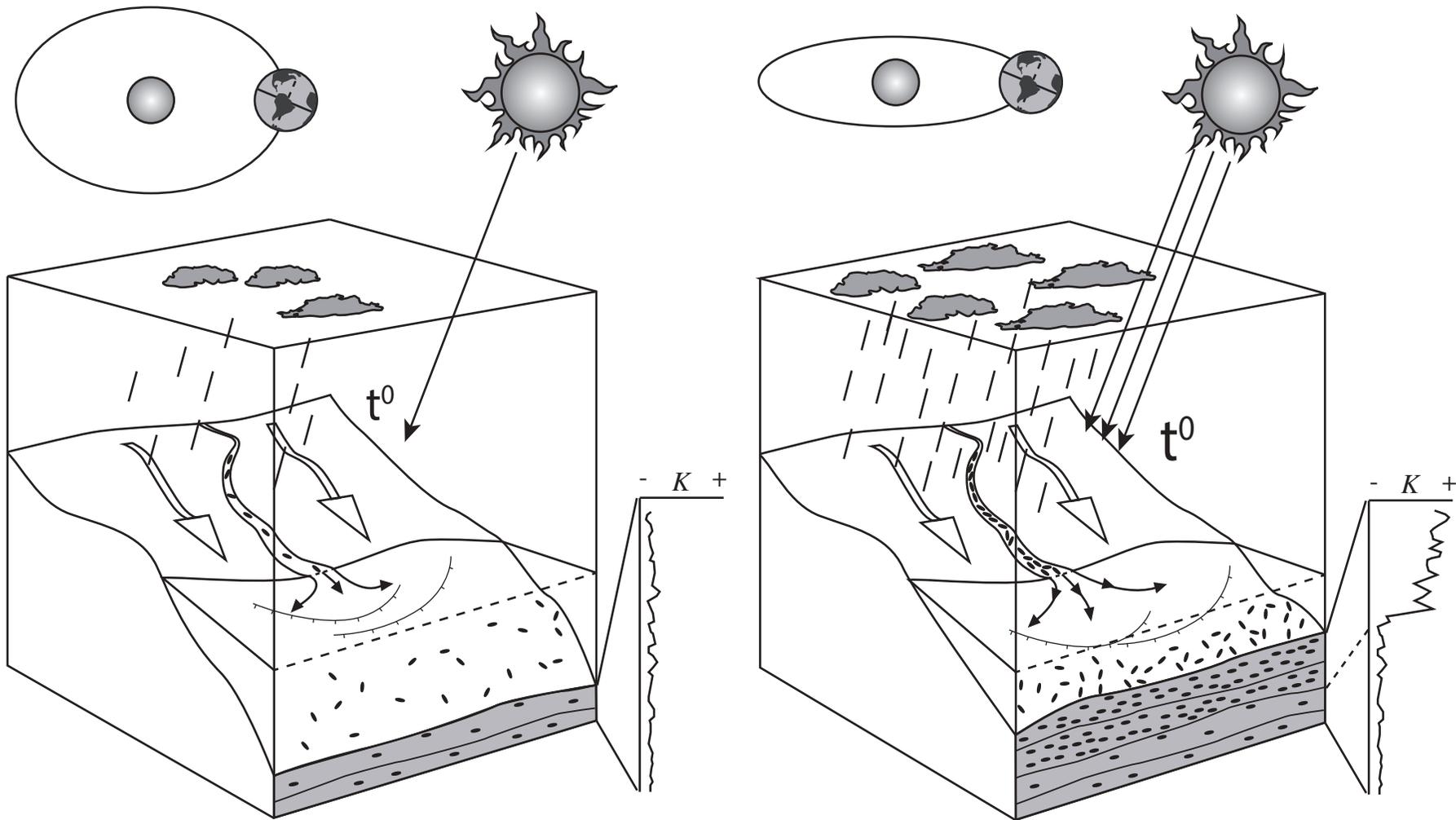


Рисунок 2. Модель условия формирования ритмичности терригенных толщ в зависимости от интенсивности выветривания

Условные обозначения: K - магнитная восприимчивость;  - направления терригенного сноса;

 - аллотигенные частицы;

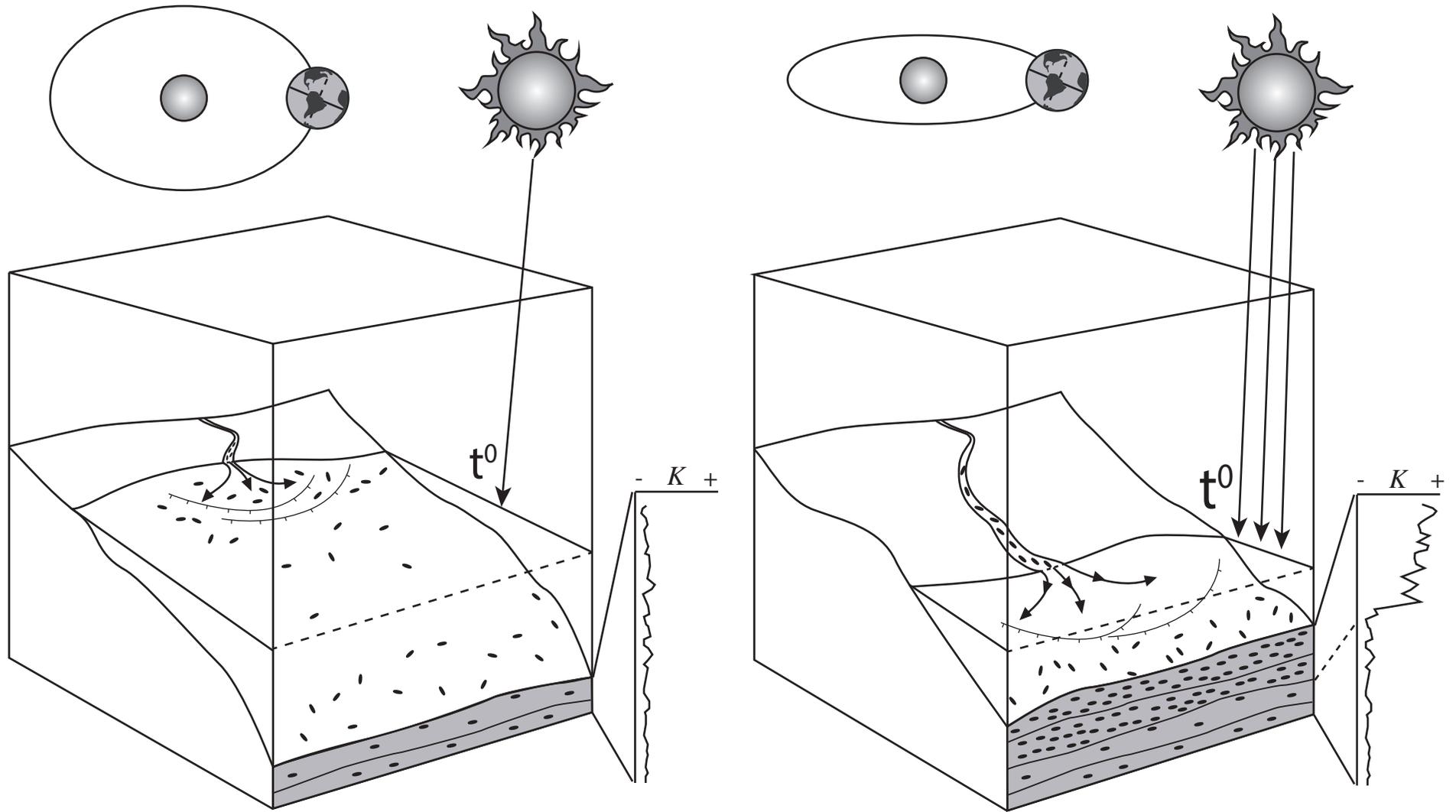


Рисунок 3. Модель условия формирования ритмичности терригенных толщ в зависимости от изменений уровня моря
Условные обозначения: те же, что и на рисунке 2

их концентраций (Гужиков, Молостовский, 1995; Молостовский, Храмов, 1997; Гужиков, 2013 и др.).

Сведения о скалярных магнитных характеристиках можно получить по образцам произвольной формы минимального веса и объема (в том числе по шламу скважин). Высокоточные капаметрические исследования (измерения магнитной восприимчивости - K) с помощью портативных приборов КТ-10 могут выполняться непосредственно в полевых условиях на обнажениях или в кернохранилищах, или сразу же после извлечения керна из скважины (замер магнитной восприимчивости занимает секунды). Изучение скалярных петромагнитных параметров в стационарных условиях, также требует минимальных временных и, соответственно, финансовых затрат, по сравнению с большинством видов лабораторных анализов, на которые передаются керн и шлам скважин.

В выбранных нами в качестве наиболее типичных моделях формирования седиментационной ритмичности отложения, сформировавшиеся в эпохи активизации выветривания (рисунок 2), на регрессивных стадиях (рисунок 3) и во время замедлений скорости образования кальцита (рисунок 4) будут выделяться повышенными значениями K .

В результате петромагнитного изучения осадочной толщи в распоряжении исследователей оказывается представительный временной ряд параметров, в котором можно выделять циклы, используя методы спектрального анализа, вейвлет-анализа и частотные фильтры различной конфигурации (Kodama, Hinnov 2015). Методы спектрального анализа временных рядов занимают лидирующую позицию среди способов математической обработки и интерпретации получаемого геологического сигнала, так как они позволяют обходить стороной трудности, связанные с перерывами в осадконакоплении, неминуемо встречающимися в последовательности напластований.

В древних осадочных толщах относительно небольшим мощностям отложений соответствуют значительные интервалы времени (например, в осадочных чехлах древних платформ ярусы имеют, как правило, мощность

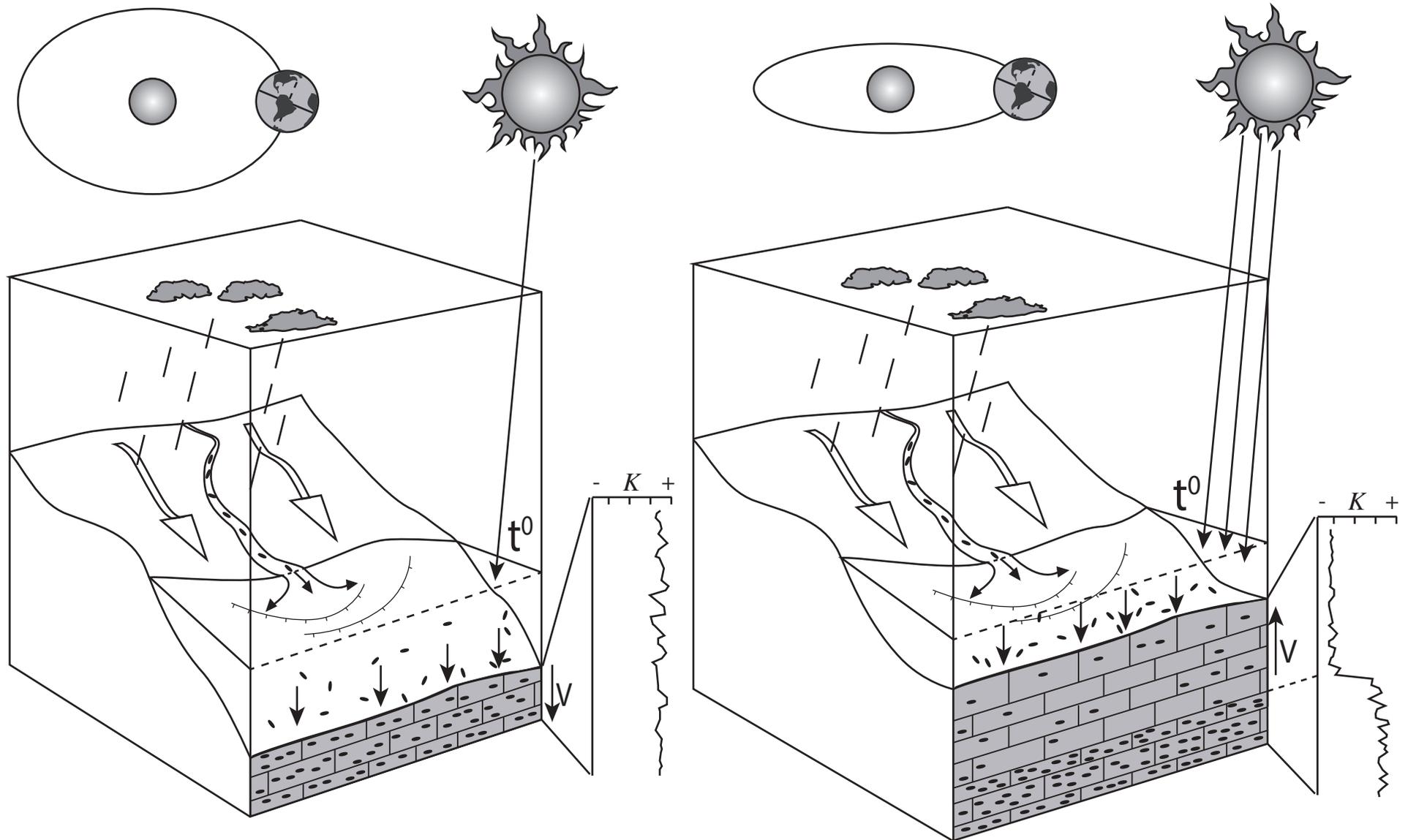


Рисунок 4. Модель условия формирования ритмичности карбонатных толщ в зависимости от скорости формирования кальцита; Условные обозначения: те же, что и на рисунке 2.

порядков десятков метров). Поэтому следует ожидать, что в меловых и палеогеновых отложениях будут фиксироваться наиболее долгопериодические циклы – эксцентриситета земной орбиты. Менее вероятно выявление кратковременных циклов изменения наклона земной оси относительно эклиптики и, тем более, прецессии.

Обнаружение циклов солнечной активности также затрудняется их кратковременностью (длиннопериодные циклы солнечной активности, практически, не изучены). К тому же, наиболее долгопериодические солнечные близки по своей периодичности циклами прецессии земной оси. Это означает, что при исследовании спектрограмм, полученных по результатам Фурье-преобразования петромагнитных кривых, разделить их практически невозможно.

Скорость осадконакопления рассчитывается путем деления мощности осадочной толщи на суммарную длительность циклов соответствующих ей астрономических циклов. Длительность циклов Миланковича, практически, не меняется в течение геологического времени. В этом заключается важное преимущество циклостратиграфического метода, по сравнению с оценками скоростей, полученных путем деления мощностей на продолжительность формирования отложений, определенной по абсолютным датировкам геохронологических шкал. Дело в том, что Шкала геологического времени (GTS) постоянно обновляется. Только в 21 столетии датировки ярусных границ менялись в ее различных версиях на несколько миллионов лет (Gradstein et al., 2004; Gradstein et al. 2008; Gradstein et al. 2012; Ogg et al. 2016; Ogg, 2008) (рисунок 5).

1.2 Состояние циклостратиграфической изученности мела Русской плиты и Горного Крыма

Стратиграфическое изучение разрезов мела, как Русской плиты, так и Горного Крыма имеет долгую историю, которую принято начинать с первой половины 19 столетия. Однако циклостратиграфический анализ к меловым отложениям этих регионов был впервые применен Д.П. Найдиным и Р.Р. Габдуллиным только в конце прошлого века (Найдин, Кияшко, 1994, Габдуллин,

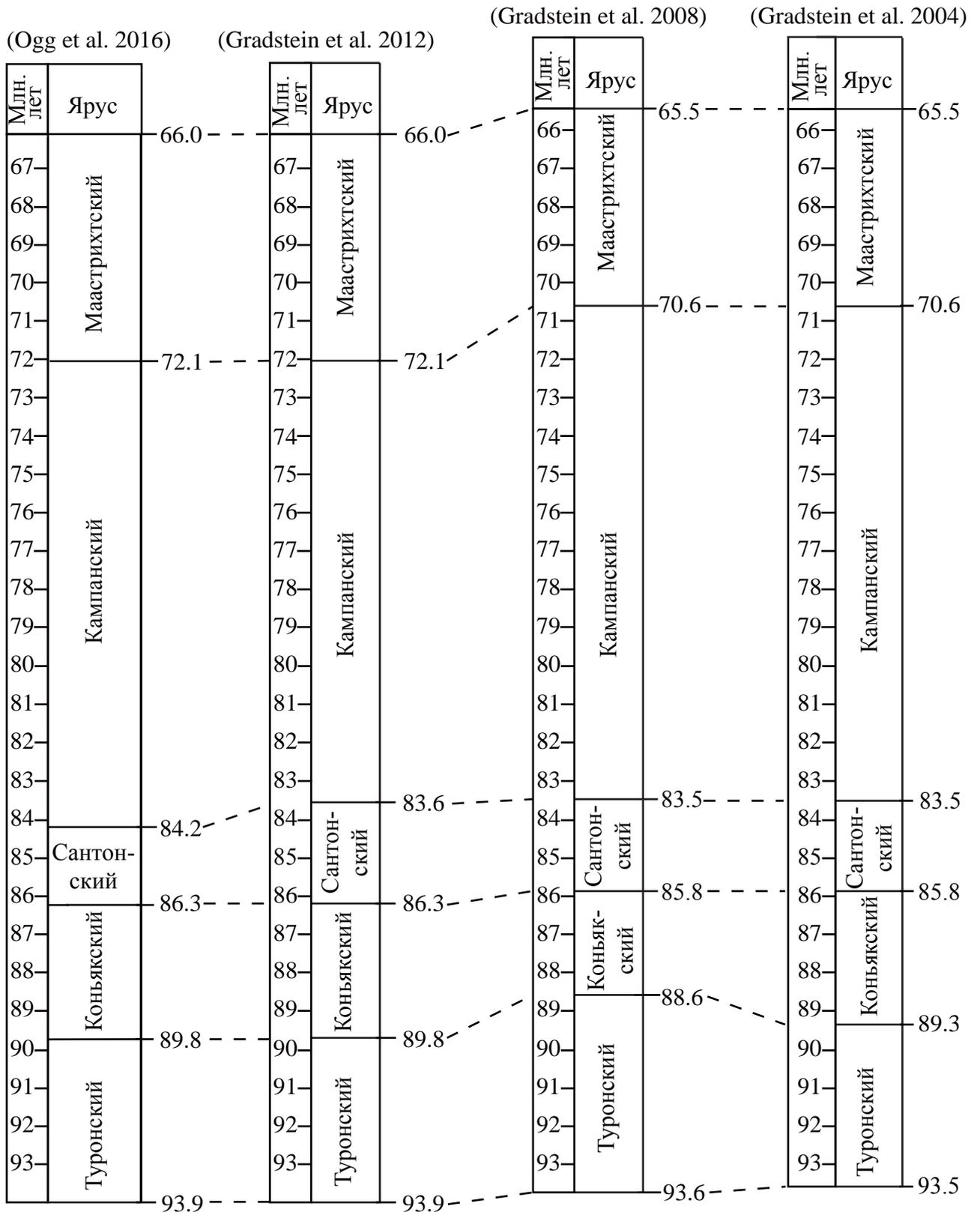


Рисунок 5. Изменения в Шкале геологического времени за последние 14 лет

1996). Впоследствии, Р.Р. Габдуллиным был опубликован ряд работ по ритмичности отложений мела Русской плиты и Горного Крыма (Габдуллин, 2000, 2004, 2007). Для выявления циклов Миланковича автор использовал литологические, седиментологические, геохимические, изотопные, микрофаунистические и, в том числе, петромагнитные данные (однако, использование последних носило весьма ограниченный характер). Безусловными достоинствами работ автора являются комплексный характер исследований и большое количество изученных разрезов. К недостаткам относятся отсутствие математического обоснования при выявлении и идентификации циклов Миланковича, а также недостаточная, на наш взгляд, для достоверного выделения циклов детальность опробования разрезов.

Главные результаты циклостратиграфических исследований Р.Р. Габдуллина сводятся к следующему:

На основании послойной циклостратиграфической корреляции верхнемеловых отложений было проведено сопоставление разрезов и их расчленение с помощью лито-, био- и циклостратиграфических методов. Циклическая седиментация была проанализирована и сопоставлена с астрономо-климатическими циклами Миланковича разных порядков. Выделенные циклы использовались как для сопоставления разрезов верхнего мела Поволжья (с. Чертенново, с. Бетово, с. Фокино, Столейнский ГОК, Хвалынский, г. Вольск, с. Нижняя Банновка) (Габдуллин 2007) и Горного Крыма (г. Мендер, г. Сельбухра, р. Кача, г. Аксу-Дере, г. Кизил-Чигир), так и для расчета продолжительности и скорости седиментации в разрезах: г. Вольск (Габдуллин и др. 2014) и с. Нижняя Банновка, карьер Столейнского ГОКа (Габдуллин, 2004). На основании полученных результатов была предпринята попытка построения карты скоростей осадконакопления по территории исследований (юг Русской плиты, Нижнее Поволжье) (Габдуллин и др. 2007).

Выбор объектов для настоящего диссертационного исследования в значительной мере определялся целями и задачами комплексного изучения мела и палеогена Русской плиты и Горного Крыма в рамках проектов: «Проблема

глобальной корреляции стратиграфических границ терминального мела (кампан–маастрихт Евразии)» (проекты РФФИ №№ 12-05-00196-а, 16-35-00219-мол_а), «Магнетизм окружающей среды в геологическом прошлом и настоящем» (научный проект в рамках реализации проектной части государственного задания в сфере научной деятельности, задание № 1757). Ряд опорных разрезов верхнего мела: «Нижняя Банновка», карьер «Большевик» (Саратовское Поволжье), Токма (ЮЗ Крым) подвергся циклостратиграфическим исследованиям вслед за Р.Р. Габдулинным, что создало благоприятные возможности для сравнения результатов и выводов, в частности, оценок скоростей осадконакопления, полученных разными исследователями с использованием разных методик по одним и тем же объектам.

Глава 2. МЕТОДИКА РАБОТ

2.1 Выбор объектов исследования, полевые и лабораторные работы

Как было сказано выше (раздел 1.2), выбор объектов для изучения предопределили цели и задачи, решаемые в рамках нескольких научных проектов, направленных на комплексное изучение мела–палеогена Русской плиты и Горного Крыма. В качестве объектов для циклостратиграфических исследований выбирались разрезы верхнего мела с возрастом отложений, определенным с точностью, по крайней мере, до подъяруса. В Саратовском Поволжье к таким разрезам относятся: разрез «Нижняя Банновка», Красноармейский район (турон-маастрихт); карьер «Большевик», г. Вольск (кампан-маастрихт) и «Озерки-2», Лысогорский район (турон-коньяк). В Волгоградском Правобережье к ним относится «Каменный брод» (Михайловка) (турон-сантон).

В Горном Крыму были изучены опорные разрезы кампана-маастрихта «Токма» и «Чахмахлы». На плато Актолагай (Казахстан, юго-запад Актюбинской области) исследованию подвергся опорный разрез эоцена (ипрского яруса) (рисунок 6). Все разрезы, за исключением «Каменного брода», имеют комплексное (макро- и микрофаунистическое) биостратиграфическое обоснование (Стратиграфическая схема верхнемеловых отложений Восточно-Европейской платформы, 2004).

Кроме разреза эоцена «Плато Актолагай», для остальных разрезов имеется магнитополярная характеристика (Гужиков, 2014, 2017; Гужикова, 2016). Объем проведенных исследований и количество отобранных проб представлено на рисунке 7. Территориальное расположение исследованных разрезов представлено на рисунке 6.

В методических целях циклостратиграфическому анализу был подвергнут разрез берриаса Центрального Крыма у с. Алексеевка (р. Тонас).

Полевые исследования

Методика отбора образцов для циклостратиграфического анализа аналогична отбору образцов для петромагнитного изучения разреза, но при этом,

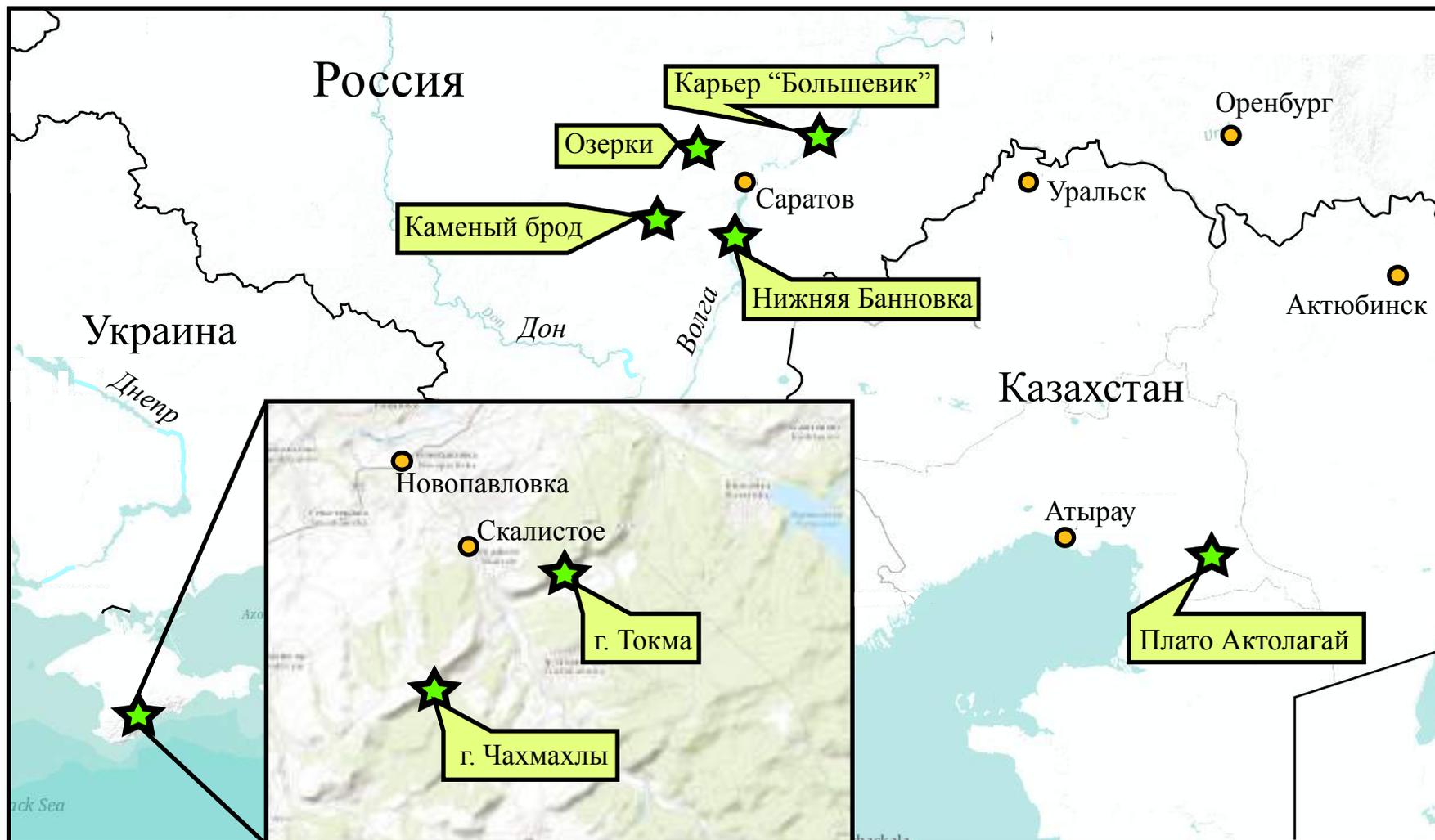


Рисунок 6. Местоположение объектов исследований

Система		Меловая					Палеоген				
Отдел		Верхний					Палеоцен			Эоцен	
Ярус		K _{2s}	K _{2t}	K _{2k}	K _{2st}	K _{2km}	K _{2mt}	P _{1d}	P _{1sl}	P _{1t}	P _{2i}
Нижнее Поволжье	Нижняя Банновка	3227 / 9681 / 154									
	Каменный брод	89 / 267 / 58									
	Озерки	115 / 345 / 5,5									
	Большевик						387 / 1161 / 70				
Горный Крым	Токма						275 / 825 / /64				
	Чахмахлы						455 / 1365 / 93				
Плато Актолагай							217/ 217 /73				

Рисунок 7. Характеристика степени изученности разрезов Русской плиты, Горного Крыма и Актолагай.

Цифры означают: *число опробованных стратиграфических уровней / количество изученных образцов / мощность изученных отложений (м).*

отличается большей детальностью. Наиболее важным моментом при проведении отбора образцов является выбор оптимального интервала, от которого напрямую зависит возможность обоснования присутствия циклов Миланковича на этапе обработки данных. При выборе интервала отбора в первую очередь необходимо обращать внимание на мощность стратиграфических единиц ранга яруса и подъяруса, так как исходя из них, можно получить предварительные представления о примерных темпах седиментации отложений. При высокой скорости седиментации циклиты характеризуются большой мощностью, что упрощает их выделение на этапе обработки данных, в случае низких темпов образования отложений процесс выделения циклов более трудоемкий, что, зачастую, требует увеличения детальности исследований на полевом этапе.

Для разрезов, в которых, мощность отложений одного яруса составляет многие десятки метров, применяется интервал отбора 20-50 см. В противоположном случае, когда мощности ярусов составляют первые десятки, или менее десяти метров, интервал отбора рекомендуется максимально сокращать, во избежание пропуска высокочастотных циклов.

В настоящей работе шаг отбора изменялся от 1 до 50 см в зависимости от типа разреза. Интервал турона-коньяка в разрезе «Нижняя Банновка» был отобран со сплошным отбором, при котором, по каждому сантиметру разреза были получены, по крайней мере, три значения K . Сплошной отбор проводился снизу-вверх по разрезу по следующей методике: последовательно брались вертикально ориентированные штуфы, соответствующие 10-30 см мощности разреза. Для точной увязки проб друг с другом штуфы брались с перекрытием, и каждый штуф маркировался двумя горизонтальными линиями: линия в нижней части штуфа соответствовала линии в верхах предыдущей пробы, линия в верхней части - совпадала с линией в низах последующей.

В остальных разрезах образцы отбирались непосредственно из обнажения с помощью геологических инструментов. Для повышения точности отбора разрез изначально маркировался горизонтальными метками. Маркировка интервала отбора петромагнитных образцов проводилась при помощи уровня.

Описание разрезов проводилось параллельно с отбором образцов, кроме того, использовались описания разрезов, составленные ранее другими авторами (Милановский, 1940; Первушов и др., 1999; Олферьев и др., 2009а; Харитонов и др., 2003; Глазунова, 1972; Александрова и др., 2012; Найдин, 1995; Герасимов, 1962; Бондаренко, 1990; Alexeev, Koraevich, 1997; Вишневская и др., 2014; Архангельский, 1913; Флерова, Гурова, 1958).

Литологические и стратиграфические характеристики разрезов приводятся в главе 3 «Результаты исследований». Количество образцов, отобранных для петромагнитного анализа, насчитывает многие тысячи, с учетом разделения каждого образца на три части при измерении параметра K , в среднем, общее число проб получается равным $\sim 13\ 861$. В некоторых случаях, параллельно с образцами для циклостратиграфического анализа отбирались ориентированные штуфы для палеомагнитных исследований.

Лабораторные исследования

Процесс обработки образцов перед измерениями заключался в разделении каждого штуфа на три части и взвешивании каждого полученного образчика. При работе на обнажении отбирались наиболее свежие образцы, без признаков вторичных изменений. В случае если такие признаки обнаруживались на этапе обработки, они удалялись.

Подходы к выделению циклов должны выбираются исследователем исходя из комплекса методов, доступных для обработки численных массивов результатов измерений и визуальных наблюдений. В подавляющем большинстве случаев для определения цикличности привлекается математический аппарат, так как обоснование, имеющее под собой фундаментальную математическую основу, является намного более надежным, чем попытки обосновать цикличность, не прибегая к численным операциям.

На основании полевых наблюдений устанавливается общая картина ритмичности, которая, далее уточняется и детализируется с привлечением лабораторных данных. В общем случае, полевой этап подразумевает под собой прослеживание трансгрессивного и регрессивного ряда фаций, присутствие

горизонтов конденсации и оценку мощности пачек для установления оптимального шага отбора образцов.

Результаты лабораторных петромагнитных исследований необходимы не только для выявления цикличности путем математической обработки, но и для получения нетривиальной информации об условиях осадконакопления (Гужиков, Молостовский, 1995; 1986; Молостовский, Храмов, 1997; Гужиков, 2013). Кроме того, петромагнитные графики, сами по себе, являются хорошим инструментом для дополнительного расчленения и корреляции разрезов.

Петромагнитные исследования образцов, в общем случае, включали в себя:

- каппаметрию, то есть измерения магнитной восприимчивости (K);
- термокаппаметрию – измерения прироста магнитной восприимчивости образцов горных пород после их нагрева на 500°C в окислительной среде ($dK=Kt-K$, где K – магнитная восприимчивость, Kt (термокаппа) – магнитная восприимчивость после нагрева);
- измерения естественной остаточной намагниченности (\mathbf{J}_n);
- опыты магнитного насыщения, по результатам которых фиксировались и впоследствии анализировались величины остаточной намагниченности насыщения (\mathbf{J}_{rs}), нормальной остаточной намагниченности после воздействия магнитным полем 300 мТл в направлении противоположном вектору насыщения ($\mathbf{J}_r(-300)$), остаточной коэрцитивной силы (\mathbf{H}_{cr}).

Каппаметрический анализ заключается в измерении параметра K и широко применяется для получения оперативной информации о концентрации пара- и ферромагнитных минералов в породе. Его использование позволяет в короткие сроки и при минимальных затратах детально расчленять и коррелировать толщи пород (Пронин и др. 2017).

Большая часть циклостратиграфической информации в настоящем диссертационном исследовании получена путем анализа данных о магнитной восприимчивости, благодаря доступности и оперативности этого параметра.

Измерения объемной или удельной магнитной восприимчивости (K) проводились на высокоточном мультчастотном измерителе магнитной восприимчивости Multifunction Kappabridge MFK1-FB, произведенном компанией AGICO. Перед измерениями удельной магнитной восприимчивости образцы предварительно взвешивались на электронных весах ВК-300.

При термокаппаметрическом анализе исследуется прирост магнитной восприимчивости после нагрева образцов до 500°C , являющийся следствием преобразования изначально немагнитного пирита в магнетит, обозначаемый dK . Сходным эффектом, кроме пирита, обладают и магнитные сульфиды железа (типа пирротина, грейгита), и сидерит, но для вполне однозначной интерпретации термокаппаметрических данных, как правило, достаточно сведений о значениях исходной магнитной восприимчивости, в сочетании с данными магнитно-минералогического анализа (магнитное насыщение, ДТМА) по выборочным образцам (Ямпольская, Гужиков, 2000).

Нагрев образцов производился в муфельной печи, конструкции Апарина СНОЛ-1. Для проведения магнитных чисток была использована специальная печь, экранированная от внешнего магнитного поля пермаллоем.

Естественная остаточная намагниченность (J_n , NRM, J_n) – источник не только палеомагнитной информации, но и петромагнитных сведений. Величина J_n зависит от концентрации магнитных минералов в породе, но, кроме того, от степени упорядоченности магнитных моментов минеральных частиц. Параметр Кенигсбергера (фактор Q) – отношение естественной остаточной намагниченности к индуктивной ($Q = J_n/J_i = J_n/K \cdot H$, где H – средняя напряженность современного геомагнитного поля ~ 40 А/м), дает важную информацию о генезисе магнитных минералов: аутигенным ферромагнетикам, 38 как правило, соответствуют значения фактора $Q > 1$, для аллотигенных типичны $Q < 1$ (Храмов, Шолпо, 1967; Храмов и др., 1982).

Измерения естественной остаточной намагниченности проводились на спин-магнитометре JR-6.

Параметры магнитного насыщения (гистерезисные параметры) позволяют определять магнитную жесткость минералов и, таким образом, способствуют диагностике вида ферромагнетиков. J_{rs} – максимально возможная величина остаточной намагниченности, возникающая в породе после воздействия на нее искусственным полем, зависящая от концентрации и размерности ферромагнитных минералов. H_{cr} – величина поля, при котором происходит разрушение J_{rs} , зависящая, кроме вида (жесткости) ферромагнетика, от размеров его частиц, с которыми она связана обратной зависимостью. Нормальная остаточная намагниченность после воздействия полем 300 мТл, антипараллельным J_{rs} , измерялась для расчета параметра $S = |J_r(-300)/J_{rs}|$. Величина S , отражает жесткость зерен ферромагнитных минералов, а его значения колеблются в интервале от 0 до 1. Величины, близкие к единице означают преобладание зерен магнитомягких минералов (Evans, Heller, 2003). Еще один важный расчетный показатель, связанный с параметром магнитного насыщения - это отношение K/J_{rs} , которое прямо пропорционально среднему размеру ферромагнитных зерен. Комплексный анализ H_{cr} , K/J_{rs} , S позволяет более корректно интерпретировать особенности ферромагнитной фракции. Опыты магнитного насыщения образцов проводились на установке с регулируемым электромагнитом, обеспечивающим интенсивность поля до 700 мТл. Замеры остаточной намагниченности проводились на спин-магнитометре JR-6. Насыщение образцов проводилось с помощью электромагнита, в конструкцию которого входит источник питания, мультиметр и две индукционные катушки.

По существу, анализ вариаций скалярных магнитных характеристик осадочных толщ является специфической разновидностью фациально-минералогического анализа. Основные принципы геологической интерпретации магнитных свойств осадочных толщ разработаны ранее (Гужиков, Молостовский, 1995; Evans, Heller, 2003 и др.), их работоспособность апробирована на множестве объектов различного возраста и генезиса (Гужиков, 2013; Молостовский, Храмов, 1997; Guzhikov, Molostovsky, 1999; Гужиков и др. 2015; Суринский, 2013; 2014a; 2015; Суринский, Грищенко, 2014; Дзюба и др., 2017). Исходные

постулаты, на которых базируются использование петромагнитного метода в стратиграфии и палеогеографии, заключаются в следующем:

- Вариабельность магнитных свойств пород осадочного чехла во времени и пространстве обусловлена изменениями условий осадконакопления.

- Уровни резких (скачкообразных) изменений магнитных свойств пород в стратиграфическом разрезе служат индикаторами перерывов в осадконакоплении.

Из имеющегося многообразия литолого-магнитных моделей (Молостовский, Храмов, 1997; Гужиков, 2013 и др.) в настоящей работе использованы две, наиболее распространенные модели, в которых вариации магнитных свойств пород определяются изменениями концентрации в них ферромагнитного аллотигенного материала вследствие изменений уровня моря (рисунок 3), либо флуктуаций скорости формирования диамагнитной (карбонатной) матрицы (рисунок 4).

2.2 Математическая обработка петромагнитных данных

Результаты измерений скалярных магнитных характеристик горных пород, полученные на лабораторном этапе исследований представляются в виде временных рядов, которые, в дальнейшем, являются основным источником данных о ритмичности. При анализе кривой вариаций любого физического параметра важно учитывать наличие трендов и возможность их влияния на результат математической обработки данных. Если наличие тренда очевидно, то, как правило, его можно исключить из временного ряда, отняв полином первой степени, полученный с помощью линейной регрессии. Процесс собственно обработки данных выполняется на базе вычислительных программ, позволяющих исследовать периодичность временного ряда и её параметры (период, частоту, фазовый спектр).

В процессе обработки результатов любого циклостратиграфического исследования применяются различного рода численные преобразования, цель которых – представить временной ряд таким образом, чтобы информация о

параметрах, отвечающих за его периодичность (частота, период циклов) была доступна для изучения. На практике в качестве инструмента для выявления периодичности функции, достаточно надежно зарекомендовали себя различные виды спектрального анализа, в основе которых лежит рассмотрение числового ряда в частотной области (Weedon, 2003). Преобразование Фурье, как наиболее распространенный вид спектрального анализа, широко используется при анализе цикличности осадочных бассейнов для обоснования цикличности по последовательностям скалярных данных.

Циклостратиграфические расчеты, имеющие дело с регулярными изменениями свойств осадочных толщ, очень удобно проводить, используя преобразование Фурье для перехода из временной области в частотную, иными словами, получать данные о частотах циклов, отраженных в вариациях скалярных параметров отложений. В процессе преобразования последовательность числовых данных, полученных по разрезу с определенным шагом, раскладывается на ряд элементарных функций, из которых, в дальнейшем получается последовательность коэффициентов, отложенных в виде графика на оси частот. Каждый коэффициент является результатом разложения исходной функции на элементарные составляющие – гармонические колебания с различными частотами. Количество гармоник n может достигать очень больших значений, но на практике всегда принимается конечным. Для выделения гармонической составляющей временного ряда обычно выбирают от двух до трех главных пиков, амплитуда которых - наибольшая.

Преобразование Фурье является интегральным и задается формулой:

$$f(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x)e^{-ix\omega} dx \quad (1),$$

где x – значение функции.

Результат преобразования Фурье представляется в виде спектра функции, который является графиком зависимости амплитуды элементарных гармонических составляющих функции от их частот. Гармонические составляющие функции, характеризующиеся высокими амплитудами, указывают

на присутствие периодических составляющих с определенной частотой, причем, чем больше амплитуда, тем больший вклад в исходный сигнал дает соответствующая гармоника (Blackman, Tukey, 1959). Низкую амплитуду обычно имеет составляющая функции, вызванная присутствием нерегулярных колебаний – помех. В случае если функция не имеет регулярных гармонических составляющих, явных пиков, доминирующих над уровнем шума, как правило, не обнаруживается.

В качестве программного оборудования для выполнения преобразования Фурье была задействована программа MATLAB. Алгоритм преобразования входит в пакет базовых функций программы и выполняется путем задания следующего программного кода:

```
d = xlsread('bannovka-1.xlsx'); [импорт временного ряда из файла excel]
t=d(:,1); [Назначение оси времени для спектрограммы]
dd=d(:,2); [Задание значений для анализа Фурье]
md=dd-mean(dd); [Исключение тренда]
dt=min(diff(t)); [Выполнение свертки сигнала по времени]
w=[0,2*pi/max(t):2*pi/max(t):2*pi/dt]'; [Задание области частот]
f=fft(md); [Выполнение преобразования]
figure(5); clf; plot(w/(2*pi),abs(f)); grid [Вывод результатов преобразования]
```

В процессе обработки данных, из временных рядов, подвергавшихся анализу Фурье, предварительно исключался тренд, так как его наличие вносит искажения в гармонический сигнал (Weedon, 2003). В некоторых случаях, для избавления от нерегулярных помех, вызванных слабой магнитностью образцов (что особенно сильно проявляется при измерениях на карбонатных породах – мергели и песчистый мел в разрезах: «Большевик», «Каменный брод», «Нижняя Банновка», «Озерки») вертикальные последовательности замеров магнитной восприимчивости осреднялись в скользящем окне, размер которого варьировал от 0,3 – 1м. Очень часто осредненные временные ряды гораздо лучше проявляют себя при обработке спектральными методами анализа и показывают наиболее отчетливые спектральные характеристики.

Полученный в ходе преобразования Фурье-спектр временного ряда последовательности измерений магнитной восприимчивости анализировался на предмет преобладания амплитуды полезного сигнала над нерегулярными помехами и взаимного расположения спектральных пиков. В случае если соотношение частот, охарактеризованных высокой амплитудой, было близко к кратности периодов циклов известной продолжительности, присутствие таких частот служило обоснованием цикличности отложений. К примеру, наличие двух пиков с высокой амплитудой, частоты которых соотносятся как 1:4, (рисунок 8-А) может служить обоснованием цикличности большого и малого эксцентриситета земной орбиты, продолжительность которых оценивается как 400 и 100 тыс. лет соответственно. Более надежно астрономические циклы будут обоснованы в том случае, если на спектрограммах будет зафиксировано три и более пика (рисунок 8-Б), кратность которых соответствует кратности астрономических циклов большого эксцентриситета, малого эксцентриситета и угла наклона земной оси к плоскости эклиптики.

Для получения представлений о числе циклов, присутствующих на некотором интервале, из значений частот выделенных гармоник получаются значения периодов путем деления единицы на значение частоты. Таким образом, получаются численные данные о периодах циклов разрезе. Далее, разделив мощность исследуемого интервала на период присутствующих в нем циклов, получается их полное количество, а по их суммарной продолжительности производится оценка времени седиментации. Темпы седиментации определяются путем деления мощности отложений на время их образования.

Неравномерность скорости осадконакопления вносит погрешности в спектральный анализ временных рядов петромагнитных характеристик осадочных толщ, поскольку при изменяющейся скорости седиментации мощность элементарных осадочных циклитов постоянно изменяется. Для того, чтобы свести влияние неравномерной скорости седиментации до минимума часто применяется поинтервальный математический анализ вариаций исследуемого параметра.

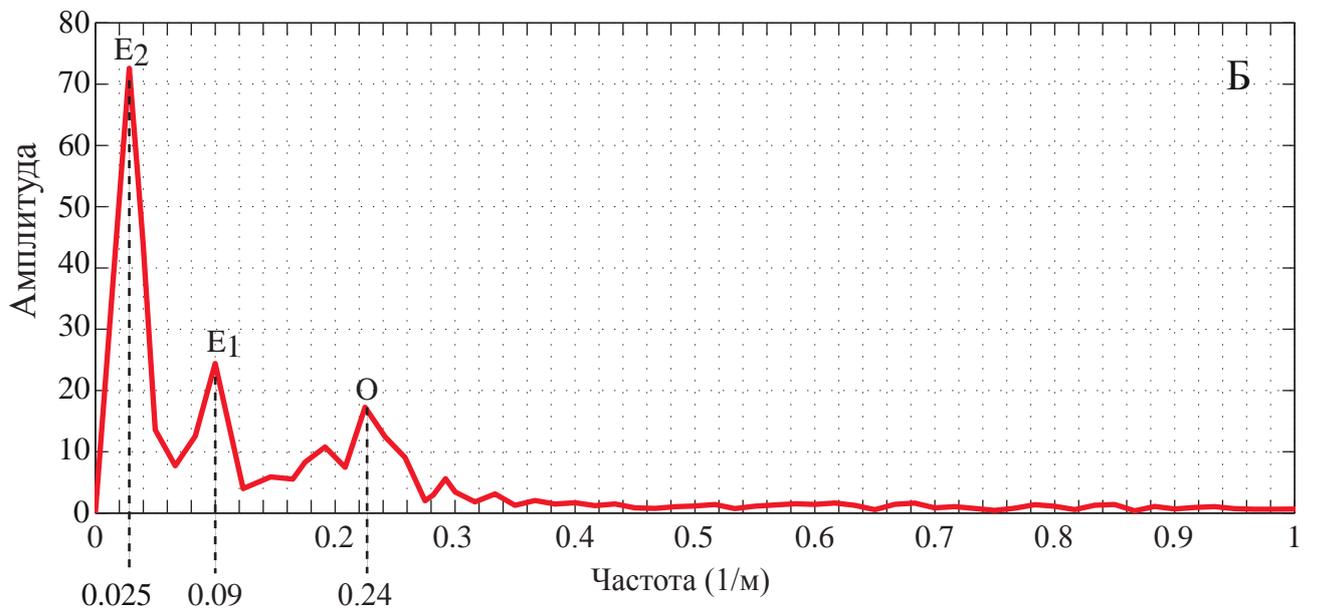
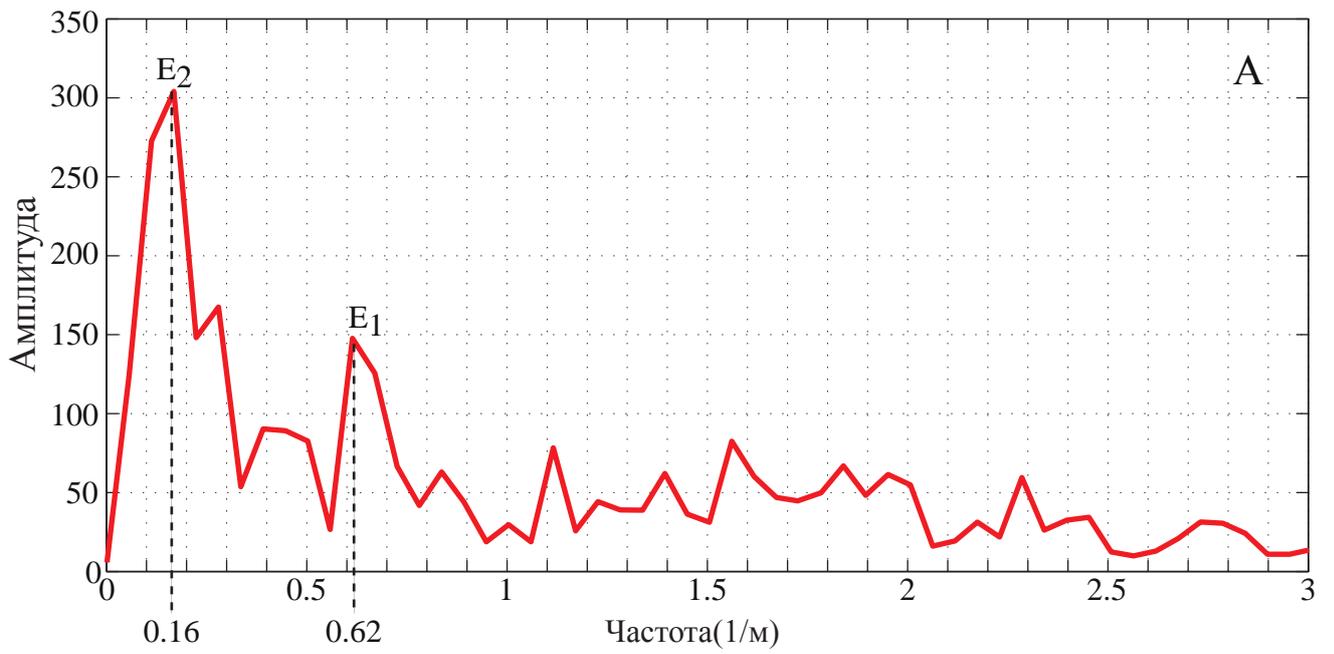


Рисунок 8. Пример спектрограмм с соотношением частот близким к 1:4 (А) и 1:4:10 (Б)

В результате численного моделирования нами показано, что стратиграфические перерывы различной длительности не оказывают существенного влияния на результаты спектрального анализа, если число гиатусов намного меньше общего количества циклов. Данное положение было проверено в ходе исследований путем моделирования теоретической кривой «идеальной» цикличности, и внесением в неё точек разрыва. «Идеальная» кривая, представляющая собой сумму двух синусоидальных гармоник с соотношением частот 1:4, отождествленная с цикличностью большого и малого эксцентриситета земной орбиты была редуцирована случайным образом, после чего, подвергалась анализу Фурье. Данные такой проверки показали, что спектральный образ сигнала в случае, когда количество точек разрыва меньше количества полных циклов, практически не меняет свой вид: амплитуда и частота главных спектральных пиков практически не меняют своих исходных значений (рисунок 9).

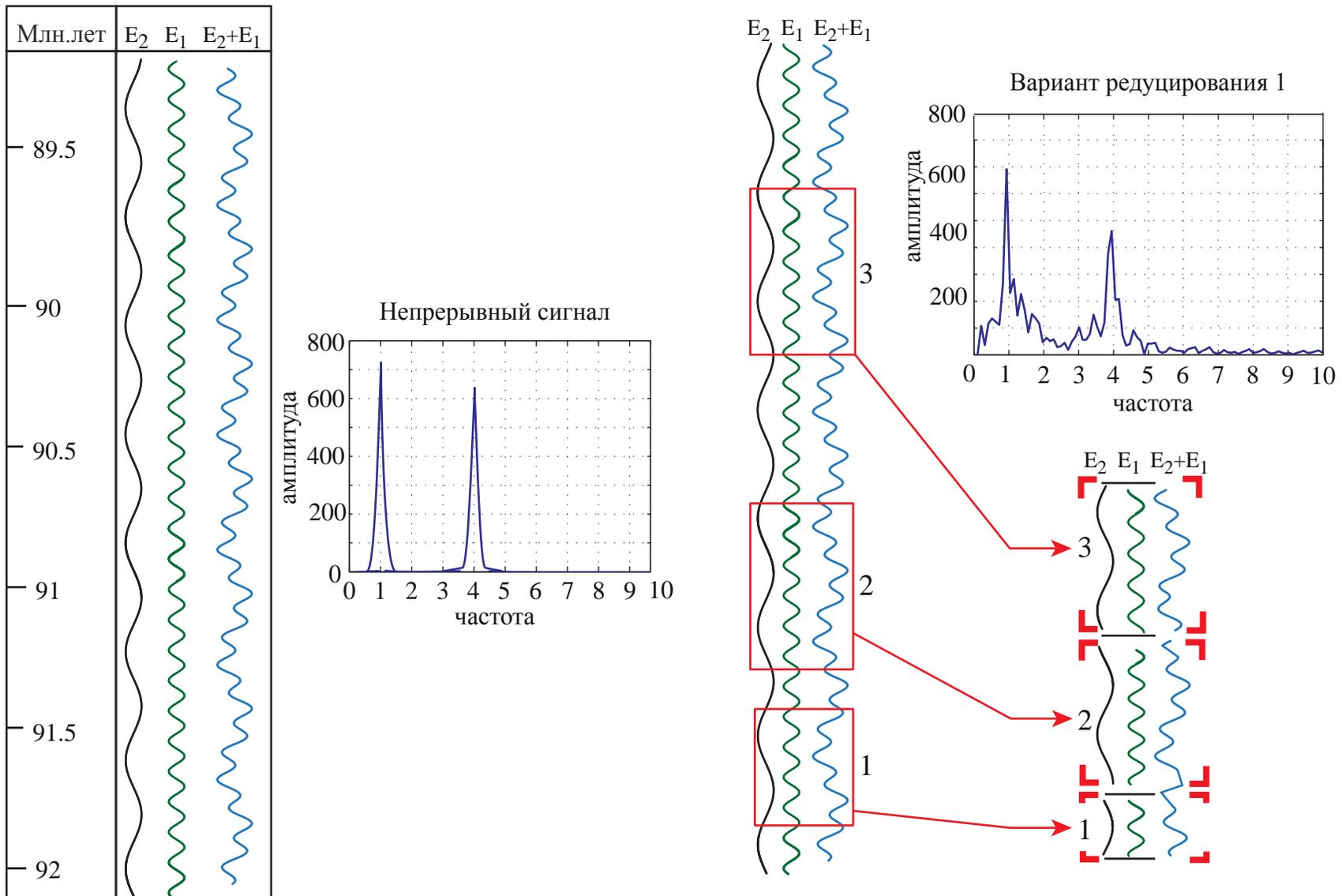


Рисунок 9. результаты одного из вариантов произвольного редуцирования “идеальной” кривой астрономической цикличности

Глава 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В данной главе приведены результаты петромагнитного изучения разрезов, а также даны их геологические описания и биостратиграфические характеристики.

3.1. Берриас Центрального Крыма (разрез Алексеевка, р. Тонас)

На южной окраине с. Алексеевка, в правом борту ручья Сартана, правого притока р. Тонас в высоких (до 70 м) и крутых склонах, частично залесенных, обнажаются султановская свита и зеленогорская толща. Опробование разреза начато в одной из промоин, примерно в 10 метрах выше тальвега ручья Сартана (т. н. 3061, координаты: N: 44°56'56.1", E: 34°39'49.5"). Мощность отложений в т.н. 3061 около трех метров. В 200 метрах восточнее расположена т.н. 3059 (N: 44°56'56.1", E: 34°39'49.5"), в которой вскрыты, примерно, 40 метров отложений. Возможный перерыв в опробовании между двумя обнажениями не превышает 5 метров.

Литологическая и стратиграфическая характеристика

Султановская свита. Пачка 1. Глины серые, в разной степени биотурбированные, в разной степени карбонатные и песчанистые с редкими прослоями (до 20-30 см) плотных мелко-среднезернистых известковистых песчаников. На поверхностях напластования последних – растительный детрит, окатанная уплощенная глинистая галька, обломки неопределимых двустворок, аммонитов *Berriasella (?) sp.* В глинах найдена двустворка *Inopermagillieron* (*Pict. Et Camp.*) (определение Т.Н. Богдановой), обломок аммонита *Fauriellasp.* На поверхности прослоев известковистых песчаников встречены язычковые иероглифы – эрозионные «текстуры», возникающие при схождении турбидитов (устное сообщение Е.Ю. Барабошкина). Судя по результатам шлифового анализа, концентрация терригенных частиц алевритистой и псаммитовой размерностей варьирует по разрезу, но в целом отчетливо проявлен тренд к убыванию их доли к верхам пачки. Видимая мощность - 40 м. Обр. 3061/1 – 3059/47.

Суммарная мощность свиты в этом районе оценивается в 180-200 метров.

Зеленогорская толща. Пачка 1. Чередование песков преимущественно желтовато-серых, в разной степени глинистых, разнозернистых и песчаников на глинисто-железистом цементе, желто-коричневых, до бурых, разнозернистых с редкими тонкими (до нескольких см) прослоями серых глин. Граница с нижележащими глинами неровная и достаточно четкая. В кровле пачки присутствуют конгломераты из кварцевой разноцветной, преимущественно белой, слабоокатанной гальки размерностью от 0.5 до 3 см, встречаются крупные куски (десятки см) окремнелой древесины черного цвета. Видимая мощность - 10 м.

Аммониты и двустворки в верхней части султановской свиты в данном разрезе найдены впервые. Аммониты *Berriasella* (?) sp. и *Fauriella* sp. в целом указывают лишь на принадлежность к берриасу. Важной является находка двустворки *Inoperna gillieronii* – вида, по устному сообщению Т.Н. Богдановой, характерного только для берриаса.

Из более низких горизонтов султановской свиты, обнажающихся по ручью Сартана, Т.Н. Богданова определила *Euphyloceras serum* Opp., *Pseudosubplanites* (?) sp., *Neocosmoceras ex gr. rerollei* Paquier (Богданова и др. 1981). В.В. Аркадьевым из обнажения глин (т.н. 3063) на ручье Сартана, расположенного ~ в 100 м по истинной мощности ниже подошвы изученного разреза, определены *Fauriella* sp., *F. cf. boissieri* (Pictet), *Neocosmoceras* sp. В совокупности этот комплекс указывает на зону *boissieri*, подзону *euthymi*.

К кровле пачки 1 султановской свиты количество и размерность обломочного материала уменьшаются: от 8-10% и 1-0.5 мм в нижней половине пачки до 2-3% и 0.01-0.02 мм в верхней.

Обломочный материал, в целом по разрезу, весьма однороден, как по составу, так и по морфологическому облику, что обусловлено, вероятно, одним и тем же источником терригенного сноса (Грищенко и др. 2016).

Петромагнитная характеристика

В ходе полевого опробования были отобраны с помощью кайлы ориентированные палеомагнитные штуфы с 68 уровней (в среднем, через каждые 0.6 м мощности) (рисунок 10). По системе «образец в образец» были взяты

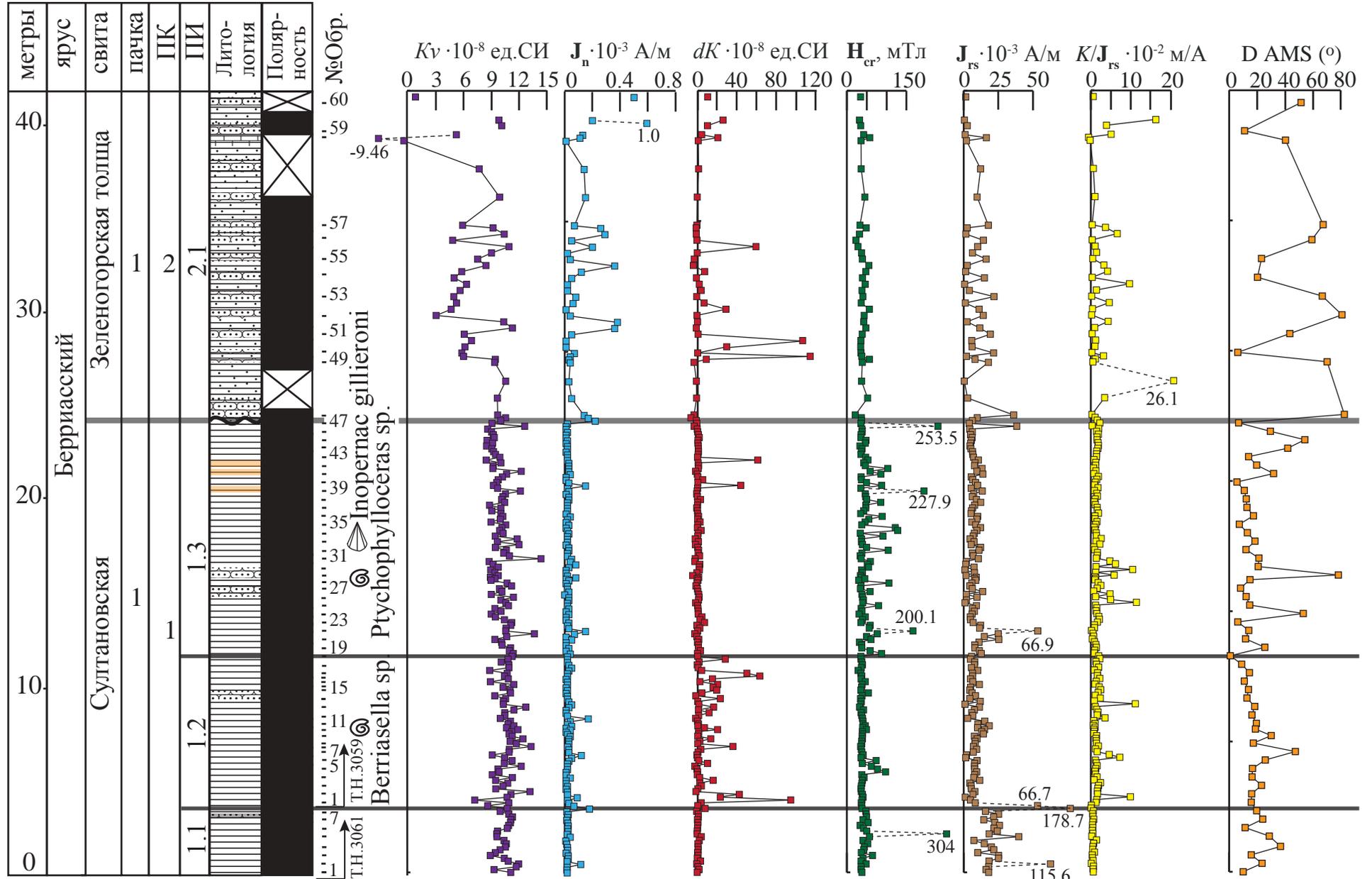


Рисунок 10. Петромагнитная характеристика отложений титона-берриаса в разрезе Алексеевка

образцы для микропалеонтологических определений. Кроме того, между этими уровнями брались по два образца для петромагнитных измерений. Таким образом, разрез, при мощности 42 м, оказался охарактеризован 68 палеомагнитными и 204 петромагнитными образцами (с учетом того, что часть каждого палеомагнитного образца также использовалась для петромагнитных анализов).

Султановская свита и зеленогорская толща заметно различаются уже по естественным магнитным свойствам (K , \mathbf{J}_n) и поэтому рассматриваются как два разных петромагнитных комплекса (ПК) – ПК-1 и ПК-2. По искусственным петромагнитным параметрам (dK , \mathbf{H}_{cr} и \mathbf{J}_{rs}) ПК-1 дополнительно подразделяется на три петромагнитных интервала (ПИ): нижний (ПИ-1.1) с малыми dK и высокими \mathbf{J}_{rs} , средний (ПИ-1.2) – с большими dK , малыми \mathbf{J}_{rs} и верхний (ПИ-1.3) с низкими dK и \mathbf{J}_{rs} , но повышенными \mathbf{H}_{cr} (рисунок 10).

Большие величины \mathbf{J}_{rs} в интервале ПИ-1.1 связаны с повышенными концентрациями ферромагнитных частиц очень тонкой (субмикронной) размерности, индикатором которой служат минимальные значения параметра K/\mathbf{J}_{rs} (рисунок 10). Возможно, это магнетитовые частицы биогенного генезиса, выполняющие биотурбации в глинах (Аркадьев и др. 2015).

Повышенные значения dK (рисунок 10) фиксируют обогащение интервала ПИ-1.2 тонкодисперсным пиритом, ассоциирующего, как правило, с органическим веществом (ОВ). Скорее всего, основная масса ОВ во время формирования ПИ-1.2 поступала с суши, потому что именно к ПИ-1.2 приурочены максимальные концентрации обломочных частиц в глинах (до 8-10% от объема образца) по данным шлифового анализа.

Уровень подошвы интервала ПИ-1.3, на котором исчезает dK и резко возрастает \mathbf{H}_{cr} (рисунок 10), вероятно, отражает смену аноксидной или дизоксидной среды, возникшую за счет захоронения на дне большого количества терригенного ОВ, на хорошо аэрируемую. Повышенные значения \mathbf{H}_{cr} и большая дисперсия этого параметра могут быть связаны с образованием гидроокислов железа в окислительной обстановке. Тогда можно предположить, что возрастание \mathbf{J}_{rs} на этом же уровне произошло за счет возобновления деятельности

биотурбирующих организмов. Единичные аномальные подскоки dK в пределах ПК-2 могут отражать уровни кратковременных дизоксидных событий, повышенной концентрации ОВ.

3.2. Турон-коньяк Нижнего Поволжья

3.2.1. Разрез Нижняя Банновка

Разрез турона–коньяка изучен в одном из береговых обрывов р. Волга в ~2 км к югу от с. «Нижняя Банновка», расположенного на юге Саратовской области (обнажение 3069 с координатами: N: 50° 43'22.6'', E: 45° 39'17.5'').

Литологическая и стратиграфическая характеристика

Разрез (рисунок 11, 12) представлен толщей светло-серых мергелей, в разной степени насыщенных глинистым материалом. Нижняя часть разреза характеризуется преобладанием песчаных мергелей. Разрез начинается с плиты фосфоритов разных генераций, включающей в себя материал перемытых отложений сеномана. Выше следует неоднократное чередование мергелей (в основании разреза песчанистых) и писчего мела, или мелоподобных мергелей. В кровле разреза располагается горизонт конденсации, переполненный обломками туронских–коньякских пород (т. н. «губковый горизонт»), представляющий собой уже подошву сантона (Милановский, 1940; Первушов и др., 1999). Мощность туронской–коньякской толщи – 18.2 м.

Петромагнитная характеристика

В ходе исследований была измерена удельная магнитная восприимчивость у 5 460 образцов, равномерно взятых с 1 820 уровней, соответствующих каждому сантиметру мощности туронской–коньякской толщи. Сплошной отбор проводился снизу-вверх по разрезу по следующей методике: последовательно брались вертикально ориентированные штуфы, соответствующие 10-30 см мощности разреза. Для точной увязки проб друг с другом штуфы брались с перекрытием, и каждый штуф маркировался двумя горизонтальными линиями: линия в нижней части штуфа соответствовала линии в верхах предыдущей пробы, линия в верхней части, совпадала с линией в низах последующей. Впоследствии

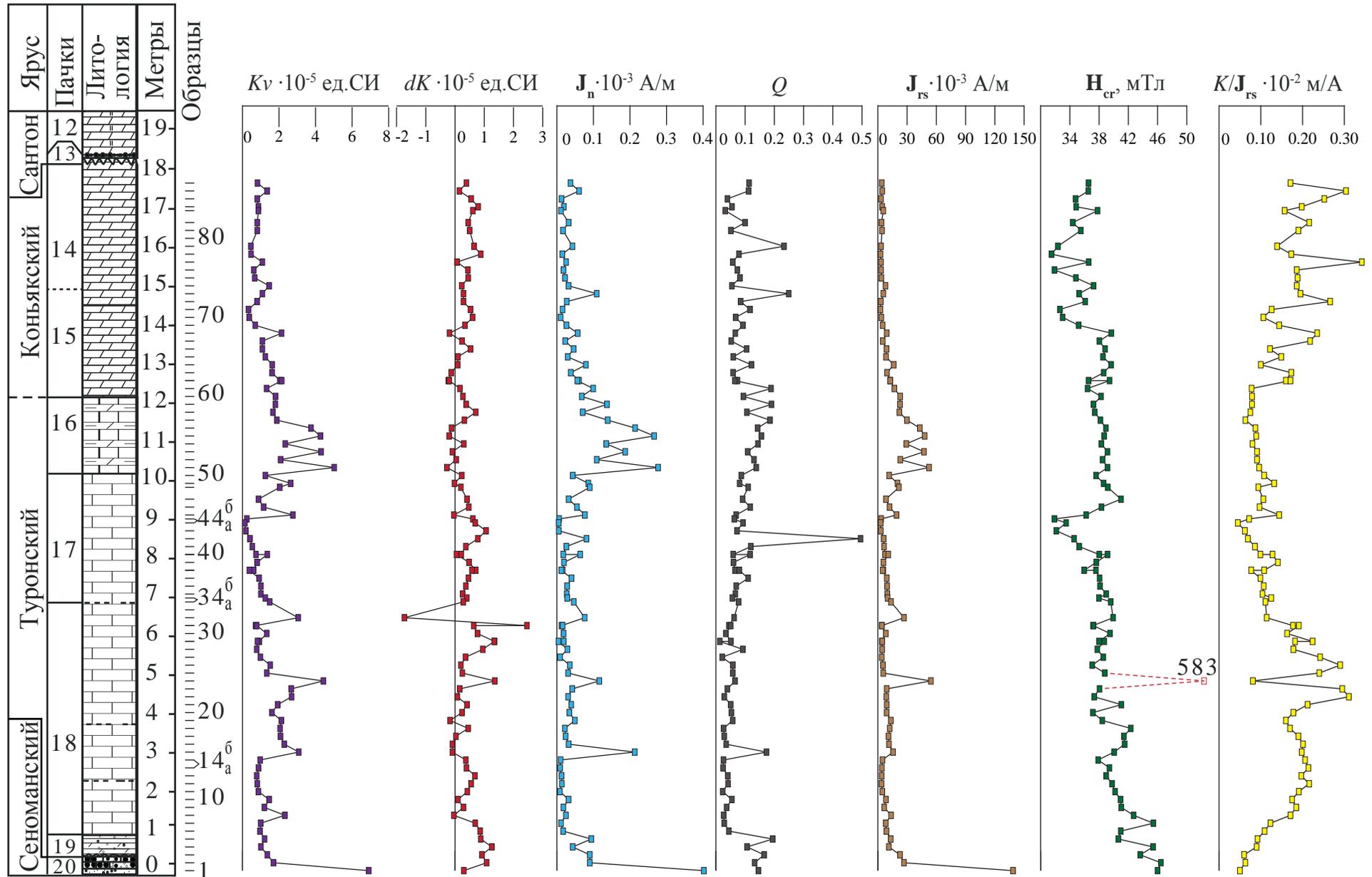


Рисунок 11. Петромагнитная характеристика отложений турона-коньяка в разрезе Нижняя Банновка

каждый штупф распиливался с тем, чтобы каждый интервал разреза сантиметровой толщины оказался охарактеризован тремя образцами, весом по 5-12 г. Измерения магнитной восприимчивости проводились по трем образцам с каждого уровня, вычислялось их среднее арифметическое, и считалась внутрипластовая дисперсия по Km_i (рисунок 12).

Через каждые 10 см из штупфов выпиливались образцы для палеомагнитных исследований, по которым были получены следующие петромагнитные характеристики: J_n , J_{rs} , H_{cr} , dK , Q , K/J_{rs} (рисунок 11).

Несмотря на чрезвычайно слабую естественную магнитность отложений (Km , в основном, не превышает, $1-2 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, а $J_n - 0.1 \cdot 10^{-3}$ А/м), разрез прекрасно дифференцируется по всем петромагнитным параметрам, за исключением dK (рисунок 11).

На графиках магнитной восприимчивости проявлены два двучленных ритма, характеризующиеся более высокими значениями K в нижней части и минимальными – в верхней. Низам разреза соответствует неполный (только в виде слабромагнитной части) третий ритм. Аналогичное количество ритмов выделяется на кривой K/J_{rs} , которая находится в противофазе, по отношению к графику K (рисунок 11).

Наиболее четкий петромагнитный рубеж, прослеживаемый по значимым, порою скачкообразным, изменениям всех параметров (кроме dK), совпадает с подошвой слоя №16 по Е.В. Милановскому (Милановский 1940).

Внутрипластовая дисперсия значений Km максимальна на границах пачек №16-17 и 18-19. Весьма высокая внутрипластовая дисперсия наблюдается также в интервале, соответствующем фосфоритовому горизонту (рисунок 12).

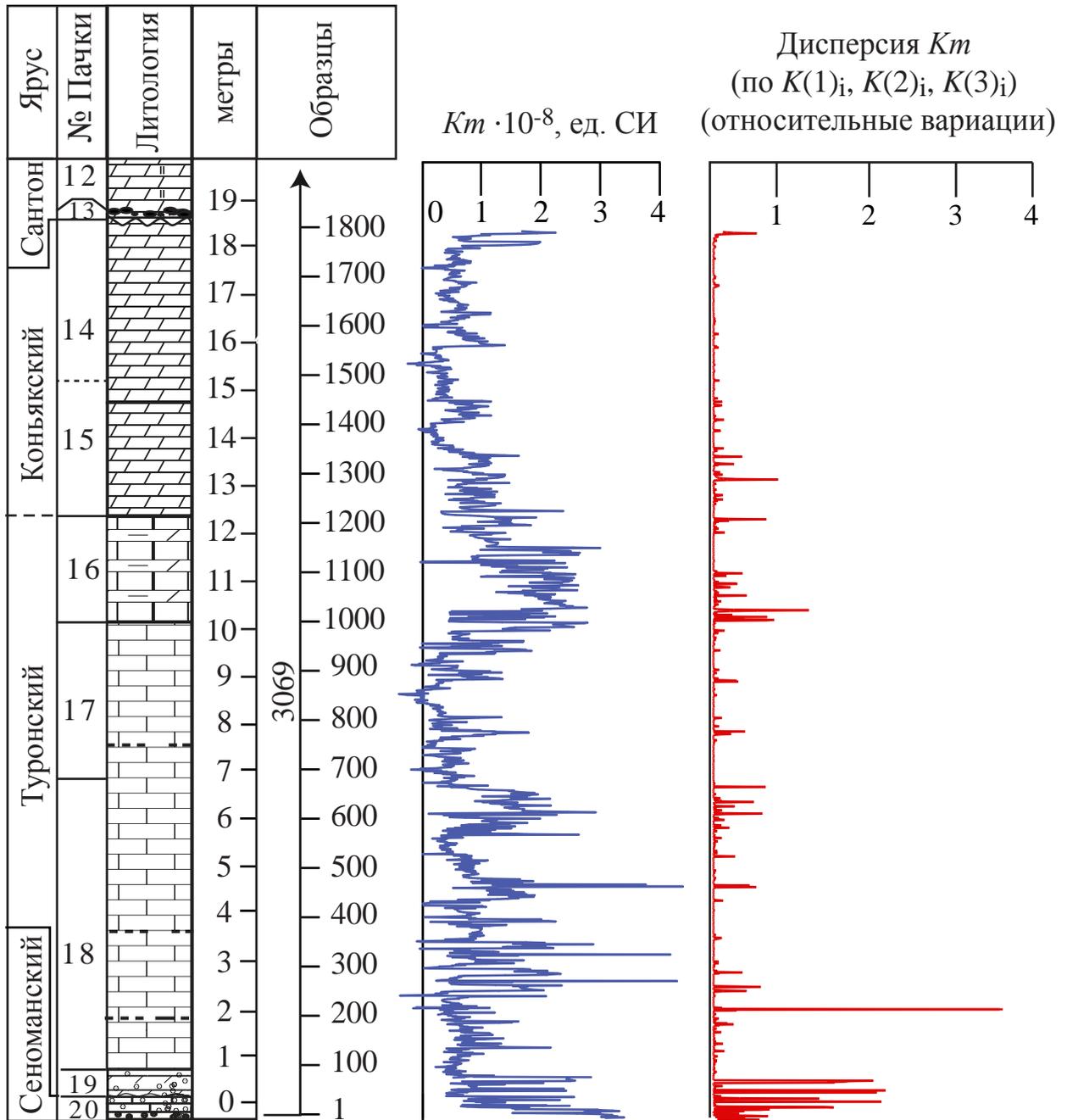


Рисунок 12. Вариации магнитной восприимчивости в разрезе турона-коньяка Нижняя Банновка

3.2.2. Разрез Каменный Брод

Отложения верхнего мела вскрыты в траншее газопровода, находящейся к югу от с. «Каменный брод» на севере Волгоградской области. Наиболее полный выход отложений прослеживается в южной стенке траншеи (координаты разреза: N: 50° 37' 58.05" E: 44°39' 54.44").

Литологическая и стратиграфическая характеристика

Залегающие на сеноманских песках туронские и коньякские отложения представлены ритмичным чередованием мергелей, хрупких, светло-серых, до белых. В верхней части разреза – ритмичное переслаивание плотных массивных мергелей с более плотными – прокремнелыми прослоями с содержанием губок и иноцерам, которые выделяются на белом фоне вмещающих карбонатных пород. В нижней части разреза литология характеризуется переслаиванием плотных массивных мергелей, выступающих в вертикальном профиле, и более глинистых, рыхлых, мергелей и уровней глин, составляющих явные ниши мощностью до 0.2-0.3 м. В некоторых случаях, подобное проявление слоистости не прослеживается, особенно при доминировании плотных массивных мергелей, которые порой образуют протяженные, высокие вертикальные стенки.

Суммарная мощность разреза: 48 м.

По предварительным данным Е.М. Первушова (СГУ) присутствуют все подъярусы турона и коньяка. Принадлежность терминальной части разреза к верхнеконьякскому подъярусу основывается на многочисленном позднеконьякском – раннесантонском комплексе губок – гексактинеллид. В настоящее время проводится микрофаунистический анализ проб, отобранных в этом разрезе, параллельно с палео- и петромагнитными образцами.

Петромагнитная характеристика

В разрезе взято 86 образцов для петромагнитного анализа, с интервалом, в среднем, 0.5 м. По этим образцам проведены замеры магнитной восприимчивости. С 37 стратиграфических уровней взяты шtuфы для палеомагнитных исследований. По всему отобранному объему образцов выполнены замеры параметров: K_m , K_v , J_n , Q , J_{rs} и H_{cr} .

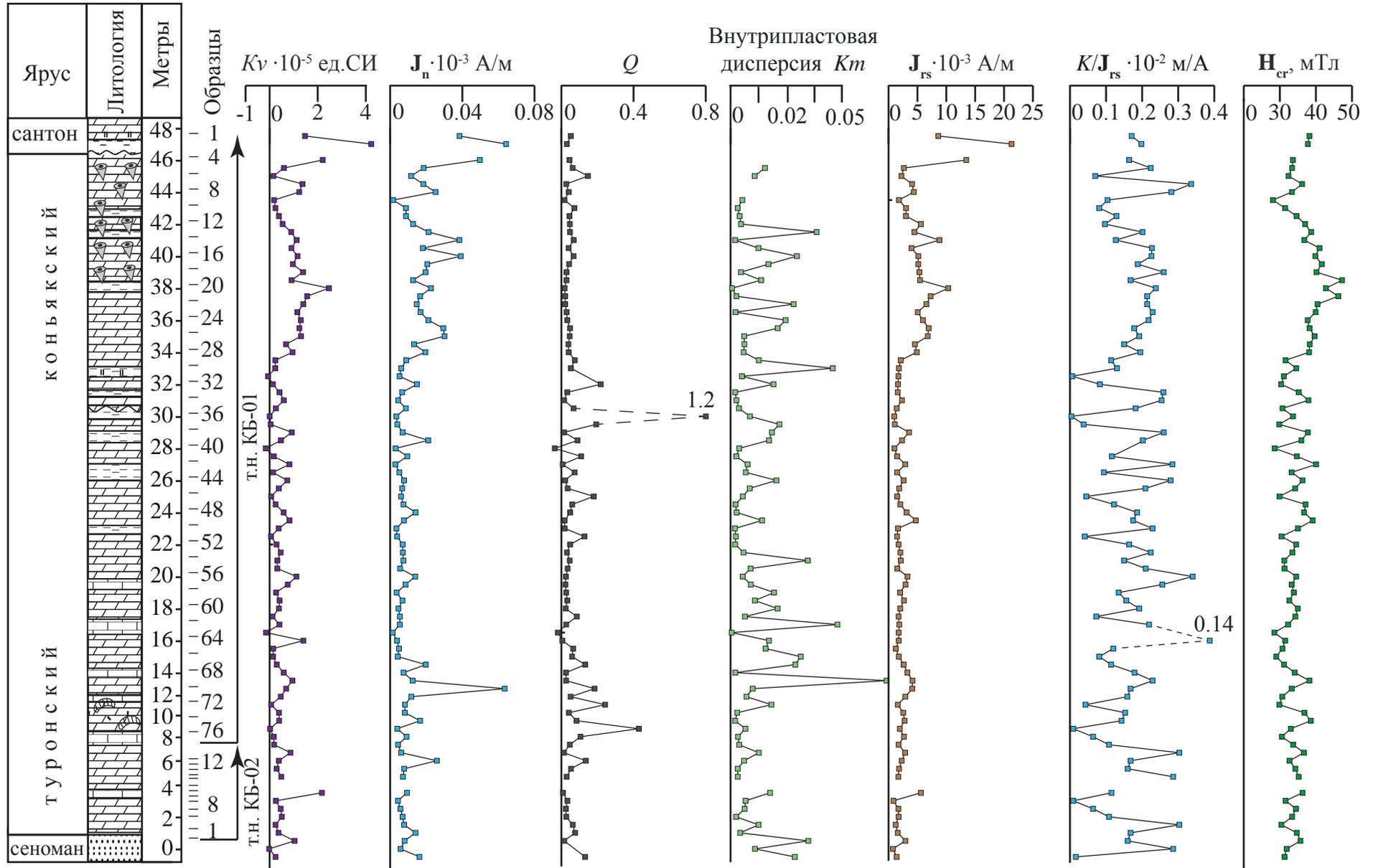


Рисунок 13. Петромагнитная характеристика отложений турона-коньяка в разрезе Каменный брод

Разрез представлен очень слабомагнитными отложениями (K_v , за исключением единичных выбросов, не превышает $2 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, а J_n , во всех случаях, менее $0.08 \cdot 10^{-3}$ А/м) и плохо дифференцирован на пачки по естественным петромагнитным характеристикам (рисунок 13). Тем не менее, верхи разреза (32-48 м) вполне отчетливо выделяются несколько повышенными значениями магнитной восприимчивости и естественной остаточной намагниченности (K и J_n , соответственно), на фоне величин $K_v = -0.1-0.5 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ и $J_n = 0.01 - 0.02 \cdot 10^{-3}$ А/м (рисунок 13). Также визуально заметна четкая ритмичность, проявленная в характере практически всех исследованных параметров.

3.2.3. Озерки

Разрез «Озерки-2» расположен в Лысогорском районе Саратовской области, неподалеку от поселка «Озерки». Высокий, практически вертикальный обрыв, слагающий правый борт короткого оврага, прорезающего правый борт реки «Грязнуха» на участке между селами «Озерки» и «Куриловка», в 2.5 км ниже по реке от с. Озерки. Географические координаты разреза: E: $45^{\circ}17'167''$, N: $51^{\circ}33'40''$

Литологическая и стратиграфическая характеристика

Разрез начинается с карбонатных песков, слагающих верхи сеномана. Переход к отложениям турон-коньякской толщи достаточно плавный, встречаются мелкие, окатанные включения фосфоритов и ходы илоедов., Турон-коньякская часть разреза представлена мергелями, доля песчаного материала в которых убывает снизу вверх. Пачки массивных, крупных мергелей, светло серого окраса чередуются с мергелями плитчатой отдельности. Перекрывается разрез «губковым» горизонтом, традиционно относимым к сантону.

По комплексу микро- и макрофаунистических данных, полученных Е.М. Первушовым, В.Б. Сельцером, Е.А. Калякиным, И.П. Рябовым (все СГУ) (Первушов и др., 2017а,б) и В.Н. Беньямовским (ГИН РАН) возраст туронской-коньякской толщи уточнен как средне- верхнетуронский – среднеконьякский.

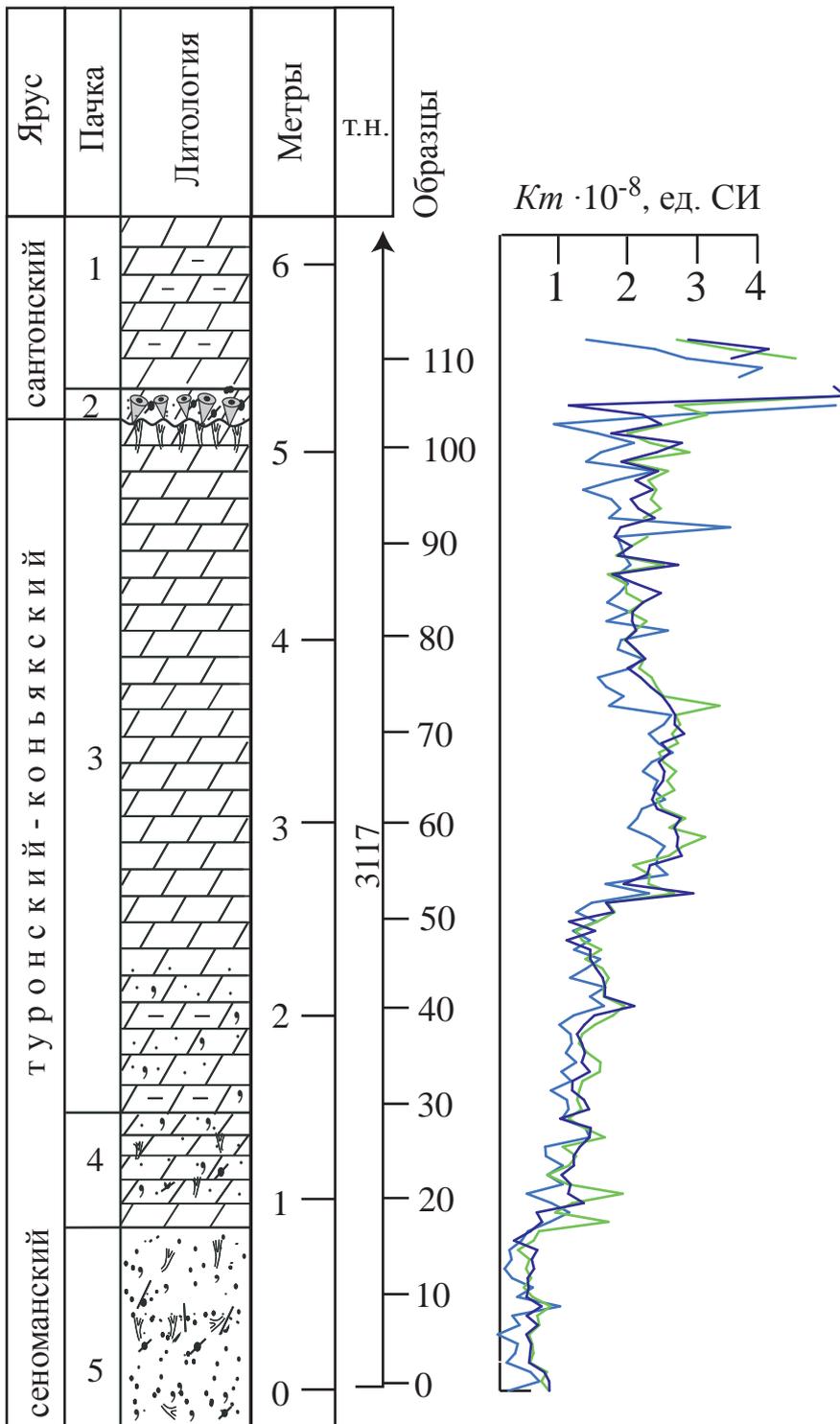


Рисунок 14. Вариации магнитной восприимчивости в разрезе турона-коньяка Озерки

Здесь установлен комплекс фораминифер зоны *Gavelinella moniliformis moniliformis*/*G. ammonoides* (LC4) среднего - верхнего турона, и подзоны *Gavelinella ammonoides*/*Marssonella oxucona* (LC4a) и *Gavelinella moniliformis ukrainica* (LC4b). Из этого же интервала пород определен коньякский – раннесантонский комплекс белемнитов *Goniocamax* (*G. lundgreni lundgreni* Soll., *G. lundgreni postexcavata* Naid.), *Actinocamax* (*A. verus verus* Mill., *A. verus fragilis* Arkh. (нижний кампан Польши)) и первых *Belemnitella* (*B. propinqua* Mob., *B. rylskiana* Nik.). Большая часть находок *A. verus verus* Mill. и *A. verus fragilis* Arkh. приурочена к «губковому» горизонту. В рассматриваемых мергелях найдены иноцерамусы *Inoceramus lusatie* And., *Cremnoceramus waltersdorfensis waltersdorfensis* (And.), *Mytiloides striatoconcentricus* (Gümb.) (верхний турон) и *Inoceramus seitzii* And., *I. annulatus* Goldf. (нижний коньяк). Над «губковым» горизонтом встречены *Sphenoceramus pachtii* (Arkh.) и *Sph. cardisoides* (Goldf.), первый из них характерен для позднего коньяка Европы.

«Губковый» горизонт отвечает верхам фораминиферовой зоны *Gavelinella thalmani* (LC7), средний – верхний коньяк, а над ним установлена зона *Stensioeina exculpta exculpta* (LC8) верхнего коньяка – нижнего сантона (в Польше – средний – верхний коньяк), что согласуется с данными по белемнитам и иноцерамусам (Первушов и др. 2017в).

Петромагнитная характеристика

Измерениям магнитной восприимчивости подверглись 339 неориентированных образцов со 113 стратиграфических уровней из интервала от верхов слоя 5 до низов слоя 1 (рисунок 14). Палеомагнитным исследованиям подверглись 40 ориентированных образцов с 10 стратиграфических уровней из слоев 3 и 4 разреза. По палеомагнитным образцам получены следующие характеристики: J_n , J_{rs} , H_{cr} , dK , Q , K/J_{rs} (рисунок 15).

Слои 3 и 4 слабомагнитны ($Kv = 1 - 5 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, $J_n = 0 - 0.18 \cdot 10^{-3}$ А/м) (рисунок 15), но, тем не менее, по магнитной восприимчивости отчетливо выделились два интервала: нижний, с минимальными, и верхний, с повышенными значениями параметра (рисунок 14, 15). По комплексу остальных

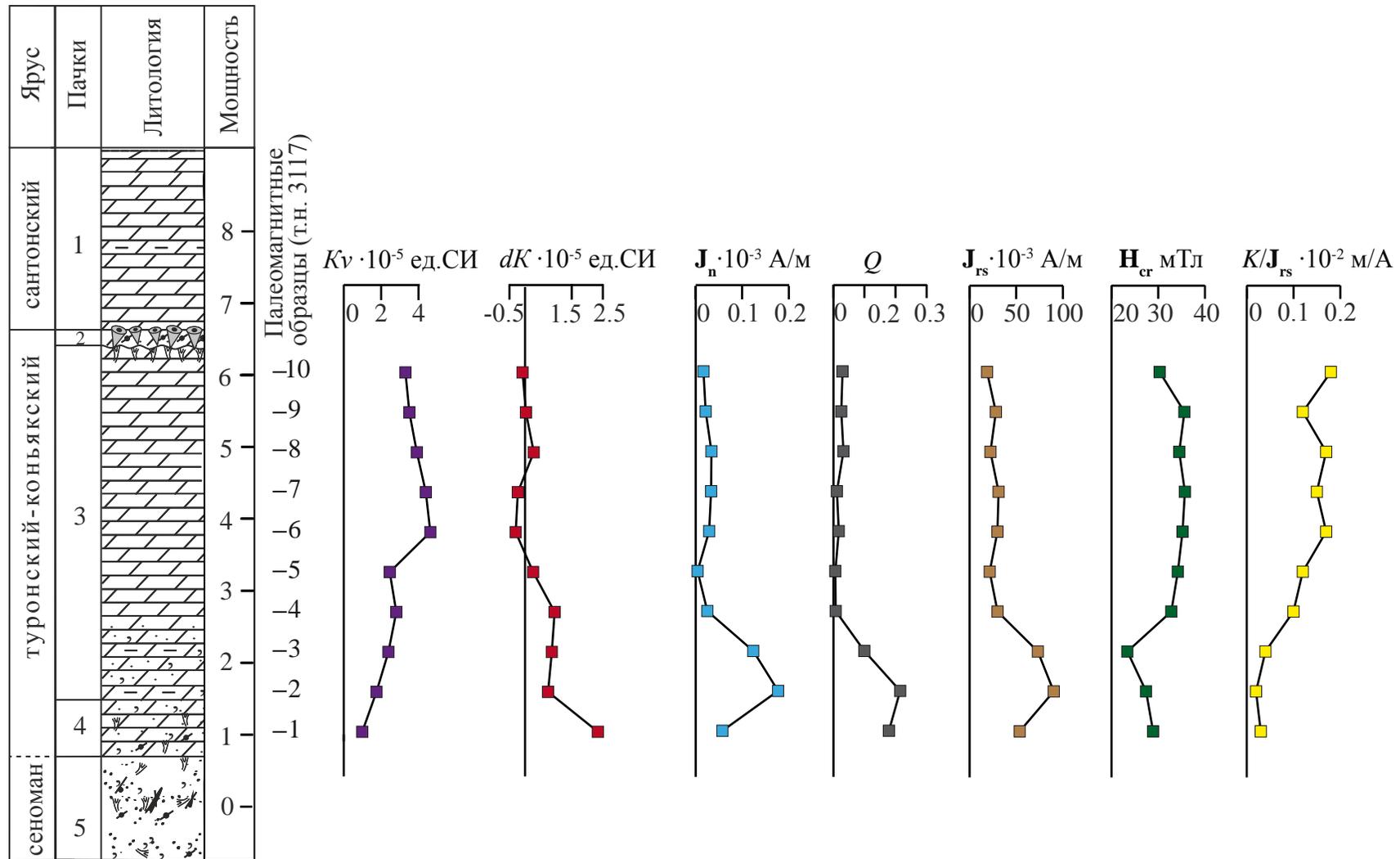


Рисунок 15. Петромагнитная характеристика разреза турона-коньяка Озерки

петромагнитных характеристик карбонатно-терригенные отложения (слой 4 и низы слоя 3) выделяются максимальными величинами J_n , J_{rs} , Q при минимальных значениях H_{cr} и K/J_{rs} , что нетипично для осадочных толщ (Гужиков, Молостовский, 1995; Гужиков, 2013). Подобный петромагнитный облик пород может быть обусловлен наличием в этом интервале разреза суперпарамагнитного магнетита, который не влияет на остаточную намагниченность, но приводит к значительному увеличению K . В этом случае отношение K/J_{rs} не является показателем гранулометрии, но свидетельствует об уменьшении среднего размера ферромагнитных частиц. В карбонатной части слоя 3 (обр. 4–10) несколько повышенной термокаппой выделяются образцы 4 и 8 (рисунок 15).

3.3. Сантон-маастрихт Нижнего Поволжья

3.3.1. Разрез Нижняя Банновка

Отложения сантона и кампана были исследованы в Можжевелевом овраге, наращивающем разрез «Нижняя Банновка». Изучение разреза велось в разных гривках оврага, отложения сантона-кампана описаны в нескольких точках наблюдения (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 были описаны в южном склоне горы Сырт близ обращенного к Волге оползневого обрыва (обн. 3081, 3088: N: 50°42'29.8'', E: 45°38'59.4'').

Литологическая и стратиграфическая характеристика

Отложения сантона начинаются с многократного чередования 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 присутствует толстый (4.5 м), латерально выдержанный пласт глауконитового песчаника, являющийся хорошим литологическим 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 (Милановский, 1940; Найдин, 1995, Первушов и др., 1999; Габдуллин, 2007; Герасимов, 1962; Глазунова, 1972), 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 биозоне *Belemnitella langei* верхнего кампана (Гужиков и др., 2017). Общая мощность сантона–кампана – 112.5 м.

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 (Гужиков и др. 2017). Мощность верхнего маастрихта – 20 м. Выше залегают опоки палеоцена.

Петромагнитная характеристика

Нами измерена удельная магнитная восприимчивость у 9660 образцов, равномерно взятых в туроне–коньяке с 1 820 уровней, соответствующих каждому сантиметру мощности, а в кампане–маастрихте – с 1 400 уровней, через каждые 10 см мощности. С каждого уровня было взято по три образца весом 5-12 г, по которым рассчитаны средние значения Km , вынесенные на сводный график параметра по разрезу (рисунок 16).

Поведение магнитной восприимчивости в разрезе сводится к нескольким основным закономерностям. В сантонском-кампанском слабомагнитном интервале, представленном частым чередованием глин и опок, поведение магнитной восприимчивости характеризуется регулярной ритмичностью, соответствующей, в целом, литологии разреза: глины характеризуются максимальными значениями ($Km = 4 - 5 \cdot 10^{-8}$ ед. СИ), а кремнистые разности –

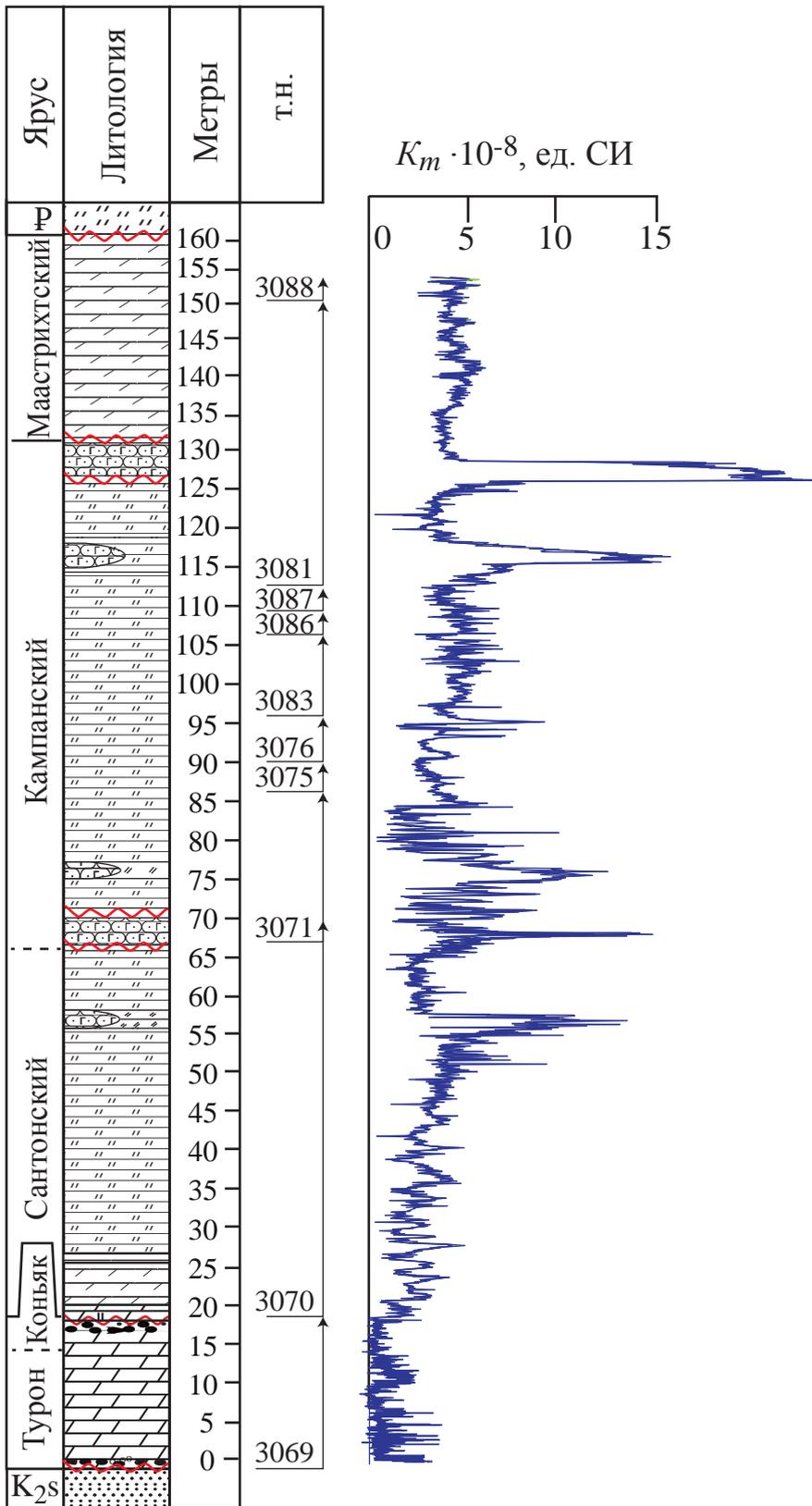


Рисунок 16. Петромагнитная характеристика отложений туронского, коньякского, сантонского, кампанского и мастрихтского ярусов в разрезе Нижняя Банновка

минимальными ($Km = 0.5 - 1 \cdot 10^{-8}$ ед. СИ) (рисунок 16). Петромагнитные вариации по разрезу могут быть связаны с изменениями активности терригенного привноса и/или разной степенью разубоживания аллотигенных компонентов в кремнистой матрице за счет колебаний скорости образования кремнезема. Глауконитовые песчаники характеризуются относительно высокими значениями магнитной восприимчивости ($Km = 10 - 20 \cdot 10^{-8}$ ед. СИ) (рисунок 16). Карбонатно-терригенный (маастрихтский) интервал разреза по магнитной восприимчивости практически не дифференцируется ($Km = 3 - 5 \cdot 10^{-8}$ ед. СИ). Согласно (Гужиков и др., 2017) по остаточной намагниченности этот интервал обнаруживает выразительные, устойчивые тренды к убыванию (по J_{rs}) и к возрастанию (по J_n), связанные с увеличением концентраций космогенных частиц.

3.3.2. Вольск (карьер «Большевик»)

Разрез расположен в 100 км к северу от Саратова вблизи г. Вольск в одноименном карьере по добыче мергеля. Отложения верхнего мела вскрываются стенках карьера, и характеризуются прекрасной обнаженностью. Незначительная часть разреза недоступна для изучения из-за обилия техногенных осыпей. Координаты разреза: N: 52°03'16'', E: 47°25'31''.

Литологическая и стратиграфическая характеристика

Наиболее полное и детальное описание разреза Большевик принадлежит коллективу авторов под руководством А.Г. Олферьева (Олферьев и др. 2009а), чьи труды служили ориентиром при составлении краткой литологической характеристики разреза, которая приведена ниже.

Исключительно карбонатный верхний мел мощностью 100 м, залегает субгоризонтально на черных глинах альба. В разрезе выделяются 25 пачек, из которых на интервал кампана – маастрихта приходятся пачки №6-25. Сенгилеевская свита (пачки №6-9) представлена светло-зелеными, желтоватыми и серыми мергелями, местами обогащенными алевритовым и псаммитовым материалом. Согласно микро- и макрофаунистическим данным (Олферьев и др., 2009б) мергели сенгилеевской свиты относятся к нижнему кампану. Граница

между сенгилеевской и карсунской свитой представлена поверхностью размыва, выше которой располагается непродолжительный (2.5 м) интервал, имеющий верхнекампанский возраст согласно последним данным (Гужиков и др., 2014).

Вышележащие отложения относятся к маастрихту и представлены чередованием мелоподобных мергелей и писчего мела, в разной степени насыщенных терригенным материалом (пачки №11-25). В пачке №15 присутствует тонкая субгоризонтальная слабоволнистая слоистость, а на границе карсунской и радищевской свиты отмечается наличие частиц алевритовой размерности, железистых стяжений, диаметром до 2 см и уплотненный хард-граунд. Принадлежность обозначенных пластов к маастрихтскому ярусу установлена достаточно давно (Милановский, 1940), однако, детальное расчленение отложений маастрихта до недавнего времени отсутствовало.

В 2009 году А.Г. Олферьев с соавторами на основании результатов биостратиграфических исследований опубликовали свой вариант разделения разреза, согласно которому, граница между нижним и верхним маастрихтом выпадает на рубеж между карсунской и радищевской свитой (Олферьев и др., 2009а).

Петромагнитная характеристика

В разрезе отобраны петромагнитные образцы с 380 стратиграфических уровней, в среднем, через каждые 20 см мощности по разрезу. Ранее, с меньшей детальностью отбора, разрез был изучен в палео- и петромагнитном отношении (Гужикова, 2016; Грищенко, Суринский, 2014).

По данным о магнитной восприимчивости в разрезе наблюдается трехчленное деление: между двумя парамагнитными толщами (K , в основном, > 0) заключены преимущественно диамагнитные породы ($K \leq 0$). К кровле сенгилеевской свиты приурочен аномальный всплеск K_v и J_n (до $9.3 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ и $0.21 \cdot 10^{-3}$ А/м, соответственно), очевидно, связанный с повышенной концентрацией ферромагнитных частиц в зоне перерыва. Карсунская свита (нижний маастрихт) дополнительно расчленяется на три части по значениям естественной остаточной намагниченности: нижнюю и верхнюю с повышенной намагниченностью и

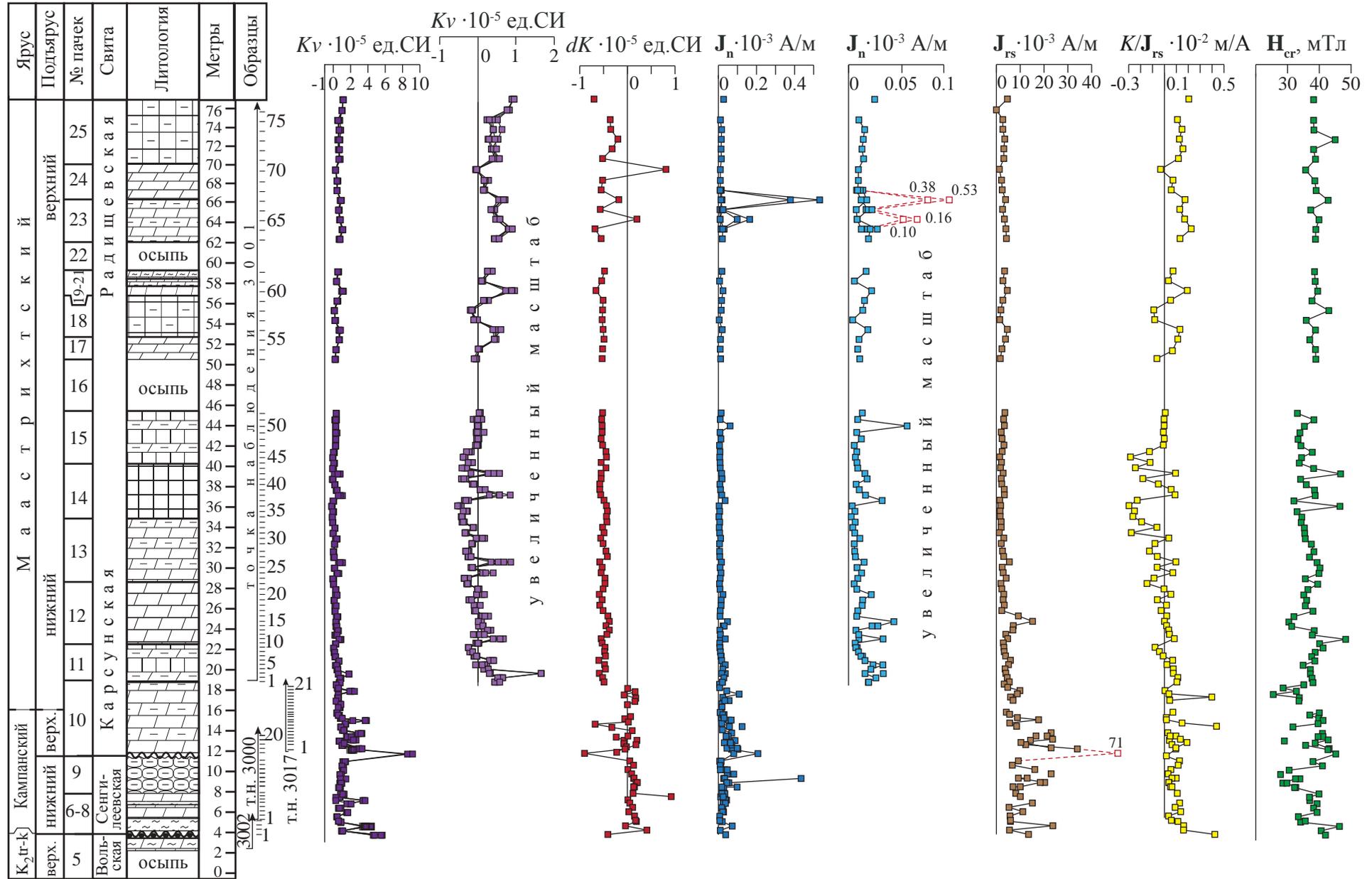


Рисунок 17. Петромагнитная характеристика разреза кампана-маастрихта Большевик

среднюю – слабомагнитную (рисунок 17). Вариации естественной остаточной намагниченности, в целом, повторяют закономерности в распределении K по разрезу, но в кровле радищевской свиты наблюдаются два узких интервала аномально высоких значений J_n , достигающих $0.5 \cdot 10^{-3}$ А/м (обр. 65 и 67) при минимальных значениях K_v : $0.5-0.7 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ (рисунок 17).

Новые авторские данные по магнитной восприимчивости разреза полностью согласуются с предыдущими, и значительно детализируют их, что выражается в проявлении более тонкой петромагнитной ритмичности, по сравнению с (Гужикова, 2016) (рисунок 18). В частности стали заметны интервалы явного повышения и понижения магнитных свойств, выражаемые в интервалах максимальных значений K_m . В своей совокупности частое чередование максимумов и минимумов K_m отражает петромагнитную ритмичность, которая ранее выделялась с большими затруднениями.

Более четко проявились тренды, характеризующие равномерное возрастание/убывание магнитных свойств отложений (рисунок 18). Отчетливо проявились резкие подскоки, связанные с поверхностями конденсации и (или) размыва отложений.

Результаты исследований образцов на коэрцитивном спектрометре J_meter (в лаборатории палеомагнетизма и геодинамики ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск) показали чрезвычайную однородность магнитной фракции по коэрцитивным параметрам. Вариации намагниченности насыщения в поле 700 мТл (J_s), остаточной намагниченности насыщения (J_{rs}) и коэрцитивных сил (B_c и B_{cr}) не превышают 10-12% от средних значений по разрезу. Магнитные зерна, судя по диаграмме $B_{cr}/B_c - J_{rs}/J_s$, находятся в многодоменном состоянии (рисунок 19). Присутствия суперпарамагнитных зерен не установлено. Таким образом, установлена высокая однородность магнитных частиц, входящих в состав карбонатной матрицы кампанских – маастрихтских отложений, как по концентрации, так и по размеру.

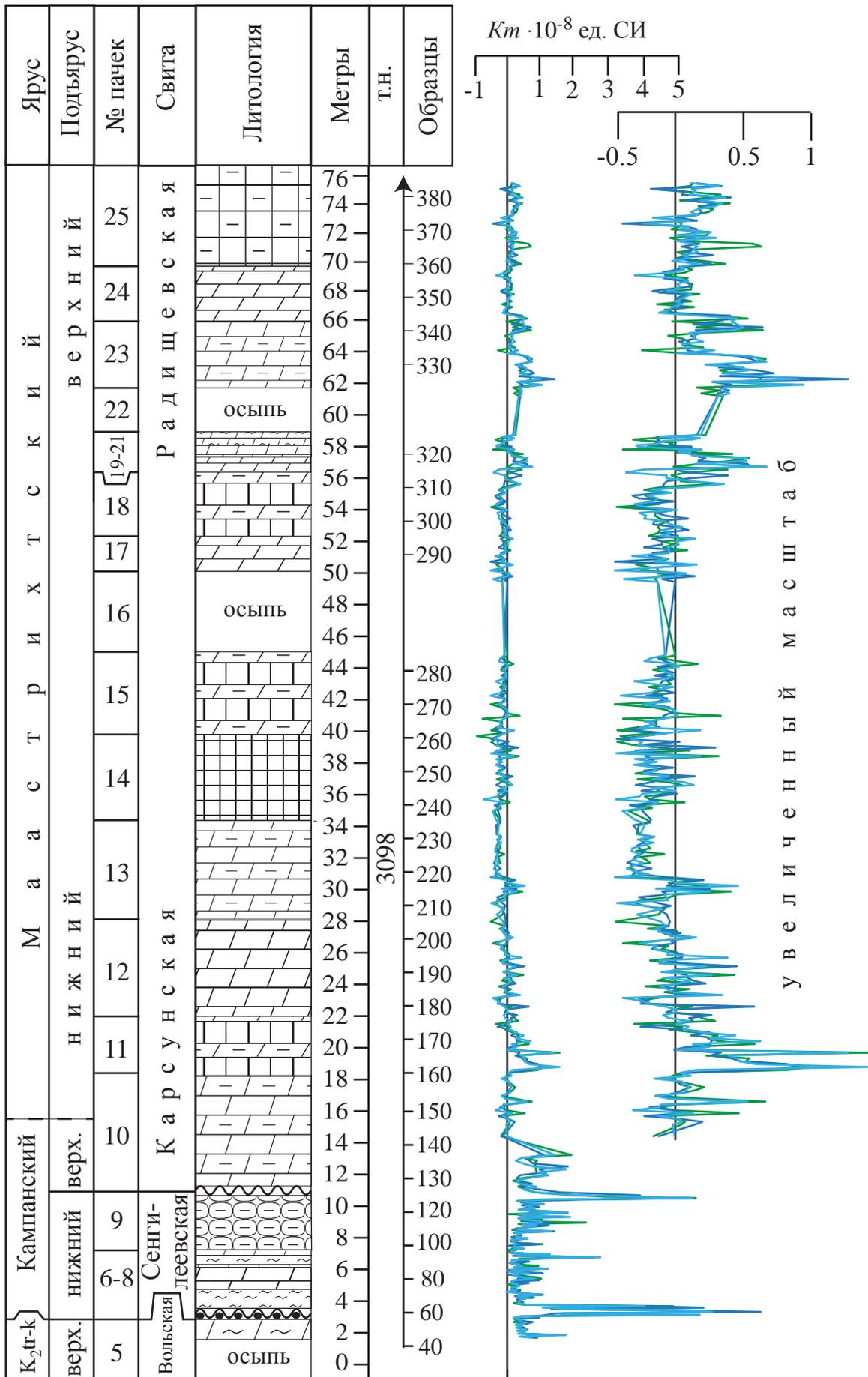


Рисунок 18. Вариации магнитной восприимчивости в разрезе Большевик

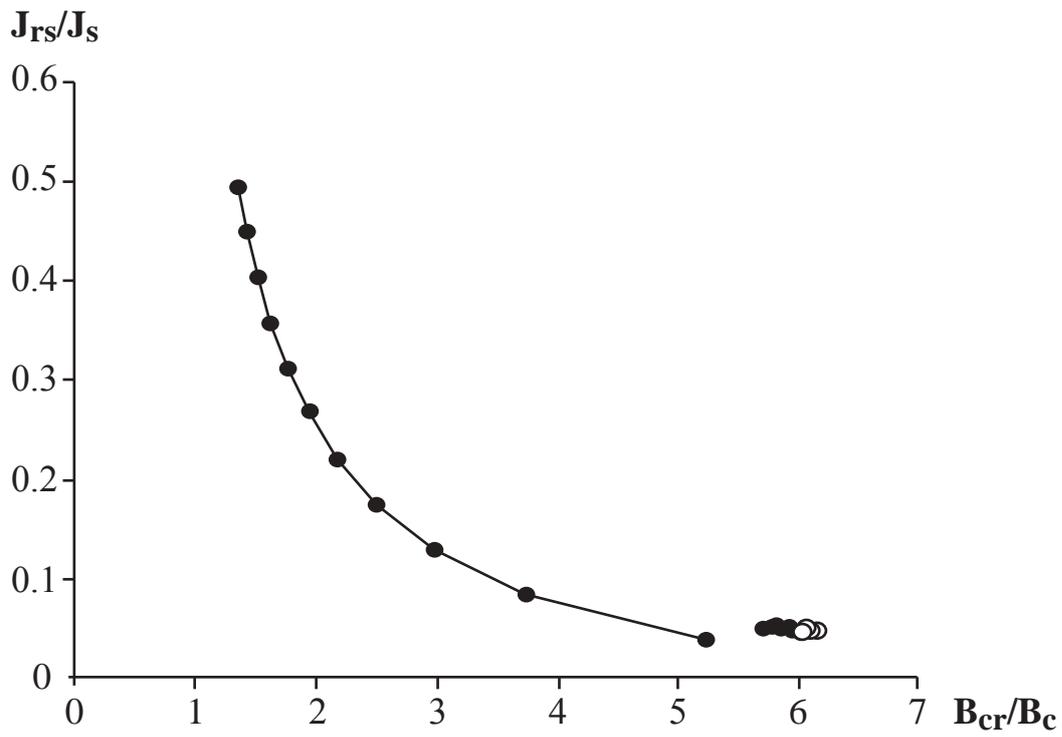


Рисунок 19. Диаграмма Дея - Данлопа по отложениям кампана-маастрихта разреза Большевик, свидетельствующая об однородности ансамбля ферромагнитных частиц.

3.4. Кампан-маастрихт Юго-Западного Крыма

Отложения кампана-маастрихта были исследованы в двух разрезах, являющихся возрастными аналогами друг друга. Мергели кампанского-маастрихтского возраста слагают несколько куэстообразных гряд во второй гряде Горного Крыма.

3.4.1. Чахмахлы

Разрез Чахмахлы (N: 44°46'58.6'', E: 33°57'52.3'') расположен в Бахчисарайском районе республики Крым (рисунок 6) близ с. Трудолюбовка на территории полигона учебных геологических практик студентов МГУ и СПбГУ. Отложения кампана-маастрихта вскрываются в северо-западной стенке каньонообразной долины.

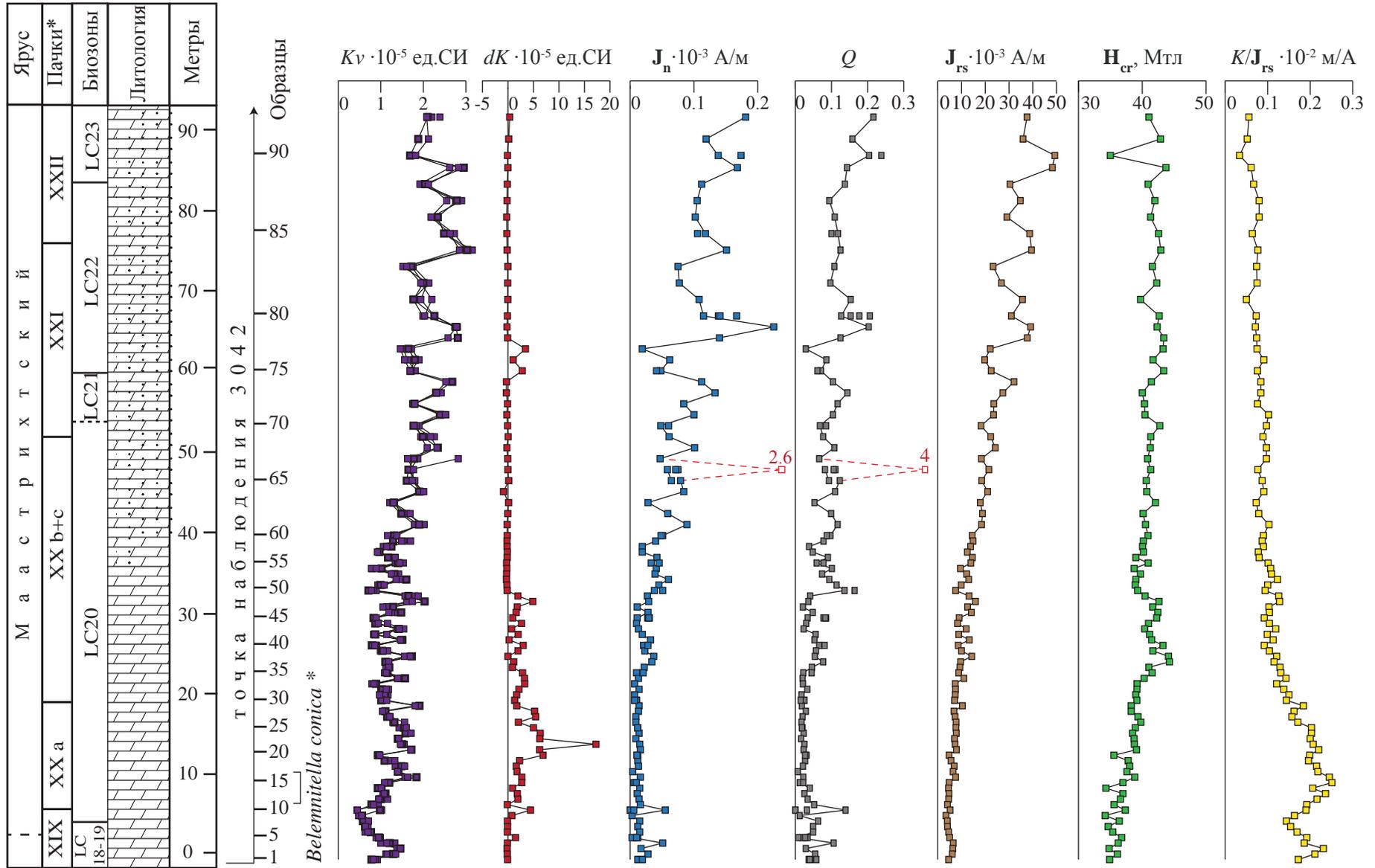
Литологическая и стратиграфическая характеристика

Разрез представлен белыми мелоподобными мергелями в нижней части и светло-серыми слабоалевритистыми – в верхней (пачки XIXb+c - XXII) (рисунок 20). Более подробное литологическое описание приведено А.С. Алексеевым и Л.Ф. Копаевич в статье (Alekseev, Kopaevich, 1997), ими же по микрофаунистическим данным обоснован уровень границы кампана–маастрихта в низах разреза (граница зон *Angulogavelinella Gracilis* и *Bolivinooides Delicatulus* по бентосным фораминиферам) (рисунок 20). Авторам также принадлежат находки *Belemnitella conica* Arkhangelsky в базальной части пачки XXa (рисунок 20).

Петромагнитная характеристика

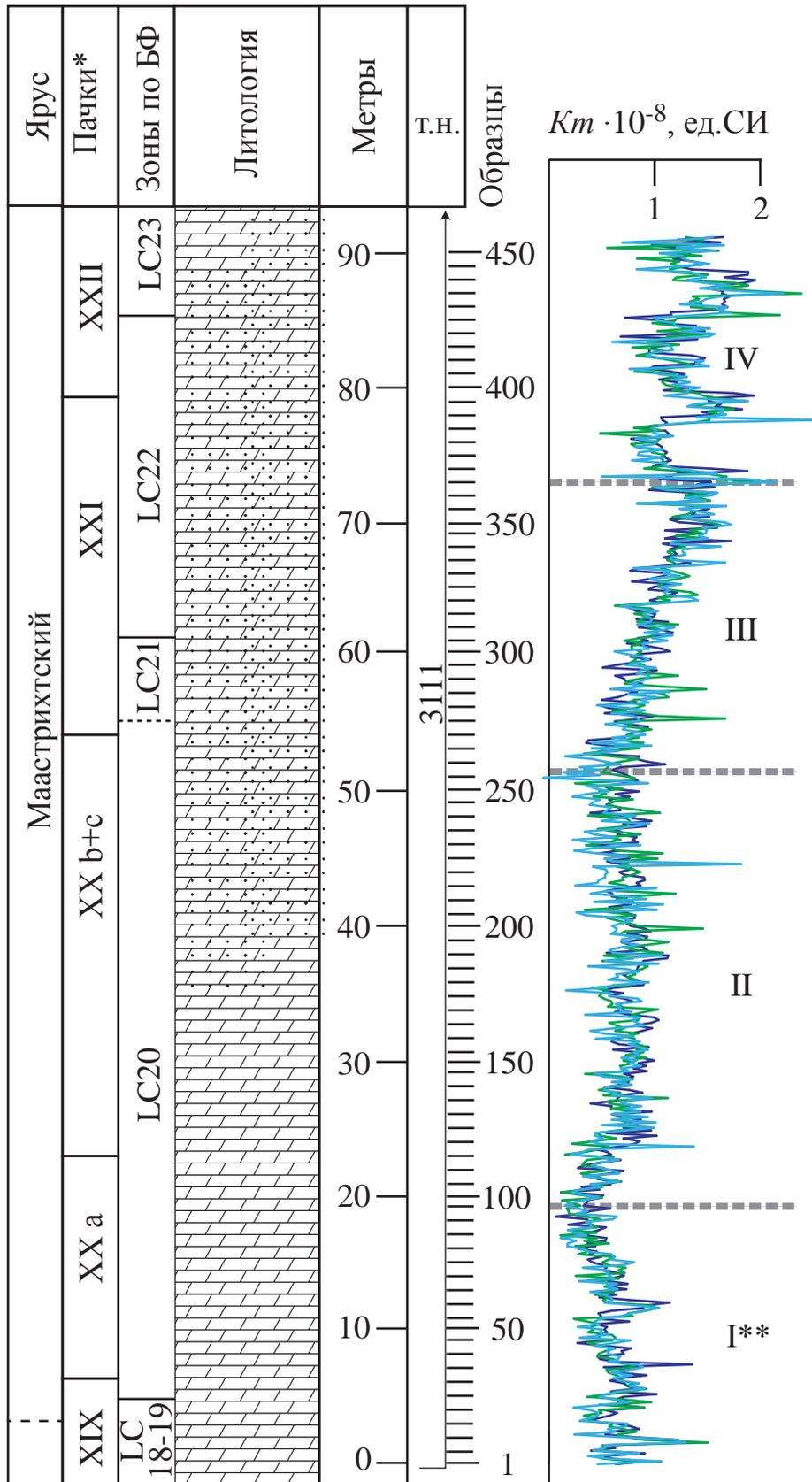
В разрезе отобраны петромагнитные образцы с 455 стратиграфических уровней, через каждые 20 см мощности по разрезу. Ранее, с меньшей детальностью отбора, разрез был изучен в палео- и петромагнитном отношении А.А. Гужиковой (СГУ) (Гужикова, 2016).

Отложения крайне слабомагнитны: магнитная восприимчивость и естественная остаточная намагниченность закономерно увеличиваются вверх по разрезу от 0.4 до $3.2 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ и от 0.003 до $0.2 \cdot 10^{-3}$ А/м соответственно (за



* - *Alekseev, Kopaevitch 1997*

Рисунок 20. Петромагнитная характеристика отложений кампана-маастрихта в разрезе Чахмахлы



* - (Alekseev, Koravich, 1997); ** - № петромагнитных пачек

Рисунок 21. Вариации магнитной восприимчивости в разрезе кампана-маастрихта Чахмахлы

исключением единичного случая - обр. 66, где J_n достигает $2.64 \cdot 10^{-3}$ А/м). С точки зрения закономерностей в распределении петромагнитных характеристик по разрезу, в первую очередь, обращают на себя внимание тренды к возрастанию K_v , J_n и убывания значений параметра K/J_{rs} снизу-вверх по разрезу (рисунок 20) (Гужикова 2016).

Новые авторские данные по магнитной восприимчивости разреза полностью согласуются с предыдущими, но значительно детализируют их, что проявляется в дополнительной дифференциации разреза и более тонкой петромагнитной ритмичности, по сравнению с (Гужикова 2016). По новым данным, вариации магнитной восприимчивости обособливаются в четыре петромагнитные пачки. Пачка № I характеризуется плавным убывающим трендом значений параметра снизу вверх по разрезу от 1 до $0.1 \cdot 10^{-8}$ ед.СИ.

Пачка № II представляет собой ритмичные пульсации значений K_m (от 0.5 до $0.8 \cdot 10^{-8}$ ед. СИ) без явного тренда. В следующей пачке № III поведение параметра K_m характеризуется как устойчивый положительный тренд снизу-вверх по разрезу (от 0.5 до $1.5 \cdot 10^{-8}$ ед. СИ), осложненный ритмичностью. Верхняя пачка № IV характеризуются контрастным чередованием двух слабомагнитных ($K_m = 0.9 - 1.1 \cdot 10^{-8}$ ед. СИ) и двух относительно сильномагнитных ($K_m = 1.5 - 1.7 \cdot 10^{-8}$ ед. СИ) интервалов (рисунок 21).

3.4.2. Токма

Овраг Токма, в правом борту которого вскрываются отложения нижнего маастрихта, расположен в Бахчисарайском районе республики Крым (рисунок 6) близ с. Скалистое (N: 44°48'21'', E: 34°00'03'') на территории полигона учебных геологических практик студентов МГУ и СПбГУ. Токма является практически полным аналогом (в стратиграфическом, литологическом и петромагнитном смыслах) разреза Чахмахлы, а изученный нами интервал, мощностью около 64 м, хорошо соотносится с его средней и верхней частью.

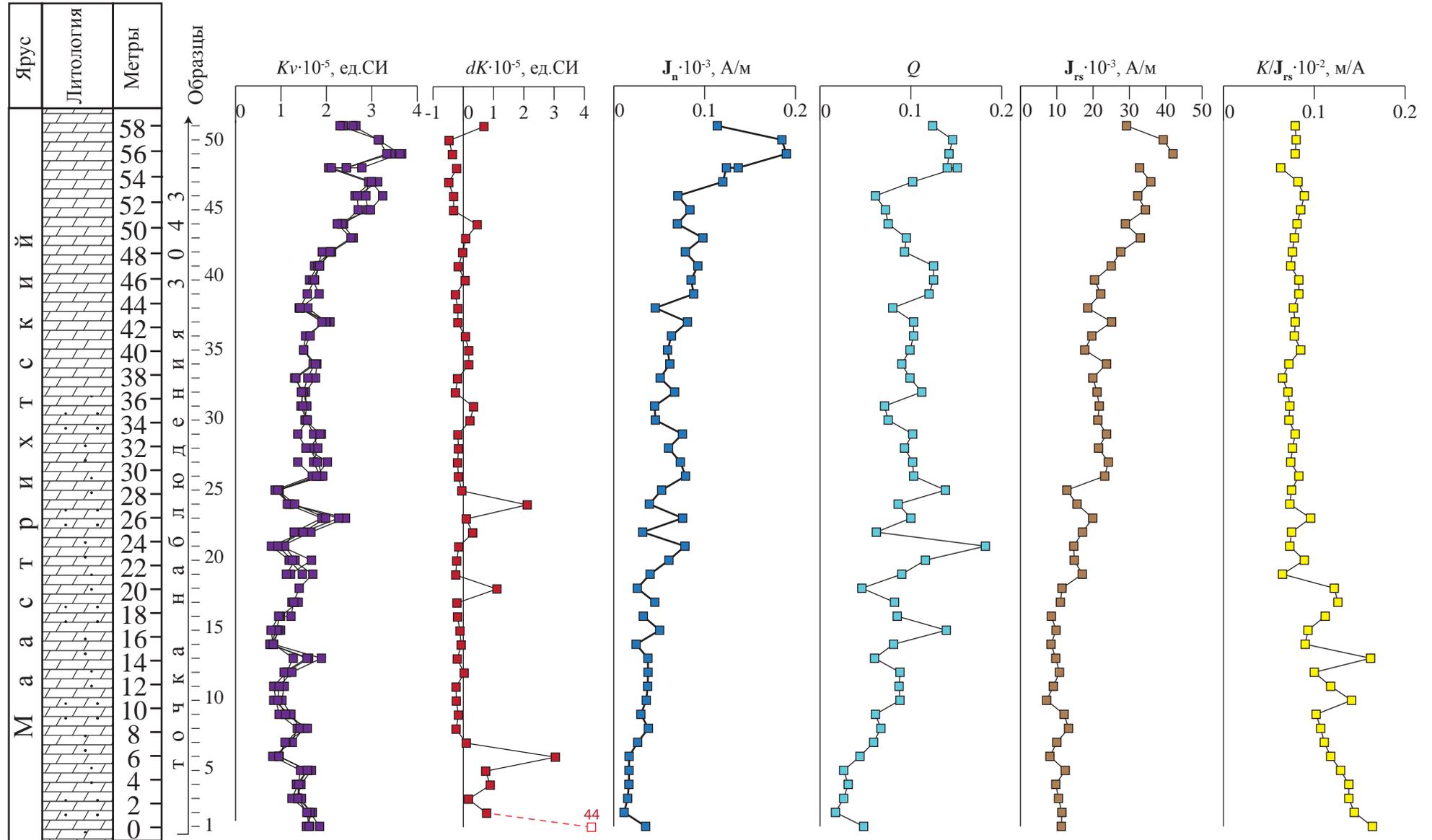
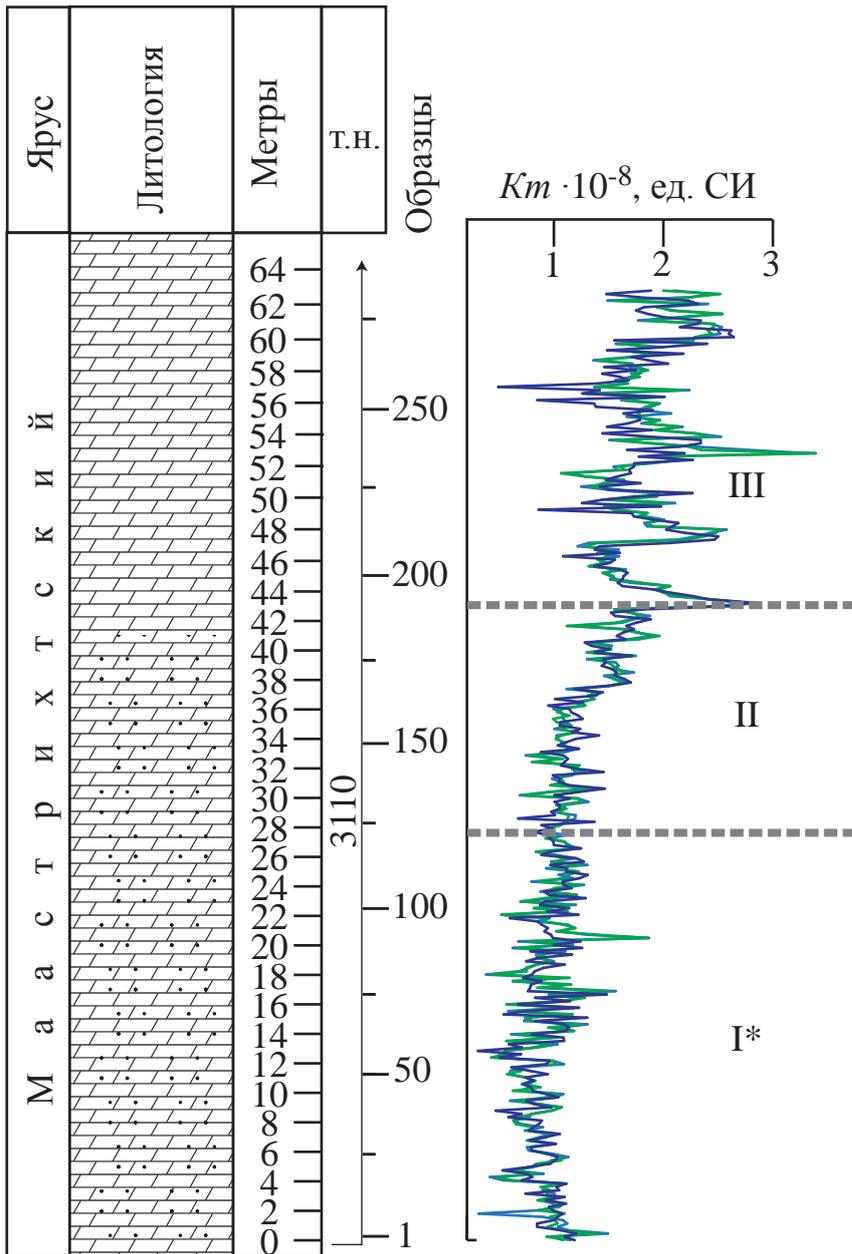


Рисунок 22. Петромагнитная характеристика отложений кампана-маастрихта в разрезе Токма



* - № петромагнитных пачек

Рисунок 23. Вариации магнитной восприимчивости в разрезе кампана-маастрихта в разрезе Токма

Литологическая и стратиграфическая характеристика

Разрез Токма по возрасту относится к интервалу кампана-маастрихта и представлен мелоподобными слабоалевритистыми (за исключением базальной части) мергелями (рисунок 22, 23). В 2004 году Б.И. Сизановым, А.В. Рудаковой, Р.Р. Габдуллиным было проведено детальное литологическое описание разреза Токма и впервые измерена его магнитная восприимчивость (Сизанов и др., 2006).

Петромагнитная характеристика

В разрезе отобраны петромагнитные образцы с 275 стратиграфических уровней, через каждые 20 см мощности по разрезу. Ранее, с меньшей детальностью отбора, разрез был изучен в палео- и петромагнитном отношении А.А. Гужиковой (СГУ) (Гужикова, 2016).

Отложения слабомагнитны: $Kv = 0.8 - 3.7 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, $J_n = 0.01 - 0.2 \cdot 10^{-3}$ А/м. Как и в разрезе Чахмахлы, здесь наблюдаются тренды к возрастанию K , J_n и убывания значений параметра K/J_{rs} снизу-вверх по разрезу (рисунок 22) (Гужикова 2016).

Новые авторские данные по магнитной восприимчивости разреза не только полностью согласуются с предыдущими, но детализируют и, главное, дополняют их, за счет того, что проведено опробование нового интервала. Петромагнитные ритмы проявлены в виде частых и активных пульсаций Km , которые выделяются на фоне плавного тренда, имеющего место преимущественно в середине разреза (рисунок 23). По характеру вариаций Km в разрезе отчетливо выделяются три петромагнитных пачки. Первая из них (пачка № I) характеризуется достаточно частыми пульсациями параметра (от 1.1 до $1.4 \cdot 10^{-8}$ ед. СИ) без наличия тренда. Пачка № II отмечена положительным трендом K , осложненным ритмичностью. Третья пачка, венчающая разрез, представляет из себя интенсивное чередование слабомагнитных ($Km = 0.8 - 1.2 \cdot 10^{-8}$ ед. СИ) и относительно сильномагнитных ($Km = 2 - 2.5 \cdot 10^{-8}$ ед. СИ) интервалов.

3.5. Эоцен Актолагая

Первое краткое упоминание о палеогеновом (эоценовом) разрезе плато Актолагай относится к 1970 г. (Геология СССР 1970). Разрез вскрыт на одноименном соляном куполе (N: 47°32'29,9''; E: 55°09'12,3'') и известен в литературе благодаря прекрасной обнаженности, значительной полноте и хорошей охарактеризованности комплексами акуловых (Беньямовский, 1994; Малышкина, 2006; Steurbaut, 2011; Железко, Козлов, 1999; King et al., 2013;); он является стратотипом алашенской и толагайсорской свит (Беньямовский и др., 1990). В 2013 г. разрез был детально описан и опробован (т. н. 3020): по системе «образец в образец» взяты пробы для макро- (зубы акул) и микропалеонтологического (фораминиферы, наннопланктон, палинологический состав) изучения, отобраны ориентированные штуфы для магнитостратиграфических исследований.

Литологическая и стратиграфическая характеристика

На сильно эродированной, пронизанной норами *Thalassinoides*, кровле маастрихтского белого писчего мела залегает следующая последовательность пачек (снизу-вверх) (рисунок 24):

Пачка №1. (обр. 3020/1-9). Глины зеленовато-серые, пластичные. Мощность 8.5 м.

Пачка №2. (обр.3020/10-20). Ритмичное чередование темных зелено-серых тонкослоистых или биотурбированных сланцеватых глин или глинистых сланцев (0.7-1.1 м) и зеленовато-серых известковых глин. Мощность 10.3 м.

Пачка №3. (обр.3020/21-23). Ритмичное чередование тонкослоистых темно-коричневых битуминозных сланцев (0.3-0.8 м) и коричневатых-серых сланцеподобных глин (рисунок 24). Наиболее мощным является верхний прослой сланца (0.8 м), кровля которого размыта. Мощность 3.1 м.

Пачка №4. (обр.3020/24-32). Ритмичное чередование биотурбированных темно-коричневых битуминозных сланцев (0.1-0.5 м) и зеленоватых глин (0.2-2.1 м) (рисунок 24). Мощность глин существенно возрастает кверху. Мощность 8.7 м.

Пачка №5. (обр.3020/33-47). Чередование сантиметровых зеленовато-серых и коричневатых неясно-слоистых алевритистых глин и миллиметровых прослоев и линз тонкозернистых песков и алевролитов. В подошве пачки присутствует несколько в разной степени выраженных эрозионных поверхностей, вдоль которых встречаются многочисленные мелкие (1–3 см) фосфориты. Мощность 15.4 м.

Пачка №6. (обр.3020/48-52). Зеленовато-серые, коричневатые неясно горизонтально-слоистые глины и редкими миллиметровыми прослоями алеврита. Мощность 9.5 м.

Пачка №7. (обр.3020/53-57). Породы, аналогичные пачке 6 с несколькими горизонтами карбонатных конкреций размером до 10-15 см. Мощность 4.1 м.

Пачка №8. (обр.3020/58-62). Породы, аналогичные пачке №6, более алевритистые, с многочисленными лимонитовыми (по пириту) конкрециями и единичными *Chondrites isp.* Мощность 5.9 м.

Пачка №9. (обр.3020/63-67). Зеленовато-серые почти чистые слоистые пластичные глины. Породы в целом, аналогичны пачке №6, но имеют примесь алевритового материала и местами присутствуют лимонитовые конкреции. Мощность 4.3 м.

Пачка №10. (обр.3020/68-72). Слоистые темно-коричневые битуминозные сланцы; верхние 1.5 м сланцев зеленовато-серого цвета. Мощность 5 м.

Пачки №11-12. (обр.3020/73-75). Желтые рыхлые пески (до 1 м) с интракластами глин и кварцевой галькой. Пески надстроены биокластовыми плитчатыми известняками (мощность 1.2–1.5 м), содержащими терригенную примесь, с крупномасштабной троговой слоистостью и слоистостью типа «рыбья кость», которые бронируют поверхность плато. Видимая мощность 2.5 м.

В работе (Беньямовский и др., 1990) в данном разрезе были предложены стратотипы алашенской и толагайсорской свиты. Граница между ними определялась в подошве сланцев нашей пачки №3, а кровля толагайсорской свиты проводилась по основанию «глин» пачки №10, отнесенных авторами к сармату. В работе (Железко, Козлов, 1999) сланцы пачки №10 включены в толагайсорскую

свиту, а к сармату отнесены только перекрывающие известняки. К. Кинг и др. (King et al., 2013) выделили сланцы пачки №3 в новую актулагайскую свиту, а пачку №10 сопоставили с сангрыкской свитой (толщей). Таким образом, нет единства мнений о литостратиграфическом разделении данного разреза, а также о мощностях этих подразделений в упомянутых публикациях.

Петромагнитные данные, в совокупности с результатами седиментологических исследований (Барабошкин и др., 2015) позволяют пересмотреть объем свит. Мы считаем, что нижняя часть разреза (пачки №1-4), представленная закономерным чередованием карбонатных глин и битуминозных сланцев или сланцеподобных глин, связанная с единым этапом развития аноксигенного бассейна, должна быть отнесена к алашенской свите. Вышележащая литологически достаточно однородная глинисто-алевритовая толща (пачки №5-9), залегающая с размывом (что отмечалось всеми исследователями), и с размывом перекрываемая отложениями кумской свиты, также представляет собой самостоятельный этап развития бассейна, и относится нами к толагайсорской свите, аналогично работе (King et al., 2013).

В настоящее время накоплено много фактических данных о биостратиграфической характеристике изученного разреза (Беньямовский и др., 1990; King et al., 2013; Железко, Козлов, 1999).

Наиболее детальные сведения о распространении диноцист, нанопланктона, фораминифер, остракод, птеропод, селахий и некоторых других фоссилий приведены в работе (King et al., 2013). Согласно биостратиграфическим данным, в основании разреза присутствует перерыв, охватывающий весь палеоцен, и пачки №1-9 отвечают практически всему ипру. Гиатусы на границах пачек внутри этого интервала незначительны. Пачка №10 соответствует кровле лютетского – подошве бартонского ярусов, а выше (пачки №11-12) с перерывом залегают породы сарматского яруса миоцена. Следует отметить, что пачки №10-12 детально никем не изучались, а мощности отложений в представлении всех авторов несколько разнятся.

Петромагнитная характеристика

Для палеомагнитного изучения были отобраны образцы с 75 уровней, а для петромагнитного – с 218 уровней (приблизительно через 0.3 м) при мощности разреза ~ 73 м. Полученные петромагнитные данные позволяют детально расчленить разрез, уточнив его деление на свиты, и реконструировать некоторые особенности осадконакопления.

Изученный разрез прекрасно дифференцирован по магнитным свойствам на три петромагнитных комплекса (ПК) (рисунок 24).

Нижний комплекс (ПК-1) отмечен высокой вариабельностью K , минимальной J_n , низкой (за исключением единичных всплесков), убывающей, в целом, вверх по разрезу J_{rs} , большим разбросом K/J_{rs} на фоне однозначного тренда к возрастанию средних значений вверх по разрезу, наличием минимальных величин S и максимальных H_{cr} и dK .

В пределах ПК-2 K и H_{cr} , за исключением единичных уровней, очень однородны, J_n , J_{rs} и S максимально высоки, отношения K/J_{rs} минимальны, встречаются уровни с аномально высокими dK , которые, однако, по абсолютной величине, гораздо, меньше подобных всплесков в ПК-1 (рисунок 24).

ПК-3 характеризуется самыми высокими K и K/J_{rs} при низких J_n и J_{rs} , пониженной H_{cr} при стабильно высоком S и наличием высоких значений dK .

Каждый ПК отвечает крупному этапу развития палеобассейна, поскольку петромагнитные вариации обусловлены седиментационной ритмичностью, связанной с колебаниями уровня моря и сменой геохимических обстановок в осадке (Гужиков, Молостовский, 1995). Поэтому уровни резких изменений магнитных свойств, наряду с литолого-седиментологическими признаками, служат объективными критериями для обоснования свитного деления разреза.

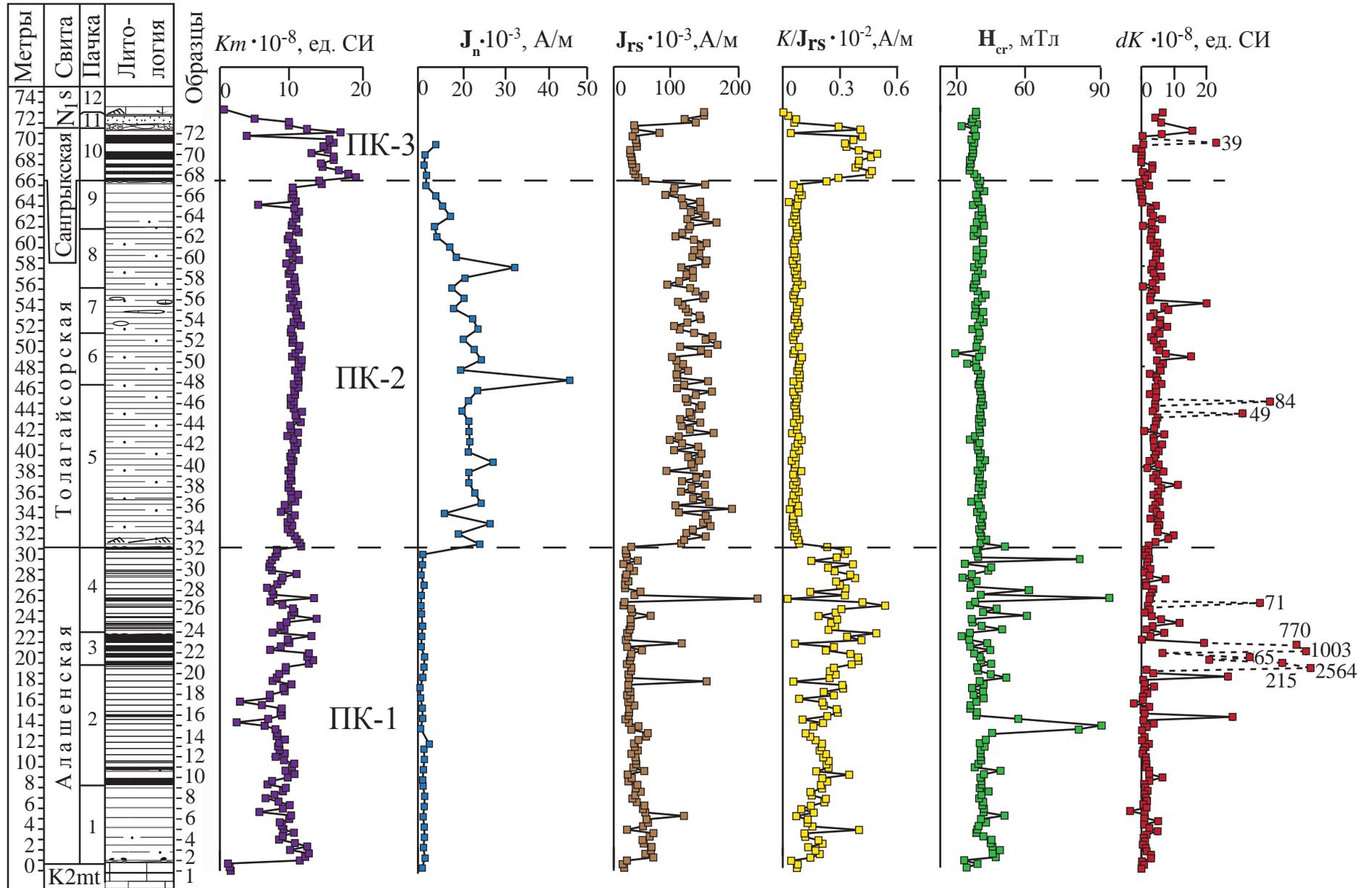


Рисунок 24. Петромагнитная характеристика отложений эоцена в разрезе плато Актолагай

Глава 4. ЦИКЛОСТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ПЕТРОМАГНИТНЫХ ДАННЫХ

Для циклостратиграфической интерпретации петромагнитных данных проводился детальный анализ спектрограмм, а также проверка их схожести при исследовании параллельных временных рядов K , полученных по разным дублям образцов. В случае нечетко выраженных пиков использовались частоты, соответствующие середине расщепленных или «размазанных» пиков. Обратные частоте величины отождествлялись с астрономической цикличностью, если кратность частот, соответствующих значимым пикам, совпадала с кратностью циклов Миланковича. Например, соотношение частот 4:1 интерпретировалось как отражение циклов большого (E_2) и малого (E_1) эксцентриситетов земной орбиты, а 5:2 – как E_1 и изменения наклона земной оси относительно эклиптики (O). Совпадение кратности выделенных нами циклов с кратностью известных циклов Миланковича было главным критерием при идентификации циклов E_2 , E_1 , O (частоты, соответствующие короткопериодным циклы прецессии, длительностью ~ 25 000 лет, вероятно, находятся в области шумов). В случаях, когда соотношение частот на спектрограмме не совпадало с кратностью циклов Миланковича, данные спектрального анализа исключались из рассмотрения и не использовались при циклостратиграфическом анализе.

4.1. Берриас Центрального Крыма (разрез Алексеевка, р. Тонас)

Спектральному анализу были подвергнуты все петромагнитные характеристики, но только на спектрограмме J_{rs} обозначился четкий пик с частотой 0.1 (1/м). После осреднения в скользящем окне на спектрограмме по осредненной (с размером окна 2 м и шагом в 1 образец) кривой J_{rs} наметился еще один значимый пик с частотой 0.24-0.26 (рисунок 25). Поскольку обнаруженные частоты отличаются друг от друга, примерно, в 2.5 раза, можно предположить, что низкая из них соответствует циклу эксцентриситета земной орбиты (100 тыс. лет), а более высокая циклу изменения угла наклона земной оси к плоскости эклиптики (40 тыс. лет) (рисунок 26). В этом случае, время формирования глин

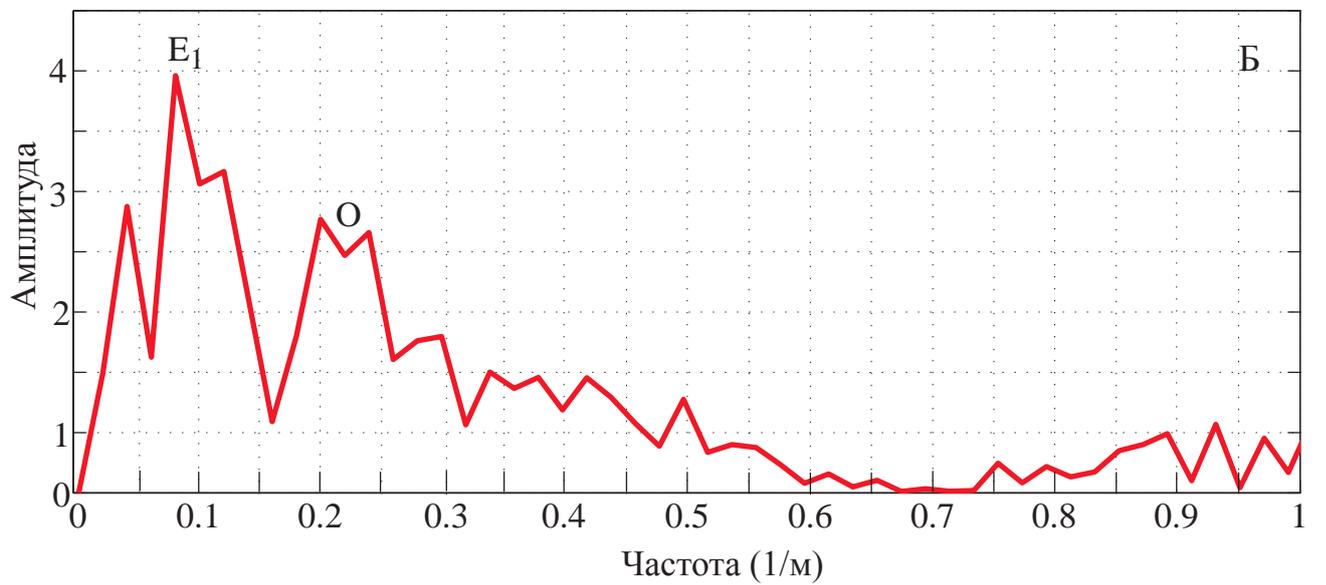
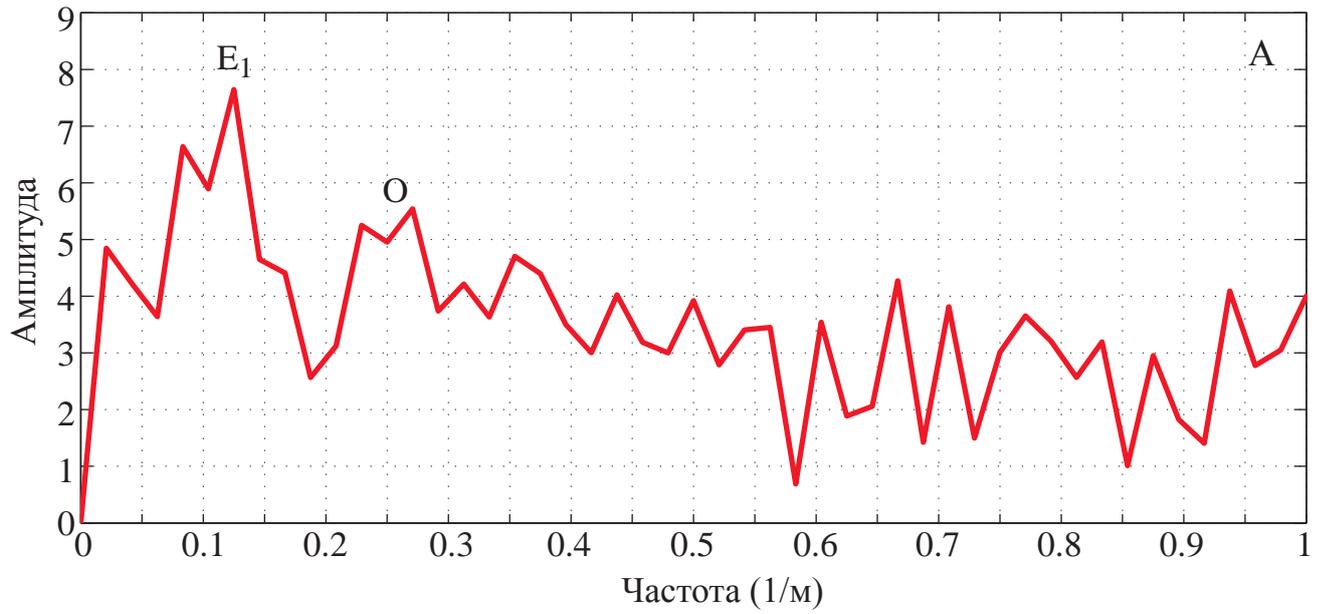


Рисунок 25. Спектральная характеристика вариаций остаточной намагниченности насыщения по ряду из измеренных значений (А) и осредненных значений параметра со скользящим окном, размером 2 м (Б).

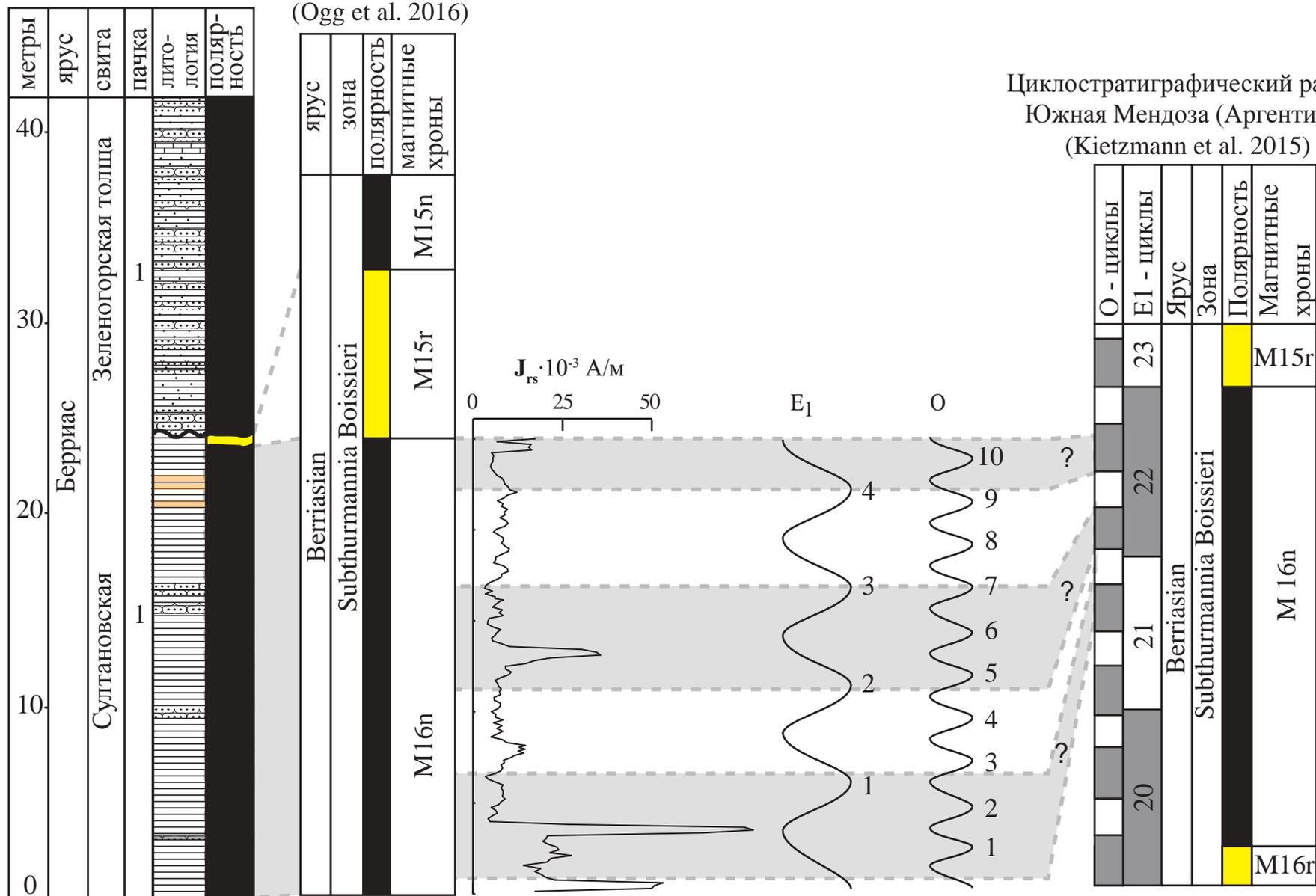


Рисунок 26. Циклостратиграфическая характеристика беррисаса-валанжина в разрезе Алексеевка (центральный Крым)

султановской свиты можно оценить, примерно, в 450 тыс. лет, что выглядит правдоподобно, учитывая продолжительность хрона M16n (600 000 лет) (Ogg, Hinnov, 2012) и заведомо не полную его запись в изученном разрезе. Согласно имеющимся циклостратиграфическим сведениям по верхней части берриаса Южной Америки (разрез Южная Мендоза, Аргентина), хрону M16n соответствует 10 циклов малого эксцентриситета (Kietzmann et al., 2015).

4.2. Турон-коньяк Нижнего Поволжья

В подразделе приведены результаты исследований вариаций петромагнитных параметров методом спектрального анализа по разрезам турона-коньяка Нижнего Поволжья.

4.2.1. Нижняя Банновка

Все полученные спектрограммы по трем дублям вертикальных рядов *Km* имеют сходный характер. Например, на спектрограмме по сглаженной (с окном 20 см) кривой K_i высокие амплитуды в интервалах частот 0.11-0.17, 0.60-0.68 (1/м), отвечают периодам 5.88-8.33, 1.47-1.67 м (Рисунок 27). Кратность частот (~ 4:1) совпадает с кратностью циклов Миланковича, соответствующих большому (~ 400 000 лет) и малому (~ 100 000 лет) циклам эксцентриситета земной орбиты (E_2 и E_1 , соответственно). Менее продолжительные циклы – наклона оси вращения Земли к эклиптике (~ 40 000 лет) и прецессии земной оси (~ 25 000 лет) надежно не выделяются, что неудивительно, учитывая неравномерную скорость осадконакопления. При проведении спектрального анализа по выборочным интервалам разреза также сохраняется тенденция к присутствию двух спектральных пиков с кратностью частот 4:1.

4.2.2. Каменный Брод

Спектральные характеристики вариаций *Km* были изучены как целиком по всему разрезу, так и по различным интервалам, характеризующим разную седиментационную обстановку. Наиболее результативным оказалось разделение разреза на две части: интервал №1 соответствующий мощности разреза 0-40 м, и интервал №2, отвечающий верхам разреза (40-58 м), где значения магнитной

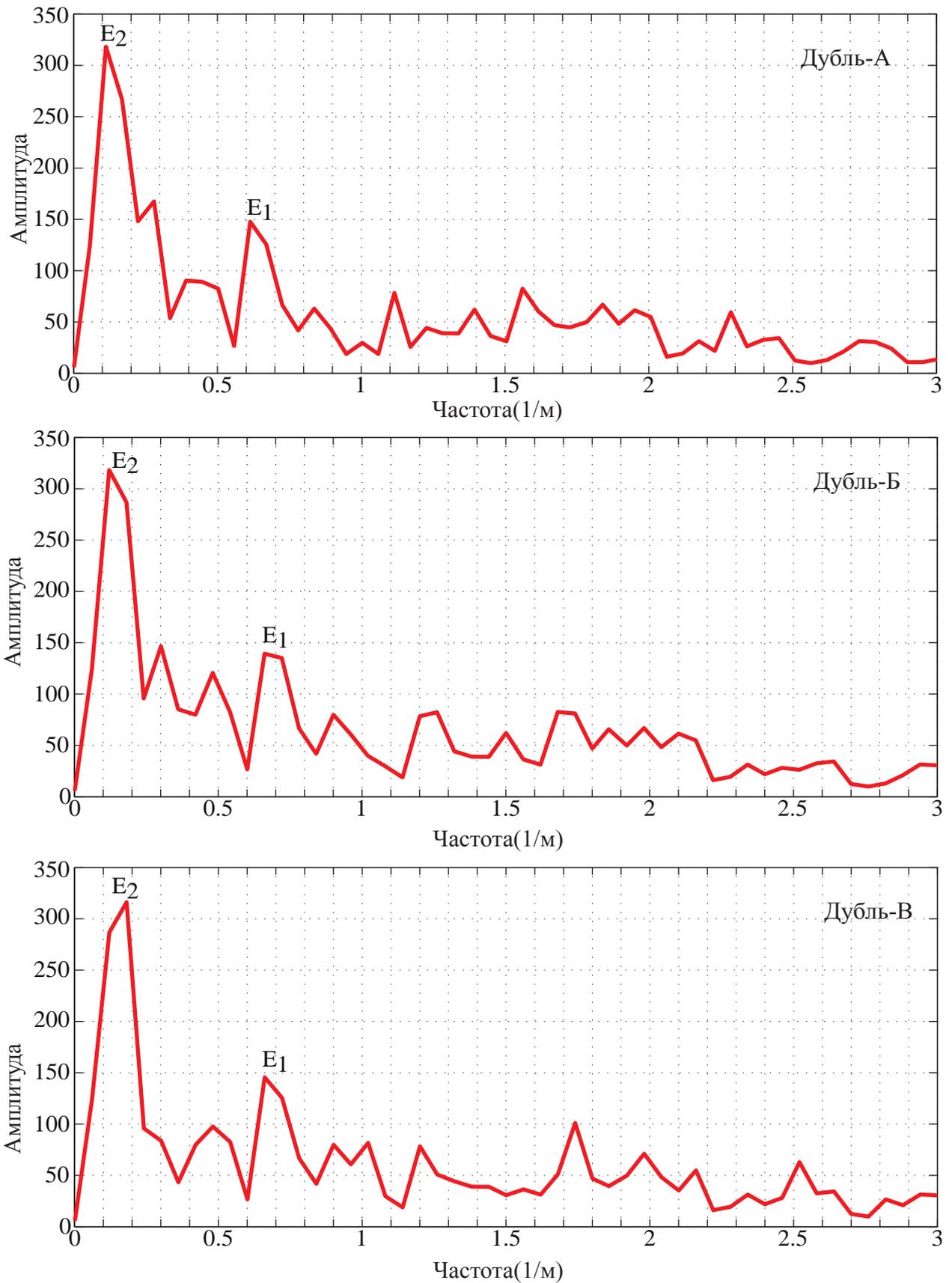


Рисунок 27. Спектральная характеристика вариаций магнитной восприимчивости по турону-коньяку в разрезе Нижняя банновка. Дубли А, Б и В - образцы, взятые с одного стратиграфического уровня

восприимчивости достигают максимума. При рассмотрении разреза целиком, качество спектра и группировка высокоамплитудных пиков значительно хуже, чем при дифференцированном изучении, что свидетельствует о различиях в условиях седиментации на интервалах №1 и 2.

Спектр вариаций Km , по первому интервалу характеризуется наличием трех высокоамплитудных областей частот: 0.07; 0.15 и 0.55 (1/м). Соотношение между частотами, выдающимися по своей амплитуде, близко к кратности периодов циклов 4:1 циклов большого (E_2) и малого (E_1) эксцентриситета земной орбиты. (рисунок 28). Менее продолжительные циклы Миланковича на этом интервале выделены не были, а природа первого спектрального пика (0.07 1/м) пока что не поддается трактовке.

Характер спектра вариаций магнитной восприимчивости по интервалам №1 и №2 имеет много общего. На спектрограмме по интервалу №2 главные частоты, характеризующиеся высокой амплитудой, локализованы в интервалах частот 0.13-0.14 и 0.57-0.59 (1/м). Соотношение между частотами, выделяющимися по большой амплитуде, отвечает кратности периодов циклов E_2 и E_1 (рисунок 28). Также как и в случае интервала №1 короткопериодичные циклы идентифицированы не были.

4.2.3. Озерки

Вариации Km были проанализированы по всему разрезу с предварительным исключением тренда параметра и удалением аномальных отскоков. В процессе изучения разреза рассматривались как неосредненные вертикальные ряды значений Km , так и последовательности, сглаженные путем осреднения в скользящем окне, размером не более 20 см.

Спектр вариаций Km показал присутствие двух надежно выделяемых частот, обладающих высоко амплитудой, которые заметны уже на спектре по неосредненной кривой Km , а после применения сглаживания, становятся более выразительными. Первый пик локализован на частоте 0.2 (1/м), а второй занимает

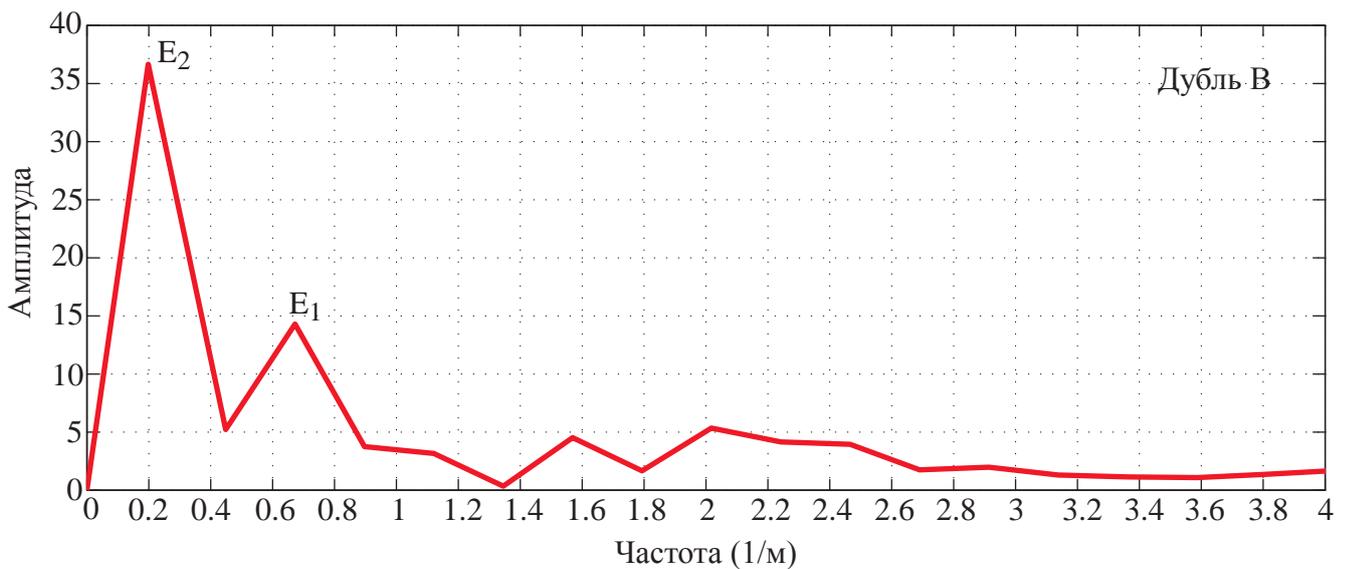
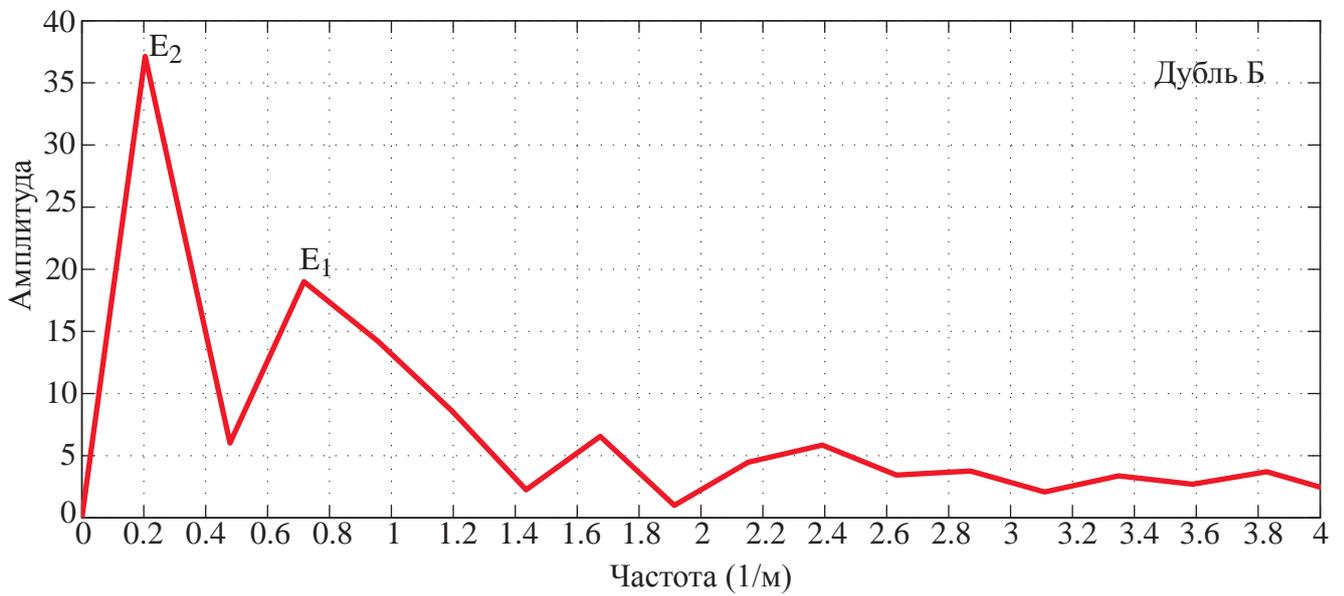
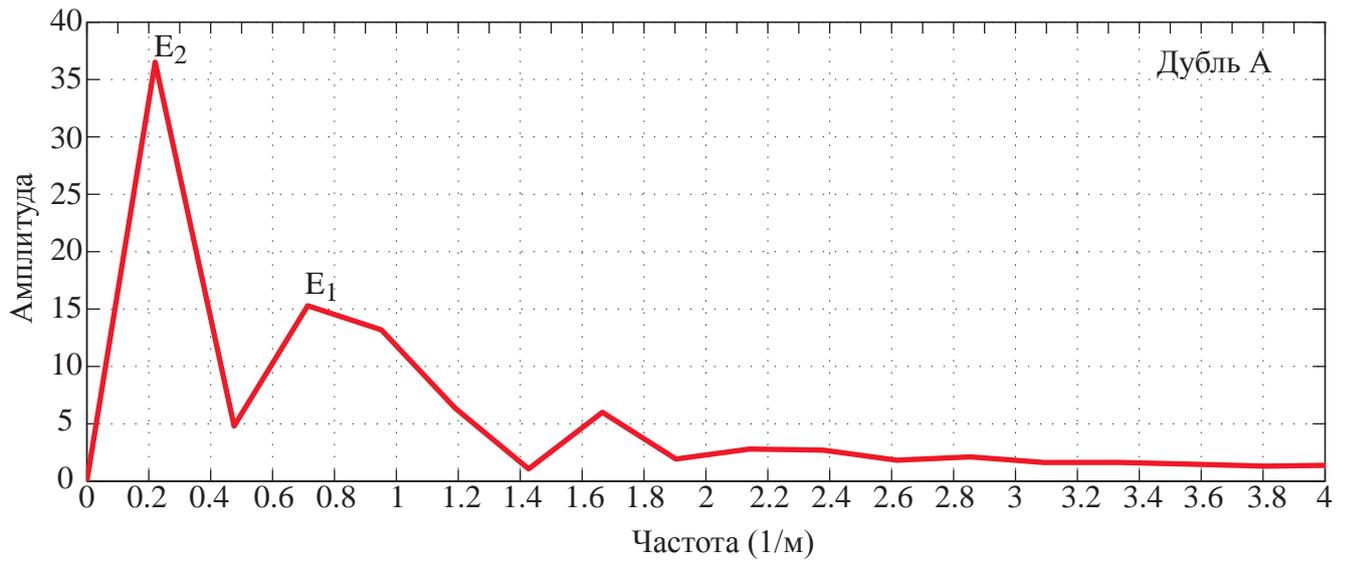


Рисунок 29. Спектральная характеристика вариаций магнитной восприимчивости по отложениям турона-коньяка в разрезе Озерки. Дубли А, Б, и В - образцы, взятые с одного стратиграфического уровня

интервал частот 0.6-0.8 (1/м). Соотношение между обозначенными частотами, близко к кратности периодов циклов E_2 и E_1 , то есть, к 1:4. Подобная картина наблюдается на спектрограммах по всем трем дублям вертикальных рядов Km .

4.3. Сантон-маастрихт Нижнего Поволжья

4.3.1. Нижняя Банновка

Разрез сантона-маастрихта был проанализирован, как целиком, так и по отдельным интервалам. Из исследуемого временного ряда Km предварительно исключались интервалы, соответствующие уровням глауконитовых песчаников, в силу их аномально высоких магнитных свойств.

В общей сложности были испробованы десятки вариантов разбиения сводной кривой Km по разрезу. Спектрограммы, полученные по различным интервалам разреза, характеризуются хорошей сходимостью, однако лучшие результаты в виде наиболее выразительных спектров были получены при рассмотрении интервала сантона-маастрихта целиком (рисунок 30). Для большинства спектрограмм, полученных по различным интервалам кремнисто-терригенной толщи, и по её полной мощности в том числе, характерны две высокоамплитудные области: на интервалах частот (0.1 - 0.15) и (0.35-0.42) (1/м). Соотношение между значениями частот, отличающихся высокой амплитудой, близко к кратности циклов большого (400 тыс. лет) и малого (100 тыс. лет) эксцентриситета, что является ключевым моментом обоснования их присутствия в разрезе.

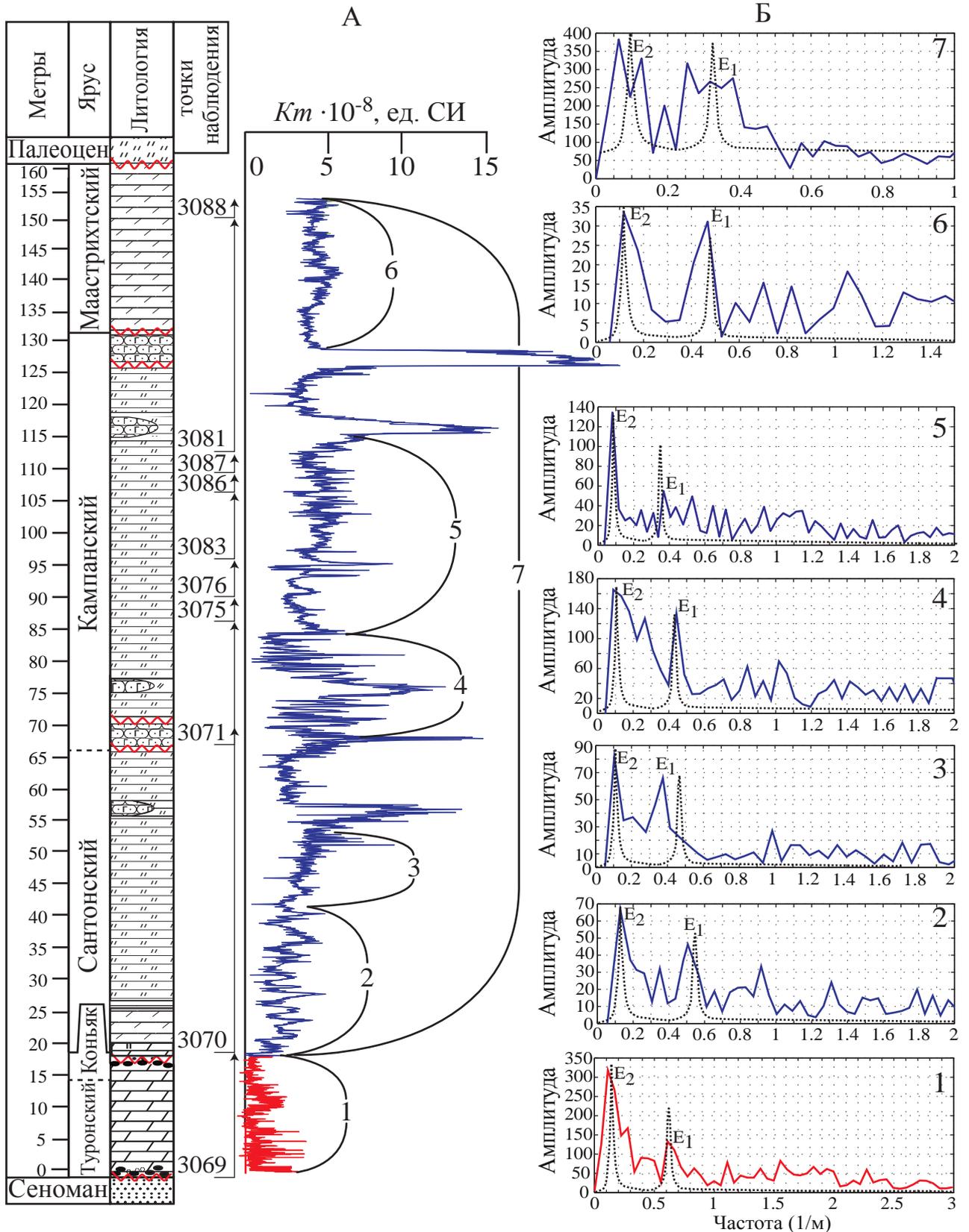


Рисунок 30. Петромагнитная (А) и спектральные характеристики (Б) разреза турона–маастрихта «Нижняя Банновка». Номера (с 1 по 7) спектрограмм (Б) соответствуют номерам интервалов разреза (А), по которым они построены. Сплошной линией показаны спектрограммы вертикальных рядов K , пунктиром – спектрограммы идеальной кривой, являющейся суммой циклов E_1 и E_2 .

4.3.2. Вольск (карьер «Большевик»)

Все спектрограммы, построенные по различным дублям кривых магнитной восприимчивости, имеют сходный характер.

Вариации Km по разрезу были избирательно проанализированы методом спектрального анализа. Нами исследовались как различные интервалы разреза, так и его полная мощность. На спектрограммах, полученных по результатам исследования интервала кампана, наибольшую спектральную амплитуду имеют частоты 0.3 (1/м) и 1.4 (1/м). Кратность периодов, соответствующих этим частотам (4:1), совпадает с кратностью циклов большого (100 тыс. лет) и малого (400 тыс. лет) эксцентриситета земной орбиты (E_1 и E_2 соответственно) (рисунок 31). Менее продолжительные циклы – наклона оси вращения Земли к эклиптике (40 тыс. лет) и прецессии земной оси (25 тыс. лет) на данном интервале не выделяются.

В целях наиболее подробного изучения интервал маастрихта был разбит на отдельные части, по каждой из которых проводился спектральный анализ вариаций Km . В ходе исследований были испробованы десятки вариантов поинтервального анализа петромагнитных вариаций по отложениям маастрихта, после чего, наиболее результативные спектрограммы были задействованы для интерпретации циклостратиграфических данных. Наиболее отчетливый Фурье-спектр был получен при разбиении маастрихтского интервала на три отдельных части: интервалы №2, 3 и 4 (рисунок 31).

Высокоамплитудные частоты, имеющие место на спектрограммах по всем трем интервалам, разнятся по причине различной скорости седиментации на исследованных интервалах. Тем не менее, во всех трех случаях соотношение между частотами, обладающими высокой спектральной амплитудой близко к соотношению 1:4, а на спектре соответствующем третьему интервалу, выделился третий заметный пик, который, судя по его соотношению с соседними пиками (1:10 и 2:5), отражает цикличность угла наклона земной оси к плоскости эклиптики (O) (рисунок 31).

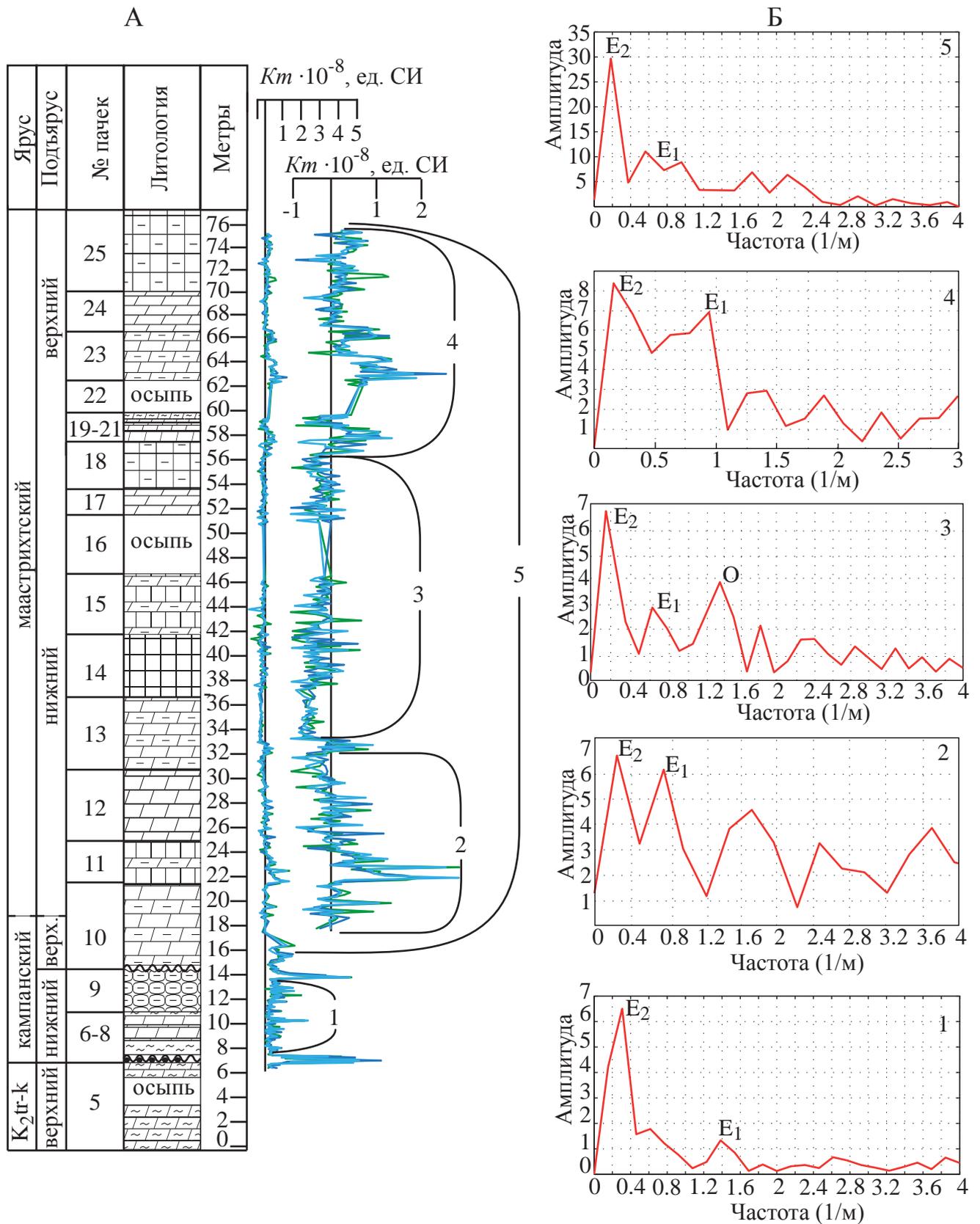


Рисунок 31. Петромагнитная (А) и спектральные характеристики (Б) разреза кампана-маастрихта «Большевик». Номера (с 1 по 5) спектрограмм (Б) соответствуют номерам интервалов разреза (А), по которым они построены.

4.4. Кампан-маастрихт Юго-Западного Крыма

В отложениях кампана-маастрихта за счет достаточно равномерной скорости осадконакопления и стабильности обстановки седиментации спектры вариаций магнитной восприимчивости имеют весьма высокое качество. Для них характерны минимальные значения шумов и весьма высокие амплитуды полезного сигнала, что было достигнуто, в частности благодаря высокой статистической базе исследований.

4.4.1. Чахмахлы

Спектр вариаций Km , полученный по отложениям кампана-маастрихта в разрезе Чахмахлы, характеризуется наличием четко обособленных интервалов с амплитудой, во много раз превосходящей помехи. Три высокоамплитудных пика, определенные на частотах 0.025; 0.08 и 0.15 (1/м) имеют кратность 1:4:10. Такое соотношение свидетельствует о присутствии, по крайней мере, трех видов цикличности Миланковича: циклов большого и малого эксцентриситета земной орбиты и циклов угла наклона земной оси к плоскости эклиптики (рисунок 32). Возможность выделения короткопериодических циклов угла наклона земной оси относительно плоскости эклиптики говорит о достаточно равномерной скорости осадконакопления, и стабильной седиментологической обстановке (Kodama, Hinnov, 2015).

4.4.2. Токма

На спектрограмме по кривой магнитной восприимчивости, соответствующей полной мощности разреза высокие амплитуды соответствуют следующим частотам: 0.025; 0.013 и 0.032. Кратность первых двух пиков близка к 1:4, а третий пик соотносится со вторым как 2:5, что позволяет идентифицировать в разрезе циклы, трех порядков: большого (E_2), малого (E_1) эксцентриситета земной орбиты и циклов угла наклона земной оси относительно плоскости эклиптики (O) (рисунок 33).

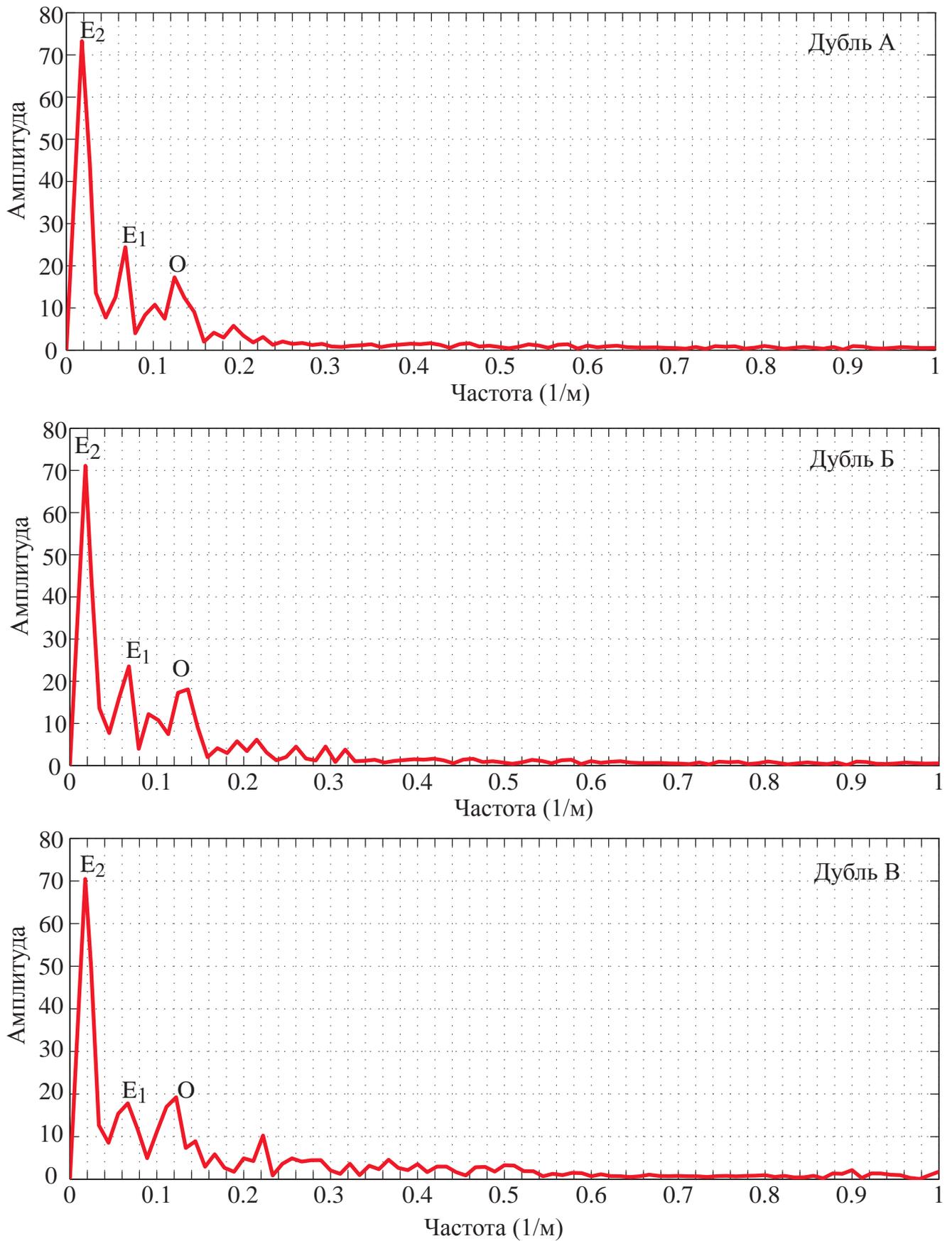


Рисунок 32. Спектральная характеристика отложений кампана-маастрихта в разрезе Чахмахлы. Дубли А, Б и В - образцы, взятые с одного стратиграфического уровня

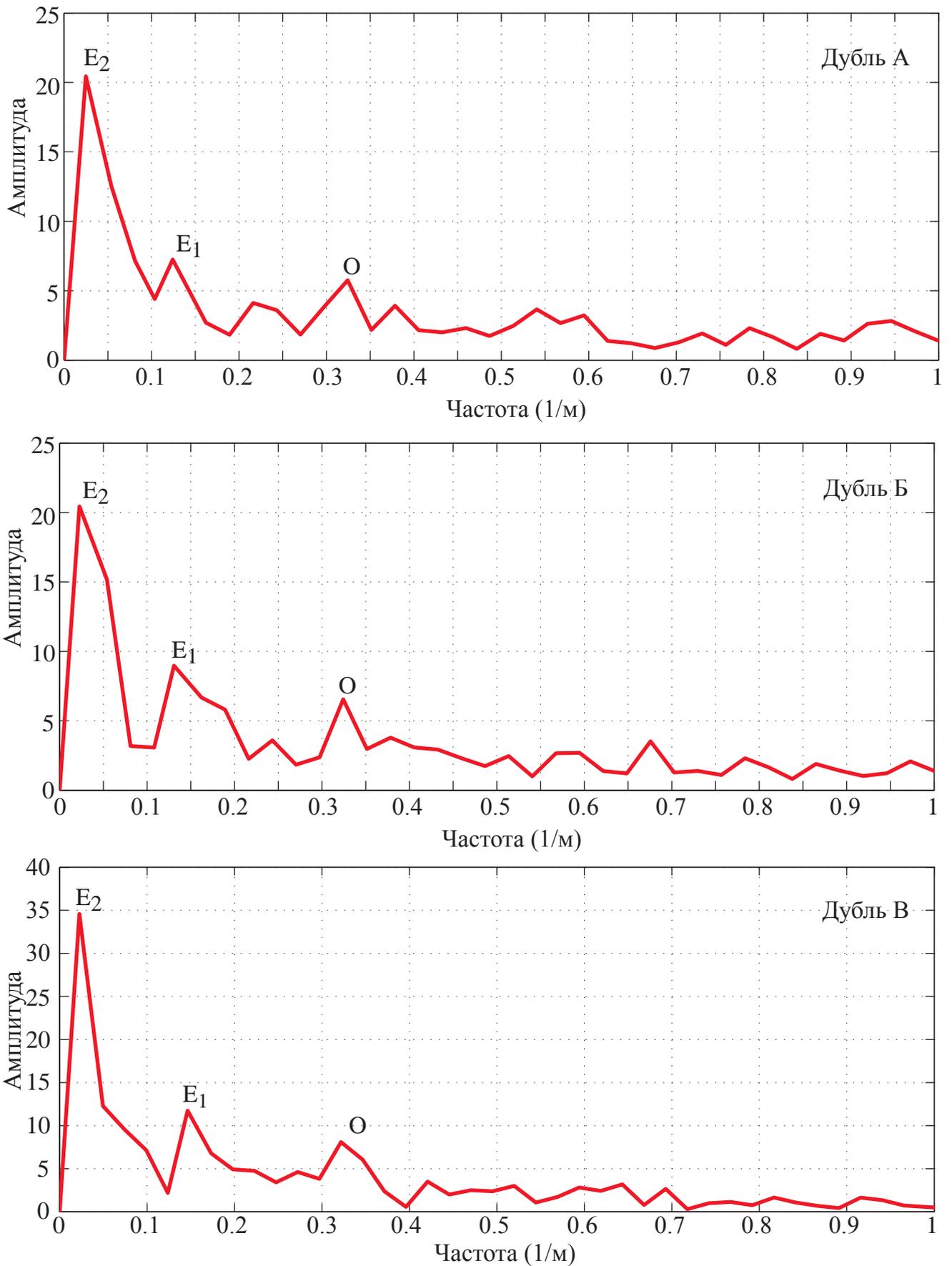


Рисунок 33. Спектральная характеристика отложений кампана-маастрихта в разрезе Токма. Дубли А, Б и В - образцы, взятые с одного стратиграфического уровня

4.5. Эоцен Актолагая

Из всех петромагнитных параметров, задействованных для Фурье-анализа, наилучшим образом себя проявили вариации J_{rs} , поскольку только их спектр показал присутствие частот с соотношением, близким к кратности циклов Миланковича. Вариации остальных, как естественных, так и искусственных параметров показали трудно интерпретируемую картину спектра. Не исключено, что плохое качество спектров по параметрам Km , J_n , Q , dK и т.д. связано с влиянием побочных носителей намагниченности, которые в силу своих аномальных магнитных свойств вносят искажения в седиментационные циклиты.

Перед вычислением спектра из вертикального ряда значений J_{rs} предварительно исключались аномально высокие отскоки, имеющие место, главным образом, в пачках битуминозных глин и глинистых сланцев (пачки 2-4 алашешенской свиты).

На спектрограмме, полученной по вертикальному ряду значений J_{rs} , на частотах 0.11 и 0.26 (1/м) были выделены два высокоамплитудных пика, характеризующихся соотношением частот близким к 1:2.5. Исходя из кратности периодов (2:5), следует заключить, что в разрезе эоцена присутствуют циклы малого эксцентриситета (E_1) и циклы угла наклона земной оси к плоскости эклиптики (O) (рисунок 34).

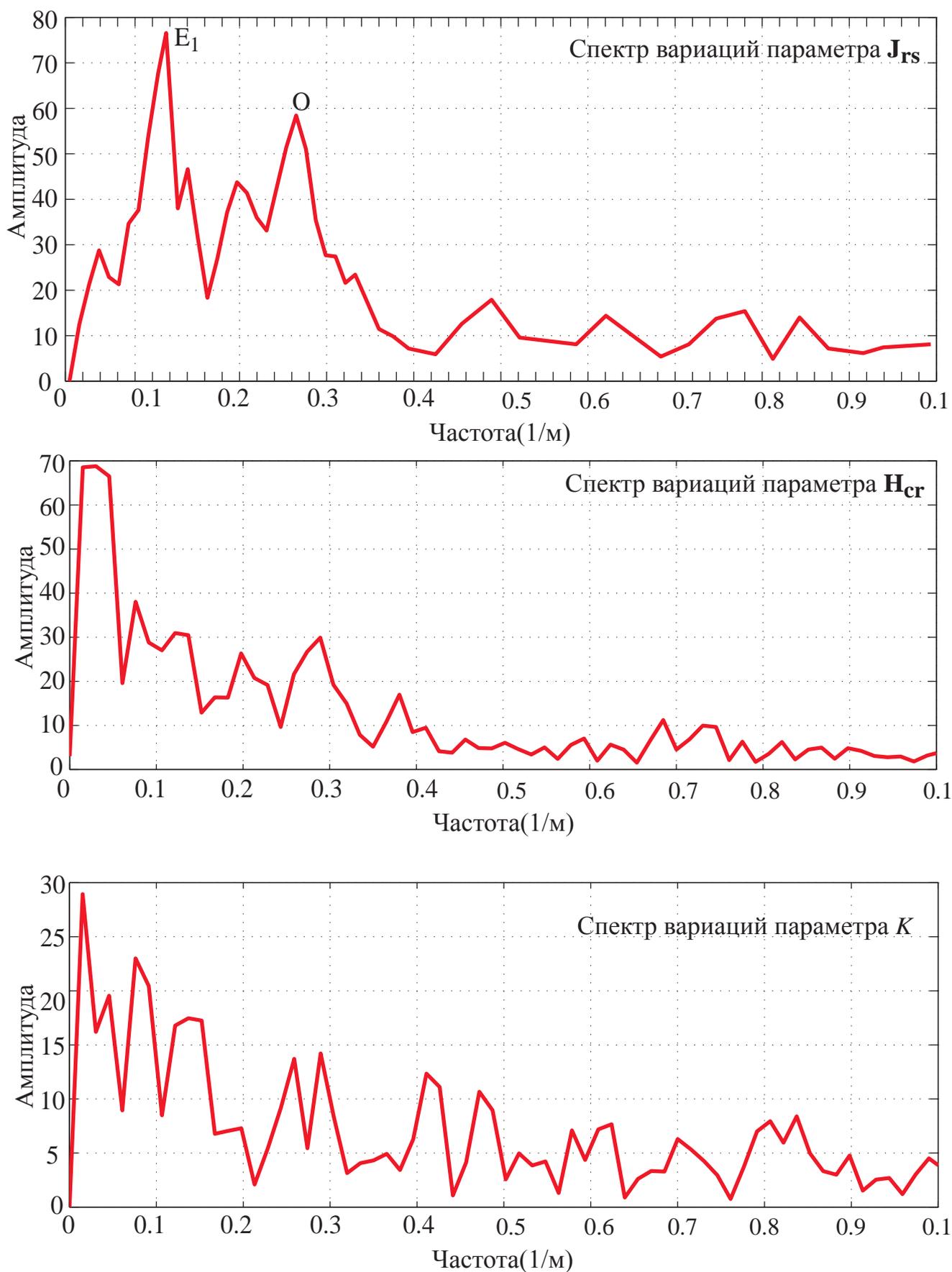


Рисунок 34. Спектральная характеристика вариаций петромагнитных параметров отложений Эоцена в разрезе Плато Актолагай

Глава 5. КОМПЛЕКСНАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАНЫХ О МАГНЕТИЗМЕ ВЕРХНЕГО МЕЛА И ПАЛЕОГЕНА РУССКОЙ ПЛИТЫ И КРЫМА

В настоящей главе приведены результаты расчетов скоростей формирования отложений, полученных путем циклостратиграфического анализа, по всем изученным разрезам.

Кроме того, в разрезах верхнего мела Поволжья предпринята попытка идентификации петромагнитных ритмов с известными секвенциями (TS-creator), базируясь на модели, согласно которой вариации магнитной восприимчивости контролируются изменением уровня моря (рисунок 3), и принципах геологической интерпретации петромагнитных данных (Гужиков, Молостовский, 1995 и др.). С целью дополнительного обоснования правомерности использования такой модели для выделения секвенций нами проведен анализ имеющихся палеогеографических данных по верхнему мелу Нижнего Поволжья. Благодаря комплексному циклостратиграфическому и секвентному подходу, в разрезе Нижняя Банновка удалось обосновать преимущественно туронский возраст вольской свиты, относимой ранее к коньякскому ярусу, выявить в ряде разрезов перерывы в осадконакоплении, оценить длительность, как впервые установленных, так и известных перерывов.

Исключение среди разрезов верхнего мела Нижнего Поволжья составляет разрез «Большевик» (г. Вольск), представленный наиболее чистыми карбонатными разностями (мелоподобными мергелями), к формированию магнитных свойств которых более применима модель, основанная на разубоживании аллотигенного материала в карбонатной матрице (рисунок 4). Исходя из этой модели, нами разработан и предложен новый метод оценки скоростей формирования карбонатных отложений по магнитной восприимчивости.

В разрезе эоцена Актолагая нами также для оценки длительности крупных перерывов в осадконакоплении привлечены результаты комплексного

циклостратиграфического и секвентного анализа. Выделение секвенций в этом разрезе проведено ранее, путем анализа седиментологических, палеонтологических и петромагнитных данных (Барабошкин и др., 2015), и в дополнительном обосновании не нуждается.

5.1. Верхний мел Нижнего Поволжья

5.1.1. Палеогеографическая обстановка на территории Нижнего Поволжья в позднемеловую эпоху

Сведения о палеогеографической обстановке на территории Нижнего Поволжья базируются на анализе атласов палеогеографических карт СССР (1961), «Peri-thetys palaeogeographical atlas» (2000), материалов диссертаций А.Н. Бондаренко (1990), Л.Ф. Копаевич (2011), работ А.Г. Олферьева и др. (2004, 2007, 2008, 2009, 2014), А.Ю. Гужикова и др. (2017).

В палеогеографическом плане на протяжении туронского века все изученные отложения Русской плиты формировались в пределах глубоководной части шельфа (рисунок 35).

В коньяке территория исследований испытала всеобщую регрессию и, тем самым, перешла к мелководной области шельфа. Также коньякский этап развития характеризуется активизацией источников сноса с северной и западной континентальной области (рисунок 36).

Преимущественно мелководный режим сохранился в сантоне. Согласно более детальным данным по территории Поволжья (Бондаренко 1990) юг Саратовского Правобережья (бассейн р. Иловля и частично бассейн р. Медведица) находился в более глубоководной шельфовой зоне, а в центральной и северной части Саратовской области (бассейн р. Терешка) господствовал лагунный режим. Терригенный материал по-прежнему поступал преимущественно с севера и северо-запада (рисунок 37).

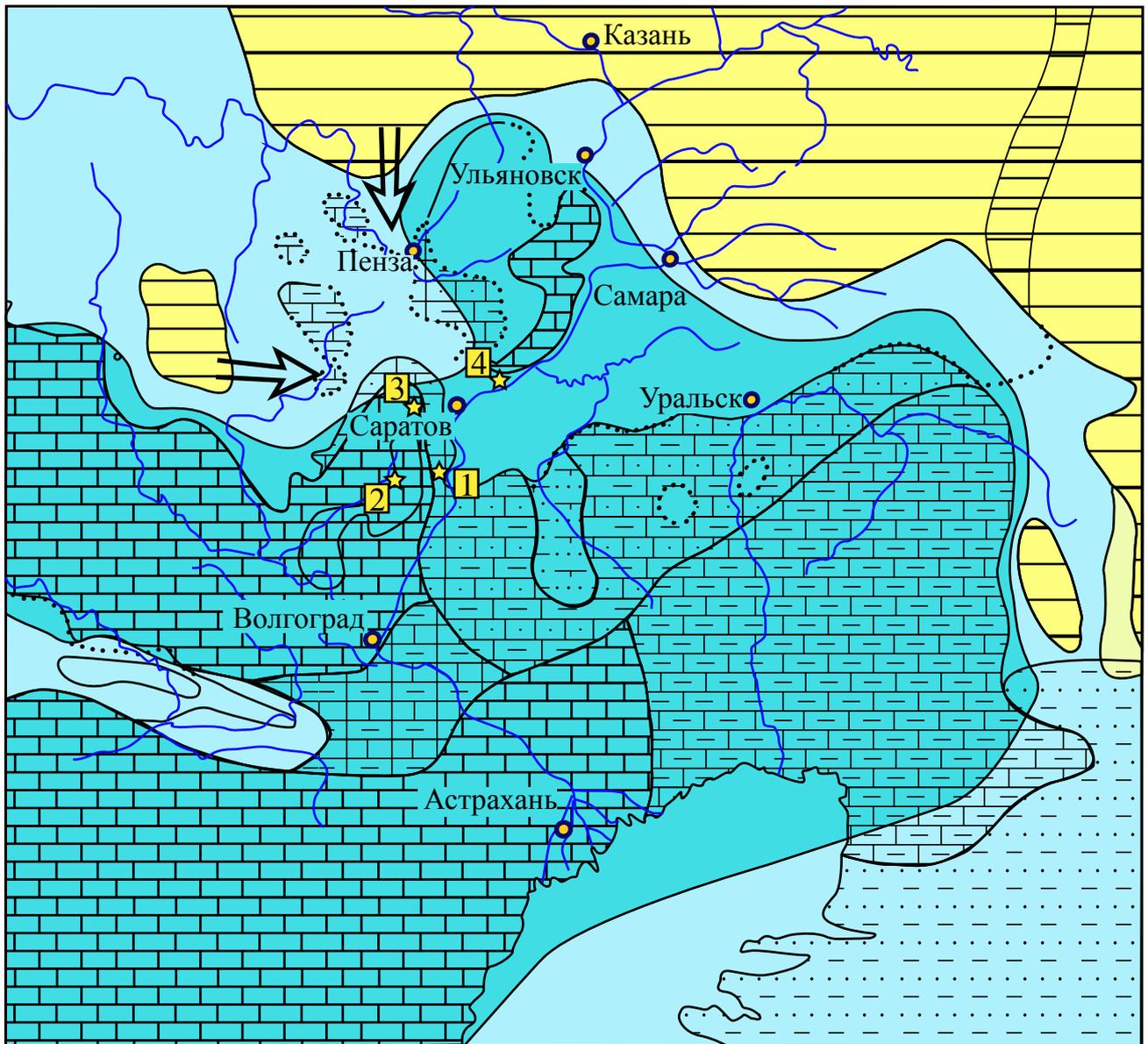


Рисунок 35. Палеогеографическая схема юга Русской плиты для туронского века.

1 - разрез “Нижняя Банновка”; 2 - разрез “Каменный Брод”

3 - разрез “Озерки”, 4 - разрез “Большевик”

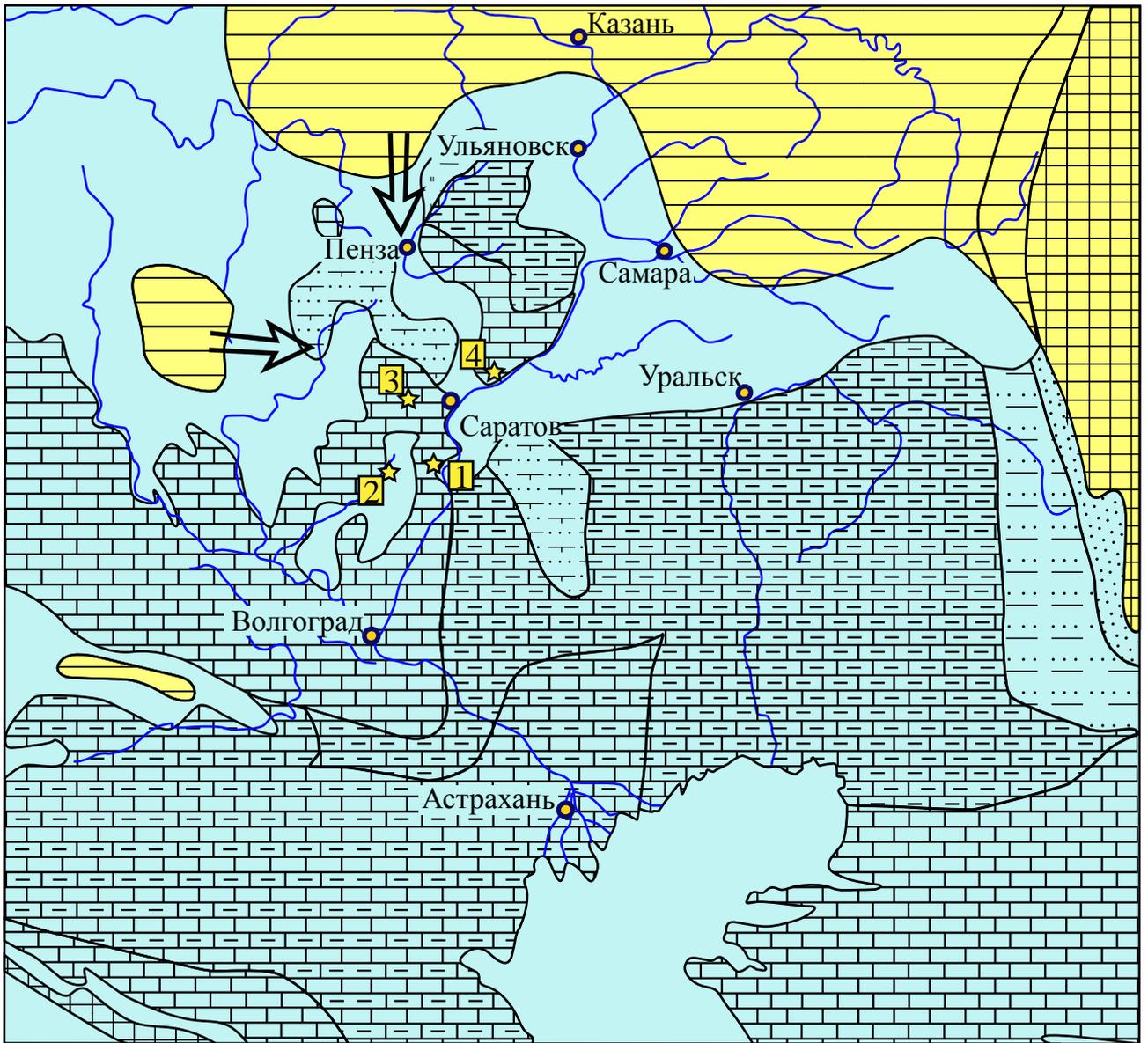


Рисунок 36. Палеогеографическая схема юга Русской плиты для коньякского века.

1 - разрез “Нижняя Банновка”; 2 - разрез “Каменный Брод”; 3 - разрез “Озерки”; 4 - разрез “Большевик”

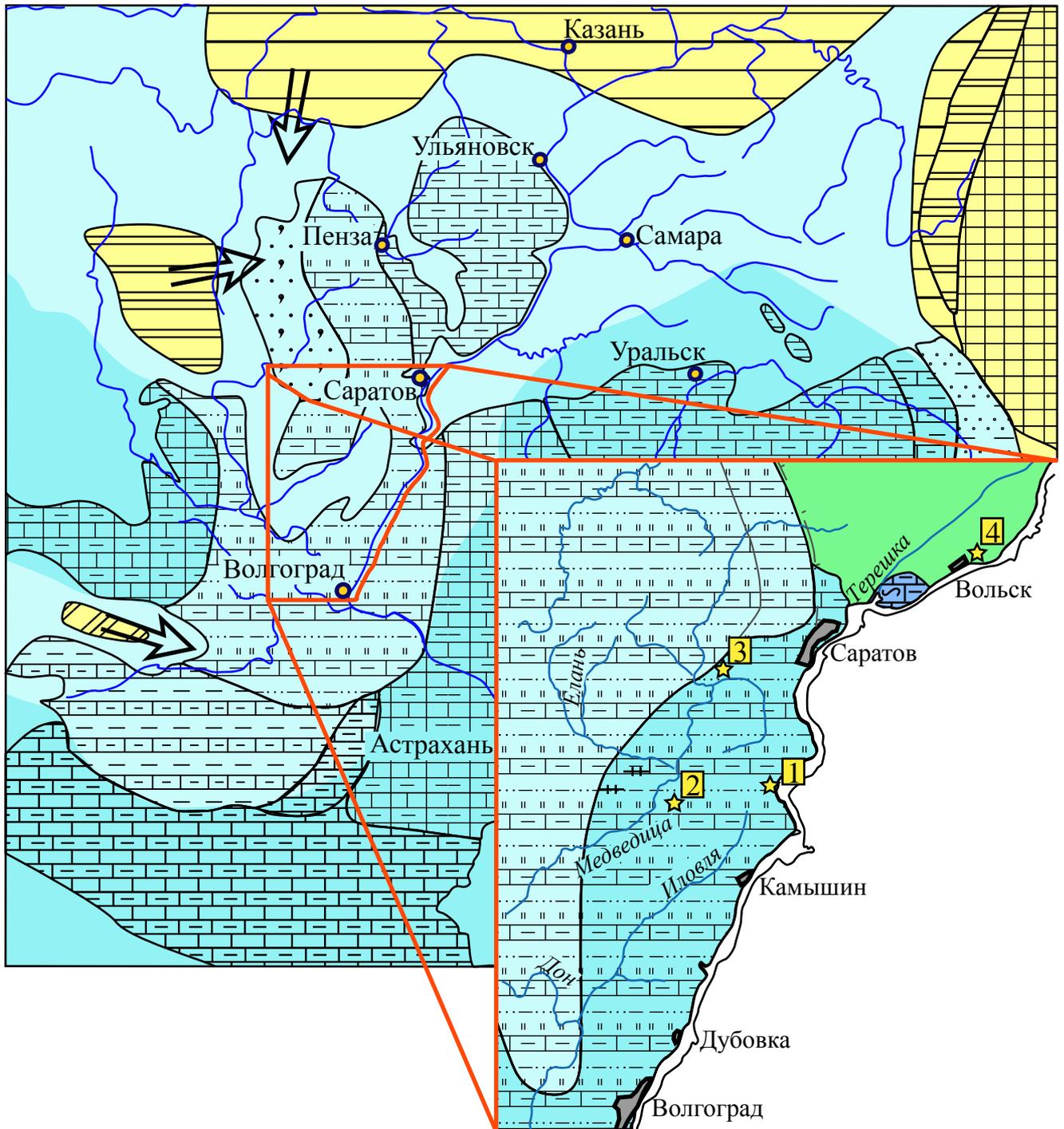


Рисунок 37. Палеогеографическая схема юга Русской плиты для сантонского века
 1 - разрез “Нижняя Банновка”; 2 - разрез “Каменный Брод”; 3 - разрез “Озерки”;
 4 - разрез “Большевик”

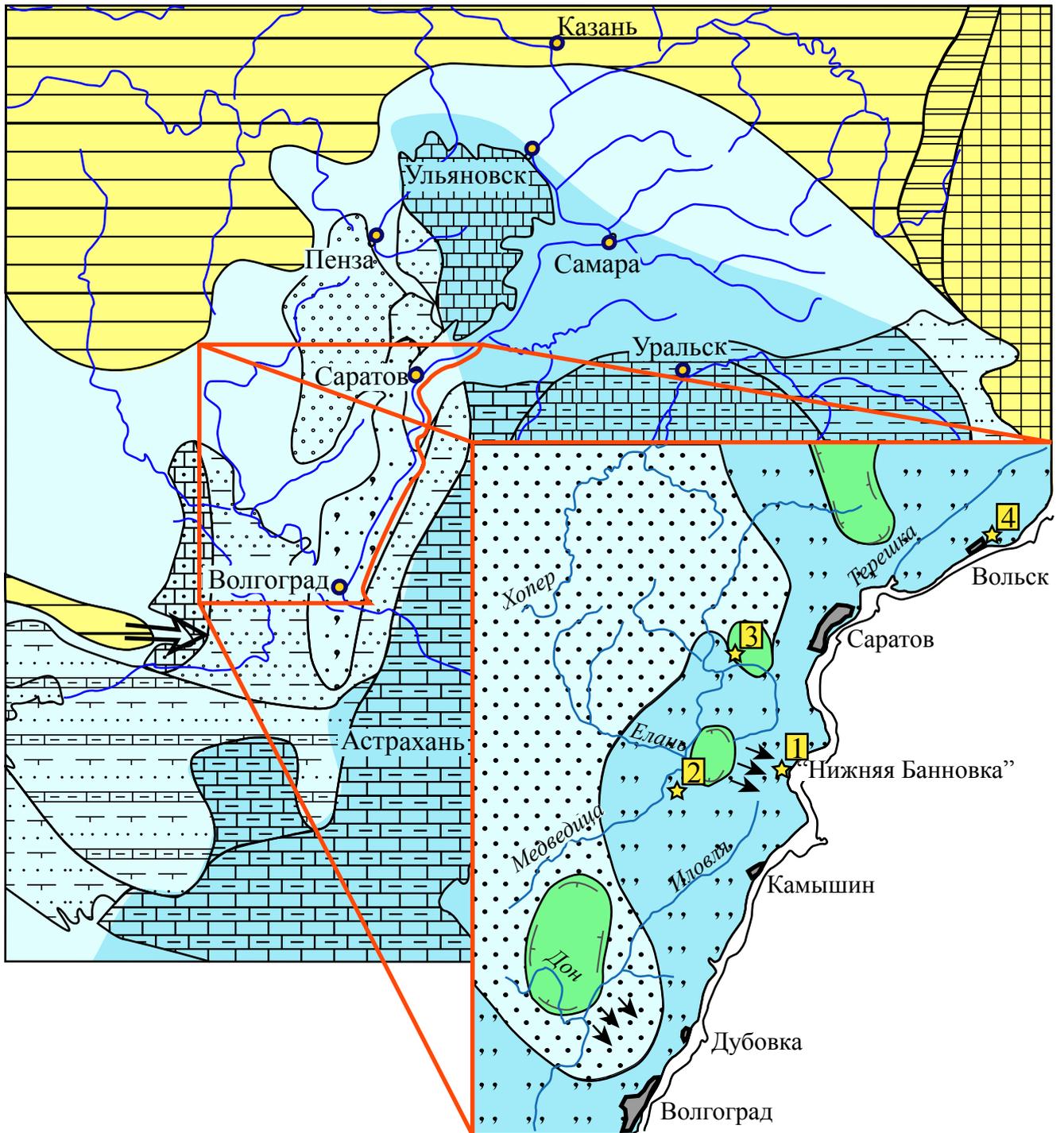


Рисунок 38. Палеогеографическая схема юга Русской плиты для раннего кампана
 1 - разрез “Нижняя Банновка”; 2 - разрез “Каменный Брод”; 3 - разрез “Озерки”;
 4 - разрез “Большевик”

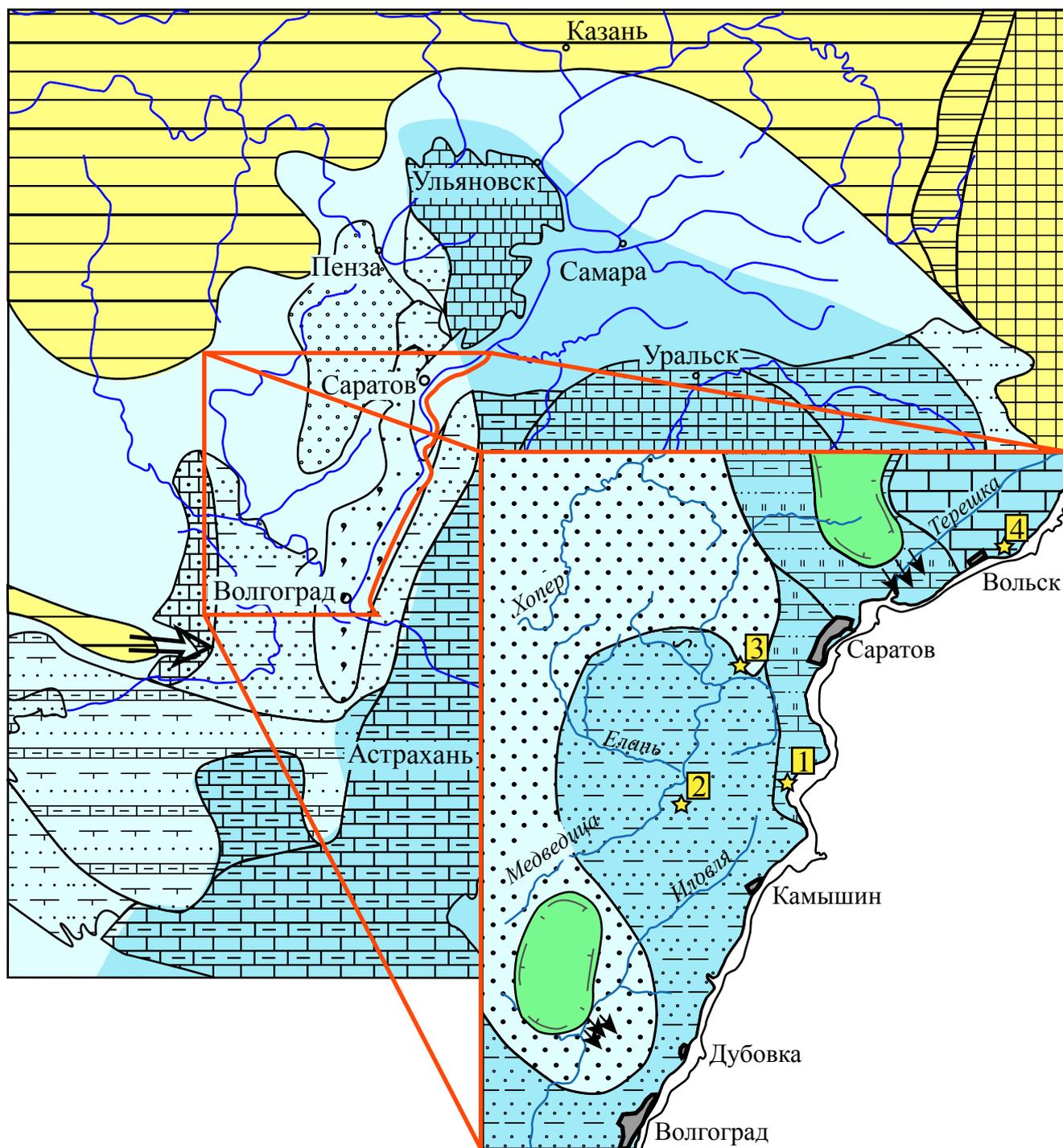


Рисунок 39. Палеогеографическая схема юга Русской плиты для позднего кампана
 1 - разрез “Нижняя Банновка”; 2 - разрез “Каменный Брод”; 3 - разрез “Озерки”;
 4 - разрез “Большевик”

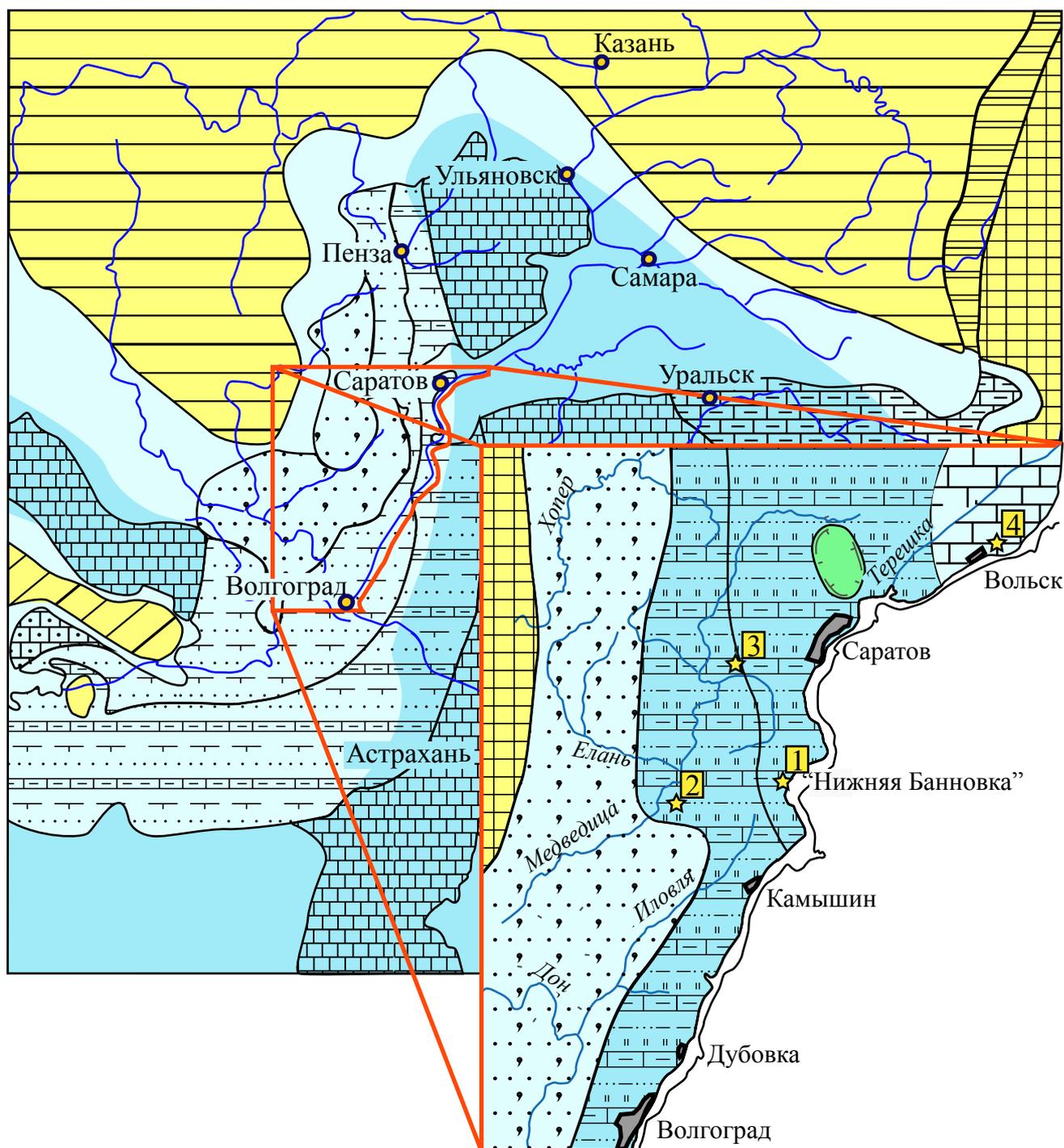


Рисунок 40. Палеогеографическая схема юга Русской плиты для маастрихтского века

1 - разрез “Нижняя Банновка”; 2 - разрез “Каменный Брод”; 3 - разрез “Озерки”;
4 - разрез “Большевик”

В раннекампанское время все саратовское правобережье оказывается вовлеченным в трансгрессию, на фоне которой продолжают развиваться локальные прибрежно-морские участки. Согласно Бондаренко (1990), характерным для этого этапа является накопление песчанистого глауконитового материала (рисунок 38).

В позднекампанское время палеогеографическая зональность не претерпела значительных изменений, тогда как тип формирующихся отложений сменился на значительной части территории на преимущественно кремнисто-глинистый (рисунок 39).

На рубеже кампанского и маастрихтского веков имело место глобальное падение уровня океана, связанное с похолоданием в конце кампана. Во время последовавшей затем тепловодной маастрихтской трансгрессии море не затронуло западную часть территории Саратовского и Волгоградского Правобережья, которая была источником терригенного сноса палеобассейн. На большей части Саратовского Правобережья формировались в это время карбонатные, в разной степени алевритистые и песчанистые глины. На севере Саратовского Правобережья (в Хвалынской впадине), удаленной от источников сноса продолжалось формирование мелоподобных известняков и писчего мела (рисунок 40).

5.1.2. Турон-коньяк Нижнего Поволжья

5.1.2.1. Нижняя Банновка

По результатам спектрального анализа, изложенным в главе 4 (рисунок 27), следует заключить, что изученные породы образовались за период, соответствующий, примерно, трем циклам большого эксцентриситета земной орбиты – E_2 (точнее, за период от $2.7 \cdot E_2$ до $3.1 \cdot E_2$), то есть 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

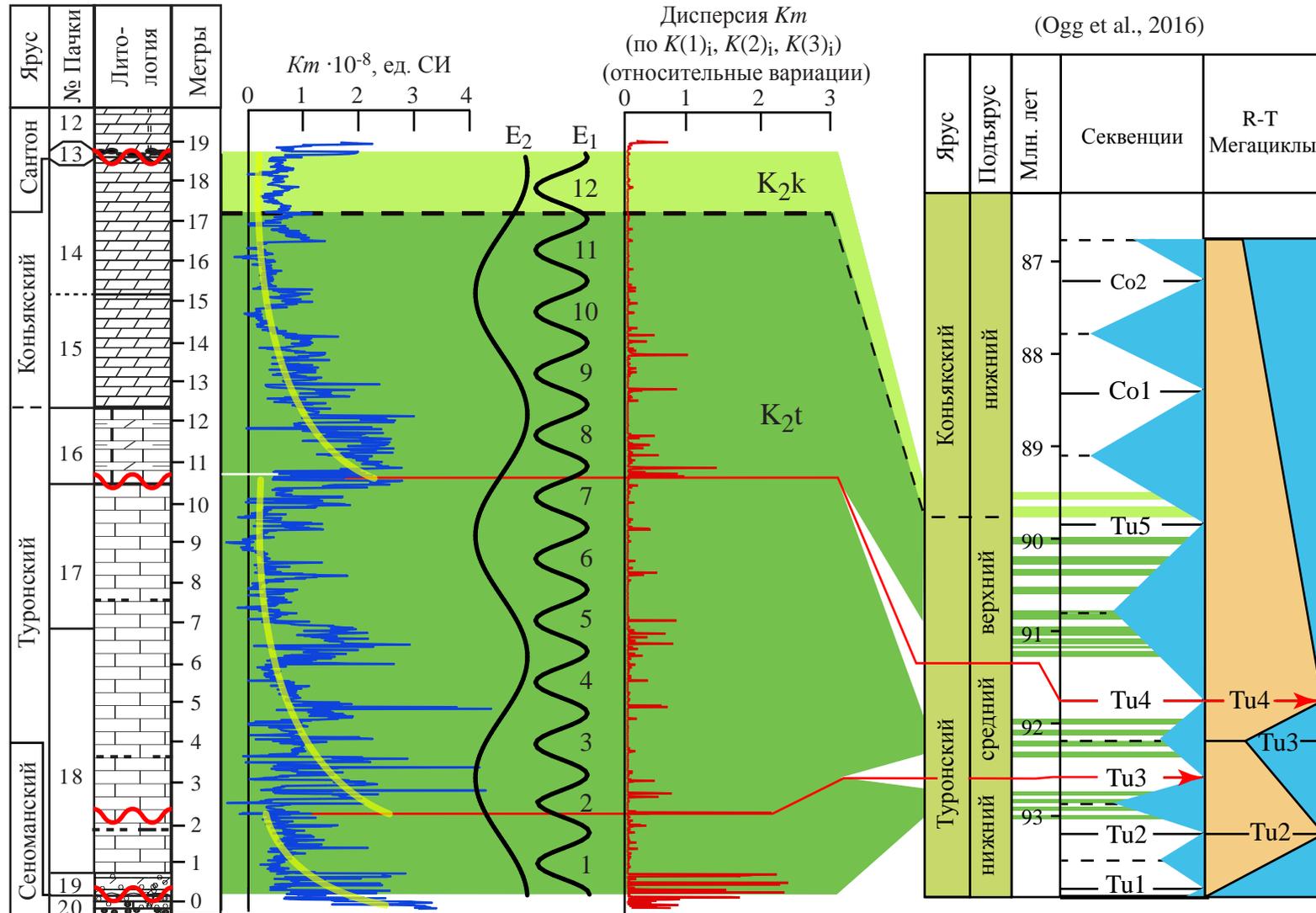


Рисунок 41. Петромагнитная характеристика разреза турона-коньяка «Нижняя Банновка», результаты сопоставления петромагнитной ритмичности с эвстатическими колебаниями и секвенциями, оценка продолжительности петромагнитных ритмов (аналогов секвенций) и перерывов в осадконакоплении с помощью установленных в разрезе циклов большого (E_2) и малого (E_1) эксцентриситета и геохронологической шкалы (Ogg et al., 2016; TS - creator v7.3).

скорость седиментации (0.735 см/тыс. лет), полученную в результате циклостратиграфического анализа этих же отложений Р.Р. Габдуллиным (2007).

В карбонатных отложениях значения магнитной восприимчивости определяются, в основном, содержанием в них аллотигенного пелитового материала, поступавшего, согласно имеющимся палеогеографическим сведениям с северной и западной суши.

Повышенные величины магнитной восприимчивости фиксируют обогащение осадка терригенными пара- и ферромагнитными частицами, происходящее в условиях близкой суши (Молостовский, Храмов, 1997 и др.). На графике Km намечаются три двучленных ритма, характеризующиеся в нижних частях относительно высокими значениями параметра, а в верхних - низкими (рисунок 41), которые можно сопоставить с известными секвенциями **Tu2**, **Tu3** и **Tu4** (TS-creator v7.3), исходя из представлений о среднетуронском–раннеконьякском возрасте отложений (Габдуллин, 2007; Найдин, 1995). Сильнопесчанистые мергели низов пачки 19, мергели пачек 18 и 16, отмеченные магнитной восприимчивостью от 2 до $4 \cdot 10^{-8}$ ед. СИ, слагают нижние части секвенций, образовавшиеся на начальных стадиях развития трансгрессий, а слабомагнитные наиболее чистые карбонатные разности ($Km < 1-2 \cdot 10^{-8}$ ед. СИ) отвечают высоким стояниям уровня моря (Суринский и др. 2016). Для того, чтобы время формирования секвенций, слагающих разрез, не превышало ~ 1.2 млн. лет, необходимо допустить, что нижним границам секвенций соответствуют перерывы в осадконакоплении, связанные с глобальными эвстатическими падениями (рисунок 41).

Концентрация терригенного материала наиболее неравномерна в интервалах, формировавшихся в мелководных условиях и на поверхностях размыва. Поэтому на графике внутрипластовой дисперсии (рассчитанной на каждом уровне по трем разным образцам), уровни, соответствующие наиболее крупным перерывам в осадконакоплении и совпадающие с подошвами секвенций, проявляются максимально отчетливо (рисунок 41). Продолжительность

ярус	подъярус	над-горизонт	горизонт	Лоны по бентосным фораминиферам	Лоны по бентосным фораминиферам	Южная часть Саратовского Поволжья
коньякский	верхний	губкинский	вольский	Megadiceramus subquadratus	Gavelinella thalmani	Вольская свита - мергель светло-серый к ремнеземистый, плитчатый, переслаивающийся с мелоподобным мергелем, содержащим обломки створок <i>Inoceramus</i> ex gr. <i>Lamarcki</i> Park., с фораминиферами зоны <i>Gavelinella Kelleri</i>
				Volvicceramus involutus		
	Volvicceramus koeneni					
	средний			Cemnoceramus crassus - Cemnoceramus demorfis	Gavelinella kelleri	
				Cemnoceramus brogniarti		
	нижний			Cemnoceramus rotundatus		
туронский	верхний	банновский	Mytiloides scupini - Mytiloides incertus	Gavelinella moniliformis	Банновская свита - мел белый писчий к подошве песчанистый с <i>Lewesicerasperamplum</i> (Mant), <i>Coniocamax intermedius</i> (Arkh.), <i>G. medvedicerus</i> Najd., <i>Inoceramus apicalis</i> Woods, <i>I. Cuvieri</i> Sow., <i>I. falcatus</i> Heinz, <i>I. Latus</i> Mant, <i>I. Lamarcki</i> Park., <i>Mytiloides striatoconcentricus</i> (Gumb.), <i>Oxytoma densicostata</i> A. Lv. <i>Monticulina nikitini</i> (Arkh.), <i>Hyotissa sibirica</i> (Glas.), <i>H. semiplicata</i> (Sob) <i>Dianchora striata</i> (Goldf), <i>Pycnodonte melovatkiensis</i> A. Iv., зубами акул с фораминиферами зоны <i>Gavelinella Moniliformis</i> и нанопланктоном зон CC11 и CC12. В основании - фосфоритовая плита	
			Mytiloides striatoconcentricus			
			Inoceramus costellatus			
	Inoceramus lamarcki					
			Inoceramus apicalis			
	средний		Mytiloides subhercynicus	Gavelinella nana		
			Mytiloides labiatus			
			Praeactinocamax plenus triangulus			
нижний						

Рисунок 42. Фрагмент субрегиональной стратиграфической схемы верхнемеловых отложений Среднего и Нижнего Поволжья (2004)

установленных перерывов, исходя из абсолютных датировок границ секвенций (TS-creator v7.3), составляет ~ 0.5-0.7 млн. лет (рисунок 41).

Предложенная нами модель согласуется с представлениями предыдущих исследователей нижнебанновского разреза (Габдуллин, 2007; Найдин, 1995) о суммарном времени формирования туронской–коньякской толщи (~ 2.5 млн. лет), но при этом позволяет выявить hiatusы, оценить их длительность и уточнить скорость формирования отложений. Следует отметить, что расчеты временных интервалов, соответствующих образованию сохранившихся в разрезе пород, и продолжительности перерывов в осадконакоплении базируются на разных исходных предположениях. В первом случае достоверность результатов зависит от надежности выделения и идентификации циклов Миланковича, а во втором, еще и от погрешностей абсолютных датировок секвенций, реально, имеющих порядок сотен тысяч лет (Ogg et al., 2016).

В разрезе Нижняя Банновка туронскому и коньякскому ярусам отвечают банновская (до 10 м) и вольская (до 10 м) свиты, соответственно (Стратиграфическая схема 2004) (рисунок 42). На подъярусную принадлежность пород имеются различные точки зрения: Р.Р. Габдуллин (Габдуллин, 2007) и Д.П. Найдин (Найдин, 1995) считают, что в разрезе присутствуют средний, верхний турон и нижний коньяк, а В.М. Харитонов с соавторами (Харитонов и др. 2003) относят отложения к нижнему–верхнему турону и нижнему–верхнему коньяку, исходя из двучленного деления обоих ярусов (рисунок 43).

Согласно результатам комплексного циклостратиграфического и секвентного анализа, банновская, и большая часть вольской свиты относятся к туронскому ярусу. К коньякскому ярусу могут быть отнесены лишь верхи вольской свиты. Это противоречит сведениям, приведенным в региональной стратиграфической схеме (2004), но близко к точке зрения, обоснованной Д.П. Найдиным (1995) и Р.Р. Габдуллиным (2007). Следует сказать, что в изученном разрезе определить границу между свитами по указанным в схеме литологическим признакам невозможно, а надежные предпосылки для обоснования положения границы турона-коньяка по палеонтологическим

Субрегиональная стратиграфическая схема верхнемеловых отложений Среднего и Нижнего Поволжья (2004)					Эволюция взглядов на стратиграфическое расчленение разреза						
ярус	подъярус	над-горизонт	горизонт	свита	литология	Милановский, 1940	Найдин, 1995	Харитонов, 2003	Габдуллин, 2007	Настоящая работа	
коньякский	верхний	Г У Б К И Н С К И Й	вольский	вольская		т у р о н с к и й	коньякский	коньякский	коньякский	КОНЬЯК	
	средний										верхний
	нижний										
туронский	верхний	Г У Б К И Н С К И Й	банновский	банновская		т у р о н с к и й	туронский	туронский	туронский	т у р о н с к и й	
	средний										ниж.
	нижний										

Рисунок 43. Эволюция взглядов на стратиграфическое расчленение разреза турона-коньяка

Нижняя Банновка

остаткам также отсутствуют. Поэтому предположение о преимущественно туронском возрасте вольской свиты в нижнебанновском разрезе не противоречит имеющимся биостратиграфическим данным. Напротив, наш вывод подтверждается, по устному сообщению И. Валашика (Варшавский университет), изучавшему разрез Нижняя Банновка осенью 2017 г., руководствуясь определениями иноцерамов.

5.1.2.2. Каменный Брод

По результатам спектрального анализа, изложенным в главе 4 (рисунок 28), следует вывод, что изученные породы образовались за период, соответствующий, примерно, 6 циклам большого эксцентриситета земной орбиты – E_2 (точнее, за период от $5.8 \cdot E_2$ до $6.3 \cdot E_2$), то есть за ~ 2.4 млн. лет. Средний темп формирования туронской–коньякской толщи, мощностью 58 м, получается при этом равным ~ 2.5 см/тыс. лет, что в 1.6 раз больше, чем скорость седиментации в разрезе Нижняя Банновка (рисунок 44).

5.1.2.3. Озерки

По результатам спектрального анализа, изложенным в главе 4 (рисунок 26), следует вывод, что изученные породы образовались за период, соответствующий, примерно, 1 циклу большого эксцентриситета земной орбиты – E_2 , то есть за ~ 400 тыс. лет (рисунок 45). Средний темп формирования изученного интервала туронской–коньякской толщи, мощностью 5.5 м, получается при этом равным ~ 1.4 см/тыс. лет, что почти полностью соотносится со скоростью осадконакопления в Нижней Банновке (1.5 см/тыс. лет), однако, в 1.7 раз меньше, темпов седиментации в разрезе Каменный Брод.

Разрез Озерки отчетливо дифференцируется как минимум на два петромагнитных интервала: первый (0-2.7 м) характеризуется положительным трендом Kt , а второй интервал (2.7-5.1 м) представляет собой максимум параметра. Принимая тренды значений Kt за результат постепенного увеличения (уменьшения) доли терригенного пара-ферромагнитного материала в карбонатной матрице как следствие трансгрессий (регрессий) морского бассейна, в разрезе

Разрез «Каменный Брод»

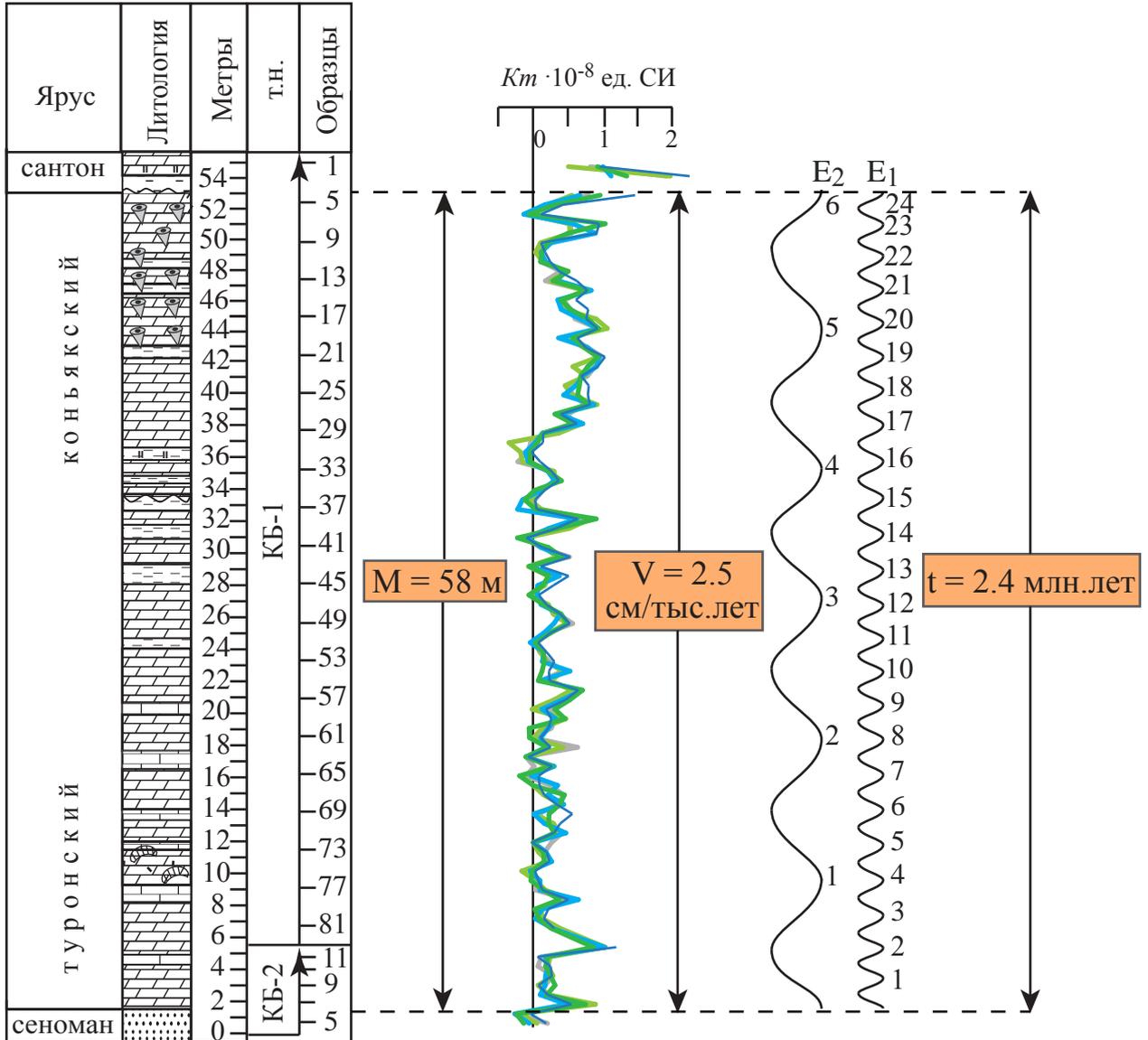


Рисунок 44. Циклостратиграфическая характеристика разреза турона-коньяка Каменный брод

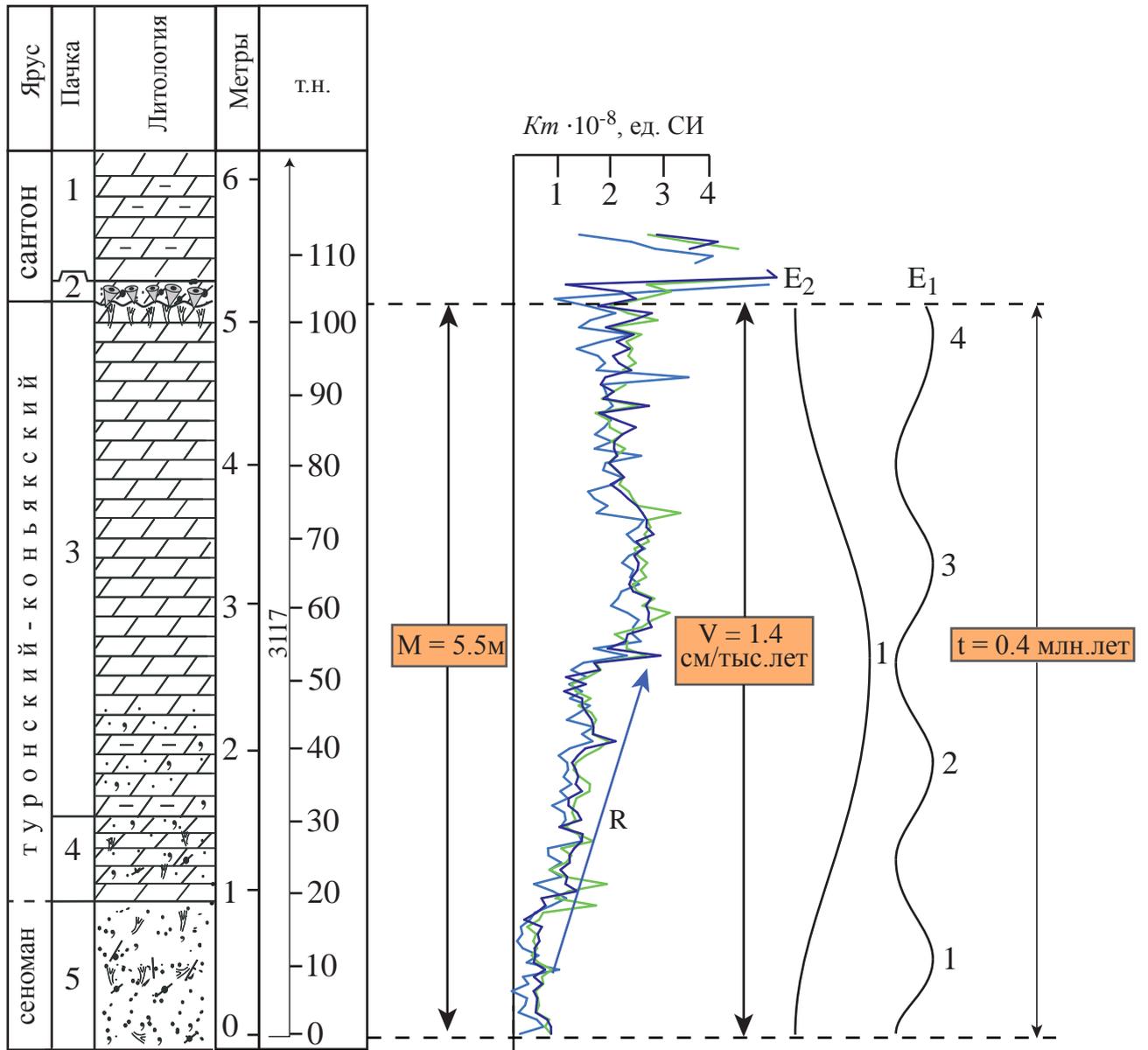


Рисунок 45. Циклостратиграфическая характеристика разреза турона-коньяка Озерки

можно определить одну регрессивную эпоху, соответствующую первому петромагнитному интервалу (рисунок 45).

5.1.3. Сантон-маастрихт Нижнего Поволжья

5.1.3.1. Нижняя Банновка

Исходя из результатов интерпретации спектральных характеристик разреза, следует вывод, что сантону–маастрихту соответствуют одиннадцать с четвертью циклов большого эксцентриситета земной орбиты (рисунок 46), то есть ~ 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 (Найдин, 1995), 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 (Ogg et al. 2016)), но, в любом случае, наши расчеты свидетельствуют о длительности накопления сантонских–маастрихтских отложений, примерно, в три раза меньшей, чем следует из работы (Найдин, 1995).

Мы считаем, что оценки временных промежутков, соответствующих формированию верхнемеловых пород, полученные Д.П. Найдиным (Найдин, 1995) и Р.Р. Габдуллиным (Габдуллин 2007) завышены из-за неучета ряда перерывов в осадконакоплении.

Мы попытались установить положения плоскостей размыва в разрезе путем сопоставления графика магнитной восприимчивости с секвенс-стратиграфической (эвстатической) кривой (рисунок 47), исходя из того, что повышенные величины K фиксируют обогащение осадка терригенными пара- и ферромагнитными частицами, происходящее в условиях близкой суши (Гужиков 2013, Guzhikov, Molostovskiy 1999).

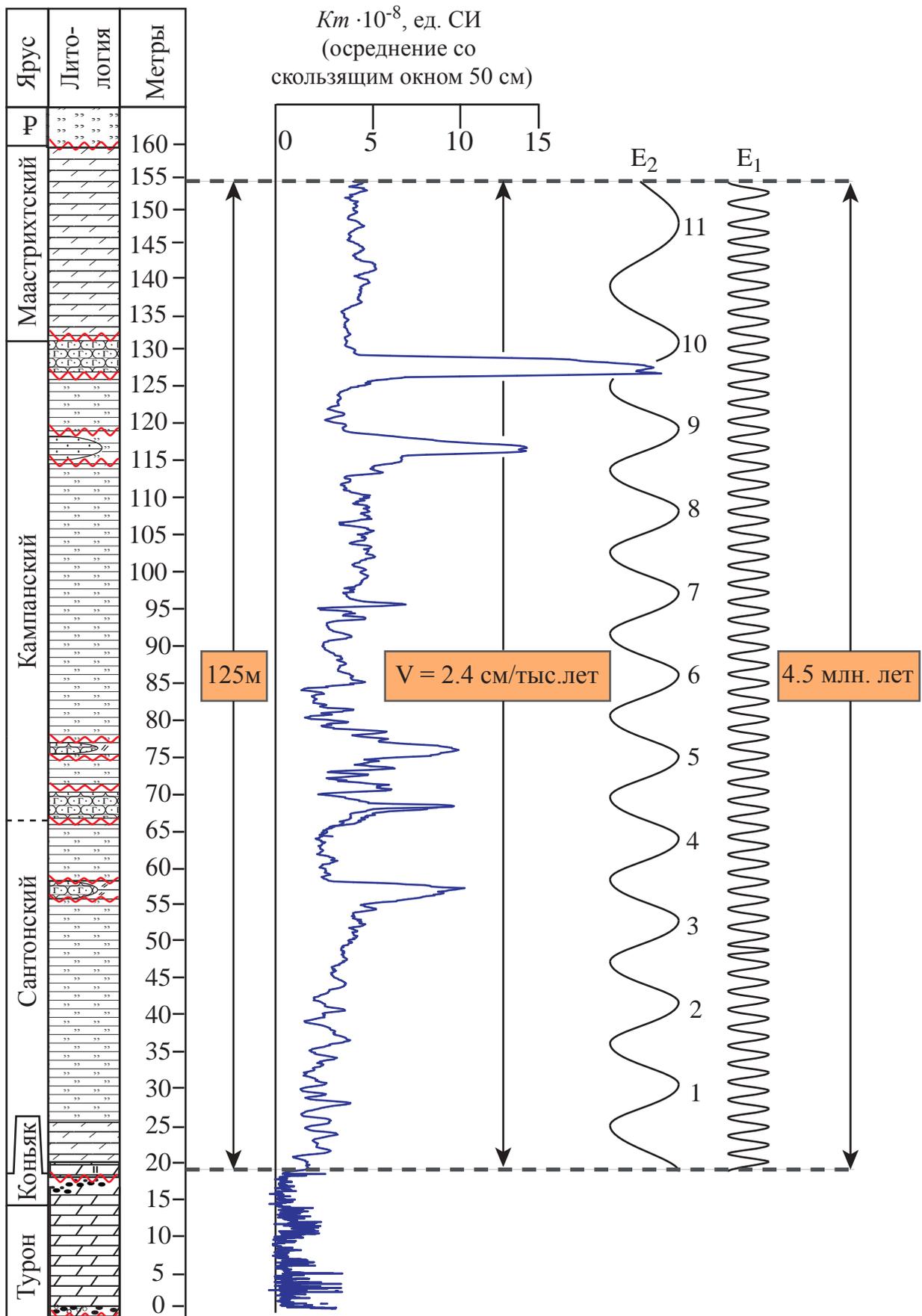


Рисунок 46. Циклостратиграфическая характеристика разреза сантона-маастрихта Нижняя Банновка

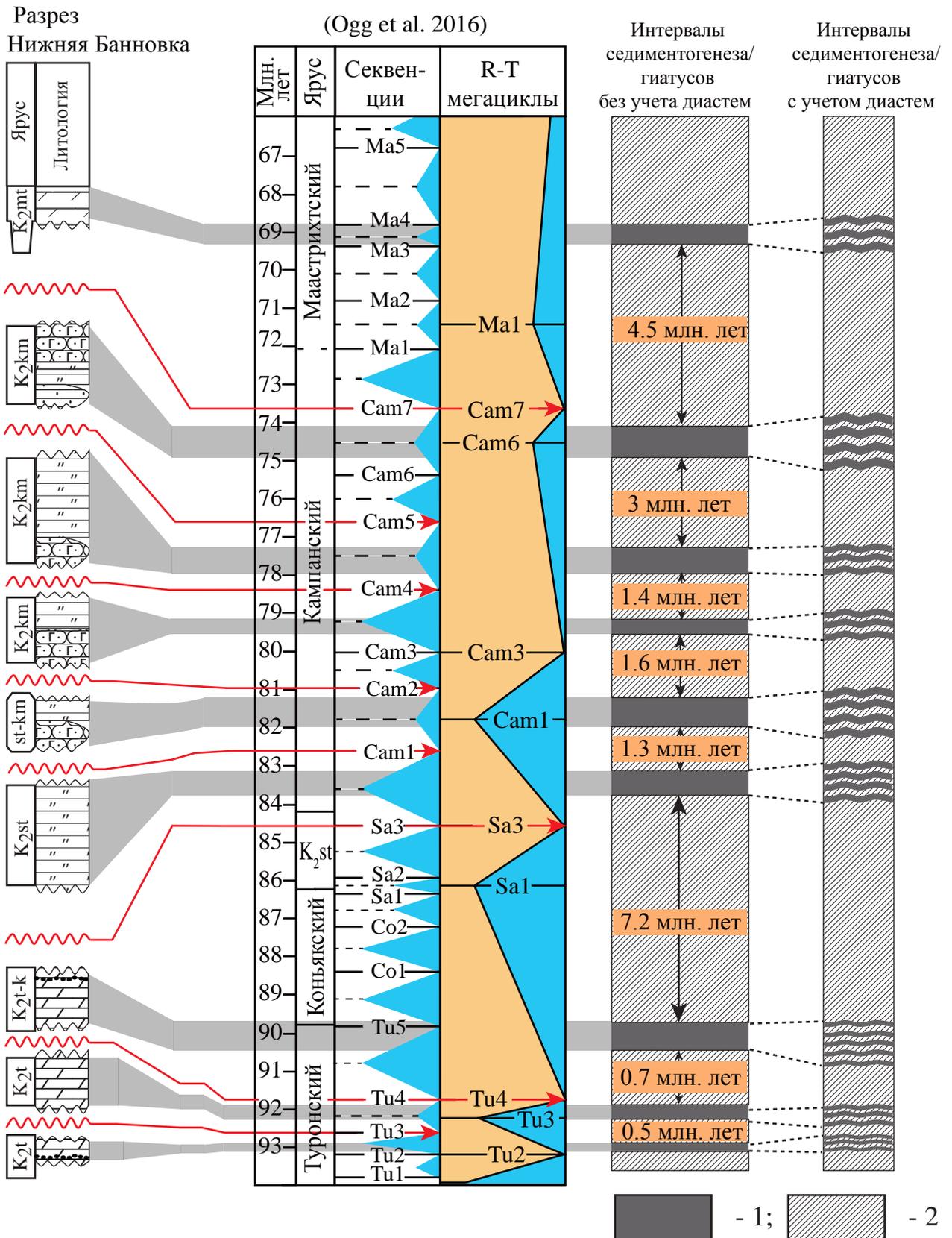


Рисунок 47. Результаты цикло- и секвенс-стратиграфической интерпретации петромагнитных данных по разрезу турона–маастрихта Нижняя Банновка: выявление гиатусов и оценки их длительности. Интервалы времени, соответствующие седиментации (1) и перерывам в осадконакоплении (2).

Крупный hiatus, маркируемый «губковым горизонтом» на границе коньяка-сантона соотносится, вероятно, с понижением уровня Мирового океана на границе секвенций **Sa2–Sa3** по (TS-creator v7.3) (рисунок 47).

Глауконитовые уровни в разрезе, отмеченные относительно высокими значениями *Km* ($10\text{--}23 \cdot 10^{-8}$ ед. СИ), отождествляются нами с эпохами наиболее сильного обмеления морского бассейна, происходившими при наиболее значительных эвстатических падениях (Суринский, Гужиков, 2017) и коррелируются с основаниями секвенций **Sa3, Cam1, Cam3, Cam4, Cam6** и **Ma3** в соответствии с программой (TS-creator v7.3) (рисунок 47).

Для того чтобы время формирования секвенций, слагающих разрез сантона-маастрихта, не превышало ~ 4.5 млн. лет, необходимо допустить, что границам границам секвенций **Sa3–Cam1, Cam1–Cam3, Cam3–Cam4, Cam4–Cam6** и **Cam6–Ma3** (TS-creator v7.3), соответствуют перерывы в осадконакоплении, связанные с глобальными эвстатическими падениями

Продолжительность перерывов внутри сантона-маастрихта, отвечающих границам секвенций **Sa3–Cam1, Cam1–Cam3, Cam3–Cam4, Cam4–Cam6** и **Cam6–Ma3** определена $\sim 7.2, \sim 1.3, \sim 1.6, \sim 1.4, \sim 3$ и ~ 4.5 млн. лет, соответственно. Однако, оценка временного объема каждого hiatus на рисунке 47 достаточно условна, и суммарная длительность (~ 19 млн. лет) может быть перераспределена между ними в довольно широких пределах, в том числе за счет многочисленных диастем (рисунок 47).

5.1.3.2. Вольск (карьер «Большевик»)

Согласно результатам спектрального анализа отложения нижнего кампана были сформированы за промежуток времени, соответствующий примерно 2.5 циклам E_2 , то есть, за ~ 1 млн. лет (рисунок 48). Средняя скорость формирования флазерных известняков («узловатого мела») при этом составляет 0.61 см/тыс. лет (варьируя от 0.4 до 0.92 см/тыс. лет).

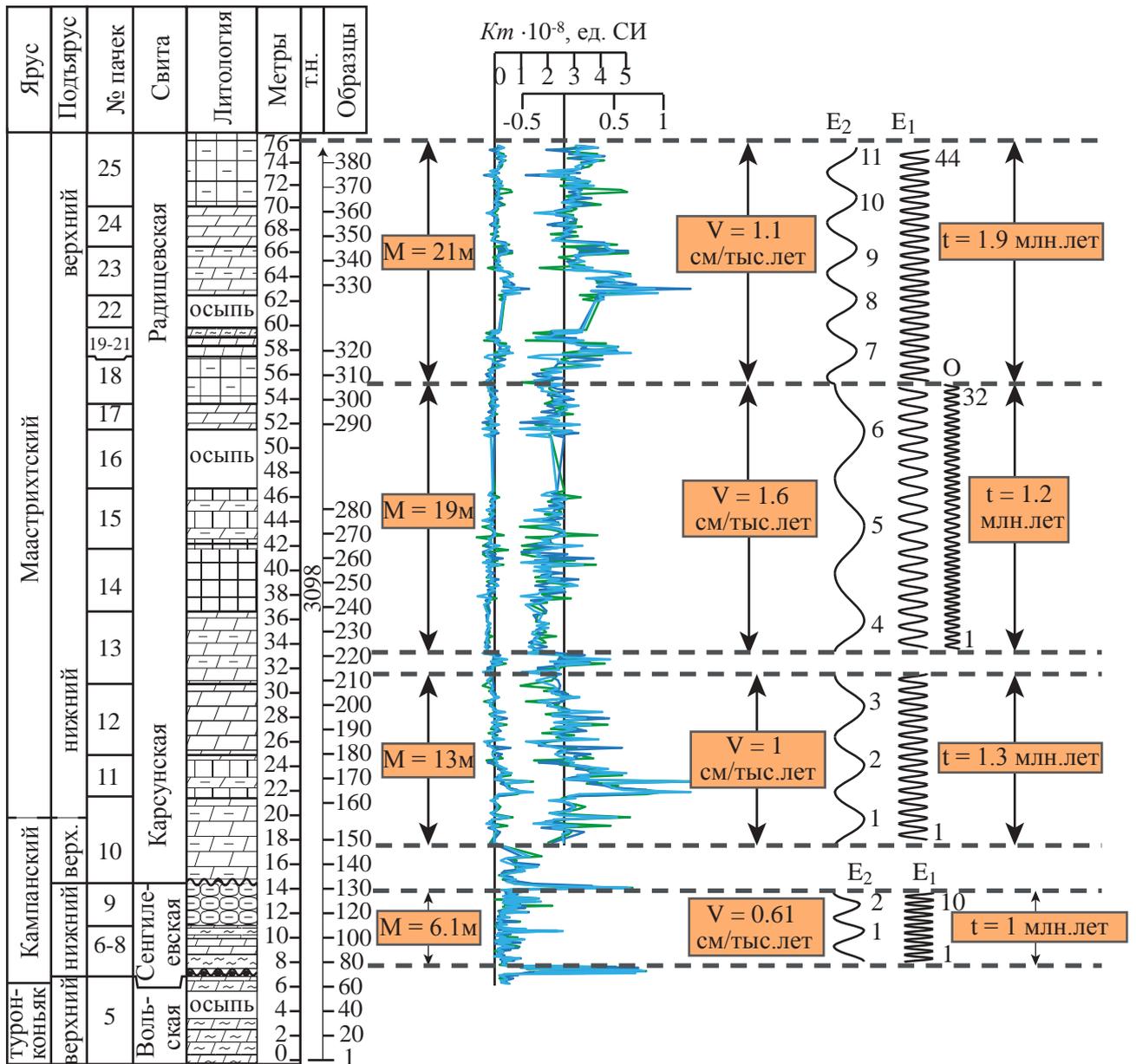


Рисунок 48. Циклостратиграфическая характеристика разреза кампана-маастрихта Большевик

Маастрихту соответствуют 11 циклов большого эксцентриситета (рисунок 48), и, соответственно, 44 цикла малого эксцентриситета. Циклы угла наклона земной оси к плоскости эклиптики определены только в единственном узком интервале, где они насчитывают ~32 периода. В пересчете на геологическое время, продолжительность формирования мелоподобных мергелей маастрихта оценивается как 4.4 млн. лет. Средняя скорость формирования отложений маастрихта варьирует в зависимости от интервала исследований: в целом, идентифицированы три интервала, различных по темпам седиментации отложений. Первый интервал (18-32 м) характеризуется наименьшей для маастрихтских отложений скоростью седиментации (1 см/тыс. лет). В пределах второго (32-55 м) интервала темпы седиментации достигают своего максимума (1.6 см/тыс. лет). Третий (55-76 м) интервал характеризуется возобновлением минимальных темпов седиментации (1.1 см/тыс. лет) (рисунок 48).

Новый способ расчета скорости осадконакопления в карбонатных толщах.

На основе совместного анализа палеомагнитной и петромагнитной информации по карбонатному маастрихту Вольска, мы сочли возможным предложить новый способ оценки скоростей формирования карбонатных толщ по магнитной восприимчивости, базирующийся на двух главных предпосылках: 1) величина K определяется концентрацией аллотигенных частиц, 2) количество аллотигенного материала, поступающего в осадок за единицу геологического времени, является постоянной величиной. Непосредственно по магнитной восприимчивости судить о вариациях темпа формирования осадков можно только на качественном уровне, но используя оценки скоростей осадконакопления, полученные с помощью независимых методов на любых двух других интервалах разреза, можно вычислить по значениям K скорость седиментации для любого стратиграфического уровня.

В дополнение к существующим способам расчета скоростей седиментации нами предлагается принципиально новый прием, основанный на использовании магнитной восприимчивости (K) в качестве показателя темпа накопления

карбонатных отложений. Возможность такого подхода определяется обратной связью между скоростью кристаллизации кальцита и концентрацией аллотигенных, преимущественно пелитовых, частиц в осадке (Барабошкин и др., 2002 и др.). Породообразующий минерал кальцит является диамагнетиком (характеризуется отрицательной магнитной восприимчивостью), а увеличение магнитной восприимчивости до нулевых и положительных значений происходит за счет привнесенных в карбонатную матрицу частиц, обладающих пара- и ферромагнитным эффектом. Многие карбонатные формации образовывались в удаленных от берега глубоководных частях палеобассейнов, где терригенный привнос практически отсутствовал, а посторонний пелитовый материал попадал в осадок эоловым путем. Для таких объектов, при условии, что количество поступившего в осадок за единицу времени аллотигенных компонентов есть величина постоянная, значения магнитной восприимчивости горных пород будут обратно пропорциональны скоростям осадконакопления.

Описание метода. Качественная картина вариаций скоростей осадконакопления получается путем построения графика величины обратной K по стратиграфическому разрезу.

Для получения количественной информации о скоростях седиментации на основе данных о магнитной восприимчивости необходимо располагать эталонными определениями скоростей (V_0), полученными с помощью традиционных методов, минимум, на двух любых интервалах исследуемого разреза.

Учитывая, что карбонатные породы, зачастую, диамагнитны, перед проведением расчетов необходима процедура нормировки всех значений K к положительным значениям. При пересчете магнитной восприимчивости за нулевой уровень принимается значение $a < K_{min}$ (минимального значения K в исследуемом разрезе). Если бы этот условный нулевой уровень соответствовал истинному значению K аутигенного чистого (без аллотигенных примесей) кальцита, то скорость осадконакопления для любого уровня (интервала) разреза (V_i) рассчитывалась по формуле:

$$V_i = \frac{V_э \cdot K_э}{K_i + a} \quad (1),$$

где $K_э$ – среднее арифметическое значений K_i в «эталонном» интервале разреза (где была определена скорость $V_э$), предварительно нормированных к положительным значениям путем прибавления a :

$$K_э = \frac{\sum_{i=1}^n (K_i + a)}{n} \quad (2),$$

где n – количество замеров K в пределах «эталонного» интервала разреза.

Магнитная восприимчивость природного карбоната кальция может варьировать от (-1.5) до $(-0.1) \cdot 10^{-5}$ ед. СИ (Almqvist et al., 2010; Kodama, Hinnov, 2015 и др.). В слабомагнитных карбонатных толщах, K которых изменяется, как правило, от (-1) до $1-2 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, результаты расчета V_i сильно зависят от величины магнитной восприимчивости, характеризующей кальцит без аллотигенных компонент. Для вычисления истинной K аутигенного CaCO_3 в исследуемом разрезе необходимо задействовать, минимум, два значения скоростей, определенных по разным участкам разреза ($V_{э1}$ и $V_{э2}$).

При условии, что K аутигенного кальцита по разрезу есть величина постоянная, значения скоростей осадконакопления, полученные для произвольного уровня (интервала) разреза по формуле (1) при использовании, как $V_{э1}$, так и $V_{э2}$, должны совпадать. Поэтому справедливо уравнение:

$$V_{э1}(K_{э1} + b) = V_{э2}(K_{э2} + b) \quad (3),$$

где $K_{э1}$ и $K_{э2}$ – $K_э$, использованные для расчета $V_{э1}$ и $V_{э2}$, соответственно, b – разница между a и истинным значением K чистого кальцита.

После вычисления b :

$$b = \frac{V_{э1} \cdot K_{э1} - V_{э2} \cdot K_{э2}}{V_{э2} - V_{э1}} \quad (4)$$

проводится перенормировка всех значений $K_э$ путем прибавления к ним b :

$$K_{э'} = \frac{\sum_{i=1}^n (K_i + a + b)}{n} \quad (5).$$

Скорости осадконакопления на произвольном уровне (интервале) разреза рассчитываются, используя значения параметров V_3 и K_3' , соответствующими любому из двух эталонных интервалов разреза:

$$V_i = \frac{V_{31} \cdot K_{31}}{K_i + a + b} = \frac{V_{32} \cdot K_{32}}{K_i + a + b} \quad (6).$$

Апробация метода. В разрезах кампана–маастрихта «Большевик» и «Коммунар» (г. Вольск, Саратовская обл.) (Гужиков и др., 2014), представленных мелоподобными мергелями, с помощью палеомагнитного метода рассчитаны скорости седиментации: $V_{31} = 4.8$ мм/тыс. лет и $V_{32} = 10.4$ мм/тыс. лет, для двух интервалов, охваченных магнитозонами прямой (N) и обратной (R) полярности, соответственно (рисунок 49), по формулам:

$$V_{31} = \frac{M_N}{T_N} \quad (7),$$

$$V_{32} = \frac{M_R}{T_R} \quad (8),$$

где M_N и M_R – мощности N- и R-магнитозон, T_N и T_R – длительности хронов C32n1.n и C32n1.r, являющихся аналогами N- и R-магнитозон в шкале геомагнитной полярности (Ogg, Hinnov, 2012) (рисунок 49).

Коэффициент b был вычислен по формуле (4) на основе данных только по Большевику, потому что в Коммунаре границы магнитозон – аналогов магнитополярных хронов не зафиксированы. Но учитывая литологическое сходство объектов исследований и небольшое расстояние (4.7 км) между ними, значение a было использовано для оценки темпов седиментации в обоих разрезах. Расчеты по формуле (6) для каждого из 126 стратиграфических уровней в разрезе «Большевик» и 73 уровней в «Коммунаре», на которых проводились измерения магнитной восприимчивости позволили построить детальные графики вариаций скоростей осадконакопления по всем исследованным интервалам разрезов (суммарной мощностью ~ 61 м в «Большевике» и ~ 37.7 м в «Коммунаре») (рисунок 49, 50), в то время, как палеомагнитный метод для расчета скоростей в данном случае, возможно было применить только в «Большевике» к 3.7-метровому интервалу, составляющему всего ~ 5% от общей изученной мощности в двух разрезах.

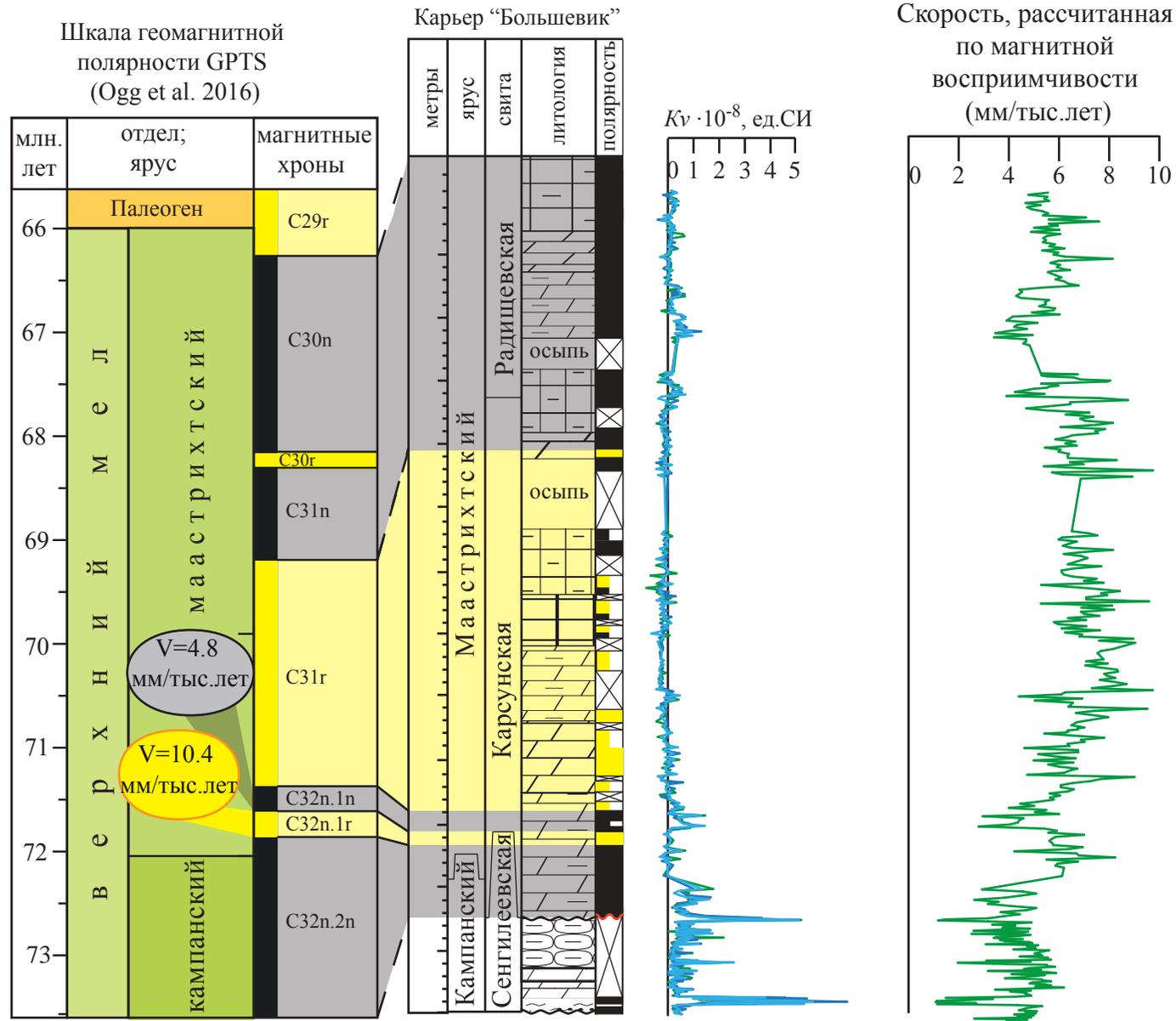


Рисунок 49. Результаты расчета скорости осадконакопления по разрезу Большевик

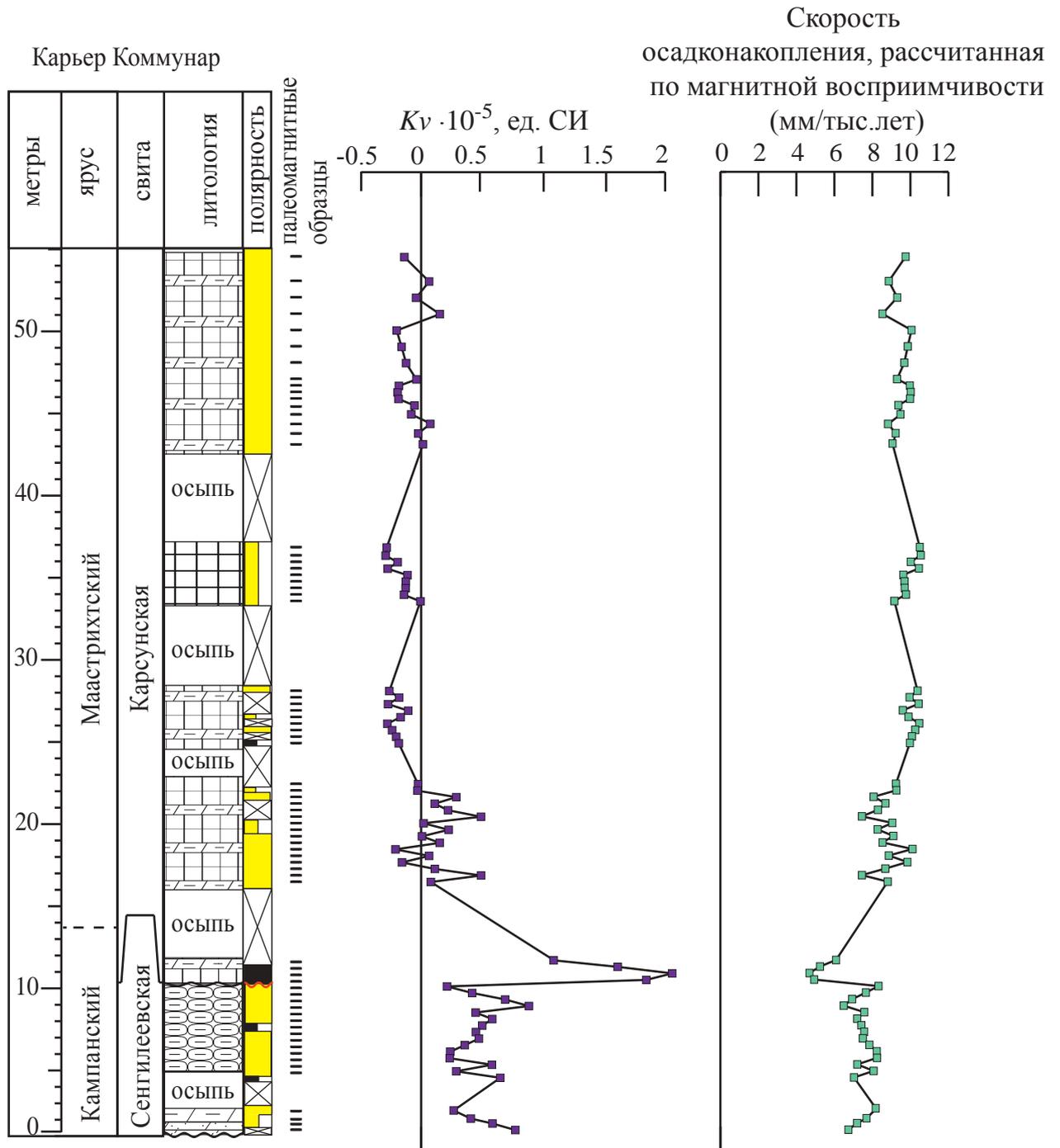


Рисунок 50. результаты расчета скорости осадконакопления по разрезу Коммунар

Полученные оценки темпов седиментации хорошо согласуются с особенностями состава и строения разрезов: минимальные значения V_i фиксируются на границе сенгилеевской и карсунской свит, между которыми имеется крупный hiatus; V_i для медленно накапливающихся флазерных известняков (Барабошкин и др., 2002) (верхи сенгилеевской свиты), гораздо ниже, чем для остальных пород; более высоким, в целом, темпам формирования отложений в «Коммунаре» сопутствуют большие мощности обеих свит в этом разрезе (рисунок 51).

Использование двух независимых методов расчета скоростей осадконакопления в разрезе Большевик привело к сопоставимым количественным результатам, которые отличаются друг от друга, примерно, в 2 раза (рисунок 51). Однако, оценки скоростей, в основе которых заложен расчет скорости путем деления мощности магнитозоны на длительность магнитного хрона, может быть занижен из-за неполноты записи эпохи геомагнитной полярности в разрезе. Количественные оценки скоростей, полученные по данным о выявленных орбитальных циклах, представляются более адекватными, но они не дают представления о динамике изменения скоростей осадконакопления по разрезу. Совмещение данных, полученных разными методами, вероятно, является наилучшим приближением модели скорости формирования отложений в разрезе Большевик к действительности.

Таким образом, способ расчета скоростей седиментации по магнитной восприимчивости базируется на ряде допущений, которым, тем не менее, могут удовлетворять многие реальные карбонатные формации:

- интенсивность аллотигенного привноса за рассматриваемый интервал геологического времени существенно не изменялась,
- увеличение K пород, по сравнению с чистым аутигенным кальцитом, обусловлено только аллотигенными примесями.

Предложенный метод наиболее эффективен в отложениях, которые формировались при минимальном терригенном привносе. В противном случае, для оценки темпов седиментации по петромагнитным данным нужно вводить

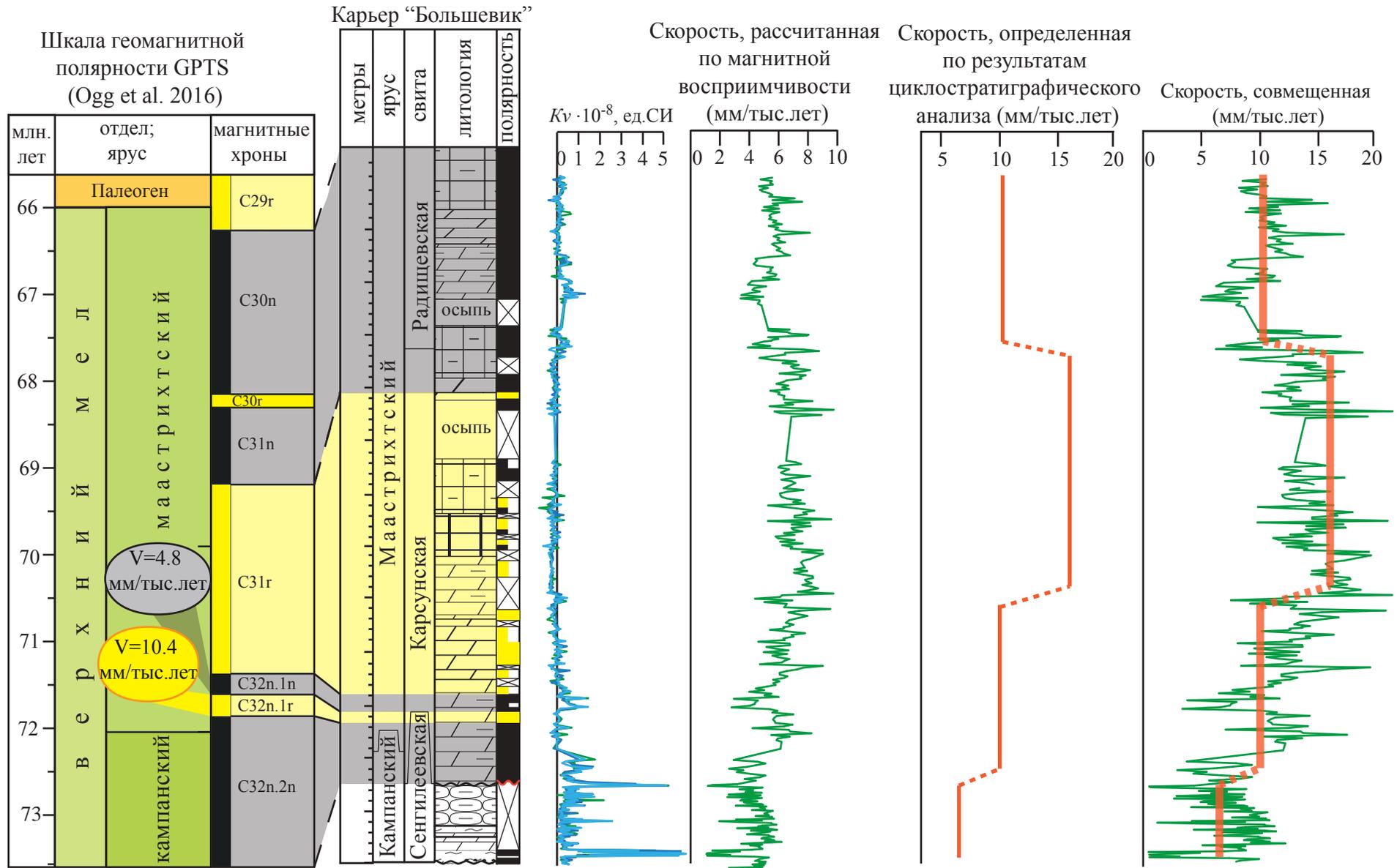


Рисунок 51. Результаты расчета скоростей осадконакопления по разрезу Большевик с использованием двух независимых методик

маловероятное дополнительное условие – о неизменности интенсивности терригенного сноса в течение геологического времени.

Поскольку магнитная восприимчивость внутри карбонатных толщ, лишенных терригенных примесей, варьирует, как правило, в пределах первых единиц (10^{-5} ед. СИ), то результаты расчета скоростей осадконакопления сильно зависят от значений K аутигенного кальцита, которые могут изменяться в сопоставимом диапазоне, в зависимости от концентрации некоторых микроэлементов (Fe, Mn) в составе минерала (Almqvist et al., 2010). Поэтому, практическое использование предлагаемого метода подразумевает третье допущение, которое правдоподобно применительно к палеобассейнам с чисто карбонатной седиментацией: K чистого CaCO_3 в исследуемом разрезе (или, другими словами, микроэлементный состав морской воды) существенно не изменялся за рассматриваемый интервал времени.

К недостаткам метода следует отнести неспособность к самостоятельному определению темпов седиментации. Количественный расчет с использованием данных о магнитной восприимчивости базируется на оценке скорости, полученной другим способом. Но безусловным преимуществом петромагнитного метода перед другими известными способами расчета скоростей осадконакопления является возможность оценки скорости осадконакопления на произвольном интервале разреза, вследствие чего вариации темпов формирования отложений могут быть установлены с любой требуемой детальностью.

5.2. Кампан-маастрихт Юго-Западного Крыма

Кампану–маастрихту в разрезе Чахмахлы соответствуют 2.25 циклов большого эксцентриситета (рисунок 52), то есть ~ 0.9 млн. лет, а маастрихту в разрезе Токма – 1.4 циклов большого эксцентриситета (рисунок 53), то есть ~ 0.56 млн. лет. Средняя скорость формирования мергелей при этом составляет 11.5 см/тыс. лет в разрезе Токма и 10 см/тыс. лет разрезе Чахмахлы. По петромагнитным данным проведена детальная корреляция разрезов Чахмахлы и Токма (рисунок 54).

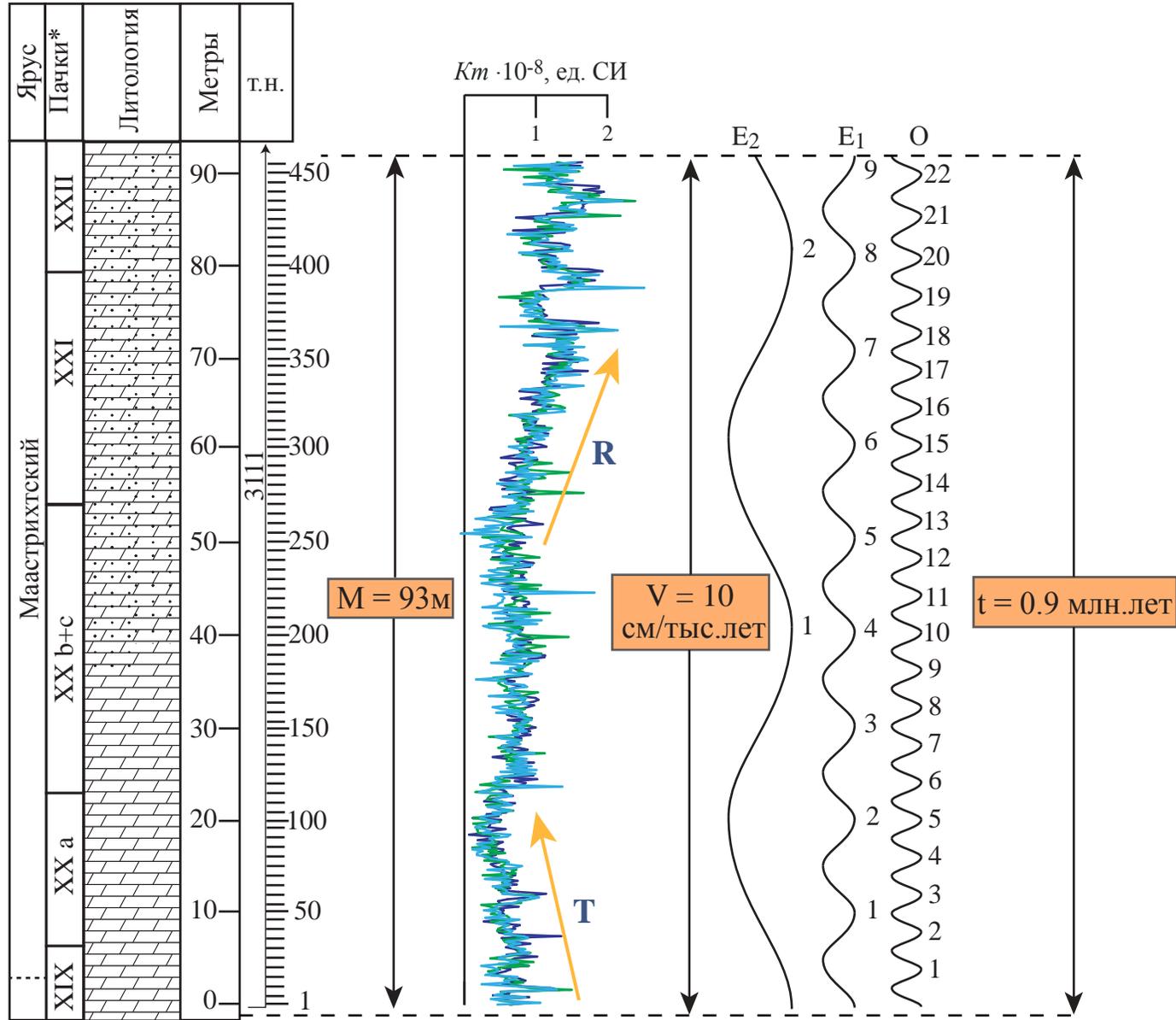


Рисунок 52. Циклостратиграфическая характеристика разреза кампана-маастрихта Чахмахлы

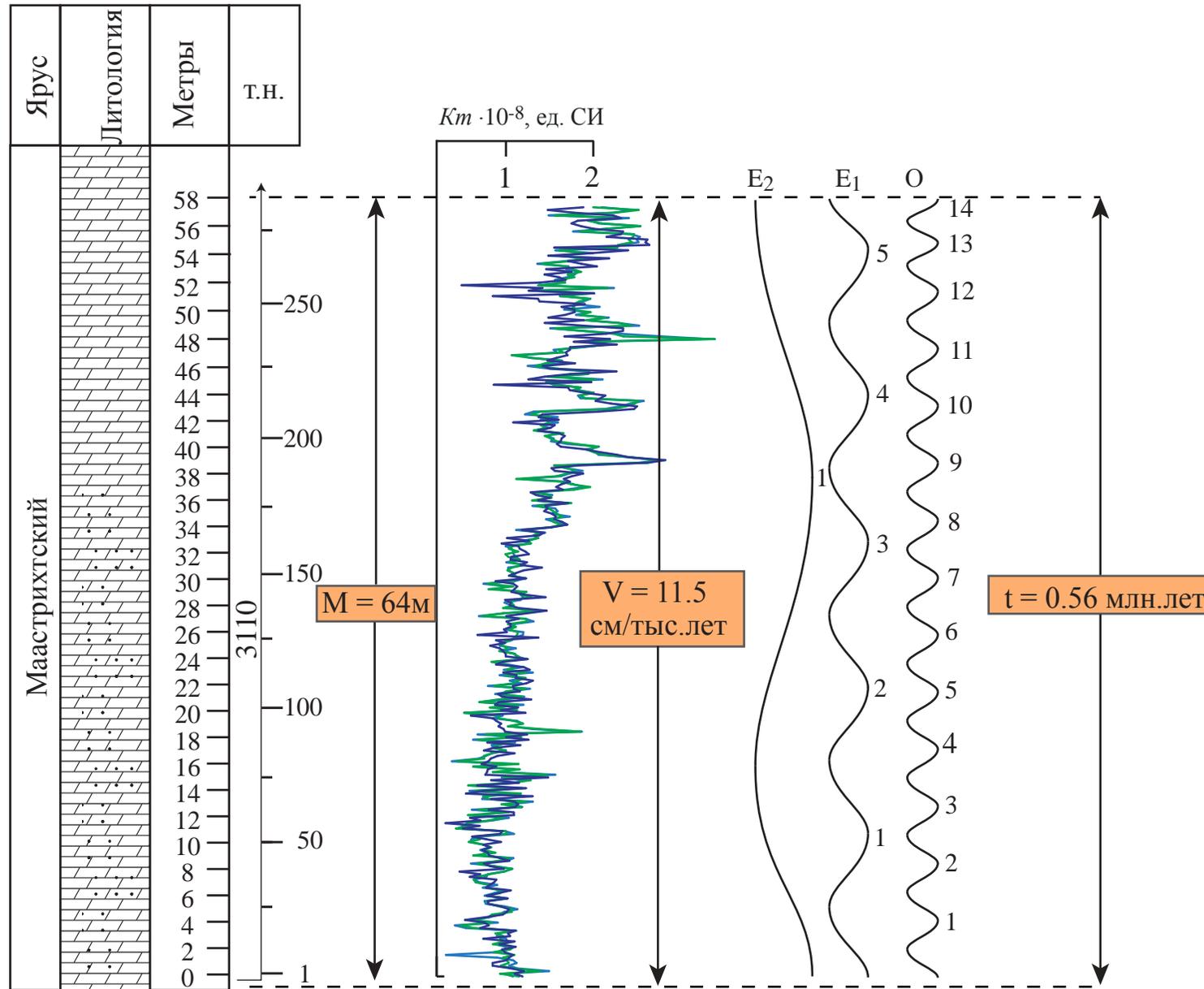
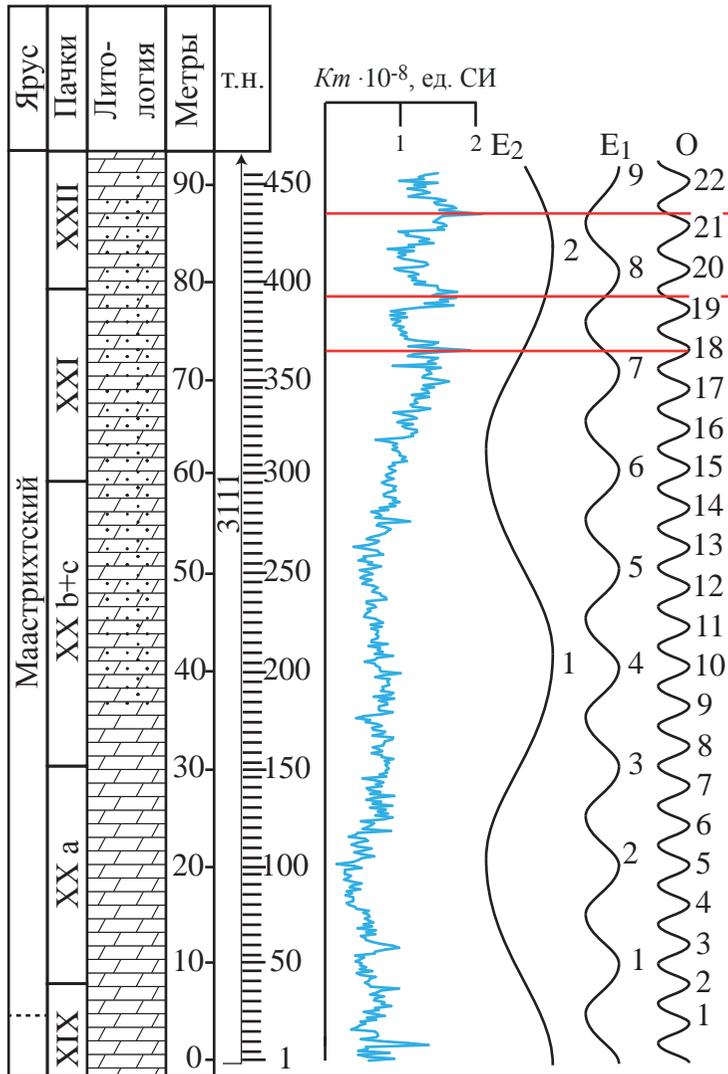


Рисунок 53. Циклостратиграфическая характеристика разреза Токма

Разрез Чахмахлы



Разрез Токма

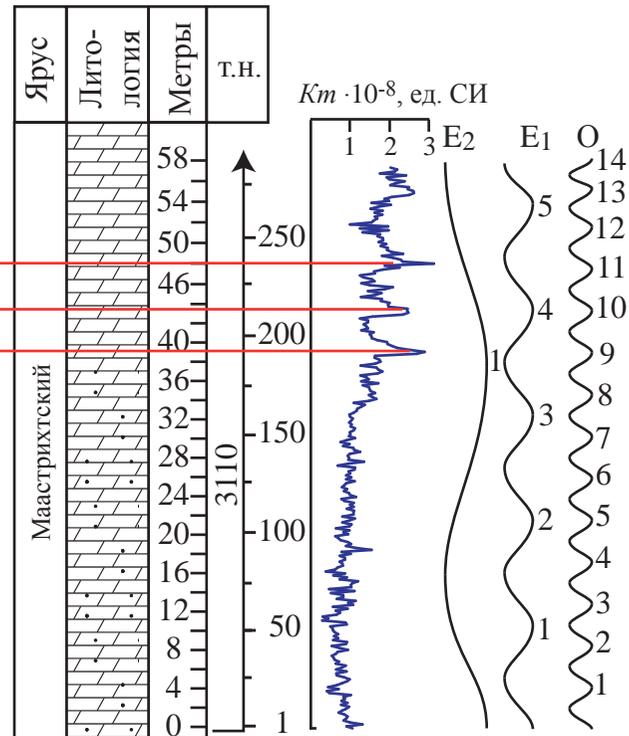


Рисунок 54. Детальная корреляция разрезов Чахмахлы и Токма

Р.Р. Габдуллиным в разрезе Чахмахлы выделено 12 ритмов на основании изменений карбонатности, биотурбированности и количества остатков губок в отложениях. В разрезе Токма Р.Р. Габдуллин (2007) с соавторами идентифицировал 7 двухэлементных карбонатных ритмов, 6 трансгрессивных и 4 регрессивных эпохи и 6 этапов чередования теплых и холодных эпох.

5.3. Эоцен Актолагая

Полученные нами петромагнитные данные по разрезу способствовали его наиболее детальному расчленению, выделению местных стратиграфических подразделений (свит) и обоснованию их границ (Суринский, 2014б; Куражковский и др., 2016). Кроме того, сведения о магнетизме пород, в совокупности с седиментологическими данными, позволили обосновано выделить четыре секвенции.

Установленные ПК-1, ПК-2 и ПК-3 отождествляются нами с алашенской, толагайсорской свитами и сангрыкской толщей, соответственно (рисунок 24). ПК-1 дополнительно подразделяется на две части: нижнюю – с повышенной J_{rs} , J_n и верхнюю – с пониженной J_{rs} , J_n , более высокими, в среднем, K/J_{rs} и аномальными значениями S , H_{cr} и dK (рисунок 24). Граница между этими частями приходится на середину пачки №2, но с петромагнитной точки зрения именно она маркирует рубеж между нижней и верхней подсвитами алашенской свиты.

На основе полученных данных устанавливается несколько этапов в развитии бассейна. По мнению (King et al., 2013) в данном разрезе выделяется не менее четырех осадочных секвенций. Нижняя (20 см в основании пачки 1: (King et al., 2013)) нами не наблюдалась. Она выделена по палеонтологическим данным и подчеркнута скоплением фосфоритов. Мы вполне допускаем возможность ее существования, поскольку эта часть разреза сильно конденсирована.

Вторая секвенция (по (King et al., 2013)) отвечает большей части пачки 1 и пачкам 2-4, и интервалу ПК-1. Пачки №1 и №2 содержат многочисленные уровни с *Chondrites* и *Pilichnus*, фиксирующие кратковременные остановки осадконакопления и развитие дизоксии (всего 14 согласно (King et al., 2013)).

Характерной чертой этого интервала является редкость макробентоса, умеренное разнообразие бентосных фораминифер и остракод, а также чередование интервалов, биотурбированных устойчивыми к дизоксии *Chondrites* и *Pilichnus*, и тонко горизонтально-слоистых глин без биотурбаций. Количество последних увеличивается вверх одновременно с появлением более темной и бурой окраски. Очевидно, что эти явления взаимосвязаны и обусловлены усилением дефицита кислорода в осадке (Bromley, 1996): в пачке №1 доминируют крупные *Chondrites* (группы *Targionii*) и *Pilichnus* (рис. 4-3), присутствуют *Zoophycos* (King et al., 2013); в пачке №2 доминируют мелкие *Ch. Intricatus* и *Pilichnus*. В пачке №3 *Chondrites* отсутствуют и разрез представлен ненарушенными тонкослоистыми сапропелитами и глинами, что говорит об обстановках сильной аноксии. Этот вывод подтверждается почти полным исчезновением бентоса (King et al., 2013) и высокими концентрациями тонкодисперсного пирита, фиксируемыми по аномально высоким значениям dK в интервале от верхов пачки №2 до пачки №4 включительно (рисунок 24). Эта часть разреза наиболее конденсирована, что характерно для большинства сапропелевых горизонтов (Барабошкин, 2009). Пачка №4 в целом близка пачке №2, отличаясь отсутствием крупных *Chondrites* (рис. 19) и наличием настоящих сапропелитов. Она также конденсирована, но формировалась с большим числом остановок осадконакопления, приводивших к частичной деструкции органического вещества и формированию фосфоритов. Интервал от верхов пачки №2 до пачки №4 отмечен, наряду с высокими концентрациями пирита, наличием гематита и гидроокислов железа, (определяемым по минимумам S и максимумам H_{cr}), которые, вероятно, являются продуктами окисления Fe_2S .

Таким образом, пачки №1-4 образуют единую секвенцию, формировавшуюся в открыто-морских условиях под воздействием колебания содержания кислорода в осадке. Поверхность максимального затопления в ней, очевидно, приходится на наиболее мощный прослой сапропелита и поэтому развитие бескислородных обстановок имеет в данном районе эвстатический контроль.

Следующая (третья) секвенция отвечает пачкам №5-9 и ПК-2, что совпадает с мнением предшественников (King et al., 2013). Отложения формировались на меньших глубинах и при более интенсивном привносе терригенного материала: в разрезе присутствует алеврит и песок, а в подошве пачки 5 отмечена рябь течения. В то же время разрез имеет доминирующую горизонтальную слоистость, биотурбации редки, а комплексы бентосной и планктонной микрофауны и микрофлоры свидетельствуют об открыто-морских обстановках с нормальной аэрацией осадка (King et al., 2013). Сочетание этих признаков свидетельствует об относительно небольших глубинах бассейна (но ниже базиса волн) и резком увеличении темпов седиментации. Секвенция завершается падением уровня моря и образованием региональной поверхности перерыва (Беньямовский, 2007). В петромагнитном отношении секвенция весьма однородна, что косвенно согласуется с предположением о большой скорости осадконакопления. Резкое увеличение, по сравнению с ПК-1, значений J_n , Q , J_{rs} при одновременном уменьшении K/J_{rs} свидетельствует о смене состава и размерности (а возможно и смены генезиса с аутигенного на аллотигенный) ферромагнитной фракции.

Наконец, четвертая секвенция отвечает пачке 10 и ПК-3, сложенной тонкослоистыми аноксидными битуминозными сланцами. С петромагнитной точки зрения пачка №10 аналогична интервалу верхов пачки №2 и пачке №4 во второй секвенции (рисунок 24). Судя по насыщенности сульфидами, индикаторами которых служат высокие dK (рисунок 24), степень аноксии в них была аналогична или превышала таковую в пачке №3. К сожалению, существующих данных пока недостаточно для того, чтобы предполагать возможный механизм образования этих сланцев. Породы не затронуты биотурбацией, что говорит об осадконакоплении ниже базиса волн и в условиях аноксии, а также то, что верхняя часть сланцев несет отчетливые следы оползневых деформаций, свидетельствующих о наличии склона во время их накопления, либо позже.

Таким образом, алашанская свита соответствует первой и второй секвенциям или ПК-1 (пачки №1-4); толагайсорская свита отвечает третьей

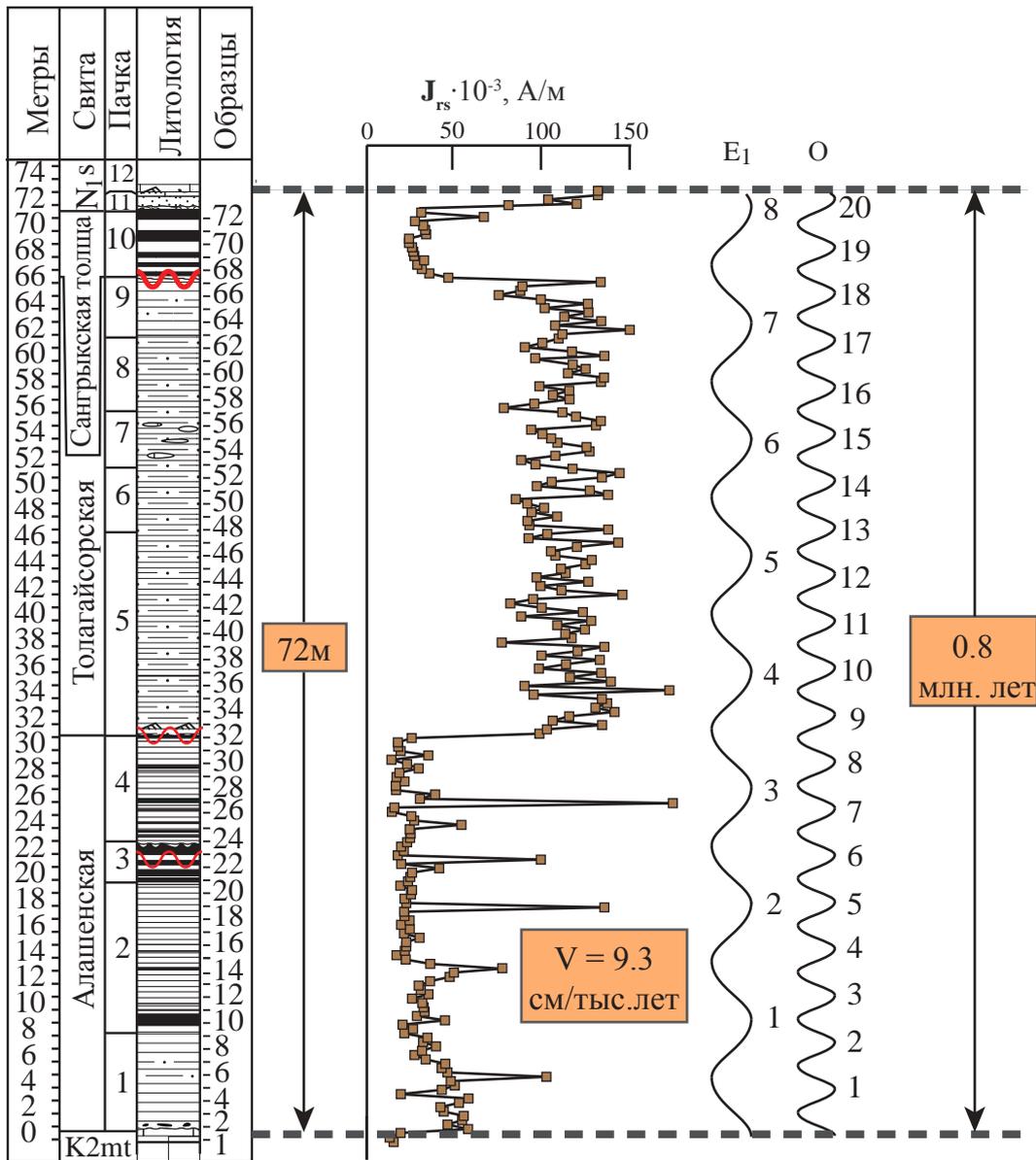


Рисунок 55. Циклостратиграфическая характеристика отложений эоцена на плато Актолагай

секвенции или ПК-2 (пачки №5-9); сангрыкская толща соответствует четвертой секвенции и ПК-3 (пачка №10).

На основании результатов спектрального анализа вариаций J_{rs} , установлено присутствие в разрезе 8 циклов E_1 и 20 сопутствующих им циклов O . Руководствуясь полученными данными, можно судить о продолжительности образования отложений эоцена: в нашем представлении толща сформировалась за период времени, соответствующий ~ 800 тыс. лет, а темпы седиментации отложений оцениваются как 9.37 см/тыс. лет варьируя при этом от 9.2 до 9.4 см/тыс. лет (рисунок 55).

Полученные оценки скоростей осадконакопления для разных типов отложений в различных структурно-фациальных зонах сведены в таблицу №1.

Таблица 1. данные о скоростях осадконакопления по изученным разрезам

регион	разрез	ярус	E ₂	E ₁	O	Длительность осадконакопления (млн. лет)	Скорость осадконакопления (см/тыс. лет)	Тип отложений
Нижнее Поволжье	Нижняя Банновка	туронский-коньякский	3	12	-	1.2	1.5	карбонаты
		сантонский	4.1	16.4	-	1.64	2.42	глины, опоки
		кампанский	5.7	23	-	2.2	2.5	
		маастрихтский	1.6	6.4	-	0.64	2.36	
	Каменный брод	туронский	4	16	-	1.6	2.5	карбонаты
		коньяксий	2	8	-	0.8	2.5	
	Озерки	туронский-коньякский	1	4		0.4	1.4	
		кампанский	2.5	10		1	0.61	
	Большевик	маастрихтский	11	44	32	4.4	1 - 1.6	
Юго-Западный Крым	Токма	маастрихтский	1.4	5.6	14	0.56	11.5	карбонаты
	Чахмахлы	маастрихтский	2.25	9	22.5	0.9	10	
	Алексеевка	бериасский	-	4.5	10.5	0.45	5.55	глины
Прикаспий	Плато Актолагай	Ипрский	-	8	20	0.8	9.3	Алевритистые и карбонатные глины

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итогом проведенных исследований являются количественные оценки скоростей формирования разных типов отложений в платформенных и складчатых областях, продолжительности перерывов в осадконакоплении.

В опорных разрезах верхнего мела и палеогена Русской плиты и Горного Крыма путем спектрального анализа (Фурье-преобразования) выявлены циклы, которые идентифицированы, как циклы Миланковича: большого и малого эксцентриситета земной орбиты, изменения наклона земной оси относительно плоскости эклиптики.

Используя известные принципы геологической интерпретации петромагнитных данных (Храмов, Молостовский, 1997; Молостовский, 1986 и др.) по вариациям магнитной восприимчивости и других петромагнитных параметров реконструированы колебания уровня моря. Комплексы пород, соответствующие каждой из крупных трансгрессивно-регрессивных стадий морского бассейна отождествлены с известными секвенциями. Благодаря такому подходу, в сочетании с циклостратиграфическими данными, удалось выявить ряд перерывов в осадконакоплении и определить их длительность, обосновать преимущественно туронский возраст пород вольской свиты в разрезе «Нижняя Банновка», предложить дополнительные критерии для идентификации границ свит и подсвит в эоцене плато Актолагай (Казахстан).

Дальнейшие перспективы петромагнитных и циклостратиграфических исследований автор связывает с продолжением изучения верхнего мела Поволжья. Полученные к настоящему времени результаты свидетельствуют о целесообразности использования полученных данных для совершенствования местной субрегиональной стратиграфической схемы и решения ряда актуальных задач региональной геологии.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

Сокращения:

K – магнитная восприимчивость (K_v – объемная магнитная восприимчивость K_m – удельная магнитная восприимчивость)

K_t – магнитная восприимчивость после нагрева образцов до 500°

$dK = (K_t - K)$ – прирост магнитной восприимчивости после нагрева

J_n , **ЕОН**, **NRM** – естественная остаточная намагниченность

J_{rs} – остаточная намагниченность насыщения

J_i – индуктивная намагниченность

H – внешнее магнитное поле

H_{cr} – остаточная коэрцитивная сила

$Q = J_n / J_i$ – параметр Кенигсбергера (факто Q)

$S = |J_r(-300) / J_{rs}|$ – параметр магнитной жесткости

АМВ – анизотропия магнитной восприимчивости

J_s – намагниченность насыщения в поле 700 мТл

B_c – коэрцитивная сила намагниченности насыщения за вычетом влияния парамагнитной компоненты;

B_{cr} – коэрцитивная сила остаточной намагниченности насыщения

E_2 – циклы большого эксцентриситета земной орбиты

E_1 – циклы малого эксцентриситета земной орбиты

N – нормальная полярность геомагнитного поля

R – обратная полярность геомагнитного поля

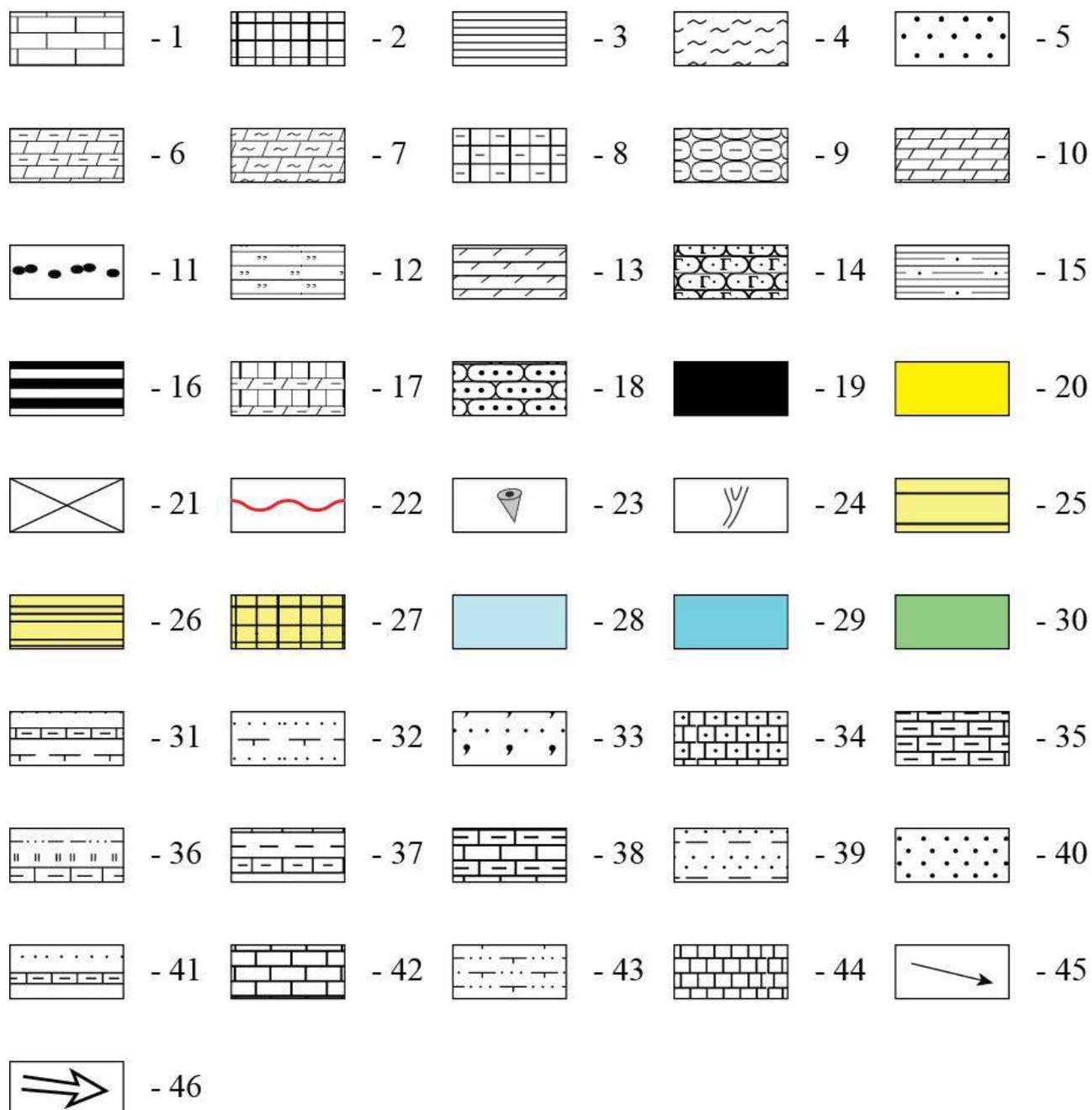
БФ – бентосные фораминиферы

GTS – шкала геологического времени

ПК – петромагнитный комплекс

ПИ – петромагнитный интервал

Условные обозначения:



1 - мергель, 2 - мел, 3 - глина, 4 - алевритистый материал, 5 - песчаный материал, 6 - мергель глинистый, 8 - мергель алевритистый, 9 - «узловатый мел», 10 - мергель плотный, 11 - фосфориты, 12 - переслаивание опок и глин, 13 - карбонатные глины, 14 - песчаник глауконитовый, 15 - глины печанистые, 16 - глинистые сланцы, 17 - чередование мела и мергеля, 18 - песчаник, 19 - прямая полярность, 20 - обратная полярность, 21 - отсутствие данных о полярности, 22 - поверхность размыва, 23 - губки, 24 - ходы роющих организмов.

Обозначения к палеогеографическим схемам

Типы пород в областях размыва древней суши:

25 – осадочные обломочные породы, 26 – осадочные карбонатные породы,
27 – изверженные, метаморфические и осадочные породы,

Палеогеографические обстановки:

28 – мелководная часть шельфа, 29 – глубоководная часть шельфа, 30 – лагуны, прибрежные области

Литология накапливающихся отложений:

31 – чередование известковых глин и мергелей, 32 – чередование известковых глин и песков, 33 – чередование кварцевых и кварц-глауконитовых песков, 34 – мергели песчаные, 35 – мергели глинистые, 36 – чередование терригенных, кремнистых и карбонатных пород, 37 – чередование глин и мергелей, 38 – мергели глинистые, 39 – чередование глин и песков, 40 – пески, 41 – чередование песков и мергелей, 42 – плотные мергели и известняки, 43 – чередование известковых глин и песчаников, 44 – мелоподобные мергели.

Динамика среды переноса и накопления садка:

45 – предполагаемые направления сноса материала с отмелей и островов, 46 – предполагаемые направления сноса материала с континента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александрова Г.Н. Новые данные по биостратиграфии верхнего мела Нижнего Поволжья / Александрова Г.Н. Беньямовский В.Н., Вишневская В.С., Застрожных А.С. // Стратиграфия. Геологическая корреляция. - 2012. - Т. 20, № 5. - С. 25–64.
2. Аркадьев В.В. Новые данные по биостратиграфии, магнитостратиграфии и седиментологии берриасских отложений Белогорского района Центрального Крыма / Аркадьев В.В., Барабошкин Е.Ю., Багаева М.И., Богданова Т.Н., Гужиков А.Ю., Маникин А.Г., Пискунов В.К., Платонов Е.С., Савельева Ю.Н., Федорова А.А., Шурекова О.В. // Стратиграфия. Геол. корреляция. - 2015. - Т. 23, № 2. - С. 43–80.
3. Архангельский А.Д. Геологический очерк Саратовской губернии / Архангельский А.Д., Добров С.А. - М.: 1913. - 256 с.
4. Атлас литолого-палеографических карт Русской платформы и её геосинклинального обрамления, масштаб: 1:5000000 / М.: МинГео СССР, 1961. редактор (ы): Виноградов В.А., Верещагин В.Н., Наливкин В.Д., Ронов А.Б., Хабаков А.В., Хаин В.Е. – 80 с.
5. Барабошкин Е. Ю. Изучение стратиграфических перерывов при производстве геологической съемки / Барабошкин Е.Ю., Веймарн А.Б., Копаевич Л. Ф., Найдин Д. П. – М.: Изд-во Московского Университета, 2002. – 163 с.
6. Барабошкин Е.Ю. Конденсированные разрезы: терминология, типы, условия образования / Барабошкин Е.Ю. // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. - 2009. - № 3. - С. 13–20.
7. Барабошкин Е. Ю. Новые данные о стратиграфии и условиях формирования эоценовых отложений на плато Актолагай (западный Казахстан) / Барабошкин Е.Ю., Гужиков А.Ю., Беньямовский В.Н., Александрова Г.Н., Барабошкин Е.Е., Суринский А.М. // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. - 2015. – № 2. – С. 67–76.

8. Беньямовский В.Н. Новые свиты палеоцена и эоцена Прикаспийской впадины / Беньямовский В.Н., Сегедин Р.А., Акопов Т.Р. // Бюлл. МОИП. Отд. геол. - 1990. - Т. 65. Вып. 5. - С. 68–76.
9. Беньямовский В.Н. Палеогеновые меридиональные проливы Северной Евразии / Беньямовский В.Н. Проливы Северного полушария в мелу и палеогене. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 2007. - 182 с.
10. Беньямовский В.Н. Стратиграфическая схема палеогена Прикаспийско-Мугоджарского региона (пример построения региональной стратиграфической схемы палеогена палеогеографической основе). / Беньямовский В.Н. - М.: Изд-во Моск. ун-та, - 1994. 155 с.
11. Богданова Т. Н. О расчленении берриасского яруса Горного Крыма / Богданова Т. Н., Лобачева С. В., Прозоровский В. А., Фаворская Т. А. // Вестн. Ленингр. ун-та. Сер. Геология. География. - 1981. - Вып. 1, № 6. - С. 5–14.
12. Бондаренко Н. А. Стратиграфия и условия седиментации сантонских, кампанских и маастрихтский отложений правобережья Нижнего Поволжья: дисс. ... канд. геол.-мин. наук: 25.00.02 / Бондаренко Николай Антонович. – Саратов, 1990. – 198 с.
13. Вассоевич Н. Б. Флиш и методика его изучения / Вассоевич Н. Б. - М.: Гостоптехиздат, 1948. – 216 с.
14. Вишневская В.С. Радиоларии из опорных разрезов сантон-кампанских отложений Саратовского Поволжья и корреляция подразделений по известковому наннопланктону, фораминиферам и радиолариям / Вишневская В.С., Овечкина М.Н., Беньямовский В.Н. // Бюлл. МОИП, отд. геологии. – 2014. - Т.8. №5. - С. 43-54.
15. Габдуллин Р.Р. Астрономо-климатические циклы в разрезе верхнемеловых отложений Саратовского Поволжья / Габдуллин Р.Р., Самарин Е.Н., Иванов А.В., Храмов А.Е., Короновский А.А., Руннова А.Е., Яшков И.А., Бадулина Н.В., Игтисамов Д.В. // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. – 2014. - № 5. С. 55-71.

16. Габдуллин Р.Р. Верхнемеловые отложения Русской плиты: секвентная стратиграфия и циклы Миланковича / Габдуллин Р.Р. // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4, Геология. - 2007. - № 5. - С. 16–25.

17. Габдуллин Р.Р. Литологические ритмы и астрономо-климатические циклы позднего мела Русской плиты и ее южного обрамления. / Габдуллин Р.Р. // Сессия Палеонтологического общества при РАН. Геобиосферные события и история органического мира. г. Санкт-Петербург, 7 – 11 апреля 2008 г. Материалы научно-практической конференции. – Спб.: С. 23-24.

18. Габдуллин Р.Р. Ритмичность верхнемеловых отложений Русской плиты, СЗ Кавказа и ЮЗ Крыма (строение, классификация, модели формирования): автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук: 25.00.01 / Габдуллин Руслан Рустемович. – М. 2000, 24 с.

19. Габдуллин Р.Р. Ритмостратиграфия и условия формирования ритмичности в верхнемеловых отложениях СЗ Крыма / Габдуллин Р.Р. // «Ломоносов-1996». Москва, 3-6 апреля 1996г. Материалы всероссийской научно-практической конференции. – М.: Издательство МГУ, 1996. - С. 27-28.

20. Габдуллин Р.Р. Строение и генезис цикличной толщи переслаивания губковых и безгубковых горизонтов нижнего маастрихта Бахчисарайского района Юго-Западного Крыма / Габдуллин Р.Р., Первушов Е.М., Толстова Н.В. // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. - 2007. - № 1. - С. 17-21.

21. Габдуллин Р.Р. Циклостратиграфическая шкала верхнего мела Русской плиты и ее южного обрамления. Статья 2. Совмещение шкал и циклов Миланковича / Габдуллин Р.Р. // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. – 2004. - № 3. - С. 28-34.

22. Геологический словарь. Том 3. Р-Я. – Спб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2012. – 440 с.

23. Геология СССР. Т. XXI. Западный Казахстан. Ч. I. Геологическое описание. Книга 1. - М.: Недра, 1970. - 880 с.

24. Герасимов П.А. Юрские и меловые отложения Русской платформы: Очерки региональной геологии СССР. / Герасимов П.А., Мигачева Е.Е., Найдин

Д.П., Стерлин Б.П. – Очерки региональной геологии СССР. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1962. - Вып. 5. - 195 с.

25. Глазунова А.Е. Палеонтологическое обоснование стратиграфического расчленения меловых отложений Поволжья. Верхний мел / Глазунова А.Е. - М.: Недра, 1972. – 204 с.

26. Грищенко В.А. Анизотропия магнитной восприимчивости как способ изучения оползневых деформаций пород на примере альбских отложений г. Вольска / Грищенко В.А., Суринский А.М. // Недра Поволжья и Прикаспия. - 2014. - Вып. 78. - С. 40-44.

27. Грищенко В.А. Био-, магнито- и циклостратиграфия разреза верхнего берриаса у с. Алексеевка (Белогорский район, республика Крым) Статья 1. Аммониты. Магнитостратиграфия. Циклостратиграфия / Грищенко В.А., Аркадьев В.В., Гужиков А.Ю., Маникин А.Г., Платонов Е.С., Савельева Ю.С., Суринский А.М., Федорова А.А., Шурекова О.В. // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. – 2016. - Т. 16. Вып. 3 - С. 162-172.

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

29. Гужиков А.Ю. К вопросу о нижней границе маастрихта в Саратовском Поволжье / Гужиков А.Ю., Барабошкин Е.Ю., Гужикова А.А., Калякин Е.В., Копаевич Л.Ф., Первушов В.Б., Сельцер Е.В., Яковишина М.В. // Меловая система России и ближнего зарубежья: проблемы стратиграфии и палеогеографии: Сб. научн. трудов / под ред. Е.Ю. Барабошкина, В.С. Маркевич, Е.В. Бугдаевой, М.А. Афолина, М.В. Черепановой. – Владивосток: Дальнаука. - 2014. – С. 103 – 106.

30. Гужиков А.Ю. Новые био- и магнитостратиграфические данные по кампанским-маастрихтским отложениям классического разреза Нижняя Банновка (юг Саратовского Правобережья) / Гужиков А.Ю., Барабошкин Е.Ю., Беньямовский В.Н., Вишневская В.С., Копаевич Л.Ф., Первушов Е.М., Гужикова А.А. // Стратиграфия. Геологическая корреляция. - 2017. - Т. 25. № 1. - С. 24–61.

31. Гужиков А.Ю. Новые био- и магнитостратиграфические данные по пограничным отложениям юры и мела мыса Чиган (приморский край) / Гужиков А.Ю., Аркадьев В.В., Барабошкин Е.Ю., Федорова А.А., Шурекова О.В., Барабошкин Е.Е., Маникин А.Г., Суринский А.М., Голозубов В.В., Касаткин С.А., Нечаев П.В. // Юрская система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии. Шестое Всероссийское совещание: Научные материалы. 15-20 сентября 2015 г. - Махачкала: 2015. – С. 78-83.

32. Гужиков А.Ю. Патент на изобретение РФ №2633659 «Способ оценки скорости осадконакопления» / Гужиков А.Ю., Суринский А.М. Правообладатель: ФГБОУ ВО Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, 2017г.

33. Гужиков А.Ю. Стратиграфическая информативность численных магнитных характеристик осадочных пород (методические аспекты) / А.Ю.Гужиков, Э.А. Молостовский // Бюлл. МОИП. Отд. геол. – 1995. – Т.70. Вып.1. – С.32 – 41.

34. Гужикова А.А. Магнитостратиграфия пограничного интервала кампана-маастрихта юго-востока Русской плиты: дис. ... канд. геол.-мин. Наук: 25.00.02 / Гужикова Анастасия Андреевна. - Саратов, 2016. - 177с.

35. Дзюба О.С. Магнито- и углеродно-изотопная стратиграфия нижнего–среднего бата разреза Сокурский тракт (Центральная Россия): значение для глобальной корреляции / Дзюба О.С., Гужиков А.Ю., Маникин А.Г., Шурыгин Б.Н., Грищенко В.А., Косенко И.Н., Суринский А.М., Сельцер В.Б., Урман О.С. // Геология и геофизика. 2017. - Т. 58. № 2. - С. 250 - 272.

36. Железко В.И. Эласмобранхии и биостратиграфия палеогена Зауралья и Средней Азии / Железко В.И., Козлов В.А. - Материалы по стратиграфии и палеонтологии Урала, 1999. Вып. 3. 324 с.

37. Копаевич, Л.Ф. Планктонные фораминиферы позднего мела Восточно-Европейской платформы и ее южного обрамления: зональная биостратиграфия, смена на главных рубежах, палеоокеанологические

реконструкции: дис. ... д-ра геол.-мин. наук: 25.00.03 / Копаевич Людмила Федоровна. – М., 2011. – 68 с.

38. Куражковский А.Ю. Определения палеонапряженности по разрезу эоцена плато Актолагай / Куражковский А.Ю., Куражковская Н.А., Суринский А.М. // Известия Саратовского Университета, Новая серия. Сер. Науки о Земле. 2016. - Т. 16. Вып. 3. - С. 172-178

39. Малышкина Т.П. Эласмобранхии западной окраины Западно-Сибирского палеогенового бассейна. / Малышкина Т.П. - Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2006. 224 с.

40. Миланкович М. Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата / Миланкович М. – М.: Государственное объединение и научно-техническое издательство, 1939. - 348 с.

41. Милановский Е.В. Очерк геологии Среднего и Нижнего Поволжья. / Милановский Е.В. - М.-Л.: Гостоптехиздат, 1940. - 276 с.

42. Молостовский, Э.А. Скалярные магнитные характеристики горных пород как показатели условий седиментации / Э.А. Молостовский. Использование магнетизма горных пород при геологической съемке. – Л., 1986. – С. 150-166.

43. Молостовский, Э.А. Магнитостратиграфия и ее значение в геологии / Молостовский Э.А., Храмов А.Н. – Саратов: изд-во Саратовского университета, 1997. – 180 с.

44. Найдин Д. П. Геохимическая характеристика пограничных отложений сеноман/турон Горного Крыма. Статья 1. Литологический состав, содержание органического углерода и некоторых элементов / Найдин Д.П., Кияшко С.И. Бюлл. МОИП. Отд. геологии. – 1994. - Т. 69. Вып. 1. - С. 28-42.

45. Найдин Д. П. Эвстазия и эпиконтинентальные моря Восточно-Европейской платформы. Ст. 2. Верхнемеловые секвенции платформы / Найдин Д. П. // Бюл. МОИП. Отд. геол. - 1995. - Т. 70. Вып. 5. - С. 49–64.

46. Олферьев, А.Г. Верхнемеловые отложения севера Саратовской области. Статья 1. Разрез карьера «Большевик» в окрестностях Вольска /

Олферьев А.Г., Беньямовский В.Н., Иванов А.В., Овечкина М.И., Сельцер В.Б., Харитонов В.М. // Бюлл. МОИП. Отд. геол. – 2009а. – Т. 84. №. 2. – С. 5-22.

47. Олферьев А.Г., Верхнемеловые отложения севера Саратовской области. Статья 2. Биостратиграфическое расчленение разреза карьера «Большевик» в окрестностях Вольска / Олферьев А.Г., Беньямовский В.Н., Иванов А.В., Овечкина М.И., Сельцер В.Б., Харитонов В.М. // Бюлл. МОИП. Отд. геол. – 2009б. - Т. 84. №4. - С. 29-46.

48. Олферьев, А.Г. Верхнемеловые отложения севера Саратовской области. Статья 3. Биостратиграфическое расчленение разреза карьера «Красный 166 октябрь» на южной окраине г. Вольска / Олферьев А.Г., Сельцер В.Б., Алексеев А.С., Амон Э.О., Беньямовский В.Н., Иванов А.В., Овечкина М.И., Харитонов В.М. // Бюлл. МОИП, отд. Геол. – 2014. – Т. 89 (6). – С. 45-76.

49. Олферьев, А.Г. Верхнемеловые отложения СЗ Саратовской области. Статья 1. Разрез у д. Вишневое. Лито- и биостратиграфический анализ / Олферьев А.Г., Беньямовский В.Н., Вишневская В.С., Иванов А.В., Копаевич Л.Ф., Первушов Е.М., Сельцер В.Б., Тесакова Е.М., Харитонов В.М., Щербинина Е.А. // Стратиграфия. Геол. корреляция. – 2007. – Т. 15. № 6. – С. 62 – 109.

50. Олферьев, А.Г. Верхнемеловые отложения СЗ Саратовской области. Статья 2. Проблемы хроностратиграфической корреляции и геологической истории региона / Олферьев А.Г., Беньямовский В.Н., Вишневская В.С., Иванов А.В., Копаевич Л.Ф., Овечкина М.И., Первушов Е.М., Сельцер В.Б., Тесакова Е.М., Харитонов В.М., Щербинина Е.А. // Стратиграфия. Геол. корреляция. – 2008. – Т. 16. № 3. – С. 47 – 74.

51. Олферьев, А.Г. Опорный разрез верхнего мела у села Мезино-Лапшиновка и проблемы границ сантона и кампана в Саратовском Поволжье / Олферьев А.Г., Алексеев А.С., Беньямовский В.Н., Вишневская Г.С., Иванов А.В., Первушов Е.М., Сельцер В.Б., Харитонов В.М., Щербинина Е.А. // Стратиграфия. Геол. корреляция. – 2004. – Т.12. № 6. – С.69-102.

52. Первушов Е.М. Каталог местонахождений остатков морских рептилий в юрских и меловых отложениях Нижнего Поволжья / Первушов Е.М., Архангельский М.С., Иванов А.В. - Саратов: Изд-во ГосУНЦ, 1999. 230 с.

53. Первушов Е.М. Комплексное био- и магнитостратиграфическое изучение разрезов «Озерки» (верхний мел, Саратовское правобережье). Статья 1. Характеристика разрезов, результаты петромагнитных и магнито-минералогических исследований / Первушов Е.М., Сельцер В.Б., Калякин Е.А., Фомин В.А., Рябов И.П., Ильинский Е.И., Гужикова А.А., Бирюков А.В., Суринский А.М. // Известия Саратовского Университета, Новая серия. Сер. Науки о Земле. – 2017а. - Т. 17. Вып. 2. - С.117-124.

54. Первушов Е.М. Комплексное Био- и магнитостратиграфическое изучение разрезов «Озерки» (верхний мел, Саратовское правобережье). Статья 2. Характеристика ориктокомплексов и биостратиграфия / Первушов Е.М., Сельцер В.Б., Калякин Е.А., Фомин В.А., Рябов И.П., Ильинский Е.И., Гужикова А.А., Бирюков А.В., Суринский А.М. // Известия Саратовского Университета, Новая серия. Сер. Науки о Земле. – 2017б. Т. – 17. Вып. 3. - С. 182 – 199.

55. Первушов Е.М. Турон–коньяк Правобережного Поволжья / Первушов Е.М., Гужиков А.Ю., Рябов И.П., Ильинский Е.И., Гужикова А.А., Суринский А.М., Фомин В.А., Калякин Е.А., Сельцер В.Б. // Геологические науки – 2017. 10-13 октября 2017г.: Материалы науч. межвед. конф. – Саратов, 2017в. - С. 38-39.

56. Пронин А.П. Новые данные о магнитных свойствах палеозойских отложений южной части Прикаспийской впадины / Пронин А.П. Гужиков А.Ю. Суринский А.М. // Известия Саратовского Университета, Новая серия. Сер. Науки о Земле. - 2017. - Т. 17 Вып. 4. - С.259-265.

57. Рыбкина А.И. Отражение Мессинского кризиса солёности в строении верхнемиоценовых отложений восточного паратетиса (Керчинско-Таманский регион): дис. ... канд. геол.-мин. наук: 25.00.06 / Рыбкина Алена Игоревна М., 2015. - 178с.

58. Сизанов Б.И. Новая методика выделения ритмов и интерпретация их генезиса на примере нижнемаастрихтских отложений оврага Токма (Юго-

Западный Крым, Украина) / Б.И. Сизанов, А.В. Рудакова, Р.Р. Габдуллин // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. – 2006. – № 3. – С. 25-31.

59. Стратиграфическая схема верхнемеловых отложений Восточно-Европейской платформы. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2004. – 6 схем на 10 листах.

60. Суринский А.М. Анизотропия магнитной восприимчивости как индикатор формы магматического тела. / Суринский А.М. // Материалы 14-й Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов «Геологи 21 века» 4-5 апреля 2013 г. – Саратов: 2013. - С. 22-24.

61. Суринский А.М. Использование петромагнитного метода при исследованиях керна и шлама разведочных и эксплуатационных скважин / Суринский А.М. // Молодежный инновационный форум приволжского федерального округа: сборник аннотаций и проектов в 2т. 13 – 15 мая 2015 г. Ульяновск: 2015. - Т.1. - С. 285-288. <http://ify.ulstu.ru>

62. Суринский А. М. Опыт циклостратиграфического анализа петромагнитных данных по разрезу турона–маастрихта «Нижняя Банновка» (юг Саратовского Правобережья) / Суринский А. М., Гужиков А. Ю. // Известия Саратовского Университета, Новая серия. Сер. Науки о Земле. - 2017. - Т. 17. Вып. 2. - С. 105-116.

63. Суринский А.М. Петромагнитная характеристика разреза батского яруса «Сокурский тракт» (г. Саратов), / Суринский А.М., Грищенко В.А. // Сборник статей, посвященный 80–летию со дня рождения профессора Ю.П. Конценебина. - 2014. - С. 99 – 108.

64. Суринский А.М. Петромагнитная характеристика разреза батского яруса «Сокурский тракт». / Суринский А.М. // Мат-лы всероссийской научной конференции «Геологические науки 2014». 10-12 апреля 2014 г. – Саратов: 2014а. - С 17 – 19.

65. Суринский А.М. Петромагнитная характеристика разреза ипрского яруса на плато Актолагай / Суринский А.М. // Материалы 15-й Всероссийской

научной конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов «Геологи 21 века». 5-6 апреля 2014 г. – Саратов: 2014б. - С. 19 – 21.

66. Суринский А.М. Результаты циклостратиграфического анализа петромагнитных данных по разрезу турона-коньяка «Нижняя Банновка» (юг Саратовского Правобережья) / Суринский А.М., Гужиков А.Ю., Александров П.Н. // Меловая система России и ближнего зарубежья: проблемы стратиграфии и палеогеографии. 26 сентября – 3 октября 2016 г.: Материалы Восьмого Всероссийского совещания. – Феодосия: 2016. - С. 267-269.

67. Флерова О.В. Верхнемеловые отложения / Флерова О.В., Гурова А.Д. // Сб. статей. Геологические и геохимические исследования. – 1958. - С. 100-106.

68. Харитонов В.М. Стратиграфия турон-коньякских отложений Нижнего Поволжья / Харитонов В.М., Иванов А.В., Сельцер В.Б. // Недра Поволжья и Прикаспия. - 2003. - Вып. 36. - С. 48-60.

69. Храмов, А.Н. Палеомагнетизм / А.Н. Храмов, Л.Е. Шолпо. – Л.: Недра, 1967. – 251 с.

70. Храмов, А.Н. Палеомагнитология / А.Н. Храмов, Г.И. Гончаров, Р.А. Комиссаров и др.; под ред. А.Н. Храмова. – Л.: Недра, 1982. – 312 с.

71. Ямпольская, О.Б. Термокаппаметрические характеристики сланцевой толщи зоны D. *randeri*, как индикаторы некоторых особенностей геохимического режима в позднеюрском бассейне Русской плиты / О.Б. Ямпольская, А.Ю.Гужиков // Палеомагнетизм и магнетизм горных пород: тезисы семинара, Борок, 24-29 сентября 2000 г. – М., 2000. – С. 85 – 86.

72. Alekseev, A.S. Foraminiferal biostratigraphy of the uppermost Campanian-Maastrichtian in SW Crimea (Bakhchisaray and Chakhmakhly sections) / A.S.Alekseev, L.F. Kopaevich // Bull. Inst. Roy. Sci. Natur. Belgique. Sci. Terre. – 1997. –V. 67. – P. 103-118.

73. Almqvist B. C. Magnetic susceptibility as a tool to study deformed calcite with variable impurity content / Almqvist B. C., Herwegh M., Schmidt V., Petke T., Hirt A.M. // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. – 2010. – V. 11. - №1. – P. 15-32.

74. Anderson R.Y. A long geoclimatic record from the Permian / Anderson R.Y. // *Journal of geophysical research.* – 1982. - V. 87. – P. 7285-7294
75. Blackman R.B. *The Measurement of Power Spectra* / Blackman R.B. Tukey J.W. - New York: Dower publications, - 1958. 156p.
76. Bromley R.G. *Trace Fossils. Biology, taphonomy and applications* / Bromley R.G. - London: Chapman hall, - 1996. 361 p.
77. Cliver E.W. Solar activity and geomagnetic storms: From M regions and flares to coronal holes and CMEs / Cliver E.W. // *EOS, Transactions, American geophysical union.* – 1995. – V. 76 – P. 56-83.
78. Dean W. E., Gardner J. V., Jansa L.F., Chepek P., Seibold E. *Cyclic sedimentation along the continental margin of Northwest Africa* // Dean W. E., Gardner J. V., Jansa L.F., Chepek P., Seibold E. / Washington (U.S. Government Printing Office). - 1977. – V. 41. - P. 965—990.
79. Dercourt J. *Atlas of Peri-Tethys Palaeogeographical Maps* / Dercourt J., Gaetani M., Vrielynck B., Barrier E., Biju-Duval B., Brunet M.F., Cadet J.P., Crasquin S. – Paris: Commission for the Geological Map of the World, - 2000. 268p.
80. Evans, M.E. *Environmental Magnetism: Principles and Applications of Enviromagnetics* / M.E. Evans, F. Heller // Elsevier-Academic Press. – 2003. – 316 pp.
81. Fischer, A.G. *Orbital forcing timescales and cyclostratigraphy* / Fischer, A.G. *Geological Society Special Publication.* - 1995. – V. 5. - P. 199 - 204.
82. Gale A. S. *Biostratigraphical and sequence correlation of the Cenomanian successions in Mangyshlak (W. Kazakhstan) and Crimea (Ukraine) with those in southern England* / Gale A. S., Hancock J. M., Kennedy W. J. // *Bulletin de L'Institute Royal des Sciences Naturelles de Belgique. Sciences de la Terre.* - 1999. – V. 69. - P. 67—86.
83. Gale, A.S., *Cyclostratigraphy and correlation of the Cenomanian Stage in Western Europe. Orbital Forcing Timescales and Cyclostratigraphy* / Gale, A.S. - *Geological Society of London Special Publication*, 1995. 103 p.

84. Gale A.S., Turonian correlation and sequence stratigraphy of the Chalk in southern England / Gale A.S. - Geological Society London Special Publications, - 1996. 128p.
85. Gradstein F.M. A Geologic Time Scale / Gradstein F.M., Ogg G.J., Smith A.G. - Cambridge University Press, 2004. – 589 pp.
86. Gradstein F.M. On the geologic time scale 2008 / Gradstein F.M., Ogg G.J., van Kranendok M. // Nuwsl. Stratigr. – 2008. – N43. – P. 5-13
87. Gradstein F.M. The Geologic Time Scale / Gradstein F.M., Ogg J. G., Schmitz, M.D. Ogg, G.M. – Amsterdam: Elsevier, 2012. - 1144 p.
88. Guzhikov, A. Some features of the Early Cretaceous sedimentation in the Cis-Caucasia reflected in magnetic properties of the sedimentary cover / Guzhikov A., Molostovsky E. // Geodiversitas. – 1999. – V. 21 (3). – P. 365-385.
89. Hay W. W. Understanding and modeling the sedimentary system / Hay W. W. // Geowissenschaften. - 1997. – V.15. - P. 5-10.
90. Hays J. Variations in the Earth's Orbit: Pacemaker of the Ice Ages / Hays J., Imbrie J., Shackleton N. // Science. - 1976. - V. 194. - P. 121 - 129.
91. Herbert T.D. Orbital chronology of Cretaceous-Early Palaeocene marine sediments. / Herbert, T.D., D'Hondt, S.L., Premoli Silva, I., Erba, E., Fischer // Time Scales, and Global Stratigraphic Correlation. SEPM Special Publication. - 1995. - P. 81-94.
92. Husson D. Astronomical calibration of the Maastrichtian / Husson, D., Galbrun, B., Laskar, J., Hinnov, L.A., Locklair, R., // Earth and Planetary Science Letters. - 2011. – V. 305. - P. 328-340.
93. Ilyin A. V. Mid-Cretaceous phosphate platforms of the Russian Craton / Ilyin A. V. // Sedimentary Geology. - 1997. – V. 113 (1—2). - P. 125—135.
94. Imbrie J. Modeling the Climatic Response to Orbital Variations / Imbrie J., Imbrie Z. // Science. New Series. - 1980. - V. 207, № 4434 (Feb. 29.). - P. 943-953
95. Kietzmann D.A. Cyclostratigraphy of an orbitally-driven Tithonian–Valanginian carbonate ramp succession, Southern Mendoza, Argentina: Implications for

the Jurassic–Cretaceous boundary in the Neuquén Basin / Kietzmann D.A., Palma M.R., Lianos L.P. // *Sedimentary Geology*. – 2015. - V. 315. – P. 29-46.

96. King C. The Aktulagay section, West Kazakhstan: a key site for northern mid-latitude Early Eocene stratigraphy / King C., Iakovleva A., Steurbaut E. // *Stratigraphy*. - 2013. - V. 10. № 3. - P. 171–209.

97. Kissel C. Rapid climate variations during marine isotopic stage 3: Magnetic analysis of sediments from Nordic Seas and North Atlantic / Kissel, C., Laj, C., Labeyrie, L., Dokken, T., Voelker, A., Blamart, D. // *Earth and Planetary Science Letters*. – 1999. – V. 171. - P. 489–502.

98. Kodama A. Rock magnetic cyclostratigraphy / Kodama A., Hinnov L. - UK: West Sussex: Wiley & Sons, 2015. - 166 p.

99. Kodama, K. P. Depositional remanent magnetization. *Encyclopedia of Earth System Science*. / Kodama, K. P. - San Diego: Academic press, 1991. - 132 P.

100. Kominz, M.A., The astronomically forced sedimentation process in the West-Auvol clay formation / Kominz, M.A., Hernández, J.C., Olsson, R.K., Wright, J.D., Feigenson, M.D., Van Sickle, W. // *Geology*. - 2003. - V. 31. - P. 585–588.

101. Lamy F. Late Quaternary precessional cycles of terrigenous sediment input off the Norte Chico, Chile (27.5 °S) and palaeoclimatic implications / Lamy F., Hebbeln D., Wefer G. // *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*. - 1998. – V. 141. - P. 233-251.

102. Lourens L.J. Long-periodic variations in the earth's obliquity and their relation to third-order eustatic cycles and late Neogene glaciations / Lourens L.J., Hilgen F.J. // *Quaternary International*. - 1997. - V. 40. - P. 43-52.

103. Mackenzie, F.T. Interactive comment on «Past and present of sediment and carbon biogeochemical cycling models» / Mackenzie, F.T., Lerman A., Andersson J. // *Biogeosciences Discussion*. - 2004. – V. 11. – P. 31-41.

104. Moore T.C. Carbonate time series of the Quaternary and Late Miocene sediments in the Pacific Ocean: a spectral composition / Moore T.C., Pisias N.G., Dunn D A // *Marine Geology*. - 1982. – V. 46 (3/4). - P. 1347—1362.

105. Ogg J. G. A Concise Geologic Time Scale / Ogg J. G., Ogg G., Gradstein F. M. - Amsterdam, Netherlands : Elsevier, - 2016. 240 p.

106. Ogg J. G. Late Cretaceous (65–100 Ma time-slice) [Электронный ресурс] /Ogg J., Ogg G. // Updated to Geologic Time Scale 2004 (Gradstein, F.M., Ogg, J.G.,Smith, A.G., et al., 2004) and The Concise Geologic Time Scale (Ogg, J.G., Ogg, G.,and Gradstein, F.M., 2008). – 2008. – Режим доступа: http://nhm2.uio.no/norges/timescale/3_Late_Cret_Sept08.pdf

107. Ogg J. G. The Cretaceous period. In Gradstein et al., The geologic time scale. / Ogg J. G., Hinnov L. A. – Cambridge: Cambridge University press, 2012. – 177p.

108. Pillans B. A review of the Milankovich climate beat: template for Plio-Pleistocene sea-level changes and sequence stratigraphy / Pillans B., Chapel J., Naish T. // Sedimentary Geology. - 1998. – V.122. - P. 5-21.

109. Pratt L.M. Influence of environmental on preservation of orbital parameters of organic matter in the middle Cretaceous geochron formation near Pueblo / Pratt. L.M. - Bull of American Association Of Geol., 1984. - 68 p.

110. Prokoph A. Author links open the author workspace.1. Numbers and letters correspond to the affiliation list. Detection of non-stationarities in geological time series: Wavelet transform of chaotic and cyclic sequences. / Prokoph A. // Computers & Geosciences. – 1996. -V. 22. – P. 1097-1108.

111. Prokoph A. Periodic-cyclic and chaotic successions of Upper Cretaceous (Cenomanian to Campanian) pelagic sediments in the North German Basin / Prokoph A. // Cretaceous Research. – 1997. - V.18. – P. 731-750.

112. Reijmer J. Periodities in the composition of Late Ttiassic calciturbidites (Eastern Alps, Austria). Rhythmicity in deep water sediments, documentation and interpretation by pattern and spectral analisys. / Reijmer J. // Cretaceous Research. – 1992. – V. 87. - P. 183-200.

113. Rodionov V. P. Paleomagnetism and cyclostratigraphy of the Middle Ordovician Krivolutsky Suite, Krivaya Luka section, southern Siberian Platform: Record of nonsynchronous NRM-components for a non-axial geomagnetic field /

Rodionov, V.P., Dekkers, M.J., Khramov, A.N., Gurevich, E.L., Krijgsman, W., Duermeijer, C.E., Heslop, D. // *Studia Geophysica et Geodaetica*. - 2003. – V.47. – P. 255-274.

114. Russell G.L. Regional sea level changes projected by the NASA/GfJSS Atmosphere Ocean Model / Russell G.L., Gornitz V., Miller J.R. // *Climate Dynamics*. – 2000. – V.16 (10/11). - P. 789-797.

115. Sbignev V. Cyclostratigraphy as a compromise between Milankovitch and Markov logic / Sbignev V. // *Abstracts of 18-th IAS Regional European Meeting of Sedimentology, Heidelberg, September 2-4*. - 1997. - P. 313.

116. Schwarzacher W. Cyclostratigraphy and Milankovitch theory / Schwarzacher W. - Amsterdam: Elsevier, 1993. – 225p.

117. Schwarzacher W. Cyclostratigraphy of The Cenomanian in the Gubbio district, Italy: a field study Orbital forcing and the Milancovitch Theory / Schwarzacher W. // *Special Publications of the International Assosiation of Sedimentology*. - 1994. - P. 87-97.

118. Schwarzacher W. Some experiments to simulate the Pennsylvanian rock sequence of Kansas / Schwarzacher W. // *Kansas Geol. Surb. Contrib.* - 1967. – V.18. - P. 5-14.

119. Schwarzacher W. The stratification of Great car limestone in the settle district of Yorkshire / Schwarzacher W. // *Liverpool and Manchester press*. - 1958. – P. 124-142.

120. Schwarzacher W. Vertical and lateral variations of a carboniferous limestone near Sligo (Ireland) // *Vistlius Volume, transl. New York*. – 1968. - P. 151-159.

121. Shackleton N.J. Astronomical calibration age for the Oligocene-Miocene boundary / Shackleton N.J., Hall, M.A., Raffi I., Tauxe L., Zachos J. // *Geology*. - 2000. – V. 28. – P. 447-450.

122. Shackleton N. Astronomical calibration of Oligocene-Miocene time / Shackleton, N., Crowhurst, S., Weedon, G., Laskar, J. // *Philosophical Transactions of the Royal Society Series*. - 1999. – V. 357. – P. 1907-1929.

123. Sprenger A. Calciturbidite composition related to exposure and flooding of a carbonate platform (Triassic, Eastern Alps) Rhythmicity in deep water sediments, documentation and interpretation by pattern and spectral analysis, *Proefschr. / Sprenger A.* - Amsterdam: Elsevier, 1992. - P. 169—182.

124. Steurbaut E. New calcareous nannofossil taxa from the Ypresian (Early Eocene) of the North Sea Basin and the Turan Platform in West Kazakhstan / Steurbaut E. // *Bull. Inst. Roy. Sci. nat. Belgique.Sci. de la Terre.* - 2011. - V. 81. - P. 247—277.

125. Ten K. W. On the periodicity in a calcirudite — marl succession SE Spain / Ten Kate W., Sprenger A. // *Sci. Natur. Belgique. Sci. Terre.* - 1992. - P. 142—147.

126. Tiedemann R. Climatic changes in the Western Sahara: paleo-marine sediment record of the last 8 million years (sites 657— 661). / Tiedemann, R., Sarnthein, M., Stein, R. // *College Station TX (Ocean Drilling Program).* - 1989. – V.108. - P. 241—278.

127. Time scale creator v. 7.3 / Zehady A. K., Nag V. C., Palem G., Lugowski A., Aaron Ault. – 2017. Program software.

128. Weedon, G.P. Astronomical calibration of the Jurassic time-scale from cyclostratigraphy in British mudrock formations / Weedon, G.P., Jenkyns, H.C., Coe, A.L., Hesselbo, S.P. // *Philosophical Transactions of the Royal Society Series.* - 1999. – V. 357. – P. 1787-1813.

129. Weedon, G.P. (2003) *Time-Series Analysis and Cyclostratigraphy: Examining Stratigraphic Records of Environmental Cycles* / Weedon, G.P. – Cambridge: Cambridge University Press, 2003. - 259 p.