

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА

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

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва – 2018

Работа выполнена на кафедре Общей геологии и полезных ископаемых геологического факультета ФГБОУ ВО «Саратовский Государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»

Научный руководитель – *Гужиков Андрей Юрьевич* - доктор геолого-минералогических наук, профессор

Официальные оппоненты – *Матасова Галина Гельевна* - доктор геолого-минералогических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук, ведущий научный сотрудник лаборатории геодинамики и палеомагнетизма

Нургалиев Данис Карлович - доктор геолого-минералогических наук, профессор, Федеральное государственное автономное учреждение высшего профессионального образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», директор Института геологии и нефтегазовых технологий

Габдуллин Руслан Рустемович - кандидат геолого-минералогических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», доцент кафедры региональной геологии и истории Земли

Защита диссертации состоится «28» сентября 2018г. в 14³⁰ на заседании диссертационного совета МГУ.04.04 Московского Государственного Университета имени М.В. Ломоносова по адресу: 119991, г. Москва, Ленинские горы, д.1, МГУ им. М.В. Ломоносова, Геологический факультет, ауд. 829.

E-mail: nvbadulina@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27) и на сайте ИАС «ИСТИНА»: <http://istina.msu.ru/dissertations/111226805/>

Автореферат разослан « 1 » августа 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор геолого-минералогических
наук, доцент

 В.С. Захаров

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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.

Степень разработанности темы. Петромагнитные данные, как инструмент для изучения седиментационной ритмичности, обусловленной астрономическими циклами известной длительности, впервые были востребованы, примерно, четверть века назад А. Гэйлом (Gale, 1995; 1996). С тех пор петромагнитный метод активно используется в циклостратиграфическом анализе (Kodama, Hinnov, 2015 и др.) за рубежом, но в России, пока, не получил широкого применения в этих целях. Одной из главных причин подобной ситуации представляется отсутствие детальных петромагнитных данных по опорным разрезам, пригодных для выявления в них циклов Миланковича путем спектрального анализа. Среди немногочисленных работ, посвященных циклостратиграфии верхнего мела Русской плиты и Крыма (Найдин, Кияшко, 1994; Габдуллин, 1996; 2000;

2004; 2007), только у Р.Р. Габдуллина (2002; 2003; 2004; 2006), в комплексе с другими материалами, анализируются некоторые петромагнитные данные.

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.

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 \sim 400 000 и \sim 100 000 лет) и наклона земной оси относительно эклиптики (\sim 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. 6. Предложен новый способ расчета скоростей формирования карбонатных отложений по их магнитной восприимчивости.

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.

Степень достоверности. Достоверность научных выводов обеспечивается использованием: 1) комплексного подхода к исследованиям, при котором из опорных разрезов по системе «образец в образец» отбирались пробы на различные виды анализов, а интерпретация петромагнитных материалов проводились совместно с данными других методов: био- и магнитостратиграфического; 2) представительного фактического материала – тысяч образцов, отобранных из восьми опорных разрезов с разных уровней с интервалом от 1 до 50 см; 3) современного высокочувствительного оборудования для петромагнитных измерений; 4) 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 использовались 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 Science 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»).

Вклад автора в диссертационное исследование. Автором самостоятельно, или при его непосредственном участии, собран весь фактический материал, положенный в основу диссертационного исследования (коллекции образцов горных пород, результаты лабораторных петромагнитных измерений и их математического анализа); созданы типовые модели формирования ритмичности осадочных толщ, на которых базировалась геологическая интерпретация полученных петромагнитных материалов, в том числе, выделение секвенций в изученных разрезах; выдвинута идея о комплексном анализе секвентных и циклостратиграфических данных с целью уточнения возраста отложений, выявления перерывов в осадконакоплении и оценки их длительности; разработан новый способ оценки скорости осадконакопления для карбонатных толщ; подготовлены основные публикации по результатам исследований.

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. Первушову, 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 с помощью современного программного обеспечения. Глубокую признательность автор выражает РФФИ за поддержку исследований (проект №16-35-00339-мол_а).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дана общая характеристика работы, обоснована актуальность темы исследования, формулируются цели и задачи, основные положения, выносимые на защиту, показан фактический материал, личный вклад автора, также определена научная новизна и практическая значимость диссертационного исследования.

В первой главе «Состояние проблемы» изложены основы циклостратиграфического метода и приведен краткий экскурс в историю его становления. Раскрыты главные преимущества использования сведений о магнетизме горных пород при циклостратиграфическом анализе, такие как: высокая геологическая информативность петромагнитных характеристик и оперативность получения данных. Рассмотрена эволюция взглядов исследователей на связь цикличности седиментации с вариациями орбитальных параметров Земли (Schwarzacher, 1958; 1967; 1968; 1993; 1994; Hays et al., 1976; Gale, 1995; 1996; 1999). Приведен обзор работ, рассматривающих механизмы формирования осадочной цикличности, и принципы циклостратиграфических исследований (Imbrie, 1980; Shackleton et al., 1999; 2000; Weedon, 1999; 2003).

Отдельное внимание уделено взаимосвязям между палеоклиматическими изменениями и вариациями магнитных свойств отложений. Исходя из установленных ранее закономерностей (Молостовский, Храмов, 1997 и др.), разработаны две главные типовые модели формирования ритмичности осадочных толщ, на которых базировалась геологическая интерпретация полученных петромагнитных материалов, в том числе выделение секвенций в изученных разрезах. Согласно первой модели значения петромагнитных характеристик, определяемые концентрациями аллотигенных ферромагнетиков в породе, увеличиваются в осадках, формирующихся на регressiveных стадиях, за счет интенсификации терригенного сноса, и уменьшаются в отложениях, соответствующих повышению уровня моря. Другая модель применима к карбонатным осадкам, формирующимся в центральных частях бассейнов.

Концентрация в них аллотигенных ферромагнетиков будет обратно пропорциональна скорости образования кальцита за счет разубоживания ферромагнитных частиц в диамагнитной карбонатной матрице.

Помимо этого, сделан обзор немногочисленных работ, посвященных циклостратиграфическому изучению отложений верхнего мела и палеогена на территории Русской плиты и Крыма. (Найдин, Кияшко, 1994; Габдуллин, 1996; 2000; 2004; 2007).

Во второй главе «Методика работ» обоснован выбор объектов исследований, приведены сведения о методике полевых и лабораторных работ, принципах математической обработки, главных подходах к анализу и интерпретации данных.

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, расположенные в различных структурно-фаунистических зонах, представленные разными литотипами, с возрастом отложений, определенным с точностью, по крайней мере, до подъяруса. В Саратовском и Волгоградском Поволжье к таким разрезам относятся: «Нижняя Банновка» (турон-маастрихт); карьер «Большевик», г. Вольск (кампан-маастрихт), «Озерки» (турон-коньяк), «Каменный брод» (турон-сантон). В Юго-Западном Крыму были изучены разрезы кампана–маастрихта «Токма» и «Чахмахлы». На плато Актолагай (Казахстан, юго-запад Актюбинской области) исследованию подвергся опорный разрез эоцена (ипрского яруса). В методических целях циклостратиграфическому анализу был подвергнут разрез берриаса Центрального Крыма у с. Алексеевка (р. Тонас). Для всех изученных разрезов, за исключением эоцена Актолагая, имеется магнитополярная характеристика.

Методика отбора образцов для циклостратиграфического анализа аналогична отбору образцов для петромагнитного изучения разреза, но 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, обращалось внимание на мощность стратиграфических

единиц ранга яруса и подъяруса. В настоящей работе шаг отбора изменялся от 1 – 10 см в разрезах, где мощность ярусов имеет порядок первых десятков метров, до 20 – 50 см в случае мощностей ярусов порядка многих десятков метров.

Отбор образцов проводился параллельно с геологическими описаниями разрезов, кроме того, использовались описания разрезов, составленные ранее другими авторами. Петромагнитные образцы для циклостратиграфического анализа отобраны более чем с 4 500 уровней. Для оценки внутрипластовой дисперсии магнитной восприимчивости каждая проба делилась перед лабораторными измерениями на три части. С учетом этого разделения общее число образцов превышает 13 000.

Петромагнитные исследования заключались, в основном, в измерениях удельной или объемной магнитной восприимчивости (K_m и K_v соответственно). В общей сложности, магнитная восприимчивость определена у 13 851 образцов с 4 617 уровнями. Кроме того, у проб с 578 уровнях изучены: прирост магнитной восприимчивости после нагрева образцов до 500° (dK), естественная остаточная намагниченность (J_n), остаточная намагниченность насыщения (J_{rs}) и остаточная коэрцитивная сила (H_{cr}), проанализированы параметр Кенигсбергера (фактор Q), отношение K/J_{rs} и параметр $S = |J_{r(-300\text{MТл})}/J_{rs}|$. Выборочные образцы подвергались терромагнитному анализу и измерениям на коэрцитометре для выяснения вида носителя магнитных свойств и структурных особенностей ферромагнитной фракции.

Для геологической интерпретации петромагнитных данных в настоящей работе использовались модели, в которых вариации магнитных свойств пород определяются изменениями концентрации в них ферромагнитного аллотигенного материала вследствие либо изменений уровня моря, либо флюктуаций скорости формирования диамагнитной карбонатной матрицы.

Для выявления в петромагнитных вариациях по разрезам циклов различной длительности использовался метод преобразования Фурье. Если кратность выявленных циклов совпадала с кратностью циклов Миланковича, то они 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.

Применение преобразования Фурье к временным петромагнитным рядам дает возможность анализировать периодические составляющие, которые зачастую невозможno выявить при визуальном изучении графиков. Неравномерность скорости седиментации и наличие перерывов в осадконакоплении затрудняют спектральный анализ временных рядов. Для того чтобы свести влияние неравномерной скорости седиментации к минимуму, интервалы разрезов, представленные различными литотипами, анализировались раздельно. Для проверки влияния перерывов на итоги Фурье-анализа было проведено численное моделирование путем «вырезания» фрагментов произвольной длительности из теоретической кривой орбитальной цикличности. Результаты моделирования показали, что стратиграфические перерывы различной длительности не оказывают существенного влияния на спектральные характеристики, если число гиатусов намного меньше общего количества циклов Миланковича.

Для измерений магнитной восприимчивости образцов использовался мультичастотный каппабридж MFK1-FB, остаточной намагниченности – спин-магнитометр JR-6. Для термокаппаметрического анализа была задействована печь СНОЛ 6/11-В. Математические операции проводились с помощью пакета программ Simulink MATLAB r2010b.

В третьей главе «Результаты исследований» приведены результаты петромагнитного изучения разрезов, а также даны их геологические описания и биостратиграфические характеристики.

Все изученные отложения слабомагнитны: объемная магнитная восприимчивость не превышает $10-20 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ в терригенных разностях, а в карбонатных отложениях варьирует, в основном, от (-1) до $5 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ. Несмотря на это, все, без исключения разрезы, обнаруживают значимую петромагнитную дифференциацию.

В четвертой главе «Циклостратиграфическая интерпретация петромагнитных данных» представлены результаты Фурье-преобразования последовательностей петромагнитных параметров, преимущественно магнитной восприимчивости, по всем изученным разрезам в виде спектрограмм – графиков зависимости спектральной амплитуды сигнала от его частоты и результаты их циклостратиграфической интерпретации в виде

циклов Миланковича известной длительности, зафиксированных в разрезе. Присутствие астрономической цикличности считалось обоснованным, если кратность частот (или обратной им величины – периодов), соответствующих значимым пикам, совпадала с кратностью циклов Миланковича. Например, отношение периодов близкое к 4 интерпретировалось как присутствие циклов большого (**E₂**) и малого (**E₁**) эксцентриситета земной орбиты, длительностью ~ 400 000 лет и ~ 100 000 лет, соответственно, а отношение близкое к 2.5 – как наличие циклов **E₁** и изменения угла наклона земной оси относительно эклиптики (**O**), продолжительностью ~ 40 000 лет. Более короткопериодные циклы, например, прецессии, длительностью ~ 25 000 лет не были выявлены ни в одном из разрезов, возможно, потому что находятся в области шумов. В случаях, когда соотношение частот на спектограмме не совпадало с кратностью циклов Миланковича, данные Фурье-анализа исключались из рассмотрения.

С целью подавления единичных выбросов и нерегулярных высокочастотных колебаний, негативно влияющих на спектральные характеристики, временные петромагнитные ряды предварительно сглаживались путем осреднения в скользящем окне. В случае нечетко выраженных пиков на спектrogramмах использовались частоты (периоды), соответствующие середине расщепленных или «размазанных» пиков.

В разрезе верхнего берриаса на р. Тонас (Горный Крым), представленном глинами, Фурье-анализу был подвергнут широкий спектр петромагнитных характеристик, но только на спектrogramмах, соответствующих вертикальным рядам остаточной намагниченности насыщения, после их предварительного сглаживания, обозначились четкие пики с частотами (периодами), отличающимися друг от друга ~ в 2.5 раза. Эти периоды отождествлены с циклами **E₁** и **O**. Аналогичным образом, по рядам остаточной намагниченности насыщения удалось выделить циклы **E₁** и **O** в терригенном эоцене на плато Актолагай.

Во всех остальных изученных разрезах циклы Миланковича выявлены при анализе рядов магнитной восприимчивости. В верхнем мелу Нижнего Поволжья, представленном карбонатными, карбонатно-терригенными и кремнисто-терригенными фациями, запечатлены, в основном, циклы большого (**E₂**) и малого (**E₁**) эксцентриситетов земной орбиты. Единственным исключением является маастрихтская толща мелоподобных мергелей в

районе г. Вольска, в которой, наряду с E_2 и E_1 обнаружен цикл изменения угла наклона земной оси к эклиптике (**O**). В разрезах карбонатного кампана-маастрихта Юго-Западного Крыма выделяются три вида циклов: E_2 , E_1 и **O**.

Представляется закономерным, что в терригенных толщах астрономическая цикличность выделяется только при анализе остаточной намагниченности насыщения, в то время, как в карбонатных разрезах она успешно обнаруживается по магнитной восприимчивости. Вероятно, терригенный материал содержит парамагнетики, которые искажают периодический ферромагнитный сигнал. Парамагнетики влияют на величину магнитной восприимчивости в слабомагнитных отложениях, но не на значения остаточной намагниченности насыщения. Естественно также, что относительно короткопериодные циклы изменений угла наклона земной оси к эклиптике выявляются лишь в наиболее мощных, то есть характеризующихся наиболее высокой скоростью осадконакопления, толщах.

В пятой главе «Комплексная геологическая интерпретация данных о магнетизме верхнего мела и палеогена Русской плиты и Крыма» приведены результаты расчетов скоростей формирования отложений, полученные путем циклостратиграфического анализа, по всем изученным разрезам (таблица 1). Количество циклов определенной длительности в пределах исследуемого стратиграфического интервала рассчитывалось путем деления мощности анализируемого интервала разреза на период цикла, выраженный в единицах мощности (м или см). Средняя скорость седиментации определялась как отношение мощности толщи к суммарной продолжительности задокументированных в ней циклов.

Кроме того, в разрезах верхнего мела Поволжья вариации петромагнитных характеристик отождествлены с известными секвенциями (TS-creator), базируясь на модели, согласно которой, изменения магнитной восприимчивости контролируются интенсивностью привноса терригенного материала, обусловленного изменениями уровня моря. Правомерность использования этой модели обоснована результатами анализа имеющихся сведений о палеогеографии Нижнего Поволжья в позднемеловую эпоху.

Благодаря комплексному циклостратиграфическому и секвентному

Таблица 1. данные о скоростях осадконакопления по изученным разрезам

Регион	Разрез	Ярус	E_2	E_1	\mathbf{O}	Т	V	Тип отложений
Нижнее Поволжье	Нижняя Банновка	K_2tr-k	3	12	-	1.2	1.5	Карбонаты
		K_2st	4.1	16.4	-	1.64	2.42	Глины, опоки
		K_2km	5.7	23	-	2.2	2.5	
		K_2mt	1.6	6.4	-	0.64	2.36	
	Каменный брод	K_2tr	4	16	-	1.6	2.5	Карбонаты
		K_2k	2	8	-	0.8	2.5	
	Озерки	K_2tr-k	1	4		0.4	1.4	
	Большевик	K_2km	2.5	10		1	0.61	
		K_2mt	11	44	32	4.4	1-1.6	
Ю-З Крым	Токма	K_2mt	1.4	5.6	14	0.56	11.5	Карбонаты
	Чахмахлы	K_2mt	2.25	9	22.5	0.9	10	
	Алексеевка	K_1b	-	4.5	10.5	0.45	5.55	Глины
Прикаспий	Плато Актолагай	P_2i	-	8	20	0.8	9.3	Алевритистые и карбонатные глины

Условные обозначения: Т - продолжительность осадконакопления (млн. лет)

V - скорость осадконакопления (см/тыс. лет)

подходу, в разрезе Нижняя Банновка удалось обосновать преимущественно туронский возраст вольской свиты, относимой ранее к коньякскому ярусу, выявить перерывы в осадконакоплении и оценить их длительность.

Туронские–коньякские отложения в разрезе Нижняя Банновка (исключая конденсированные горизонты в виде фосфоритовых конгломератов в основании разреза) образовались за период, соответствующий, примерно, трем циклам E_2 , то есть за ~ 1.2 млн. лет (рисунок 1). Средний темп формирования туронской–коньякской толщи, мощностью 18.2 м, получается при этом равным ~ 1.5 см/тыс. лет. Повышенные величины магнитной восприимчивости в разрезе фиксируют

обогащение осадка обломочными ферромагнитными частицами, происходящее в условиях близкой суши при падении уровня моря. На графике удельной магнитной восприимчивости (K_m) намечаются три двуичленных ритма, характеризующиеся в нижних частях относительно высокими значениями параметра, а в верхних - низкими (рисунок 1). Их 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 ($K_m < 1-2 \cdot 10^{-8}$ ед. СИ) отвечают высоким стояниям уровня моря. 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 1).

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 1). Продолжительность установленных перерывов, исходя из абсолютных датировок границ секвенций (TS-creator v7.3), составляет $\sim 0.5-0.7$ млн. лет.

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 гиатусы, 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 предпосылках. В первом случае достоверность результатов зависит от надежности выделения и идентификации циклов Миланковича, а во втором,

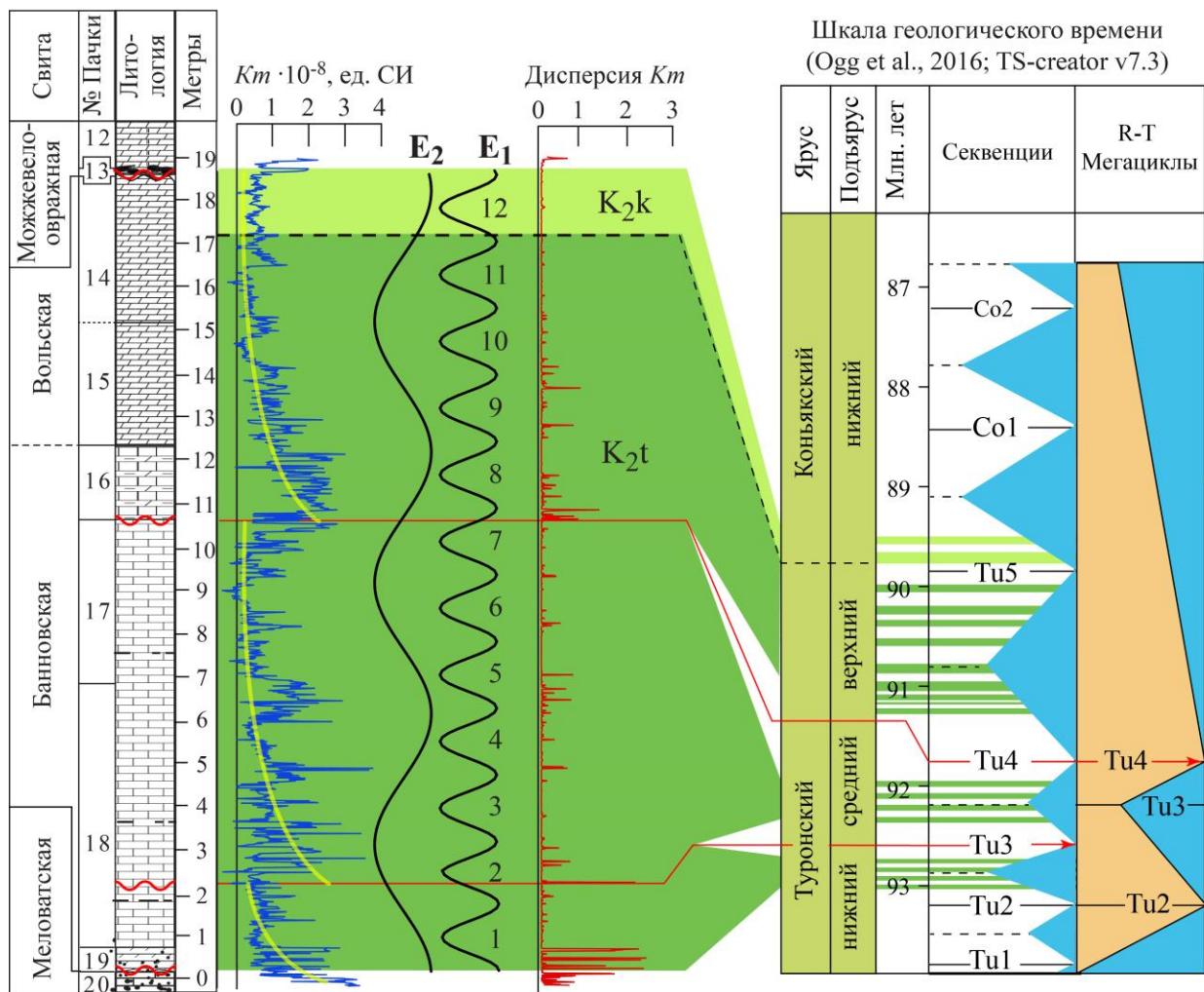


Рисунок 1. Петромагнитная и циклостратиграфическая характеристика разреза турона-конъяка «Нижняя Банновка», результаты сопоставления петромагнитной ритмичности с эвстатическими колебаниями и секвенциями, оценка перерывов в осадконакоплении по циклостратиграфическим и секвентным данным.

еще и от погрешностей абсолютных датировок секвенций.

В разрезе Нижняя Банновка туронскому и конъякскому ярусам отвечают баннывская (до 10 м) и вольская (до 10 м) свиты, соответственно. Согласно результатам комплексного циклостратиграфического и секвентного анализа, баннывская, и большая часть вольской свиты относятся к туронскому ярусу. К конъякскому ярусу могут быть отнесены лишь верхи вольской свиты (рисунок 1). 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 отметить, 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 остаткам отсутствуют. Поэтому предположение о преимущественно туронском возрасте вольской свиты в нижнебанновском разрезе не противоречит имеющимся биостратиграфическим данным. Напротив, наш вывод подтверждается данными по иноцерамам, по устному сообщению И. Валащика (Варшавский университет), изучавшему разрез Нижняя Банновка осенью 2017 г.

Подобным образом, комбинируя циклостратиграфические и секвентные данные, полученные путем анализа петромагнитных вариаций, в других разрезах верхнего мела удалось оценить длительность, как впервые установленных, так и известных перерывов.

К формированию магнитных свойств кампанских–маастрихтских отложений разреза «Большевик» (г. Вольск), представленного наиболее чистыми карбонатными разностями (мелоподобными мергелями), применима модель, основанная на разубоживании аллотигенного материала в карбонатной матрице. Исходя из этой модели, нами разработан и предложен новый метод оценки скоростей формирования карбонатных отложений по магнитной восприимчивости (K), базирующийся на двух главных допущениях: 1) величина K пропорциональна концентрации аллотигенных частиц, 2) количество аллотигенного материала, поступающего в осадок за единицу геологического времени, является постоянной величиной.

Возможность использования величин K в качестве показателей темпа накопления карбонатных отложений определяется обратной связью между скоростью кристаллизации кальцита и концентрацией аллотигенных, преимущественно пелитовых, частиц в осадке. Породообразующий кальцит является диамагнетиком, а увеличение K до нулевых и положительных значений происходит за счет привнесенных в карбонатную матрицу частиц, обладающих 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 эловым 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.

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_s), полученными с помощью традиционных методов, минимум, на двух любых интервалах исследуемого разреза.

Скорости осадконакопления на произвольном уровне (интервале) разреза (V_i) рассчитываются по формуле: $V_i = \frac{V_{s1} \cdot K_{s1}}{K_i + a + b} = \frac{V_{s2} \cdot K_{s2}}{K_i + a + b}$, где K_i – значение магнитной восприимчивости на уровне или участке, для которого вычисляется скорость осадконакопления; a – произвольно выбранное значение при соблюдении условия $a < K_{min}$ в разрезе; V_{s1} , V_{s2} – скорости осадконакопления для первого и второго интервалов разреза с известной длительностью формирования соответственно, K_{s1} , K_{s2} – средние значения магнитной восприимчивости для первого и второго интервалов разреза с известной длительностью формирования соответственно; V_s и K_s – скорость осадконакопления и среднее значение магнитной восприимчивости, нормированные по формуле: $K'_s = \frac{\sum_{i=1}^n (K_i + a + b)}{n}$, соответственно, для любого из двух интервалов разреза с известной длительностью формирования.

Предложенный метод апробирован в разрезах кампана–маастрихта «Большевик» и «Коммунар» (г. Вольск), в которых установлены магнитозоны – аналоги магнитных хронов известной длительности. Для интервалов разреза «Большевик», соответствующим этим хронам, скорости седиментации рассчитаны путем деления мощности магнитозоны в разрезе на длительность хона: $V_{s1} = 4.8$ мм/тыс. лет и $V_{s2} = 10.4$ мм/тыс. лет (рисунок 2). Расчеты по формуле (1) выполнены для каждого стратиграфического уровня, на котором проводились измерения магнитной восприимчивости.

Использование двух независимых методов определения скоростей осадконакопления (по магнитной восприимчивости и по результатам циклостратиграфического анализа) привело к сопоставимым

количественным результатам, отличающимся друг от друга, примерно, в 2 раза (рисунок 2). Однако в формуле расчета скоростей по магнитной восприимчивости заложены значения скоростей на «эталонных» участках разреза, определенных по палеомагнитным данным. Следовательно, оценки скоростей осадконакопления, полученные новым способом, могут быть занижены 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.

К недостаткам нового метода следует отнести его неспособность к самостоятельному определению абсолютных значений темпов седиментации, потому что он базируется на оценке скоростей, полученных на эталонных интервалах разреза другими способами. Но безусловным преимуществом петромагнитного метода является возможность оценки скорости осадконакопления на произвольном интервале разреза, что позволяет изучать динамику темпов формирования отложений с любой детальностью.

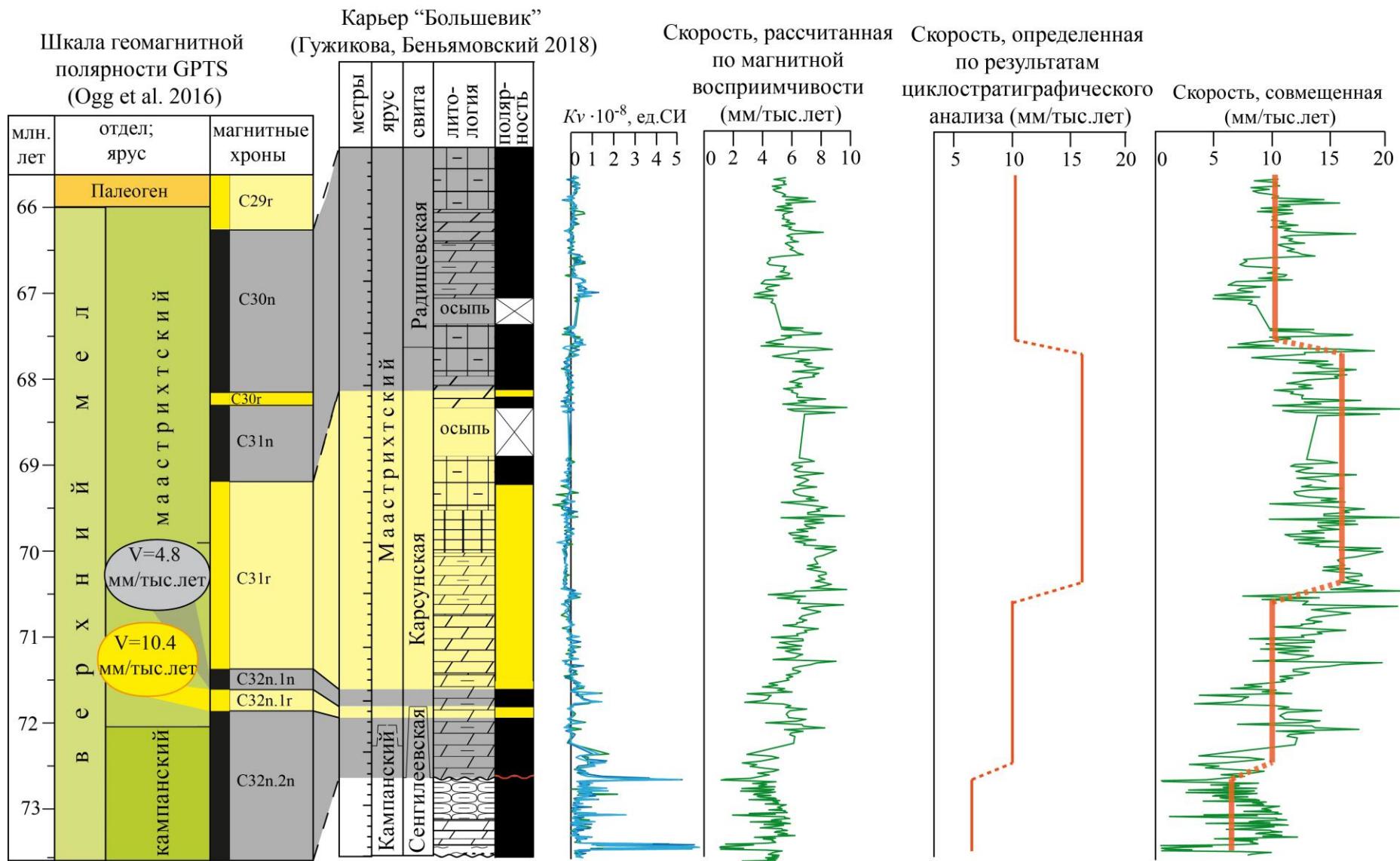


Рисунок 2. Результаты расчета скоростей осадкоакопления по разрезу Большевик с использованием двух независимых методик

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итогом проведенных исследований является выявление циклов Миланковича в осадочных толщах, расположенных в различных структурно-фацальных зонах, и количественные оценки скоростей формирования отложений, перерывов в разрезах мела и палеогена Русской плиты и Горного Крыма. Для обнаружения астрономической цикличности использовался Фурье-анализ последовательностей петромагнитных данных. Используя известные принципы геологической интерпретации петромагнитных данных (Молостовский, Храмов, 1997 и др.), по вариациям магнитной восприимчивости 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». Полученные к настоящему времени результаты свидетельствуют о целесообразности использования полученных данных для совершенствования местной субрегиональной стратиграфической схемы и решения ряда других актуальных задач региональной геологии.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

Статьи, опубликованные в журналах Scopus, WoS, RSCI, а также в изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности:

1. Барабошкин Е. Ю. Новые данные о стратиграфии и условиях формирования эоценовых отложений на плато Актолагай (западный Казахстан) / Барабошкин Е.Ю., Гужиков А.Ю., Беньяновский В.Н., Александрова Г.Н., Барабошкин Е.Е., **Суринский А.М.** // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. – 2015. – № 2. – С. 67–76.
2. Дзюба О.С. Магнито- и углеродно-изотопная стратиграфия нижнего–среднего бата разреза Сокусский 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.

Патент на изобретение:

3. 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.

Публикации в журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России:

4. **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.

5. Куражковский А.Ю. Определения палеонапряженности по разрезу эоцене 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.

6. 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. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. – 2016. – Т. 16. Вып. 3. – С. 162-172.

7. 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. – 2017. – Т. 17. Вып. 2. – С.117-124.

8. Первушов Е.М. Комплексное Био- и магнитостратиграфическое изучение разрезов «Озерки» (верхний мел, Саратовское правобережье). Статья 2. Характеристика орбитокомплексов 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. – 2017. Т. – 17. Вып. 3. – С. 182 – 199.

9. 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.

Иные публикации:

10. 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.
11. 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.
12. **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.
13. **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. Конценбина. – Саратов, Изд-во «Наука» – С. 99-108.
14. **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: 2014. – С. 19 – 21.
15. **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 2 т. 13 – 15 мая 2015 г. Ульяновск: 2015. – Т.1. – С. 285-288. <http://ify.ulstu.ru>

Подписано в печать 23.05.2018.

Формат 60x84 $\frac{1}{16}$. Бумага офсетная. Гарнитура Times.

Объем 1.0 печ. л. Заказ 342-44.
