



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2021. Т. 21, вып. 4. С. 248–263
Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences, 2021, vol. 21, iss. 4, pp. 248–263
<https://geo.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2021-21-4-248-263>

Научная статья
УДК 550.384+551.7:56+551.763.3(470.4)



Магнитостратиграфия турона–сантона Самарского Правобережья

А. А. Гужикова¹, В. А. Грищенко¹, В. А. Фомин^{1✉}, Е. Ю. Барабошкин², Д. А. Шелепов¹

¹Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

²Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1

Гужикова Анастасия Андреевна, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией Петрофизики, blackhole3@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5669-7116>

Грищенко Владимир Александрович, кандидат геолого-минералогических наук, инженер лаборатории Петрофизики, grishenko-vladimir@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0268-1917>

Фомин Владимир Александрович, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, fominva@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1343-4794>

Барабошкин Евгений Юрьевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор, ejbaraboshkin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0000-4373-1543>

Шелепов Дмитрий Александрович, старший преподаватель, shelepov-dmitriy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3238-8532>

Аннотация. Представлены результаты петро- и палеомагнитного изучения двух разрезов турона–сантона Самарского Правобережья – у сел Новодевичье, Подвалье – и детальное геологическое описание разреза Новодевичье. По магнитостратиграфическим данным проведены дополнительное расчленение и детальная корреляция разрезов, в разрезе Подвалье установлен неизвестный ранее перерыв в осадконакоплении. Значительной части коньякских–сантонских отложений соответствует обратная полярность, наличие которой противоречит существующим представлениям о режиме туронского–сантонского геомагнитного поля, но отчасти согласуется с данными по разновозрастным отложениям, установленными в других разрезах на территории Поволжья.

Ключевые слова: верхний мел, турон, коньяк, сантон, магнитостратиграфия, петромагнетизм, Меловой суперхрон, Среднее Поволжье

Благодарности. Авторы благодарны А. Г. Маникину (СГУ) за участие в полевом опробовании разрезов, студентам геологического факультета СГУ: Р. Туякову и Д. Агибалу за помощь в лабораторной обработке, Р. В. Веселовскому (ИФЗ РАН, Москва) за выполнение термомангнитных анализов, А. Ю. Гужикову и И. П. Рябову за обсуждение результатов исследований и ценные консультации. Мы глубоко признательны [Д. П. Найдину], Т. Н. Смирновой (МГУ), [В. Н. Беньямовскому] и В. А. Захарову (ГИН РАН) за определения микро- и макрофауны. Полевые работы и магнитостратиграфические исследования выполнены в рамках проекта РНФ № 20-77-00028. Стратиграфические исследования выполнены в рамках темы госзадания АААА-А16-116033010096-8 (МГУ).

Для цитирования: Гужикова А. А., Грищенко В. А., Фомин В. А., Барабошкин Е. Ю., Шелепов Д. А. Магнитостратиграфия турона–сантона Самарского Правобережья // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2021. Т. 21, вып. 4. С. 248–263. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2021-21-4-248-263>

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

Magnetostratigraphy of Turonian – Santonian strata on the Samara Right Bank

A. A. Guzhikova¹, V. A. Grishchenko¹, V. A. Fomin^{1✉}, E. Yu. Baraboshkin², D. A. Shelepov¹

¹Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

²Moscow State University, 1 Leninskiye Gory, Moscow 119991, Russia

Anastasia A. Guzhikova, blackhole3@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5669-7116>

Vladimir A. Grishchenko, grishenko-vladimir@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0268-1917>

Vladimir A. Fomin, fominva@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1343-4794>

Evgeniy Yu. Baraboshkin, ejbaraboshkin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0000-4373-1543>

Dmitry A. Shelepov, shelepov-dmitriy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3238-8532>



Abstract. The paper presents the results of petro- and paleomagnetic studies of two sections of Turonian – Santonian on the Samara Right Bank – near Novodevichye, Podval'e villages and detailed geological description of the Novodevichye section. The magnetostratigraphic subdivision and detailed correlation of the sections were carried out. Unknown unconformity in the Podval'e section was recognized. Reverse polarity corresponds to a significant part of the Coniacian – Santonian deposits, the presence of which contradicts the existing ideas about the regime of the Turonian – Santonian geomagnetic field, but partly agrees with the data on deposits of the same age found in other sections in the Volga region.

Keywords: Upper Cretaceous, Turonian, Coniacian, Santonian, magnetostratigraphy, petromagnetism, Cretaceous superchron, Middle Volga region

Acknowledgments. We want to thank Aleksey G. Manikin (SSU) for the participation in the field sampling of geological sections. We are also grateful to the students of the faculty of Geology (SSU) Renat A. Tuyakov and Dmitriy A. Agibalov for help in the laboratory work. We thank Roman V. Veselovsky for performing thermomagnetic analyses. We also thank Andrey Y. Guzhikov and Ilya P. Ryabov for discussion of research results and valuable advice. We are sincerely grateful to [Dmitriy P. Naidin], Tatyana N. Smirnova (MSU), [Vladimir N. Benyamovskiy], Viktor A. Zakharov (GIN RAS) for dating micro- and macrofossils. Field work and magnetostratigraphic studies were carried out within the framework of the Russian Science Foundation project No 20-77-00028. Stratigraphic studies were carried out within the framework of the state order AAAA-A16-116033010096-8 (MGU).

For citation: Guzhikova A. A., Grishchenko V. A., Fomin V. A., Baraboshkin E. Yu., Shelepov D. A. Magnetostratigraphy of Turonian – Santonian strata on the Samara Right Bank. *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2021, vol. 21, iss. 4, pp. 248–263 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2021-21-4-248-263>

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Введение

Целью данной статьи является проверка гипотезы о существовании эпох обратной полярности геомагнитного поля в туронском, коньякском и сантонском веках. Подобные предположения, основанные на магнитостратиграфических материалах по разрезам верхнего мела разных регионов, неоднократно высказывались ранее [1–6 др.]. Часть из них нашла отражение в Общей магнитостратиграфической шкале (ОМСШ), в которую была включена продолжительная (~0.35 млн лет) эпоха обратной (*R*) полярности в коньякском веке («Клюевская» *R*-зона) [7]. Однако в Шкале геомагнитной полярности (GPTS) туронский–сантонский интервал до сих пор характеризуется исключительно нормальной полярностью и [8].

В последнее время были получены данные об обратной намагниченности турона–сантона Саратовского и Волгоградского Правобережья [9–12], стимулировавшие возобновление интереса к проблеме режима геомагнитного поля в туронском–сантонском веках. Несмотря на то что сведения о палеомагнитной зональности верхнего мела Нижнего Поволжья формально удовлетворяют требованиям надежности магнитостратиграфических данных [7, 13], полностью исключить возможность их альтернативной интерпретации как результата перемагничивания пород пока нельзя. Поэтому принципиальное значение при обосновании первичности намагниченности приобретает прослеживание магнитозон обратной или аномальной полярности в разновозрастных отложениях разных структурно-фациальных зон. С этой точки зрения безусловный интерес представляет сравнение палеомагнитных характеристик турона–сантона Нижнего и Среднего Поволжья. Петромагнитные данные, полученные в ходе исследований, представляют самостоятельную ценность для детальной корреляции разрезов

Самарского Правобережья и реконструкции условий формирования отложений.

Для решения данных проблем были изучены два разреза турона–коньяка Самарского Правобережья – у с. Новодевичье и с. Подвалье. Геологическое описание разреза Новодевичье, публикуемое впервые, выполнено Е. Ю. Барабоскиным в 2000 г. Тогда же В. А. Фоминым и А. Ю. Гужиковым было проведено рекогносцировочное палеомагнитное опробование разреза, но при лабораторной обработке надежных определений получить не удалось из-за чрезвычайно малой естественной остаточной намагниченности пород, недоступной для измерения на аппаратуре того времени. Тем не менее результаты палеомагнитных исследований, допускающие наличие обратной намагниченности в туроне–коньяке, были отражены в диссертации В. А. Фомина [5]. Представления о возрасте отложений в разрезе Новодевичье базируются на субрегиональной стратиграфической схеме верхнемеловых отложений Среднего и Нижнего Поволжья [14, 15] и находках макрофауны, сделанных в 2000 г.: белемнитов (определения (МГУ)), брахиопод (определения Т. Н. Смирновой (МГУ), иноцерамов (определения В. А. Захарова (ГИН РАН)), бентосных фораминифер (определения (ГИН РАН)) [5], а также на результатах изучения радиолярий [16].

В 2020 г. В. А. Грищенко, А. Г. Маникиным и В. А. Фоминым были детально опробованы разрезы Новодевичье (повторно) и Подвалье (впервые). В туроне, коньяке и низах сантона для палеомагнитного и петромагнитного анализа в разрезе Новодевичье были взяты 22 ориентированных штуфа (при общей мощности опробованных отложений ~10 м), а в разрезе Подвалье – 14 штуфов (при мощности изученной толщи ~5 м). Между уровнями, охарактеризованными ориентированными пробами, дополнительно брались неориентированные образцы для петромагнитного анализа. Таким образом, в разрезах



Новодевичье и Подвалье в петромагнитном отношении были изучены образцы с 43 и 27 уровней соответственно.

Геологическая характеристика

Изученные разрезы находятся на севере Самарского Правобережья на территории Шигонского района (рис. 1, а, б, в). В структурном плане

они приурочены к южной окраине Мелекесской впадины – Ставропольской депрессии, ограниченной с юга Жигулевским, а с севера Мордовским валами [17, 18].

В разрезе Новодевичье (координаты: 53°36'26.5" N, 48°51'39.1" E) верхнемеловые (туронские–кампанские) отложения залегают субгоризонтально, вскрываются в оползневом обрыве на берегу Волги приблизительно в 0.5 км

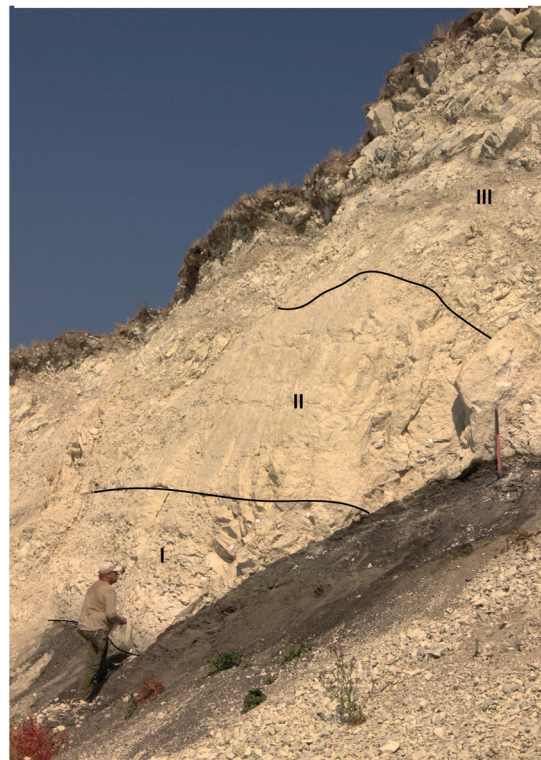
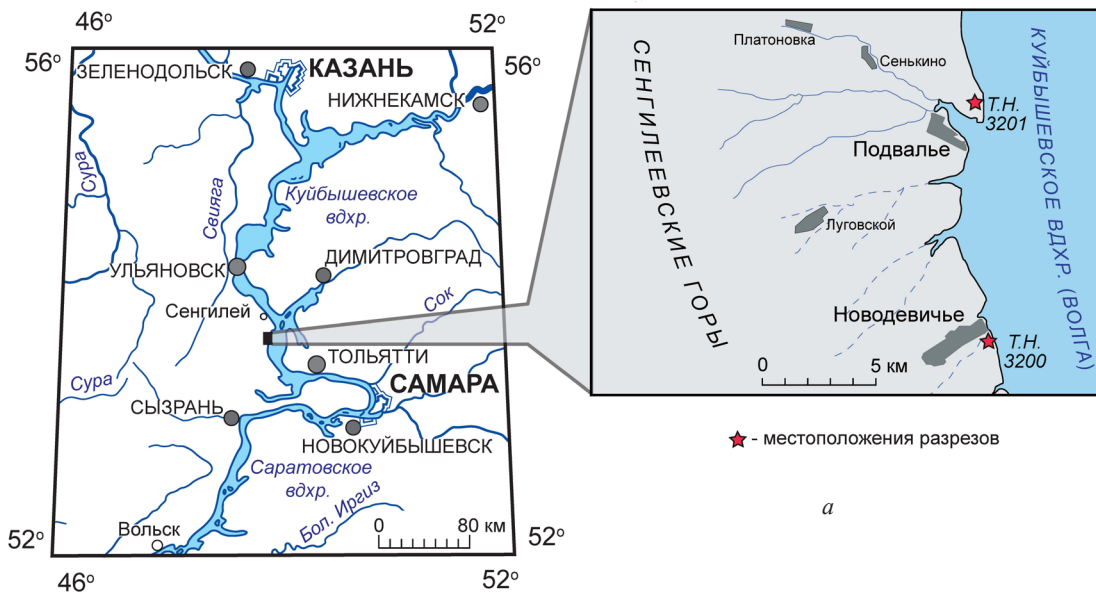


Рис. 1. Местоположения изученных разрезов (звездочки) (а); фотографии разрезов Новодевичье и Подвалье соответственно, на которых отмечены границы пачек, а цифры означают номера пачек (б, в) (цвет online)



ниже по течению одноименного села. Разрез состоит из четырех пачек карбонатно-кремнистых пород, хорошо различимых в рельефе обрыва (см. рис. 1, б). Снизу-вверх (рис. 2)

Пачка I. Образована несколькими слоями, отличающимися по составу.

Слой 1. На кровле черных глин верхнего альба с разрывом залегают пески темно-зеленые средне-зернистые, глауконитовые, с хорошо окатанной галькой черных фосфоритов (2–3 см). Кровля размыта. Мощность 0.15 м.

Слой 2. Мергели светло-зеленые, биотурбированные, с зернами глауконита и хорошо единичными окатанными гальками черных фосфоритов (2–3 см), размер которых уменьшается вверх по разрезу. В шлифах это биокластовые пакстоуны, насыщенные тонкораздробленным призматическим слоем раковин иноцерармов (фототаблица, фиг. А), содержащие также фрагменты иглокожих и бентосных фораминифер. Мощность 0.5–0.55 м.

Слой 3. Мергели серые, буроватые, глинистые, с единичными зернами глауконита, образуют нишу. Микроскопически это глинистые, преимущественно кальцисферовые пак-вакстоуны (фототаблица, фиг. Б), с остатками иглокожих, фораминифер и призматического слоя раковин иноцерармов. Мощность 0.3 м.

Слой 4. Известняки светло-серые, содержащие многочисленные фрагменты толстого призматического слоя раковин иноцерармов. Выше (0.3 м) подошвы присутствует прослой хорошо окатанных мелких галек (1 см) черных фосфоритов. В шлифах породы близки к вышеописанным, отличаясь высоким содержанием раковин планктонных фораминифер (фототаблица, фиг. В). Кровля слоя представляет собой поверхность твердого дна с многочисленными норами *Arenicolites* и *Skolithos* диаметром до 1.2 см, проникающими на глубину до 5–6 см. Несколько ниже кровли встречены брахиопода *Carneithyris gracilis* (Sahni) и неопределимые фрагменты белемнитов. Мощность 1.8 м.

Пачка II. Пачка образована тремя слоями светло-серых биотурбированных известняков (1.1; 1.4–1.6 м), разделенных тонкими (0.1–0.03 м соответственно) прослоями зеленовато-серых известковых глин. Аналогичный прослой (0.05 м) расположен в подошве, где данные глины выполняют норы хардграунда. В основании нижнего слоя известняков присутствуют рассеянные хорошо окатанные гальки черных фосфоритов. Микроскопически известняки похожи на породы основания разреза. Они также насыщены мелкораздробленным призматическим слоем раковин иноцерармов (фототаблица, фиг. Г) и содержат фрагменты иглокожих и планктонных фораминифер. В верхней части известняки переходят в глинистые пак-вакстоуны с кальцисферами, планктонными фораминиферами и единичными зернами глауконита (фототаблица, фиг. Д, Е). Количество фрагментов призматического слоя раковин иноцерармов

снижается вверх по разрезу. В слое присутствует три уровня выветрелых пиритовых конкреций, хорошо заметных по ярко-бурому цвету. Его кровля (так называемый «губковый горизонт») представляет собой обохренную поверхность «зрелого» твердого дна, пронизанную норами ракообразных *Thalassinoides* на глубину 0.3 м, выполненными опоками вышележащего слоя и содержащими глауконит и мелкие фосфоритовые гальки. В пачке встречены фрагменты ростров *Goniocamax* sp. ind., а в основании слоя – остатки *Inoceramus* sp. Мощность пачки 4.6–4.65 м.

Пачка III. Пачка чередования зеленовато-серых биотурбированных неясно-полосчатых окремненных мергелей и опок (по 0.7–1 м), в подошве песчанистых, образующих карнизы в обрыве, и зеленоватых слоистых глинистых опок (0.15–0.3 м). Микроскопически опоки представлены глинистыми слабокарбонатными силицитами, содержащими алевритовую примесь кварцевых зерен, мелкие зерна глауконита, рассеянные фрагменты призматического слоя раковин иноцерармов, планктонных фораминифер и многочисленных радиолярий (фототаблица, фиг. Ж, З). Границы между слоями постепенные. Практически каждый слой опок содержит выветрелые пиритовые конкреции (1–2 см), а в прослоях глинистых опок присутствуют фрагменты белемнитов *Goniocamax* sp. – в основании, и *Actinocamax* sp. – вблизи кровли. В середине пачки встречены брахиоподы *Terebratulina chrysalis* (von Schlotheim). В подошве (0.25 м) расположен горизонт разрушенного твердого дна, представленный фрагментами (см – дм размера) окремнелых известняков с гальками черных фосфоритов. Кровля фрагментов абрадирована и обохрена; они разобщены норами *Thalassinoides*, выполненными вышележащими опоками, также содержащими гальки фосфоритов и остатки фосфатизированных губок. Кровля пачки также представляет собой поверхность софтграунда, пронизанную норами *Skolithos* sp. Во всей пачке распространены остатки «птерий» – двустворкок *Oxutoma*. Мощность пачки 5.8–6 м, из которых опробованы нижние 2.8 м.

Пачка IV. Пачка, аналогичная пачке III, слагает вершину обрыва. Она отличается от предыдущей пачки отсутствием многочисленных выветрелых пиритовых конкреций и несколько более частым переслаиванием кремнистых мергелей и глинистых опок. В кровле нижнего 0.25-сантиметрового слоя глауконит-содержащих глинистых опок расположена еще одна поверхность софтграунда с норами *Skolithos*. Здесь же встречены ростры нижекампанских белемнитов *Actinocamax laevigatus* Arkhangel'sky и *Belemnitella praecursor mucronatiformis* Jeletzky. Видимая мощность пачки около 4 м, опробование в ней не проводилось.

Пачка I соответствует гулюшевской свите (средний – верхний турон [14, 15] и, возможно,

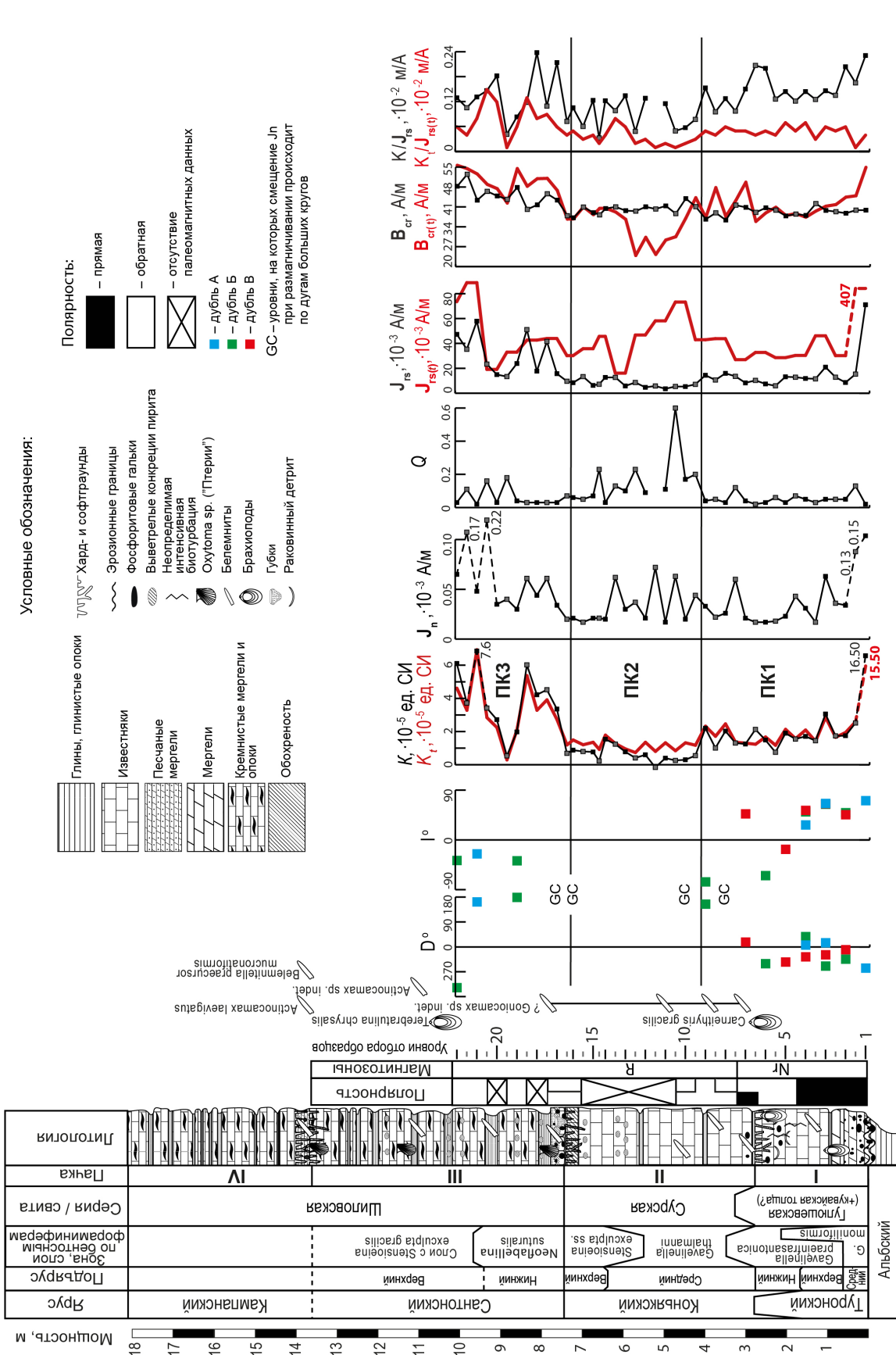


Рис. 2. Разрез турона–кампа у с. Нововедичье и магнитостратиграфическая характеристика туронских–сантонских отложений. Уровни, на которых отобраны ориентированные и неориентированные образцы, маркированы черным и серым цветом (цвет online)

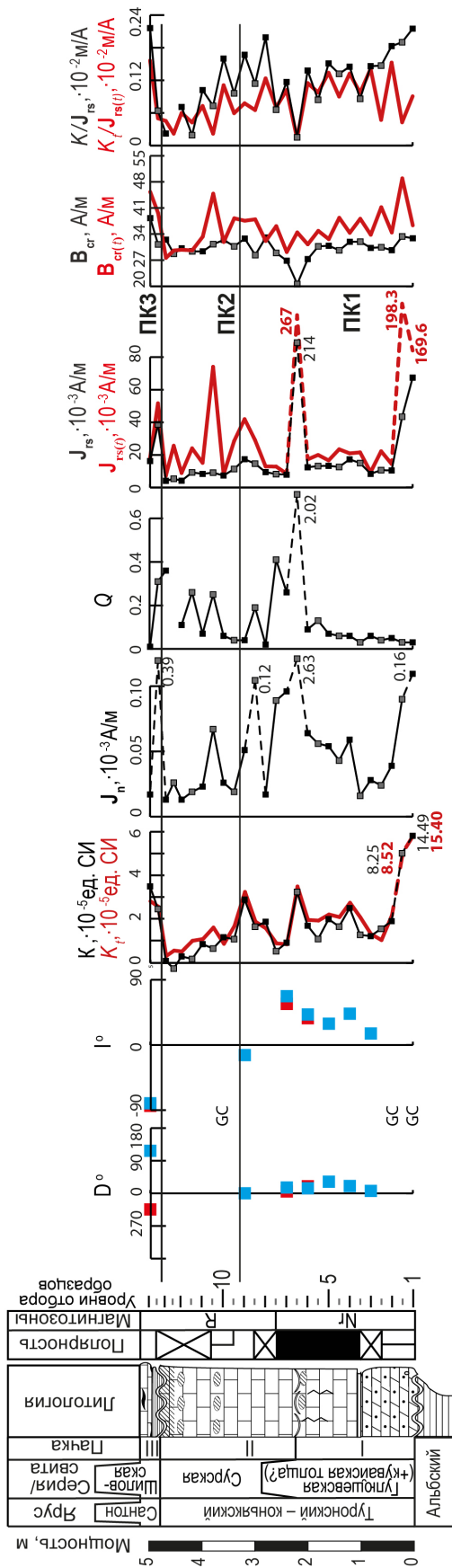


Рис. 3. Магнитостратиграфический разрез турона-сантона у с. Подвалье. Условные обозначения см. рис. 2 (цвет online)

кувайской толще (нижний коньяк), что подтверждается определениями фораминифер.

Пачка II отвечает сурской свите (средний – верхний коньяк), но практически не содержит окремнения. По данным определения фораминифер она отвечает среднему-верхнему коньяку, а находки белемнитов *Goniosamax sp. indet.* и брахиопод *Carneithyris gracilis (Sahni)* этому не противоречат.

Пачки III и IV отнесены к шиловской серии, включающей кирзятскую и потьминскую свиты (сантон), входящей в так называемый «птериевые слои» на основе многочисленных находок мелких двустворок рода *Oxytoma*. Совместные находки белемнитов *Actinocamax laevigatus Arkh.* и *Belemnitella praecursor mucronatiformis Jel.*, сделанные в основании пачки IV, характеризует нижний кампан, согласно [14, 15]. Соответственно пачка III может быть отнесена к сантону, что подтверждается определениями фораминифер.

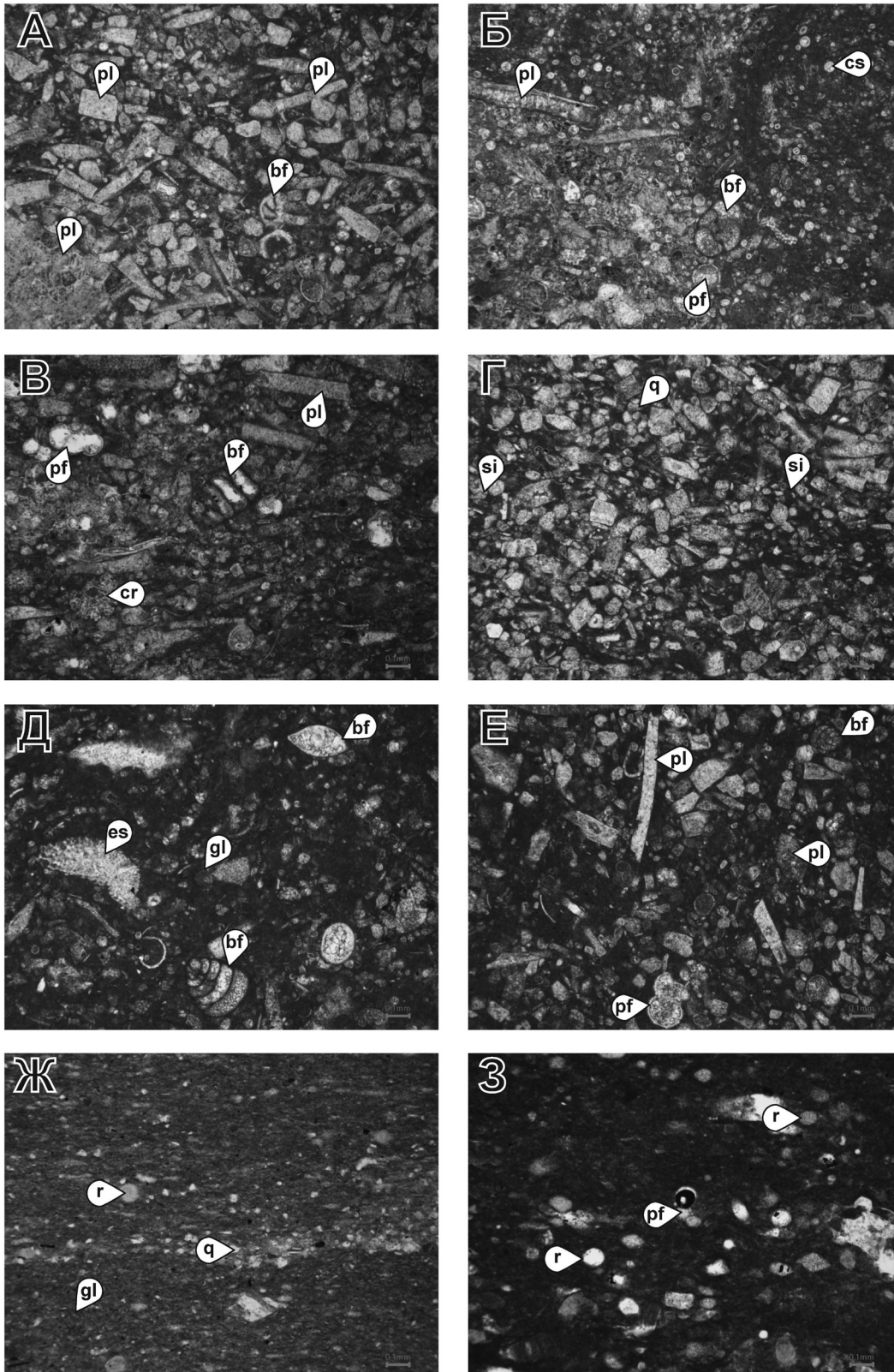
Строение изученного разреза и встреченные в нем фоссилии позволяют говорить, что осадконакопление происходило в мелководных пелагических условиях эпиконтинентального моря с медленным осадконакоплением, сопровождавшимся многочисленными перерывами. Нижняя часть разреза, соответствующая турону и коньяку, формировалась в условиях тепловодного бассейна, в то время как как сантон-кампанская часть разреза накапливалась в условиях притока холодных вод при значительном приносе золотого материала. С последней связаны кремнистый состав, доминирование радиолярий в комплексах планктона и наличие алевритовой примеси в шлифах.

В разрезе Подвалье (координаты: 53°41'20.7" N, 48°51'18.3" E), расположенном на берегу Волги ~ в 1 км выше по течению одноименного села, туронские-сантонские отложения также обнажаются в оползневом блоке, в связи с чем слои сильно дислоцированы и в месте отбора образцов падают к северу (азимут падения 6°) под углом ~30°. В разрезе Подвалье (см. рис. 1, в, 3) легко опознаются аналоги пачек I (мощностью 2.2 м), II (мощностью 2.6 м) и III (видимой мощностью ~5 м), описанных в Новодевичьем. Здесь также опробованы пачки I, II, подошва пачки III.

Методика работ

Ориентированные штуфы распиливались на 3–4 образца кубической формы с размерами граней 2 см, которые впоследствии подвергались лабораторным палео- и петромагнитным исследованиям. Неориентированные пробы распиливались на 1–2 образца кубической формы с размерами граней 1 см, у которых изучались только петромагнитные свойства.

Петромагнитные и магнито-минералогические исследования включали измерение следую-



Фототаблица. Фотографии пород в шлифах. Фиг. А. Обр. 2366/1 – биокластовый пакстоун, пачка I. Фиг. Б. 2366/2 – биокластовый пак-вакстоун, пачка I. Фиг. В. 2366/3 – биокластовый вак-пакстоун, пачка I. Фиг. Г. 2366/4 – биокластовый пакстоун, пачка II. Фиг. Д. 2366/5 – биокластовый пакстоун, пачка II. Фиг. Е. 2366/10 – биокластовый вак-пакстоун, пачка II. Фиг. Ж. 2366/11 – глинистые силициты, пачка III. Фиг. З. 2366/12 – глинистые силициты, пачка III. Во всех случаях николи I. Буквами обозначены: bf – бентосные фораминиферы, cr – криноидеи, cs – кальцисферы, es – иглы морских ежей, pf – планктонные фораминиферы, pl – призматический слой раковин иноцерамов, q – зерна кварца, r – радиоларии



щих параметров: K – магнитная восприимчивость и ее анизотропия (АМВ); \mathbf{J}_n – естественная остаточная намагниченность; \mathbf{J}_{rs} – остаточная намагниченность насыщения (максимально возможная остаточная намагниченность в образце, создаваемая искусственным магнитным полем); \mathbf{V}_s – поле, в котором приобретает \mathbf{J}_{rs} ; \mathbf{V}_{cr} – поле, соответствующее остаточной коэрцитивной силе, которую нужно приложить, чтобы полностью разрушить \mathbf{J}_{rs} образца. Образцы с каждого уровня подвергались прогреву пород при температуре 500°C в течение часа, после чего у них повторно измерялась магнитная восприимчивость (термокаппа или K_t), а также $\mathbf{J}_{rs(t)}$ и $\mathbf{V}_{cr(t)}$. Помимо характеристик, установленных опытным путем, рассчитывались параметры: фактор Q (параметр Кенигсбергера), равный отношению \mathbf{J}_n к индуктивной намагниченности, отношения K/\mathbf{J}_{rs} и $K_t/\mathbf{J}_{rs(t)}$. Фактор $Q \geq 1$ указывает на высокую степень упорядоченности магнитных моментов частиц, а отношения K/\mathbf{J}_{rs} , $K_t/\mathbf{J}_{rs(t)}$ пропорциональны среднему размеру ферромагнитных зерен. Повышенная, по сравнению с K , термокаппа фиксирует новообразованные магнитные фазы, возникшие в образцах после прогрева 500°C . Повторное насыщение образцов после прогрева проводилось с целью получения дополнительной информации о новообразованной магнитной фракции путем сравнительного анализа гистерезисных характеристик до и после термического воздействия.

Выборочные образцы подвергались полному циклу магнитного насыщения–разрушения и термомагнитному анализу (исследованию температурных зависимостей K) с целью определения вида минералов – носителей магнитных свойств, а также дифференциально-термическому анализу с целью выявления глинистых примесей. Дифференциально-термический анализ выполнялся на дериватографе MOM Q-1500D. Исследование образцов проводилось в открытых алундовых тиглях (Al_2O_3) при чувствительности прибора 200 мг и навески испытуемого вещества 500 мг. Нагрев осуществлялся до температуры $t = 1000^\circ\text{C}$, скорость подъема температуры $10^\circ\text{C}/\text{мин}$. Обработка результатов эксперимента проводилась при помощи программного комплекса «Термо 3.3».

Палеомагнитные лабораторные исследования проводились по стандартной методике [19] и включали в себя последовательные магнитные чистки температурой (в диапазоне от 75 до 200 – 500°C с шагом 25 – 50°C) и переменным полем (в диапазоне от 1 мТл до 20 – 70 мТл с шагом 2 – 5 мТл) с последующим измерением естественной остаточной намагниченности (\mathbf{J}_n). В дальнейшем проводился компонентный анализ полученных данных, по результатам которого строились палеомагнитные колонки разрезов.

Замеры магнитной восприимчивости и АМВ проводились на измерителе магнитной восприимчивости каппабридже MFK1-FB, остаточной намагниченности – на спин-магнитометре JR-6.

Для магнитных чисток переменным полем использовался демагнетизатор LDA-3AF, для температурных чисток – печь конструкции В. П. Апарина с пятислойными пермаллоевыми экранами. Для магнитного насыщения был задействован регулируемый электромагнит с максимальной интенсивностью поля 700 мТл, для термомагнитных исследований – каппабридж MFK1-FA с приставкой CS3 (в ИФЗ РАН, Москва). dK , $\mathbf{J}_{rs(t)}$ и $\mathbf{V}_{cr(t)}$ измерялись после нагрева образцов в печи СНОЛ-6/11-В. Анализ зависимостей $K(T)$ и данных АМВ проводился с помощью программ Cureval 8.0.2 Anisoft 4.2, соответственно, компонентный анализ палеомагнитных данных выполнялся в программе Remasoft 3.0.

Результаты работ

Магнитная минералогия и петромагнетизм

Опыты магнитного насыщения показали, что во всех исследованных образцах присутствует только магнитомягкая фаза с низкими значениями полей, соответствующих насыщению (100 – 200 мТл) и коэрцитивной силе (35 – 40 мТл), характерная для тонкодисперсного магнетита (рис. 4, а).

Наличие магнетита однозначно подтверждается наличием спадов намагниченности на термомагнитных кривых, соответствующих нагреву, вплоть до температур 600°C , близких к точке Кюри Fe_3O_4 (578°C) (рис. 4, б). Новообразованные магнитные фазы, фиксируемые при охлаждении, представлены магнетитами с температурами Кюри от 560 до 600°C . Они не могли возникнуть из сульфидов или карбонатов железа, потому что при нагреве не фиксируется значительных приростов K при температурах свыше 400°C или при 300 – 350°C , характерных для пирита и магнитных сульфидов (типа пирротина, грейгита) или сидерита соответственно [20]. Вероятно, новообразованные магнетиты являются продуктом восстановления железа при охлаждении из минералов группы лимонита [21], а в низах разреза, кроме того, из глауконита [22]. Появление магнитомягких ферромагнетиков после прогрева образцов при 500°C подтверждается превышением величин K_t и $\mathbf{J}_{rs(t)}$ над K и \mathbf{J}_{rs} и, напротив, снижением $\mathbf{V}_{cr(t)}$ относительно \mathbf{V}_{cr} в обоих разрезах. Почти повсеместно значения $K_t/\mathbf{J}_{rs(t)}$ меньше K/\mathbf{J}_{rs} , что указывает на очень тонкодисперсное состояние новообразованных Fe_3O_4 .

Распределение направлений главных осей эллипсоидов магнитной восприимчивости (АМВ) в изученных разрезах до нагрева имеет хаотичный характер (рис. 4, в – I, II). Тем не менее среднее направление коротких осей ($K3_{cp}$) в разрезе Новодевичье близко к вертикальному положению (рис. 4, в – I), свойственному отложениям, в которых сохранилась первичная осадочная текстура. После повторных измерений АМВ образцов прогрева при 500°C хаос значительно уменьшился в разрезе Новодевичье: кучность проекций

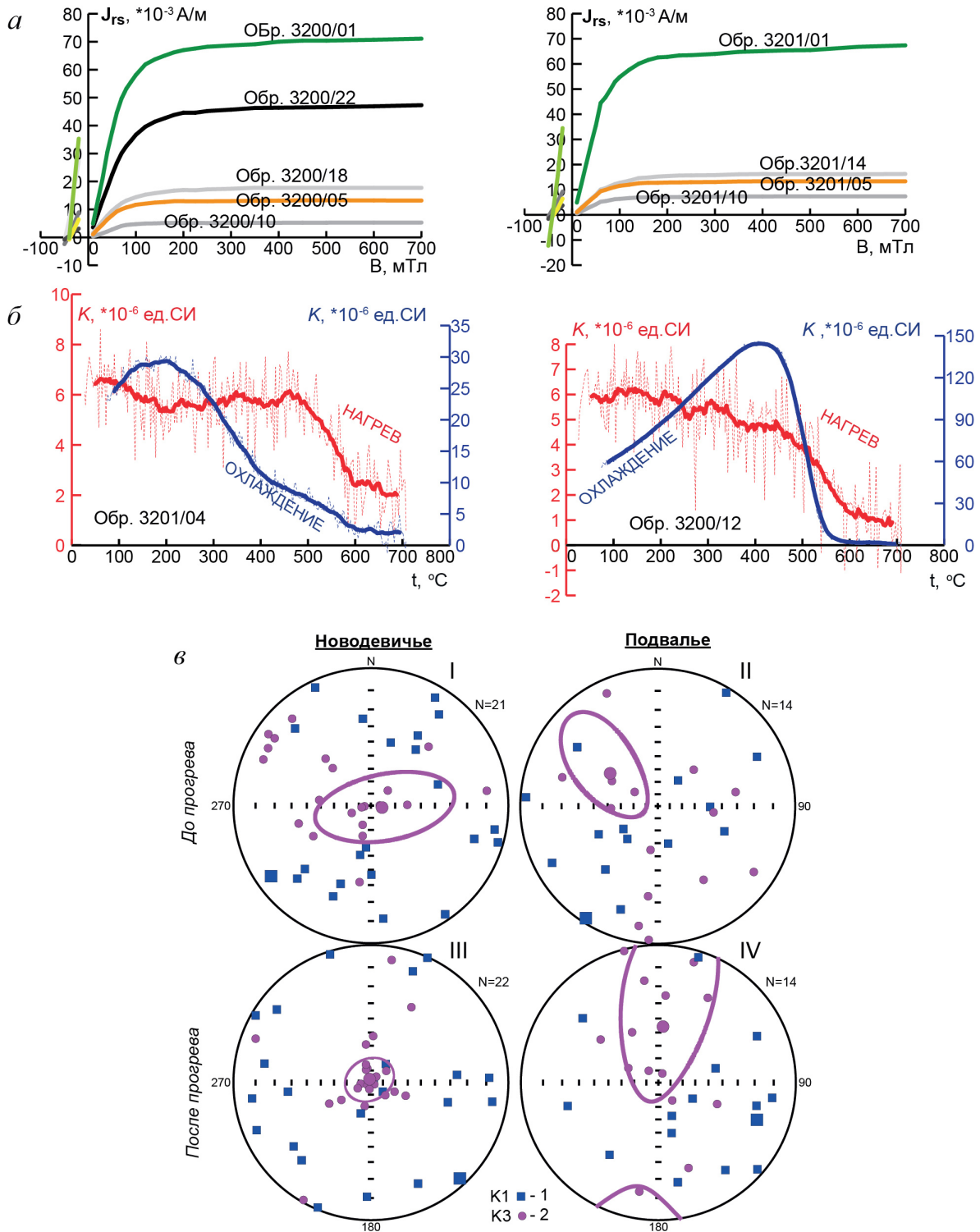


Рис. 4. Результаты магнито-минералогических анализов: а – кривые магнитного насыщения и разрушения; б – кривые термомагнитного анализа; в – стереографические проекции коротких и длинных осей эллипсоидов магнитной восприимчивости в палеогеографической системе координат до и после прогрева (цвет online)

коротких осей возросла в 1.6 раза, их среднее направление осталось статистически не отличимым от вертикали (отклонение проекции $K3_{cp}$ от центра стереограммы составило 3.1°) (рис. 4, в – III). В разрезе Подвалье улучшение картины распре-

деления осей магнитной анизотропии после прогрева не столь очевидно: кучность коротких осей увеличилась незначительно (в 1.2 раза), угол между $K3_{cp}$ и вертикалью практически не изменился (45.6° – до прогрева и 44.4° – после), но проекции



КЗ закономерно «вытянулись» в меридиональном направлении (рис. 4, в – IV). Значительный наклон KZ_{cp} к северу обусловлен более интенсивными оползневыми процессами близ с. Подвалье, по сравнению с районом с. Новодевичье, и, наряду с ярко выраженной вытянутостью овала доверия KZ_{cp} в этом же направлении, фиксирует главный вектор смещения оползневых масс.

По данным дериватографии (рис. 5) в карбонатных пачках I II (исключая слои в основании пачки I, обогащенные песчаным материалом и глауконитом) не обнаружено иных минеральных фаз, кроме кальцита, что свидетельствует об отсутствии в отложениях глинистых примесей или об их очень малых содержаниях, в пределах погрешности метода (не более процента). Судя по термическим изменениям [23] разница между образцами, взятыми из пачки I в разрезе Подвалье и пачки II в разрезе Новодевичье, заключается только в разном количестве адсорбционной воды (в пачке I ~5%, в пачке II ~13%) и вполне может быть обусловлена гипергенными процессами.

Несмотря на малые величины петромагнитных параметров, изученные разрезы дифференцируются на три петромагнитных комплекса (ПК). Нижний комплекс (ПК1) соответствует пачке I низам пачки II, средний (ПК2) – оставшейся части пачки II, верхний (ПК3) – изученной части пачки III. Наилучшим образом трехчленное деление разрезов проявляется на графиках магнитной восприимчивости, на которых ПК2 выделяется минимальными значениями магнитной восприимчивости ($-0.26-1.5 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ), но находит отражение и в вариациях остальных характеристик (см. рис. 2, 3).

Палеомагнетизм

Палеомагнитным исследованиям подверглись 94 ориентированных образца, взятых

с 36 уровней. В процессе компонентного анализа 12 уровней были исключены из рассмотрения, потому что в них не удалось выделить компонент намагниченности или результаты чисток температурой и переменным полем противоречили друг другу. На 24 уровнях результаты разных видов магнитных чисток согласуются между собой, что повышает достоверность палеомагнитных определений (рис. 6, а–в).

В образцах с 9 уровней выделены характеристические компоненты намагниченности (**ChRM**) приемлемого качества (максимальный угол отклонения (MAD) < 15°), соответствующие нормальной (прямой) полярности (N) (см. рис. 6, а).

В другой группе образцов с остальных 15 уровней ChRM выделить не удалось. На 8 уровнях зафиксированы не являющиеся характеристическими компонентами намагниченности с отрицательными наклонениями, свойственными обратной полярности (R) (см. рис. 6, б). На 7 уровнях стереопроекции J_n при размагничивании образцов смещаются по дугам больших кругов (GC) (рис. 6, в). Это свидетельствует о наличии в породах как минимум двух компонент намагниченности. В подобной ситуации уместно предположить, что в обеих группах выделенные компоненты являются стабилизированными векторными суммами частично разрушенных древней (первичной) и вторичной (связанной с современным геомагнитным полем) J_n . Направления древнего и современного поля нормальной полярности близки, поэтому их суперпозиция похожа на характеристическую компоненту. Векторы древнего поля обратной полярности и современного поля противоположны, вследствие чего в образцах из второй группы не удается выделить ChRM, им свойственны компоненты намагниченности с отрицательными наклонениями и/или изменение

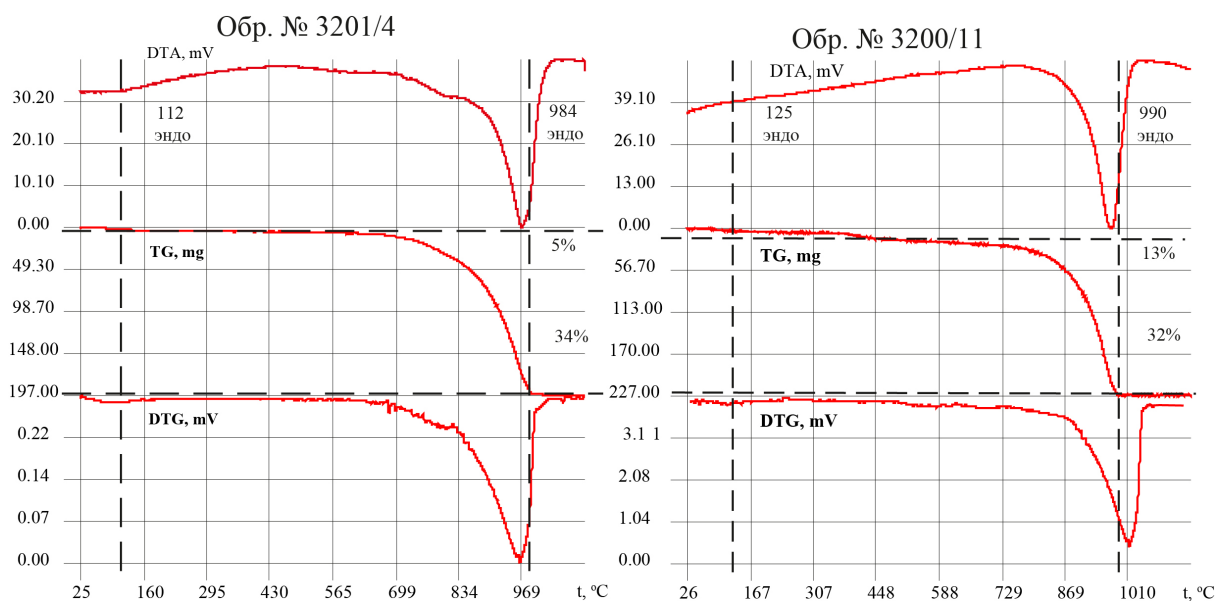


Рис. 5. Результаты дифференциально-термического анализ (цвет online)



направлений J_n в процессе магнитных чисток вдоль больших кругов.

Совокупность **ChRM**, соответствующих предположительно нормальной полярности, характеризуется значительным разбросом (рис. 6, ε), не выходящим, однако, за пределы величин статистических палеомагнитных параметров, типичных для осадочных пород [24–26 др.]. В географической системе координат кучности (k) и радиусы кругов доверия (α_{95}) для N -направлений значимо не различаются, но α_{95} пересечения больших кругов в ней примерно в два раза меньше, чем в стратиграфической системе координат (см. рис. 6, ε). Распределение компонент J_n с отрицательными наклонениями близко к хаосу (см. рис. 6, ε). Большие круги пересекаются в точке, соответствующей компоненте с более кучным распределением, каковой в данном случае является, скорее всего, химическая намагниченность, связанная с гипергенными гидроксидами железа (см. рис. 6, ε). Направление, соответствующее пересечению GC, статистически не отличается от вектора современного поля в районе работ, наклонение которого составляет 69.4° .

Уровни, на которых выделены **ChRM**, соответствующие нормальной полярности, группируются только в низах обоих разрезов. Поэтому мы ранжируем палеомагнитные колонки на две магнитозоны: нижнюю, преимущественно прямой полярности (Nr), соответствующую пачке I – основанию пачки II и обратной полярности (R), охватывающую пачку II (за исключением подошвы) – нижнюю половину пачки III (см. рис. 2, 3, 6). Наличие пропусков в определениях полярности допускает, что реальная палеомагнитная структура разрезов может оказаться более сложной.

Несмотря на невысокое качество полученных данных, они удовлетворяют как минимум 5 из 8 критериев достоверности магнитостратиграфических материалов: возраст отложений определен, по крайней мере, с точностью до яруса; образцы послойно привязаны к разрезу; приведены статистические параметры распределений выделенных компонент; исследованы магнитные минералы; одинаковая последовательность магнитозон зафиксирована в двух разрезах [7].

Обсуждение результатов

Нижняя часть разрезов, обогащенная песчаным материалом и глауконитом, предсказуемо характеризуется повышенными значениями всех параметров, которые в той или иной степени зависят от концентрации ферромагнитных частиц (K , J_n , J_{rs}) (см. рис. 2, 3). Отсутствие или крайне малое количество терригенных примесей (по данным дифференциально-термического и петрографического анализов) в вышележащих карбонатах не дает оснований связывать вариации магнитной восприимчивости или остаточной намагниченности по всему разрезу турона–коньяка с изменени-

ями в содержании терригенной компоненты. Версию о ферромагнетиках химического генезиса как носителях магнитных свойств в изученных разрезах также следует исключить, потому что значения фактора Q – сотые и первые десятые доли единицы (за единственным исключением в подошве пачки II в Подвалье, где $Q > 2$) – не типичны для химической намагниченности. Наиболее вероятно, что носителями магнитных свойств являются аллотигенные частицы пылевой размерности, приносимые в бассейн ветром или иным способом. Если интенсивность привноса эолового материала во время формирования карбонатной толщи существенно не менялась, то минимальные величины K и J_{rs} в пределах ПК2 обусловлены повышенной скоростью накопления карбонатного материала во второй половине коньякского века, что приводило к разубоживанию терригенных частиц в карбонатном осадке. Незначительно повышенные, по сравнению с ПК1, значения J_n и Q , свойственные ПК2, возможно, отражают смену относительно активной гидродинамической обстановки на более спокойную, способствовавшую лучшему упорядочиванию ферромагнитных частиц геомагнитным полем.

По совокупности палео- и петромагнитных свойств проведена детальная корреляция разрезов Новодевичье и Подвалье (рис. 7).

Уровень с аномально высокими значениями K , J_n и J_{rs} (см. рис. 3), соответствующий подошве пачки II в разрезе Подвалье (с призматическим слоем раковин иноцератов), скорее всего, связан с перерывом в осадконакоплении. Судя по большим значениям $Q = 2.02$, характерным для химической намагниченности, носителем J_n здесь является аутигенный магнетит. По сравнению с аллотигенным Fe_3O_4 он более магнитомягкий и дисперсный (что фиксируется минимумами B_{cr} и K/J_{rs} соответственно). Скорее всего, аутигенный магнетит входит в состав глауконитовых зерен, присутствующих на этом уровне. Во всяком случае, спектры петромагнитных характеристик в подошве пачки II основании пачки I, где отмечен глауконит, аналогичны. По палеомагнитным данным можно наметить объем перерыва в разрезе Подвалье, который, вероятно, соответствует интервалу обратной полярности внутри Nr -зоны в разрезе Новодевичье.

Граница ПК1 и ПК2 делит пачку II на две части. В свою очередь, верхнюю часть пачки можно дополнительно расчленить на три петромагнитных интервала, границы между которыми определяются по минимумам магнитной восприимчивости.

Пачке III (сантон), которой соответствует ПК3, свойственны наиболее высокие значения K , J_n и J_{rs} , обусловленные, очевидно, ферромагнетиками, ассоциирующимися с глинистым материалом и терригенными зернами, предположительно эолового происхождения, встреченными в шлифах (фототаблица, фиг. Ж).

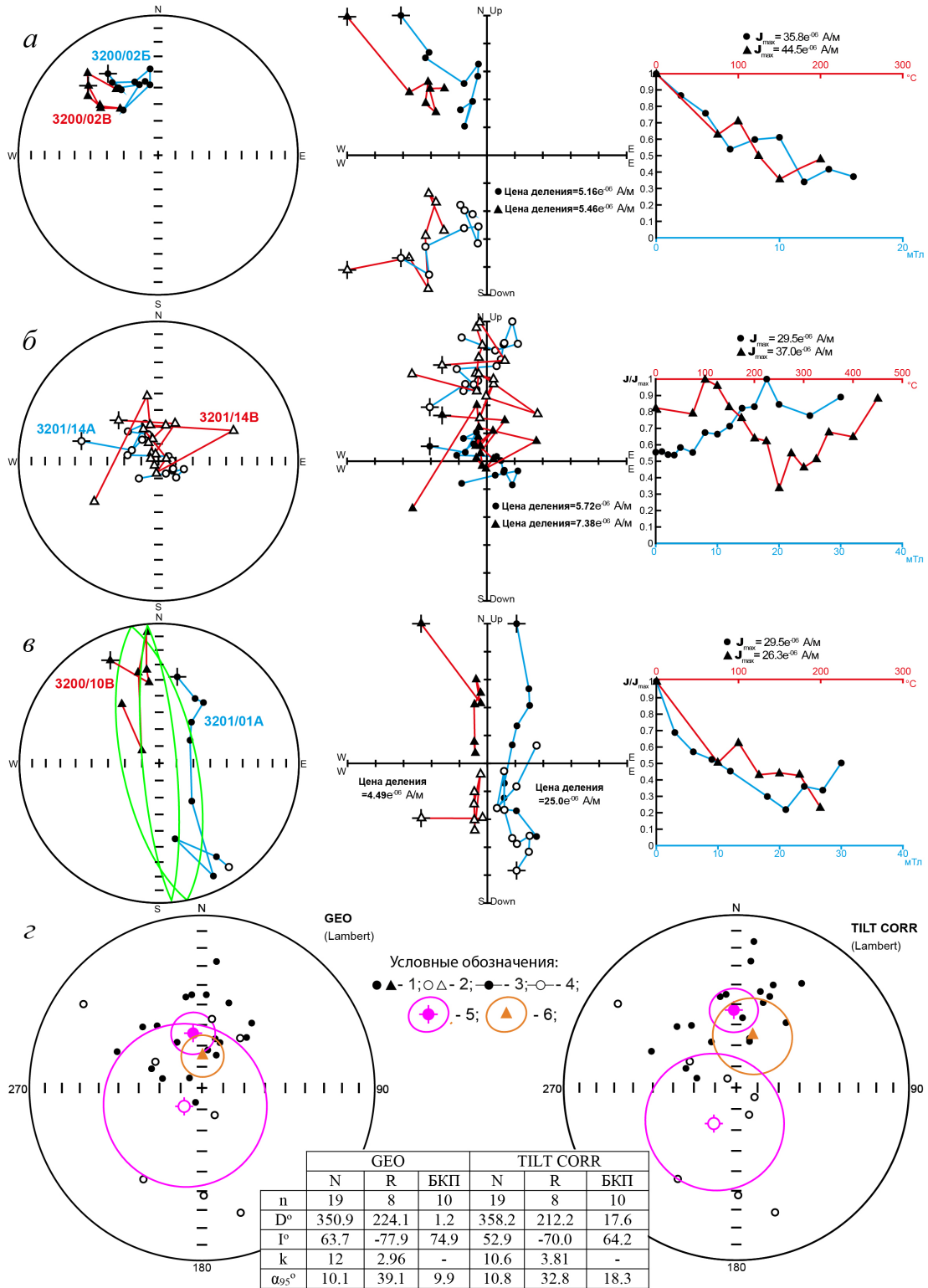


Рис. 6. Результаты компонентного анализа (слева направо) (а – в): изображения на полярных стереопроекциях изменений векторов J_n в процессе магнитных чисток (в стратиграфической системе координат); диаграммы Зийдверльда (в стратиграфической системе координат); графики размагничивания образцов. Полярные стереопроекции компонент J_n в географической (GEO) и стратиграфической (TILT CORR) системах координат и статистические палеомагнитные параметры (z): n – число образцов в выборке, D_{cp} , I_{cp} – среднее склонение и наклонение соответственно, k – палеомагнитная кучность, α_{95} – радиус круга доверия вектора: 1–4 – проекции J_n на нижнюю (1) и верхнюю (2) полусферы, на горизонтальную (3) и вертикальную (4) плоскости; 5 – среднее палеомагнитное направление и круг доверия; 6 – точка пересечения кругов перемгничивания и круг доверия (цвет online)

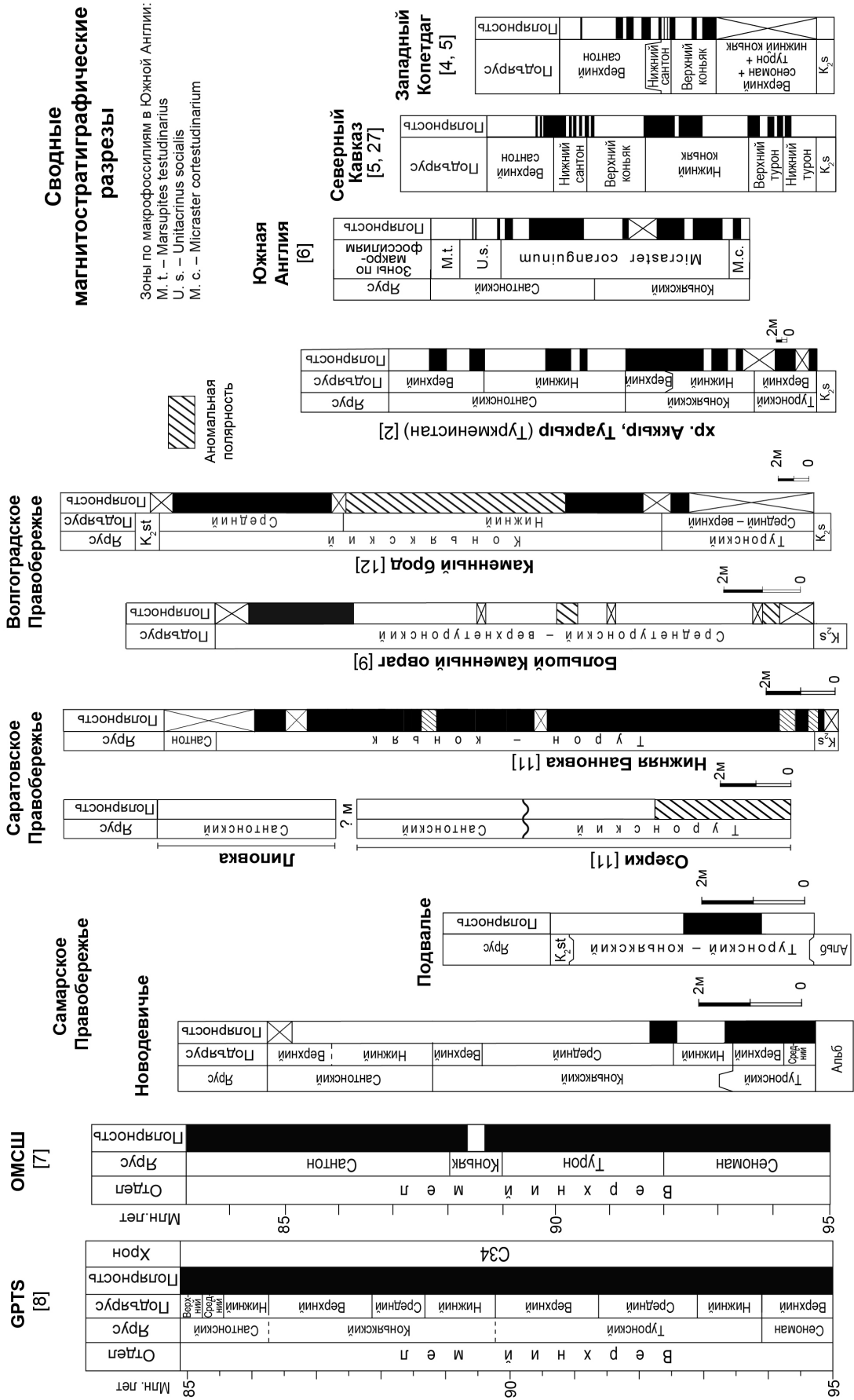


Рис. 8. Сопоставление магнитостратиграфических разрезов турона-сантона Поволжья и других регионов со Шкалой геомагнитной полярности (GPTS) и Общей магнитостратиграфической шкалой (ОМСШ). Условные обозначения см. рис. 2



Выделение зон обратной полярности в палеомагнитных колонках разрезов (см. рис. 2, 3, 7) базируется на предположении, что причиной отрицательных наклонений компонент J_n и смещений палеомагнитных векторов по дугам больших кругов является наличие древней намагниченности, соответствующей обратной полярности. Альтернативная интерпретация тех же результатов компонентного анализа заключается в том, что породы после своего формирования подверглись перемагничиванию.

Магнитозоны разного знака выделяются в толщах, весьма однородных в литологическом, петромагнитном и других отношениях. Поэтому если предположить, что породы перемагничены, то избирательность этого процесса труднообъяснима. Индифферентность знака магнитной полярности даже к небольшим различиям в литологии и в магнитных свойствах отложений также свидетельствует больше в пользу обусловленности намеченной нами палеомагнитной зональности особенностями режима туронского–сантонского геомагнитного поля, а не эпигенетическими процессами.

Магнитостратиграфические данные по разрезам Новодевичье и Подвалье согласуются с аналогичными материалами по Нижнему Поволжью и другим регионам, фиксирующими магнитозоны обратного знака в туронских, коньякских и сантонских отложениях (рис. 8). В последнее время крупные магнитозоны обратного знака или аномальной полярности были выявлены в разрезах турона–сантона Озерки-1, 2, 3, Липовка (Саратовское Правобережье) [11], Большой Каменный овраг [9] и Каменный брод (Волгоградское Правобережье) [12]. Интервалы обратной полярности регистрировались ранее в коньяке – сантоне Туаркыра [2] и Южной Англии [6], в ряде разрезов турона–сантона Кавказа [5, 27] и Копетдага [4, 5] (см. рис. 8). Тем самым результаты выполненных исследований подтверждают гипотезу о наличии продолжительных эпох обратной полярности в туроне–коньяке. Однако согласовать между собой результаты детальных биостратиграфических и палеомагнитных корреляций турона–сантона Поволжья пока не удается. Например, в разрезе Нижняя Банновка (Красноармейский район Саратовской области) в туронских – коньякских отложениях фиксируется исключительно прямая полярность. Возможно, проблемы заключаются в недостатке и неоднозначности палеонтологических данных. Но до тех пор, пока они не будут решены, версию о перемагничивании отложений также нельзя исключать из рассмотрения.

Выводы

По итогам проведенных магнитостратиграфических исследований турона–сантона Самарского Правобережья получены следующие результаты.

1. Изучены и охарактеризованы разрезы верхнего мела Новодевичье и Подвалье; проведена их детальная корреляция.

2. В разрезе Подвалье установлен перерыв в осадконакоплении на границе нижне- и среднеконьякского подъярусов.

3. Особенности петромагнитного строения туронской–коньякской карбонатной толщи предположительно могут быть объяснены увеличением скорости осадконакопления в среднем и позднем коньяке.

4. Новые данные, наряду с полученными ранее, позволяют предположить наличие эпох обратной полярности геомагнитного поля в туронском, коньякском и сантонском веках.

Библиографический список

1. Гнибиденко З. Н., Лебедева Н. К., Шурыгин Б. Н. Региональный магнитостратиграфический разрез верхнемеловых отложений юга Западной Сибири (Омская впадина) // Доклады РАН. 2014. Т. 458, № 1. С. 83–87.
2. Гужиков А. Ю., Молостовский Э. А., Назаров Х., Фомин В. А., Барабошкин Е. Ю., Конаевич Л. Ф. Магнитостратиграфические данные по верхнему мелу Туаркыра (Туркменистан) и их значение для общей палеомагнитной шкалы // Физика Земли. 2003. № 9. С. 31–44.
3. Гужиков А. Ю., Барабошкин Е. Ю., Фомин В. А. Магнитостратиграфическая шкала меловой системы: современное состояние, проблемы построения и перспективы развития // Меловая система России и ближнего зарубежья: проблемы стратиграфии и палеогеографии: сборник научных трудов / под редакцией Е. М. Первушова. Саратов: Издательство Саратовского университета, 2007. С. 69–86.
4. Еремин В. Н., Назаров Х., Рамазанов С. А., Фомин В. А. Магнитостратиграфия опорного разреза верхнего мела Западного Копетдага (Канавчай) // Известия АН Туркменистана. 1995. № 4. С. 163–169.
5. Фомин В. А. Магнитостратиграфия верхнемеловых отложений Восточного Кавказа, Западного Копетдага и Туаркыра: диссертация ... кандидата геолого-минералогических наук. Саратов, 2003. 184 с.
6. Montgomery P., Hailwood E. A., Gale A. S., Burnett J. A. The Magnetostratigraphy of Coniacian – Late Campanian chalk sequences in southern England // Earth and Planet. Sci. Lett. 1998. Vol. 156. P. 209–224.
7. Храмов А. Н., Шкатова В. К. Общая магнитостратиграфическая шкала полярности фанерозоя // Дополнения к стратиграфическому кодексу России / под редакцией А. И. Жамойды. Санкт-Петербург: ВСЕГЕИ, 2000. С. 34–45.
8. Gradstein F. M., Ogg J. G., Schmitz M. B., Ogg G. M. Geologic Time Scale 2020. Amsterdam, Oxford, Cambridge: Elsevier, 2020. Vol. 2. 1357 p.
9. Гужикова А. А., Первушов Е. М., Рябов И. П., Фомин В. А. Магнитозона обратной полярности в туроне–коньяке северного окончания Доно-Медведицких дислокаций // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2020. Т. 20, вып. 4. С. 262–277. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2020-20-4-262-277>



10. 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. Комплексное био- и магнитостратиграфическое изучение разрезов «Озерки» (верхний мел, Саратовское правобережье). Ст. 1. Характеристика разрезов, результаты петромагнитных и магнито-минералогических исследований // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия : Науки о Земле. 2017. Т. 17, вып. 2. С. 105–116. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2017-17-2-105-116>
11. Existence of the Reversal Polarity Zones in Turonian-Coniacian from the Lower Volga (Russia) : New Data / A. A. Guzhikova, A. Y. Guzhikov, E. M. Pervushov, I. P. Ryabov, A. M. Surinskiy [et. al] // Recent Advances in Rock Magnetism, Environmental Magnetism and Paleomagnetism : International Conference on Geomagnetism, Paleomagnetism and Rock Magnetism (Kazan, Russia) / eds. D. Nurgaliev, V. Shcherbakov, A. Kosterov, S. Spassov. Springer Geophysics. Springer, Cham, 2019. P. 353–369.
12. Pervushov E. M., Ryabov I. P., Guzhikov A. Yu., Vishnevskaya V. S., Kopaevich L. F., Guzhikova A. A., Kalyakin E. A., Fomin V. A., Sel'tser V. B., Il'inskiy E. I., Mirantsev G. V., Proshina P. A. Turonian–Coniacian Deposits of the Kamennyi Brod-1 Section (Southern Ulyanovsk-Saratov Trough) // Stratigraphy and Geological Correlation, 2019. Vol. 27, № 7. P. 804–839.
13. Opdyke N. D., Channell J. E. T. Magnetic Stratigraphy. New York : Academic Press, 1996. 344 p.
14. Стратиграфическая схема верхнемеловых отложений Восточно-Европейской платформы. Санкт-Петербург : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2004. 6 схем на 10 листах.
15. Олферьев А. Г., Алексеев А. С. Стратиграфическая схема верхнемеловых отложений Восточно-Европейской платформы : объяснительная записка. Москва : Палеонтологический институт РАН, 2005. 204 с.
16. Брагина Л. Г., Брагин Н. Ю. Радиолярии в разрезе верхнемеловых отложений у с. Новодевичье (Самарская область, Среднее Поволжье) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2004. Т. 12, № 3. С. 76–86.
17. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1000000 (новая серия). Лист N – (38), 39 Самара : объяснительная записка. Санкт-Петербург : Издательство Санкт-Петербургской картфабрики ВСЕГЕИ, 2000. 325 с. +16 вкл. (МПП России, ГПП «Волгагеология»).
18. Волго-Уральская нефтеносная область. Тектоника / В. Д. Наливкин, Л. Н. Розанов, Э. Э. Фотиади [и др.]. Москва : Гостехиздат, 1956. 310 с. (Тр. ВНИГРИ ; Вып. 100).
19. Молостовский Э. А., Храмов А. Н. Магнитостратиграфия и ее значение в геологии. Саратов : Издательство Саратовского университета, 1997. 180 с.
20. Буров Б. В., Ясонов П. Г. Введение в дифференциальный термомагнитный анализ. Казань : Издательство Казанского университета, 1979. 159 с.
21. Hanesch M., Stanjek H., Petersen N. Thermomagnetic measurements of soil iron minerals : The role of organic carbon // Geophys. J. Int. 2006. Vol. 165, P. 53–61.
22. Lurcock P. C., Wilson G. S. The palaeomagnetism of glauconitic sediments // Global Planet. Change. 2013. Vol. 110. P. 278–288.
23. Földvári M. Handbook of thermogravimetric system of minerals and its use in geological practice. Budapest : Geol. inst. of Hungary, 2011. 180 p.
24. 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. Новые данные по биостратиграфии, магнитостратиграфии и седиментологии берриасских отложений Белогорского района Центрального Крыма // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2015. Т. 23, № 2. С. 43–80.
25. Guzhikov A. Yu., Baraboshkin E. Yu., Birbina A. V. New paleomagnetic data for the Hauterivian–Aptian deposits of the Middle Volga region : A possibility of global correlation and dating of time-shifting of stratigraphic boundaries // Russian Journal of Earth Sciences. 2003. Vol. 5, № 6. P. 1–30.
26. Guzhikov A., Eremin V. Regional magnetic zonation scheme for the berriAsian-lower Aptian from the North Caucasus // Geodiversitas. 1999. Vol. 21, № 3. P. 387–406.
27. Фомин В. А., Еремин В. Н. Магнитостратиграфия верхнемеловых отложений южных районов СССР // Вопросы стратиграфии палеозоя, мезозоя и кайнозоя / под редакцией Г. В. Кулевой и В. Г. Очева. Саратов : Издательство Саратовского университета, 1993. С. 134–142.

Поступила в редакцию 11.03.2021, после рецензирования 17.05.2021, принята к публикации 20.09.2021
 Received 11.03.2021, revised 17.05.2021, accepted 20.09.2021