



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2022. Т. 22, вып. 2. С. 117–131
Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences, 2022, vol. 22, iss. 2, pp. 117–131
<https://geo.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2022-22-2-117-131>

Научная статья
УДК 550.384+551.77+551.763.3(470.4)

Результаты рекогносцировочных магнитостратиграфических исследований палеоцена в южной части Саратовского Правобережья



Д. А. Шелепов[✉], А. Ю. Гужиков

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

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

Гужиков Андрей Юрьевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор, aguzhikov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0579-3981>

Аннотация. Представлены результаты петро- и палеомагнитного изучения двух разрезов низов нижнесызранской подсвиты (палеоцен) Саратовского Правобережья – горы Сырт (с. Нижняя Банновка) и Лысой горы (г. Саратов). Впервые установлена возможность получения палеомагнитных данных по палеоцену Поволжья и их использования в магнитостратиграфических целях, несмотря на частичное перемагничивание пород. Продемонстрирована перспективность использования петромагнитных характеристик отложений для детальных корреляций разрезов и седиментологических реконструкций.

Ключевые слова: магнитостратиграфия, петромагнетизм, палеоцен, датский ярус, зеландский ярус, сызранская свита, Нижнее Поволжье

Благодарности. Авторы благодарны А. Г. Маникину, В. А. Фомину (Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского) за участие в полевом опробовании разрезов и Р. В. Веселовскому (ИФЗ РАН, Москва) за выполнение терромагнитных анализов.

Для цитирования: Шелепов Д. А., Гужиков А. Ю. Результаты рекогносцировочных магнитостратиграфических исследований палеоцена в южной части Саратовского Правобережья // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2022. Т. 22, вып. 2. С. 117–131. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2022-22-2-117-131>

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

Article

Results of the reconnaissance magnetostratigraphic studies of Paleocene in the southern part of the Saratov right bank

D. A. Shelepov[✉], A. Yu. Guzhikov

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

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

Andrey Yu. Guzhikov, aguzhikov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0579-3981>

Abstract. The results of rock-magnetic and paleomagnetic studies of two sections of the Lower Syzran subformation (Paleocene) of the Saratov Right Bank – the Syrt Mountain (Nizhnyaya Bannovka village) and Lysaya Gora (Saratov city) are presented. For the first time the possibility of obtaining paleomagnetic data on the Paleocene of the Volga region and their use for magnetostratigraphic purposes despite the partial remagnetization of rocks has been established. The prospects of using rock-magnetic characteristics of deposits for detailed correlations of sections and sedimentological reconstructions are demonstrated.

Keywords: magnetostratigraphy, rock-magnetism, Paleocene, Danian, Selandian, Syzran formation, Lower Volga region

Acknowledgments: The authors are grateful to Alexey Manikin, Vladimir Fomin (SSU) for participation in the field sampling of the sections and to V. Veselovsky (IPE RAS, Moscow) for performing thermomagnetic analyses.

For citation: Shelepov D. A., Guzhikov A. Yu. Results of the reconnaissance magnetostratigraphic studies of Paleocene in the southern part of the Saratov right bank. *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2022, vol. 22, iss. 2, pp. 117–131 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2022-22-2-117-131>

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC0-BY 4.0)

Введение

Палеоценовые отложения на территории Саратовского Правобережья изучаются более 150 лет, но, несмотря на это, с ними по-прежнему связан ряд нерешенных вопросов региональной геологии. В настоящей публикации магнитостратиграфической направленности ана-

лиз многочисленной геологической литературы не предусмотрен. Поэтому в связи с историей изучения палеоцена Поволжья мы ограничимся ссылкой на работу В. А. Мусатова с соавторами [1], которая содержит представительный библиографический список по этой теме. А из многих стратиграфических и палеогеографиче-



ских проблем отметим одну наиболее актуальную – комплексное обоснование возраста сызранской свиты, которая традиционно относилась к зеландскому ярусу, но в последней версии унифицированной схемы палеогеновых отложений Поволжско-Прикаспийского субрегиона [2] сопоставляется своей большей частью (нижнесызранской подсвитой) с датским ярусом. Несмотря на утверждение схемы Межведомственным стратиграфическим комитетом России в 2014 г. [3], в ней отсутствуют магнитостратиграфические данные, которые могли бы сыграть важную (возможно, решающую) роль в обосновании возраста пород путем сопоставления палеомагнитных разрезов палеоцена Поволжья с типовыми разрезами дания, зеландия, танета в Средиземноморье и Шкалой геомагнитной полярности (GSSP). В любом случае, материалы о магнетизме пород, включая сведения о скалярных магнитных характеристиках, полезны для решения различных практических задач стратиграфии и палеогеографии. Кроме того, де-юре палеомагнитные и петромагнитные материалы

являются неотъемлемым атрибутом современных стратиграфических схем [4].

Между тем палеогеновые отложения Поволжья до сих пор не изучены в палеомагнитном отношении. Попытки палеомагнитного изучения палеоцена Саратовского Правобережья, предпринятые ранее [5, 6], не увенчались успехом по объективным причинам, связанным в основном с малой величиной естественной остаточной намагниченности (J_n) пород (ниже пороговой чувствительности измерительной аппаратуры, используемой в то время). С появлением современного высокочувствительного оборудования для палеомагнитных измерений появилась возможность восполнить этот пробел.

В августе 2021 г. в рамках комплексных исследований пограничного интервала меловых-палеогеновых отложений Саратовского Поволжья были изучены два разреза нижнесызранской подсвиты: Лысая гора (г. Саратов) и с. Нижняя Банновка (Красноармейский район Саратовской обл.) (рис. 1). Целями работ были выяснение пригодности палеоценовых пород к палеомагнитным

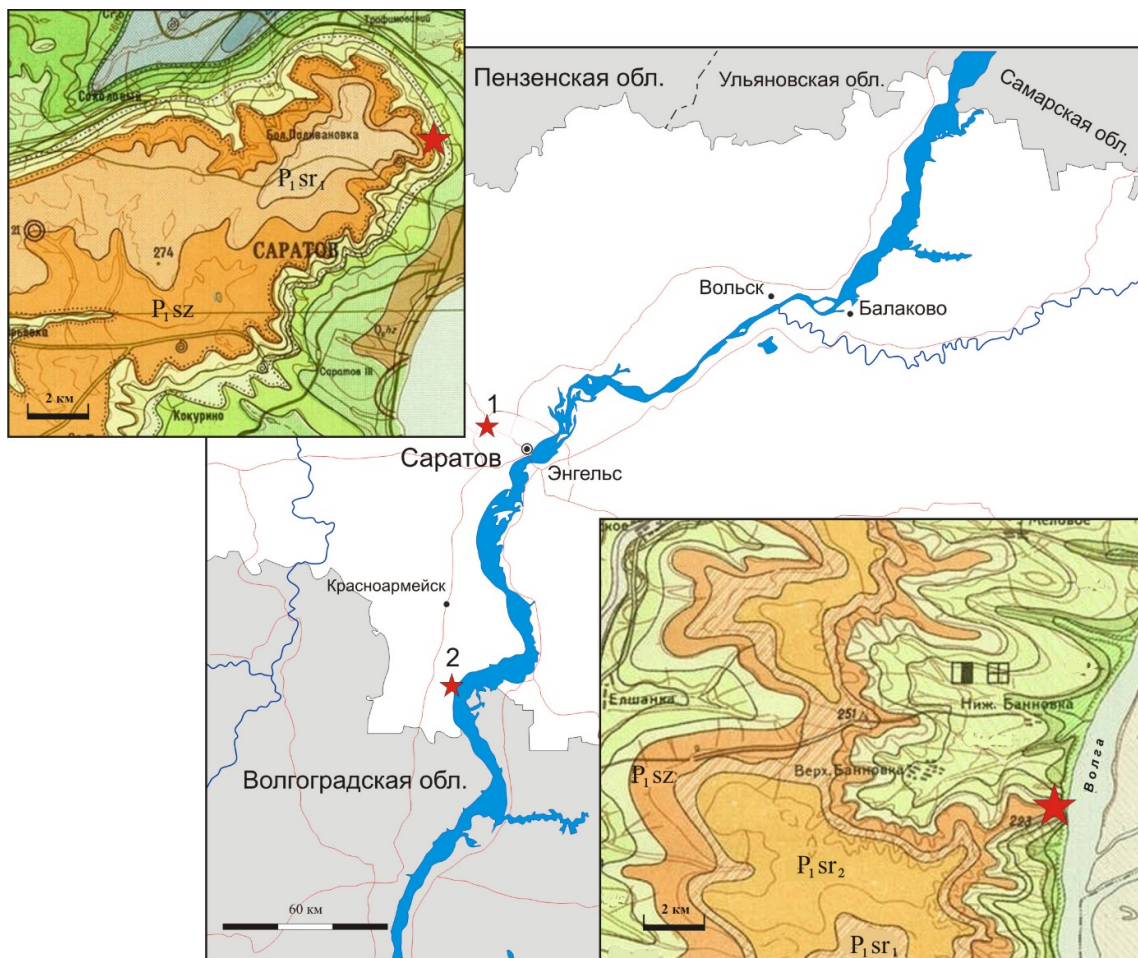


Рис. 1. Обзорная схема расположения разрезов (показаны звездочками) и геологические схемы районов исследований: 1 – Лысая гора (г. Саратов), 2 – гора Сырт (с. Нижняя Банновка)



исследованиям и оценка геологической информативности магнитных свойств.

Характеристика разрезов

Изученные разрезы (рис. 2) в структурном плане приурочены к южной части Ульяновско–Саратовского мезокайнозойского прогиба [2]. Оба разреза, благодаря своей внешней выразительности и удобному расположению, издавна привлекали внимание геологов. Например, именно они были в 1940 г. указаны Е. В. Милановским в качестве типовых разрезов пограничного интервала мела–палеогена Саратовского Поволжья [7].

Разрез горы Сырт (обн. 3208, 3208а: 50°42'34" N, 45°38'53" E) расположен в 2,5 км к югу от с. Нижняя Банновка, на вершине г. Сырт в южной части обращенного к Волге обрыва над грандиозным оползнем.

Разрез нижнесызранской подсвиты (Psz₁) видимой мощностью ~10 м сложен силицитами (опоками), залегающими субгоризонтально на выровненной поверхности верхнемастрихтских глинистых бескарбонатных алевритов [8] с незначительным угловым несогласием. Опоки светло- и темно-серые, с неровным изломом в низах разреза опесчанены, интенсивно биотурбированы и глауконитизированы, изредка со следами ожелезнения в виде отдельных пятен.

Микроскопическое изучение в шлифах (фототаблица, фиг. обр. 3208–11) показало, что породы на 90–95% сложены глинисто-кремнистым веществом буровато-серого цвета с беспорядочно распределенным в нем небольшим количеством алевритового материала. Структура породы пелитово-органогенная.

Кремнезем 60–65% полигенный: органогенно-опаловый, опал-халцедоновый, гидрогель-опал-кристобалитовый с фрагментами диатомей и спикул губок. Зачастую он представляет собой смесь тонкого диатомового шлама и гидрогель-опал-кристобалитового вещества, образуя сростково-войлочную структуру. Глинистое вещество (25–30%) хорошо окристаллизовано, тонкочешуйчатого строения, чешуйки ориентированы и имеют одновременное угасание. Состав, вероятно, монтмориллонитовый. В глинистом веществе значительное (около 10%) содержание приходится на пелитовую составляющую, представленную тонкодисперсными зёрнами кварца, серицита и глауконита. Беспорядочно распределенный алевритовый материал размерностью 0.06–0.10 мм представлен кварцем (5–8%), зёрна которого бесцветны, неправильны, полукатанны, и глауконитом (2–3%) зеленым, свежим, микроагрегатного строения. В редких случаях встречаются зёрна полевых шпатов и чешуйки серицита.

В верхних частях разреза происходит смена структуры силицитов и начинает преобладать

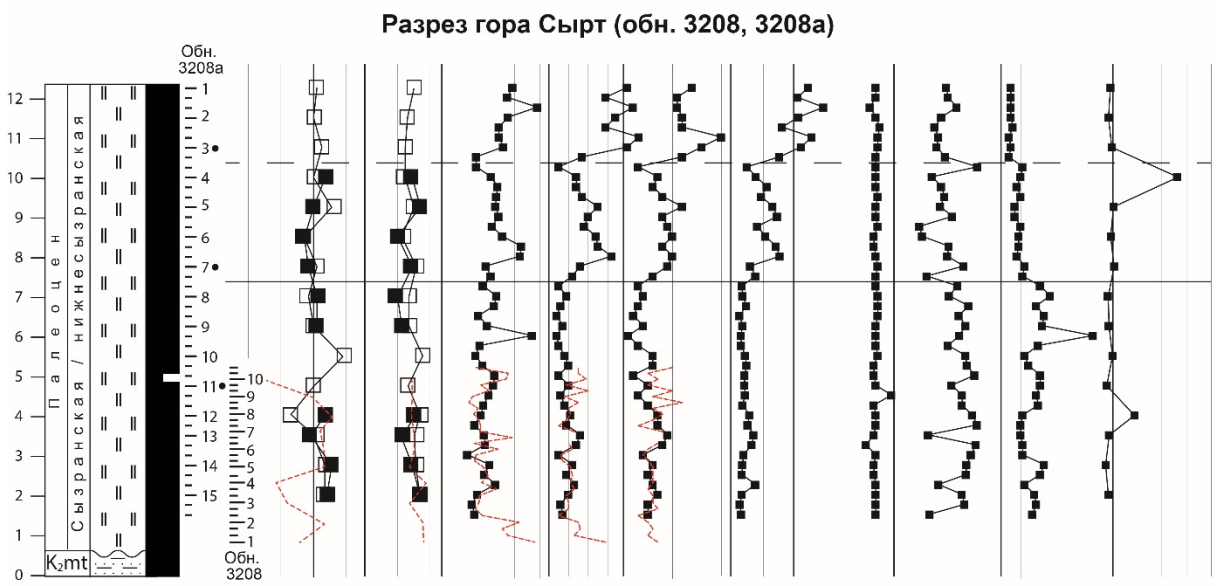
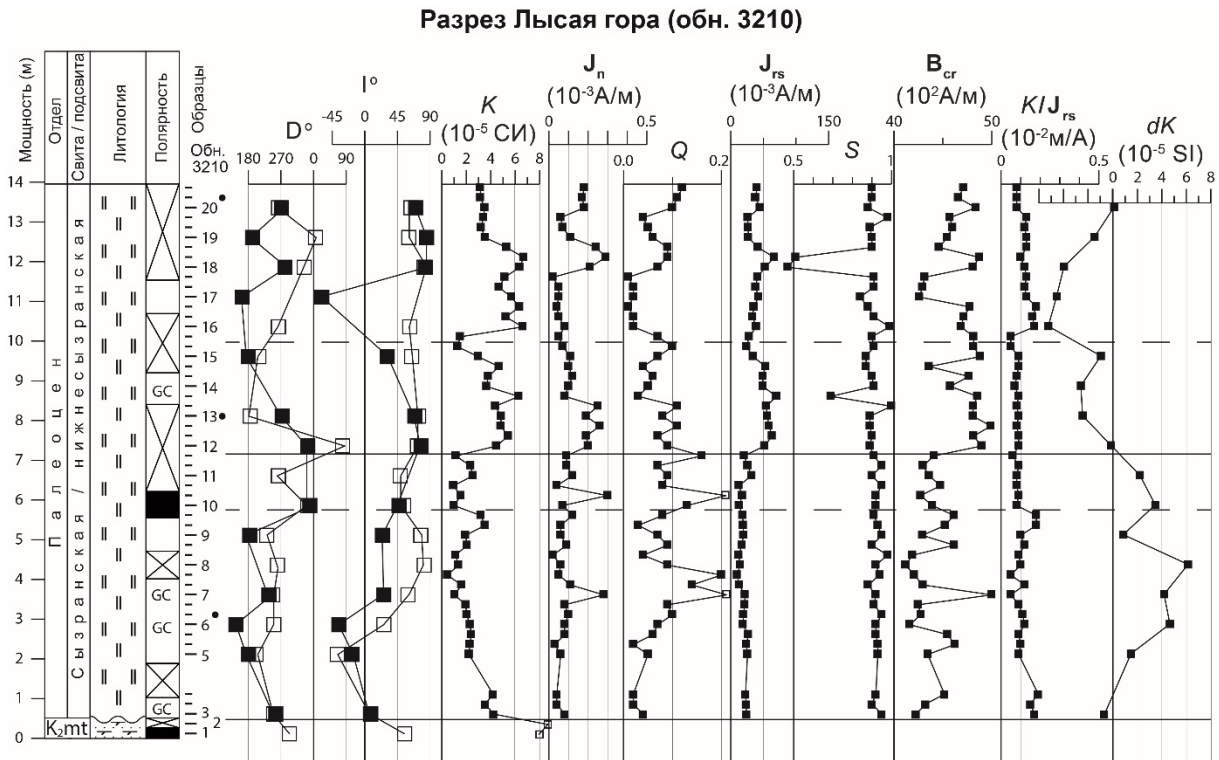
алевритовый материал. Так, образец (см. фототаблицу, фиг. обр. 3208–3) на 75–80% сложен глинисто-кремнистым веществом с равномерно распределенным алевритовым материалом 20–25%. Структура породы алевро-органогенно-пелитовая.

Кремнезем полигенный: органогенный (остатки органики) и преобладающий субаморфный гидрогель (кремнистый, алюмокремнистый) опалокристобалитового состава. Глинистое вещество, хорошо окристаллизованное, тонкочешуйчатого строения равномерно распределено в кремнеземе. Обломочный материал размером 0.03–0.09 мм хорошо отсортированный, полукатанный, также распределен в кремнеземе равномерно. Преобладает обломочный кварц (15–20%) в виде бесцветных неправильных зёрен, полевые шпаты встречаются редко. Содержание аутигенного глауконита желто-зеленого цвета и микроагрегатного строения не превышает 3–5%.

Разрез Лысая гора (обн. 3210: 51°33'08" N, 45°59'13" E) находится в обрыве над большим оползнем, расположенным выше Спасо-Преображенского мужского монастыря (на месте бывшего военного училища химической защиты) в микрорайоне Стрелка г. Саратова.

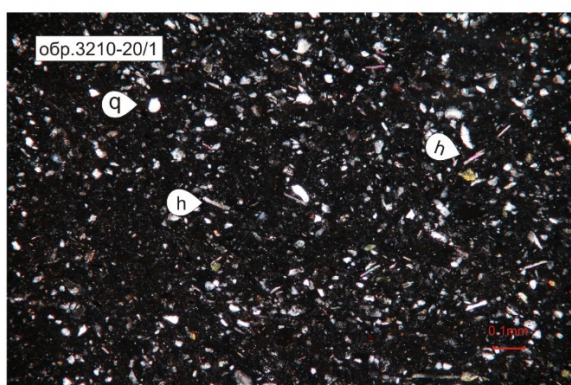
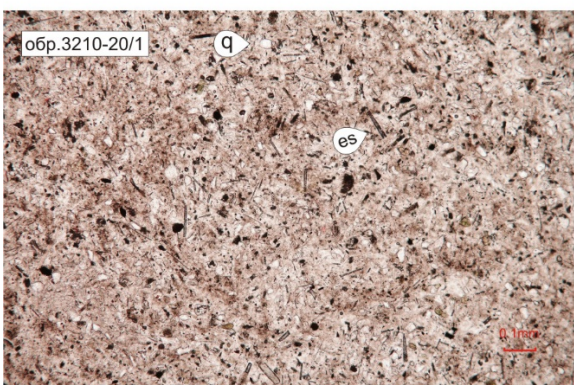
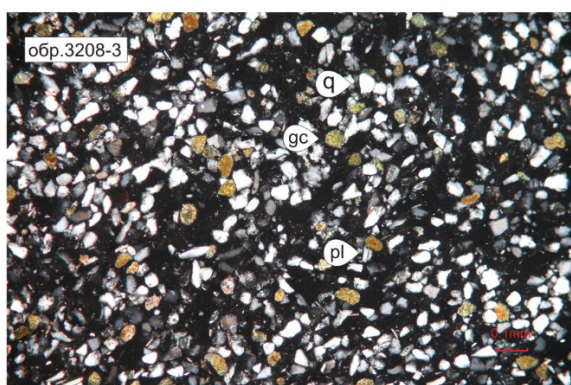
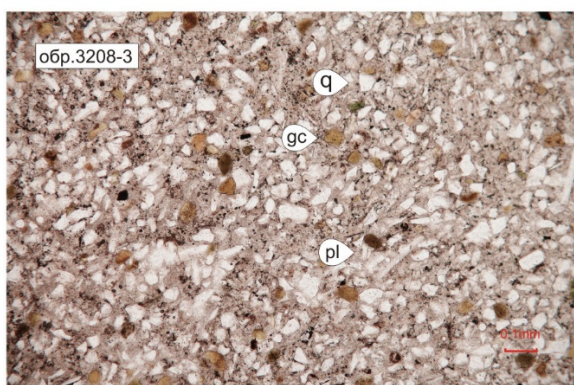
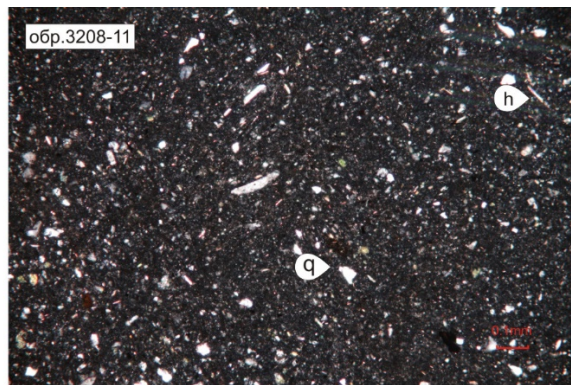
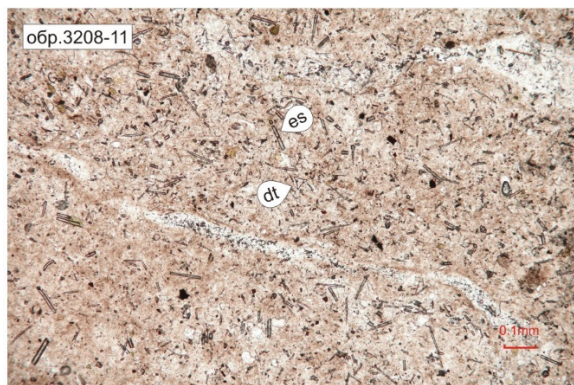
В разрезе видимой мощностью ~12 м на мастрихтском песчанике глауконитовом, карбонатно-глинистом залегают темно- и светло-серые силициты нижнесызранской подсвиты, в ее подошве подсвиты опесчаненные биотурбированные и глауконитизированные. В целом силициты в разрезах Лысая гора и Сырт аналогичны, но на Лысой горе многие слои имеют явные следы ожелезнения в виде светло- и темно-коричневых пятен.

Микроскопическое изучение (см. фототаблицу, фиг. обр. 3210-20/1) показало, что порода на 90–95% сложена буровато-серым глинисто-кремнистым веществом. Структура породы пелитово-органогенная. Кремнезем 65–70% также полигенный: органогенный и алюмо-кремнистого состава. Преобладает органогенно-опаловый кремнезем с частичной раскристаллизацией его в радиально-лучистый халцедон по каналам и полостям диатомей и спикул. Сохранность их самая различная. Наблюдаются следы растворения кремневых элементов до полного их слияния с гидрогелем. Глинистое вещество (25–30%) микроагрегатного строения с пелитовой составляющей, представленной тонкоперетертыми зёрнами кварца, серицита и микроглобулями глауконита. В глинисто-кремневой массе неравномерно распределен алевритовый материал, ориентированный удлинёнными зёрнами и чешуйками мусковита параллельно друг другу.



Образцы: 12 1 2 Литология: 3 4 5 Полярность: 6 7 8 9

Рис. 2. Магнитостратиграфические разрезы нижнесызранской подсвиты (палеоцен) Лысая гора и гора Сырт. Залитые и «пустые» маркеры на графиках палеомагнитного склонения (D) и наклона (I) означают, что компоненты намагниченности выделены в результате размагничивания температурой и переменным магнитным полем соответственно. «Пустые» маркеры на графиках K и Q в разрезе Лысая гора означают, что величина этих параметров превышает диапазон горизонтальной шкалы. Пунктирные графики в разрезе Сырт соответствуют обнажению 3208. Горизонтальные линии – расчленение разрезов по петромагнитным данным (сплошные линии соответствуют расчленению разрезов на интервалы, для которых рассчитаны статистические показатели (таблица)). Знак полярности в маастрихте разреза Сырт показан по [8]: 1 – уровни, с которых взяты ориентированные и неориентированные образцы (длинные и короткие отрезки соответственно) для магнитостратиграфических исследований, 2 – уровни, на которых изучены шлифы, 3 – силициты (опоки), 4 – алевриты глинистые, 5 – песчаник известково-глауконитовый, 6, 7 – прямая и обратная геомагнитная полярность соответственно, 8 – отсутствие данных о полярности, 9 – обратный знак полярности определен по смещению J_n вдоль дуги большого круга при размагничивании



Фототаблица. Фотографии пород в шлифах. Фиг. обр. 3208-11 силицит (опока). Фиг. обр. 3208-3 силицит (опока) с примесью алевритового материала, разрез г. Сырт. Фиг. обр. 3210-20/1 – силицит (опока), разреза Лысая гора. Ув. 100×, слева николи ||, справа николи +. Буквами обозначены: pl – зерна плагиоклаза, q – зерна кварца, gc – зерна глауконита, h – зерна гидрослюд, dt – диатомовые водоросли, es – спикулы кремневых губок (цвет online)

Методика магнитостратиграфических исследований

Для лабораторных палео- и петромагнитных исследований в разрезах гора Сырт и Лысая гора через каждые 0.5–0.75 м мощности отбирались ориентированные штUFFы, из которых впоследствии выпиливалось по четыре образца кубической формы размерами 2×2×2 см. Между ними брались неориентированные образцы, из которых выпиливался один кубик с ребрами по 2 см. Таким образом, шаг магнитостратиграфического опробования составил ~0.25 м.

Опробование разреза Сырт проводилось в двух соседних обнажениях – 3208 и 3208а, частично дублирующих друг друга (см. рис. 2). Обн. 3208а расположено ~ в 50 м севернее обн. 3208. В общей сложности из нижнесызранской подсистемы на горе Сырт взяты 25 ориентированных и 48 неориентированных образцов, а на Лысой горе – 17 и 34 соответственно. Кроме того, в каждом разрезе по системе «образец в образец» отобраны пробы для микропалеонтологических (фораминиферы, диноцисты, наннопланктон)



исследований и литолого-минералогических анализов (см. рис. 2). Результаты шлифового анализа приведены в настоящей статье, микропалеонтологические пробы переданы соответствующим специалистам для изучения.

У образцов с каждого стратиграфического уровня (как ориентированных, так и неориентированных) изучался широкий спектр петромагнитных характеристик:

- магнитная восприимчивость (K) – величина, определяемая концентрацией пара- и ферромагнетиков в породе;
- естественная остаточная намагниченность (J_n), модуль которой зависит от концентрации ферромагнитных минералов в породе и степени упорядоченности их магнитных моментов;
- остаточная намагниченность насыщения (J_{rs}) – максимально возможная величина остаточной намагниченности, возникающая в породе после воздействия на нее искусственным полем и зависящая от концентрации и размерности ферромагнитных частиц;
- остаточная коэрцитивная сила (B_{cr}) – поле, которое нужно приложить, чтобы полностью разрушить J_{rs} образца, величина которого зависит главным образом от магнитной жесткости и в меньшей степени от размерности ферромагнитных зерен;
- $J_r(-300)$ – остаточная намагниченность после воздействия полем 300 мТл, которое обратно направлению поля насыщения, используется для расчета параметра $S = -J_r(-300)/J_{rs}$, отражающего жесткость магнитной фракции (чем меньше значение S , тем больше в породе магнитомягких минералов);
- магнитная восприимчивость K_t (термокаппа) – измеренная после прогрева пород при температуре 500°C в течение часа, природой которой ($dK = K_t - K$) отражает содержание тонкодисперсного пирита в образцах благодаря фазовому переходу немагнитного FeS_2 в сильномагнитный магнетит при температуре свыше 400°C.

Кроме характеристик, полученных опытным путем, рассчитывались:

- параметр Кенигсбергера (фактор $Q = J_n/J_i$, где J_i – индуктивная намагниченность, позволяющий судить о природе намагниченности (значения $Q \ll 1$ типичны для ориентационной, а $Q > 1$ – для химической намагниченности);
- отношение K/J_{rs} , характеризующее средний размер ферромагнитной фракции при условии неизменности ее минерального состава.

Выборочные образцы подвергались полному циклу магнитного насыщения–разрушения и термомагнитному анализу (исследованию температурных зависимостей намагниченности или

магнитной восприимчивости) с целью определения вида минералов – носителей магнитных свойств.

Ориентированные образцы изучались в палеомагнитном отношении, кроме того, у них измерялась анизотропия магнитной восприимчивости (АМВ) до и после прогрева пород до 500°C в течение часа.

Палеомагнитные исследования выполнялись по стандартной методике (Молостовский, Храмов, 1997 г.), заключающейся в измерении J_n ориентированных образцов на спин-магнитометре JR-6 после серии последовательных магнитных чисток переменным полем (Н-чистки) и температурой (Т-чистки). Н-чистки проводились до 30–50 мТл с шагом 2–5 мТл на установке LDA-3AF. Т-чистки осуществлялись в печи конструкции Апарина путем поэтапного нагрева образцов от 100 до 200–250°C с шагом 25–50°C в зависимости от динамики размагничивания образца. Прекращение нагревов свыше 250°C обусловлено потерей J_n до значений ниже пороговой чувствительности прибора. Фазовые превращения минералов при нагревании контролировались путем измерения K образцов после каждого режима термочистки.

Для компонентного анализа естественной остаточной намагниченности использовалась программа Remasoft 3.0., с помощью которой осуществлялась интерпретация диаграмм Зийдверельда, графиков размагничивания и стереографических проекций J_n . В процессе интерпретации рассматривались все присутствующие компоненты намагниченности, а не только характеристические (ChRM). Палеомагнитные векторы, группирующиеся в северных и северо-западных румбах нижней полусферы, считались соответствующими прямой (N), а обособленные в южных секторах верхней полусферы – обратной (R) полярности геомагнитного поля.

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 исследования зависимостей магнитной восприимчивости от температуры – каппабридж MFK1-FA с приставкой CS3 (в ИФЗ РАН, Москва). При термокаппаметрических исследованиях нагревы проводились в муфельных печах СНОЛ-6/11-В. Анализ зависимостей $K(T)$ и данных АМВ осуществлялся с помощью программ Cureval 8.0.2 и Anisoft 4.2 соответственно, компонент-



ный анализ палеомагнитных данных выполнялся в программе Remasoft 3.0.

Результаты магнитостратиграфических исследований

Магнитная минералогия. По результатам магнитно-минералогических исследований в раз-

резе Сырт (рис. 3, а) выявлена только магнитомягкая фаза: магнитное насыщение происходит в полях от 200–300 мТл, а разрушение при 40–50 мТл, что характерно для тонкодисперсного магнетита. Значения S , близкие к единице, но не равные ей (в основном около 0.9) (см. рис. 2), вероятно, связаны с незначительным количеством магнито жестких гидроокислов железа – про-

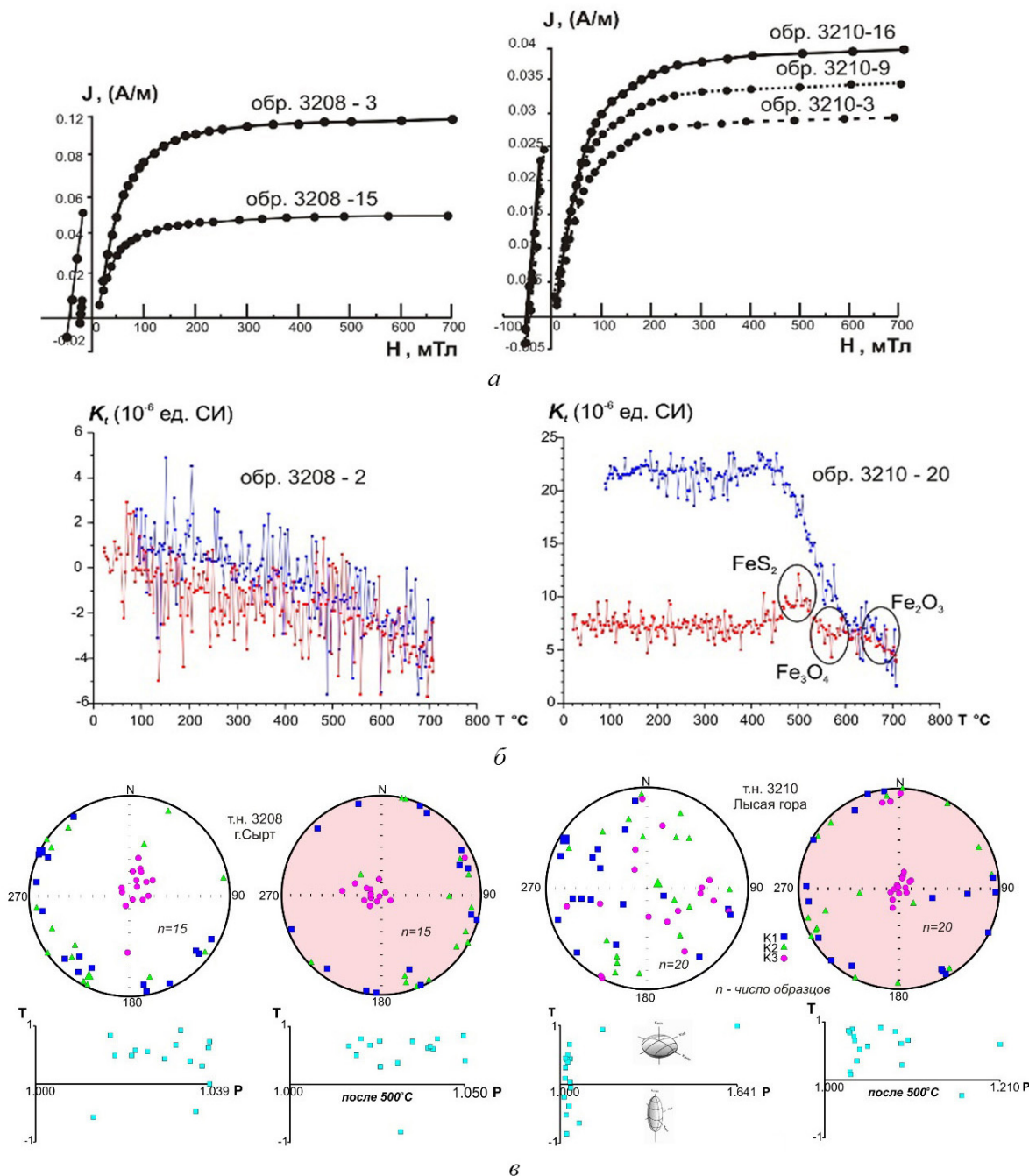


Рис. 3. Результаты магнитно-минералогических исследований разрезов Сырт и Лысая гора: а – кривые магнитного насыщения и разрушения; б – кривые термомагнитных анализов (ТМА); в – полярные стереопроекции осей эллипсоидов магнитной восприимчивости в географической системе координат (K1, K2 и K3 – длинные, средние и короткие оси соответственно) и диаграммы параметров магнитной анизотропии P – T (области положительных и отрицательных значений T соответствуют уплощенным и удлинённым формам ферромагнитных частиц соответственно) (цвет online)



дуктами частичного окисления магнетита или других железосодержащих минералов, например пирита.

В разрезе Лысая гора при безусловном доминировании магнитомягкой фазы (на которую указывают параметры магнитного насыщения, сходные с теми, которые задокументированы на горе Сырт) (см. рис. 3, а), встречаются интервалы со значительной долей или преобладанием магнито жесткого компонента. Индикатором значительного количества жестких ферромагнетиков – дегидратированных гидроокислов железа или гематита – служат низкие значения S (0.5–0.7), наблюдаемые на уровнях обр. 3210-13.2, 3210-18 и 3210-18.1 (см. рис. 2). Эти магнито жесткие слои располагаются внутри интервала с повышенными значениями V_{cr} и, скорее всего, обусловлены продуктами окисления магнетита и/или пирита.

Результаты термомагнитного анализа оказались малоинформативными. Отсепарировать ферромагнитную фракцию не удалось, вероятно, ввиду ее тонкодисперсности, а диаграммы $K(T)$ по слабомагнитным пробам невыразительны (рис. 3, б). Тем не менее в обр. 3210–20 (разрез Лысая гора) при нагреве заметны спады магнитной восприимчивости в районах точек Кюри магнетита (578°C) и гематита (675°C) (см. рис. 3, б), что подтверждает магнитно-минералогическую диагностику по материалам магнитного насыщения. Незначительный подъем K вблизи 450°C, вероятно, связан с микроконцентрациями пирита. При этом большие значения K , возникшие при охлаждении образца, отражают повышенные (по сравнению с исходным состоянием образца до нагрева) концентрации магнетита за счет новообразований Fe_3O_4 из FeS_2 и/или при окислении восстановленного из органики железа.

Термокаппаметрические данные фиксируют либо незначительный прирост магнитной восприимчивости (максимум до $4-6 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ), либо его отсутствие, либо уменьшение K после нагрева (см. рис. 2). Это свидетельствует о чрезвычайно малых концентрациях или об отсутствии тонкодисперсного пирита в отложениях. Однако приуроченность в разрезе Лысая гора пород с повышенными V_{cr} , среди которых находятся слои с наибольшей долей магнито жестких минералов (обр. 3210-13/2, 3210-18 и 3210-18/1), к интервалу с отрицательными значениями dK (рис. 2) наводит на мысль, что гидроокислы железа формировались в основном за счет пирита. Поэтому, возможно, в исходном осадке FeS_2 присутствовал.

Изучение анизотропии магнитной восприимчивости образцов из разреза Сырт показало, что большинство проекций коротких осей магнитных эллипсоидов (K_3) концентрируются в центре стереопроекции (т. е. занимают субвертикальное положение), а длинных и средних осей

(K_1 и K_2 соответственно) равномерно распределяются вдоль ее экватора (т. е. располагаются субгоризонтально). Подобное распределение, характерное для осадков, формировавшихся в спокойной гидродинамической обстановке, соответствует первичной магнитной текстуре осадочных пород и является благоприятной предпосылкой для палеомагнитных исследований. После прогрева образцов до 500°C степень концентрации коротких осей у центра стереограммы возрастает, единственное исключение составляет один образец, у которого K_3 располагается субгоризонтально. Горизонтальное положение коротких осей характерно для однодоменного магнетита [9].

В разрезе Лысая гора наблюдается хаотичное распределение осей магнитных эллипсоидов на стереограмме. Однако после прогрева образцов до 500°C картина АМВ кардинально меняется и приобретает вид, типичный для первичных текстур осадков, за исключением трех образцов с субгоризонтальным расположением K_3 (рис. 3, в).

Эффект улучшения магнитной текстуры после прогрева пород (особенно заметный в разрезе Лысая гора) неоднократно фиксировался ранее [10–12] и, вероятно, связан с выгоранием органики, с которой ассоциируют парамагнитные железосодержащие минералы.

Форма магнитных частиц существенно различается в изученных разрезах: в силицитах на горе Сырт она близка к изометричной (параметр анизотропии P близок к единице), а на Лысой горе ферромагнитные частицы имеют явно выраженную уплощенную форму (P достигает 1.6 до нагрева и 1.2 – после нагрева) (рис. 4). Средний размер ферромагнитных зерен, судя по параметру K/J_{rs} , примерно одинаков в изученных разрезах (см. рис. 2). Скорее всего, и форма отдельных тонкодисперсных частиц близка к изометричной в обоих разрезах, а разная степень магнитной анизотропии обусловлена различием в форме глинистых и слюдяных минералов, на поверхности которых агрегируются тонкодисперсные ферромагнетики.

Петромагнетизм. Несмотря на слабую естественную магнитность палеоценовых отложений, оба изученных разреза хорошо дифференцированы в петромагнитном отношении и обнаруживают ярко выраженное двучленное строение (см. рис. 2, таблицу).

На горе Сырт низы сызранской свиты характеризуются минимальными значениями K , J_n , Q , J_{rs} и повышенными V_{cr} , K/J_{rs} . Верхи разреза, напротив, отмечены относительно большими величинами K , J_n , Q , J_{rs} и пониженными V_{cr} , K/J_{rs} . Наиболее ярко петромагнитный рубеж проявлен на графиках J_n , Q и J_{rs} . Верхи разреза дополнительно расчленяются, благодаря ритмичному характеру кривых K , J_n , Q , J_{rs} и особенностям в распределении V_{cr} , K/J_{rs} . Возможности для

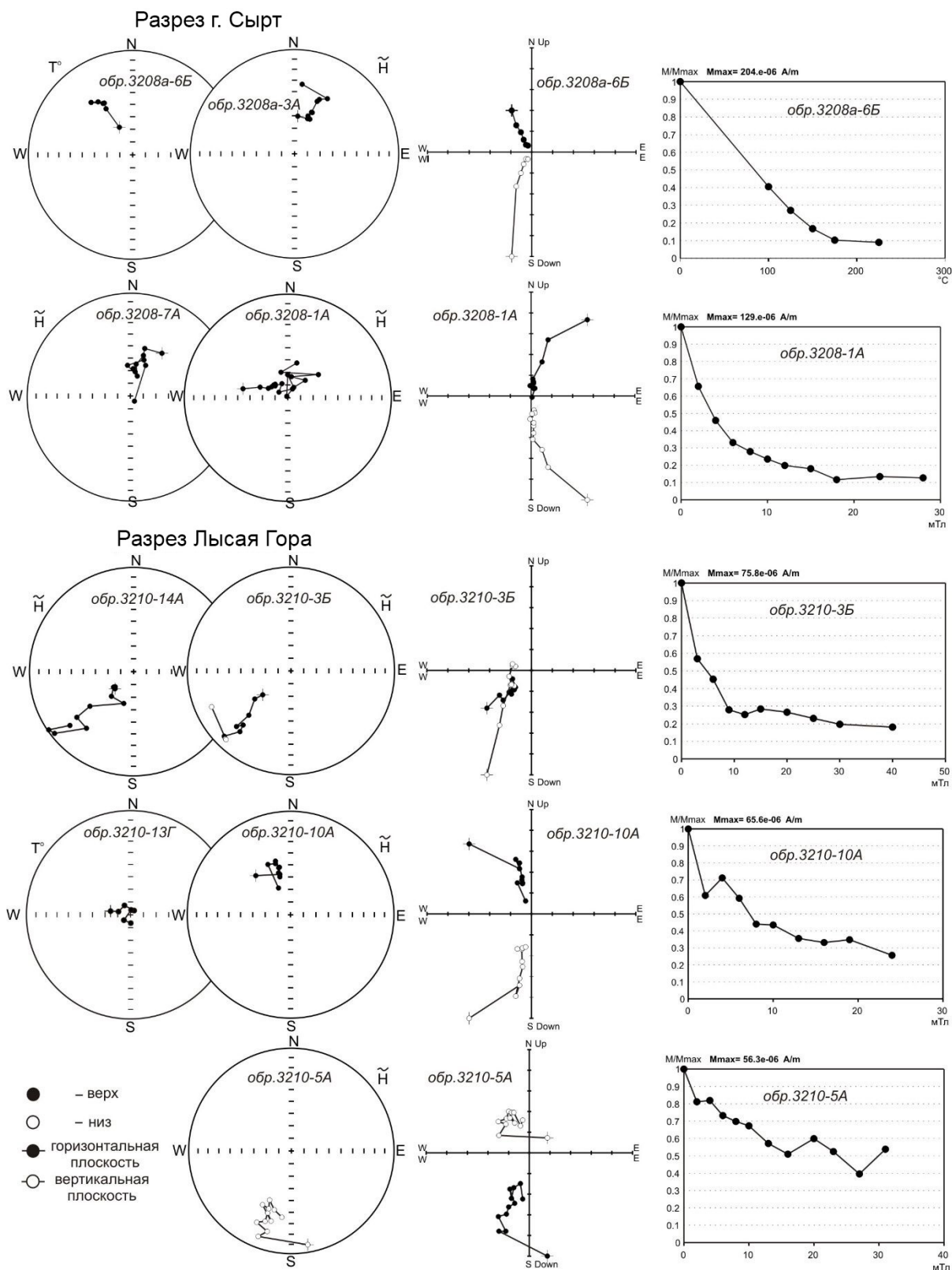


Рис. 4. Результаты компонентного анализа (в географической системе координат): полярные стереопроекции с изображениями изменений векторов J_n в процессе магнитных чисток; диаграммы Зейдверельда и графики размагничивания образцов: T° и H – результаты размагничивания температурой и переменным магнитным полем соответственно



**Статистические характеристики распределения петромагнитных параметров
в низах и верхах разрезов Сырт и Лысая гора**

Разрезы/ интервалы разрезов		K (10^{-5} ед. СИ)	J_n (10^{-5} ед. СИ)	Q	J_{rs} (10^{-3} А/м)	S	B_{cr} (мТл)	K/J_{rs} (10^{-2} А/м)	dK (10^{-5} ед. СИ)
Лысая гора обн. 3210	Обр. 12–20.2	1.3–6.6 4.4 (27)	0.02–0.3 0.1 (27)	0.01–0.12 0.06 (27)	24.3–70.0 43.8 (27)	0.4–1.0 0.8 (27)	41.2–49.9 46.8 (27)	0.05–0.1 0.1 (27)	-0.4–0.9 0.2 (9)
	Обр. 3–11.2	0.4–4.2 2.1 (24)	0.02–0.3 0.09 (24)	0.02–0.5 0.1 (24)	9.7–32.0 19.6 (24)	0.8–0.9 0.9 (24)	41.2–50.0 43.8 (24)	0.05–0.1 0.1 (24)	-0.5–0.08 -0.08 (8)
г. Сырт обн. 3208, 3208	Обн. 3208а, обр. 1–7.1	2.8–7.8 4.8 (20)	0.05–0.4 0.2 (20)	0.03–0.2 0.1 (20)	25.0–142.3 73.0 (20)	0.8–0.9 0.9 (20)	42.6–48.5 45.0 (20)	0.04–0.1 0.08 (20)	-0.3–5.2 0.6 (7)
	Обн. 3208а, обр. 7.2–15.2 + обн. 3208	2.1–7.8 3.8 (53)	0.04–0.2 0.1 (52)	0.01–0.1 0.06 (52)	13.5–37.8 21.4 (24)	0.8–1.0 0.9 (24)	43.5–48.5 46.7 (24)	0.1–0.5 0.2 (24)	-0.5–1.7 -0.08 (8)

Примечание. Значения в числителе: минимум – максимум, в знаменателе: жирным шрифтом – среднее арифметическое, в скобках – количество образцов в выборке.

более детального подразделения нижней части разреза также присутствуют, например, на графике K/J_{rs} .

На Лысой горе низам разреза соответствуют самые низкие значения K , J_{rs} , B_{cr} и повышенные dK . К верхам разреза приурочены повышенные K , J_{rs} , B_{cr} и отрицательные dK . Петромагнитная граница выглядит на графиках всех перечисленных параметров одинаково контрастно. По другим петромагнитным характеристикам намечается иное (не двучленное) подразделение разреза, например по K/J_{rs} в изученной толще обособляются как минимум три части: нижняя и верхняя с повышенными и средняя – с пониженными значениями параметра. Используя все петромагнитные параметры в совокупности, можно добиться наиболее детального расчленения разреза.

Увеличение содержания алевритовой фракции вверх по разрезу как на горе Сырт, так и на Лысой горе, установленное по данным шлифового анализа (см. фототаблицу и раздел «Характеристика разрезов»), коррелирует с трендом к возрастанию значений петромагнитных параметров, ответственных за концентрацию ферромагнетиков. В этой связи уместно предположить, что вариации K , J_n , J_{rs} по разрезам отражают изменения интенсивности терригенного сноса вследствие колебаний уровня моря.

Палеомагнетизм. В общей сложности палеомагнитным исследованиям подверглись 87 ориентированных образцов из нижнесызранской подсистемы. Они были взяты с 42 уровней: 40 образцов с 25 уровней в разрезе Сырт и 47 образцов с 17 уровней в разрезе Лысая гора (см. рис. 2).

В образцах со всех 25 стратиграфических уровней из разреза Сырт выделены характеристические компоненты намагниченности (**ChRM**) хорошего качества: максимальный угол отклонения (MAD) не превышает 12° , варьируя в основном от 4 до 7° (см. рис. 4). Результаты разных

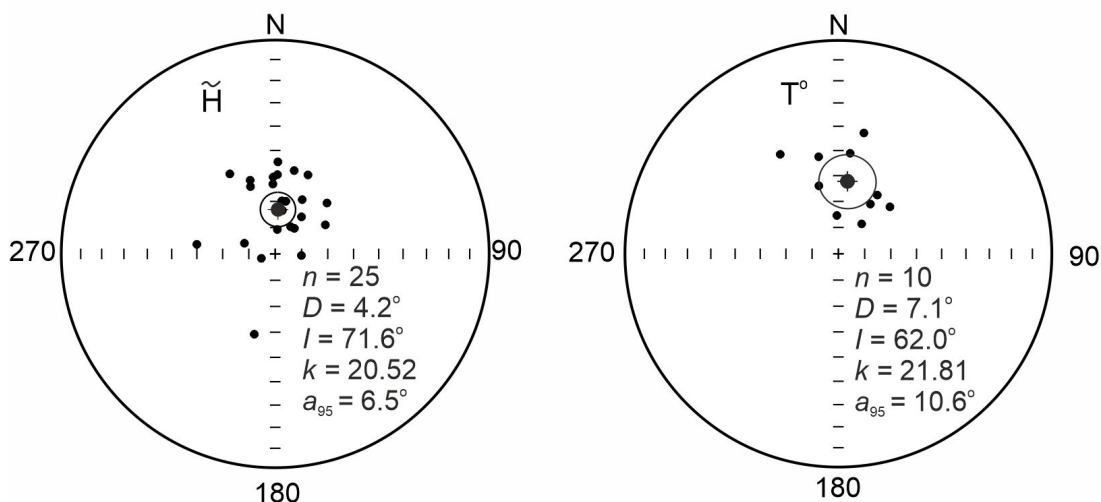
видов магнитных чисток во всех случаях на качественном уровне согласуются между собой, но **ChRM** не всегда возможно выделить по результатам термочисток.

Характеристическая компонента, как известно, не является синонимом первичной компоненты намагниченности. Средние палеомагнитные векторы в разрезе Сырт, рассчитанные по результатам размагничивания переменным полем (рис. 5), близки к направлению современного геомагнитного поля в районе исследований, имеющего наклонение (I) 67.7° (угловое расстояние от направления современного поля составляет 4.2°). Однако среднее направление по **ChRM**, которые были выделены в процессе термочисток (см. рис. 5), отличается от современного поля уже на 6.4° . Палеомагнитный полюс, рассчитанный по этому направлению (широта $Lat = 81.1^\circ$, долгота $Lon = 199.9^\circ$), статистически неотличим от стандартных палеомагнитных полюсов стабильной Европы палеоценового возраста: $Lat = 81.1^\circ$, $Lon = 190.5^\circ$ (60 млн лет при осреднении за 10 млн лет), $Lat = 79.8^\circ$, $Lon = 209.5^\circ$; $Lat = 80.5^\circ$, $Lon = 188.9^\circ$ (65 и 60 млн лет соответственно при осреднении за 5 млн лет) [13].

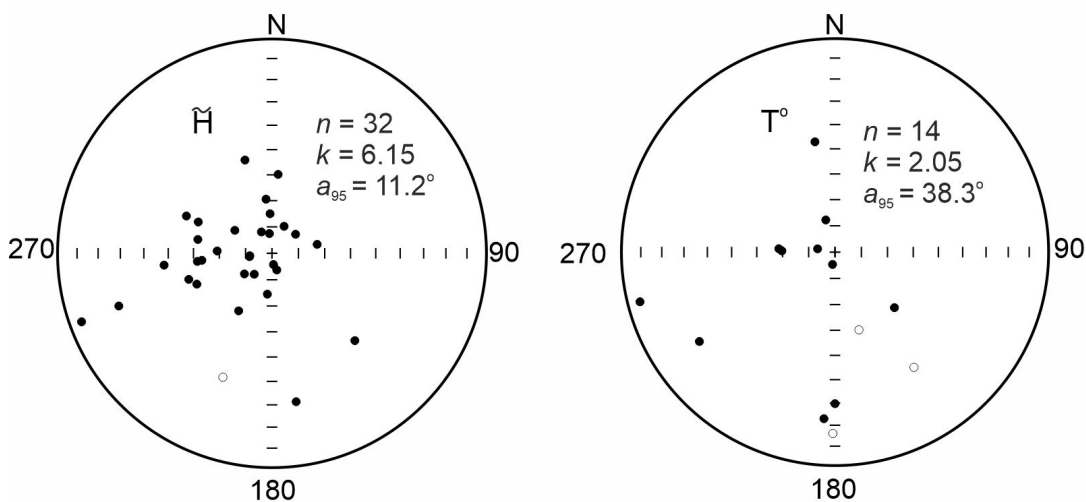
Скорее всего, **ChRM**, выделенные по результатам чисток переменным полем, представляют собой в большинстве случаев стабилизированную векторную сумму первичной компоненты J_n , связанной с магнетитом, и вторичной компоненты химической природы (J_c), обусловленной магнетитожесткими гидроксидами железа – продуктами гипергенного окисления магнетитовых и/или пиритовых зерен. Доля жестких ферромагнетиков в исследуемых породах мала, поэтому они не сказываются на величине фактора Q , значения которого не превышают 0.2 (см. рис. 2, таблицу), что типично для ориентационной или построяционной намагниченности (J_{ro}). Но при размагничивании переменным полем происходит преимущественное разрушение первичной



Разрез г. Сырт



Разрез Лысая гора



n – число образцов в выборке
 D – среднее палеомагнитное склонение
 l – среднее палеомагнитное наклонение
 k – палеомагнитная кучность
 a_{95} – радиус круга доверия

– среднее палеомагнитное направление и круг доверия

Рис. 5. Полярные стереопроекции компонент J_n в географической системе координат, выделенных в разрезе Сырт (ChRM) и Лысая гора (ChRM и J_{st})

компоненты, носителем которой является магнитомягкий магнетит, а доля J_c , связанной с устойчивыми к воздействию полей магнитожесткими гидроокислами железа, в суммарной намагниченности соответственно возрастает. В процессе термочисток, напротив, в первую очередь разрушается J_c , поскольку гидроокислы железа имеют низкие температуры Кюри, например у широко распространенных в приповерхностной зоне гидротетитов она не превышает 130°C [14].

Палеомагнитное качество силицитов в разрезе Лысая гора в целом хуже, чем на горе Сырт. Характеристические компоненты (см. рис. 4,

обр. 3210–10А) примерно в половине случаев отмечены MAD 10–16° (в остальных случаях в основном 5–8°). В образцах с 4 стратиграфических уровней характеристическую компоненту выделить невозможно, но стереопроекции J_n при размагничивании этих образцов смещаются по дугам больших кругов (GC) (см. рис. 4, обр. 3210-14А, 3210-3Б). Компоненты намагниченности, соответствующие прямолинейным отрезкам диаграмм Зийдерверльда, не стремящимся к центру координат, условно названы «стабильными» (J_{st}) (см. рис. 4, обр. 3210-3Б). В образцах с 9 уровней выделены обе компонента намагни-



ченности – J_{st} и $ChRM$. На единственном уровне ни в одном из образцов не удалось выделить ни одной компоненты, но проекции J_n в них перемещаются при размагничивании вдоль дуг больших кругов (см. рис. 4, обр. 3210-14А).

Компоненты J_n , определенные по результатам терморазмагничивания, распределены по сфере хаотично (кучность около 2), $ChRM$ и J_{st} , выделенные по данным чисток перемешанным полем, чуть более упорядочены (см. рис. 5), но в обоих случаях расчет средних направлений не имеет реального смысла. Вероятно, J_n силицитов на Лысой горе, так же как и на горе Сырт, является векторной суммой первичной и вторичной компонент, связанных с мягкими и жесткими ферромагнетиками соответственно. Кардинальная разница в упорядоченности палеомагнитных векторов, наблюдаемая при сопоставлении двух разрезов (см. рис. 5), объяснима, если допустить, что первичная компонента в отложениях на горе Сырт соответствует прямой, а на Лысой горе – обратной полярности. При этом дополнительно предполагается, что перемагничивание связано с современным полем и J_c в обоих разрезах имеет одинаковое направление, соответствующее прямой полярности.

Направления палеоценового поля прямой полярности и современного поля близки, поэтому и суперпозиция первичной и вторичной J_n в разрезе Сырт при размагничивании независимо от доли разрушения той или иной компоненты практически не меняется (рис. 6). Если первичная

и вторичная намагниченности антипараллельны, то даже незначительное разрушение одной из них приведет к существенному изменению их векторной суммы (см. рис. 6). Следствием этого будет большой внутрислоистовый и межслоистовый разброс результирующих компонент, а также смещения направлений J_n в ходе магнитных чисток вдоль больших кругов.

Реальные распределения палеомагнитных векторов в изученных разрезах (см. рис. 5) полностью согласуются с предложенной моделью естественной остаточной намагниченности. Поэтому в разрезе Лысая гора компоненты с отрицательными или пологими положительными наклонениями в южных румбах стереограмм (см. рис. 2, 4, 5), либо траектории перемещений J_n при размагничивании, аппроксимируемые большими кругами (см. ис. 4), интерпретировались как указание на наличие в породах древней намагниченности обратной полярности. Определенная таким образом обратная полярность характеризуется 7 из 17 уровней в разрезе. На 6 уровнях, отмеченных аномальными направлениями J_n (с положительными наклонениями, но со склонениями, не характерными для прямой полярности) или с $I > +75^\circ$, знак полярности не определялся. На единственном уровне (обр. 3210-10) выделены направления, характерные для прямой полярности. Таким образом, можно предположить, что низам сызранской свиты в разрезе Лысая гора соответствует зона преимущественно обратной полярности (Rn) (см. рис. 2).

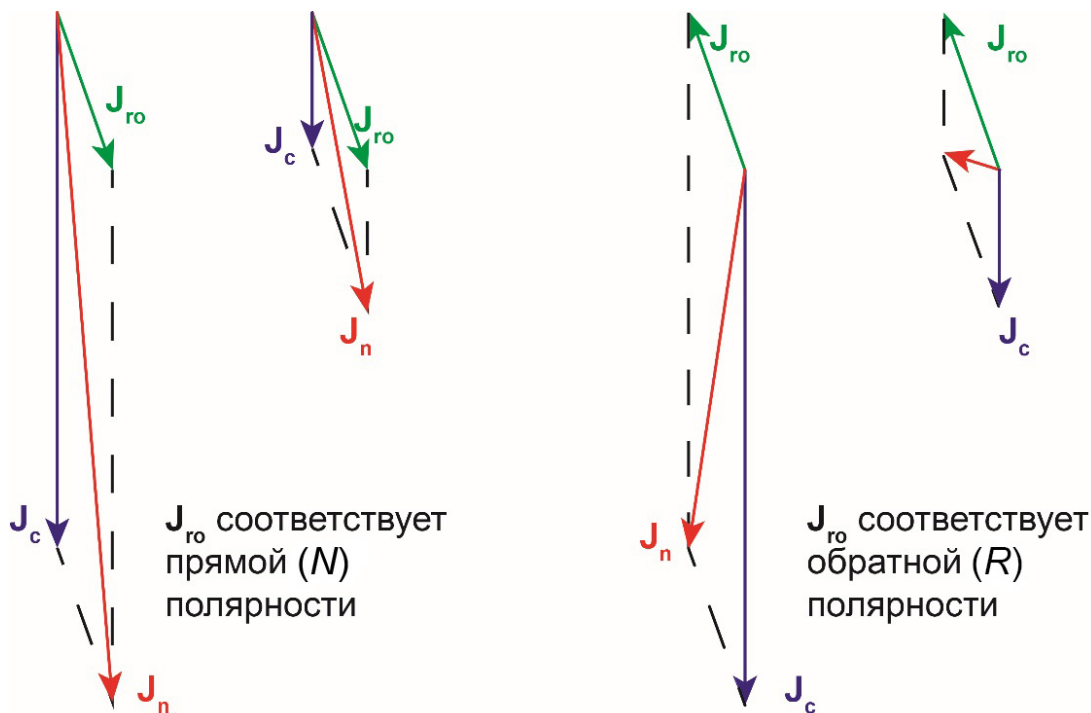


Рис. 6. Схема, иллюстрирующая динамику изменения направления намагниченности (J_n) в зависимости от знака полярности направления первичной компоненты (J_{ro})



Палеомагнитная колонка разреза Сырт образована зоной прямой полярности (*N*) (см. рис. 2). Отмеченное выше совпадение положений полюса, вычисленного на основе полученных данных, с положениями стандартных палеомагнитных полюсов является веским аргументом в пользу первичности намагниченности.

Полученные данные указывают на то, что в изученных разрезах представлены разновозрастные отложения, так как они формировались в эпоху разных режимов полярности геомагнитного поля. Из сопоставления палеомагнитных колонок со Шкалой геомагнитной полярности [15] следует заключить, что более древние образования представлены на горе Сырт, потому что в палеоценовом интервале GPTS преобладание режима прямой полярности характерно только для первой половины датского века (хроны C29 – C28) (рис. 7). Палеомагнитная характеристика Лысой горы допускает как датский (вторая

половина датского века), так и зеландский возраст представленных в ней отложений (хроны C27 – C26, в которых доминирует обратная полярность).

Однако сделанные стратиграфические выводы являются пока только рабочими гипотезами. Отсутствие адекватных представлений о скорости формирования силицитов не позволяет исключить возможность сопоставления *N*-зоны в разрезе Сырт с кратковременным хроном C27п. Выделение *Rn*-зоны в разрезе Лысая гора опирается на предположение о перемагничивании пород в эпоху нормальной полярности геомагнитного поля, которое нуждается в дополнительном обосновании. Для доказательства или убедительного опровержения того или иного варианта интерпретации необходимо получить палеомагнитные данные по ряду других опорных разрезов палеоцена Саратовского Поволжья.

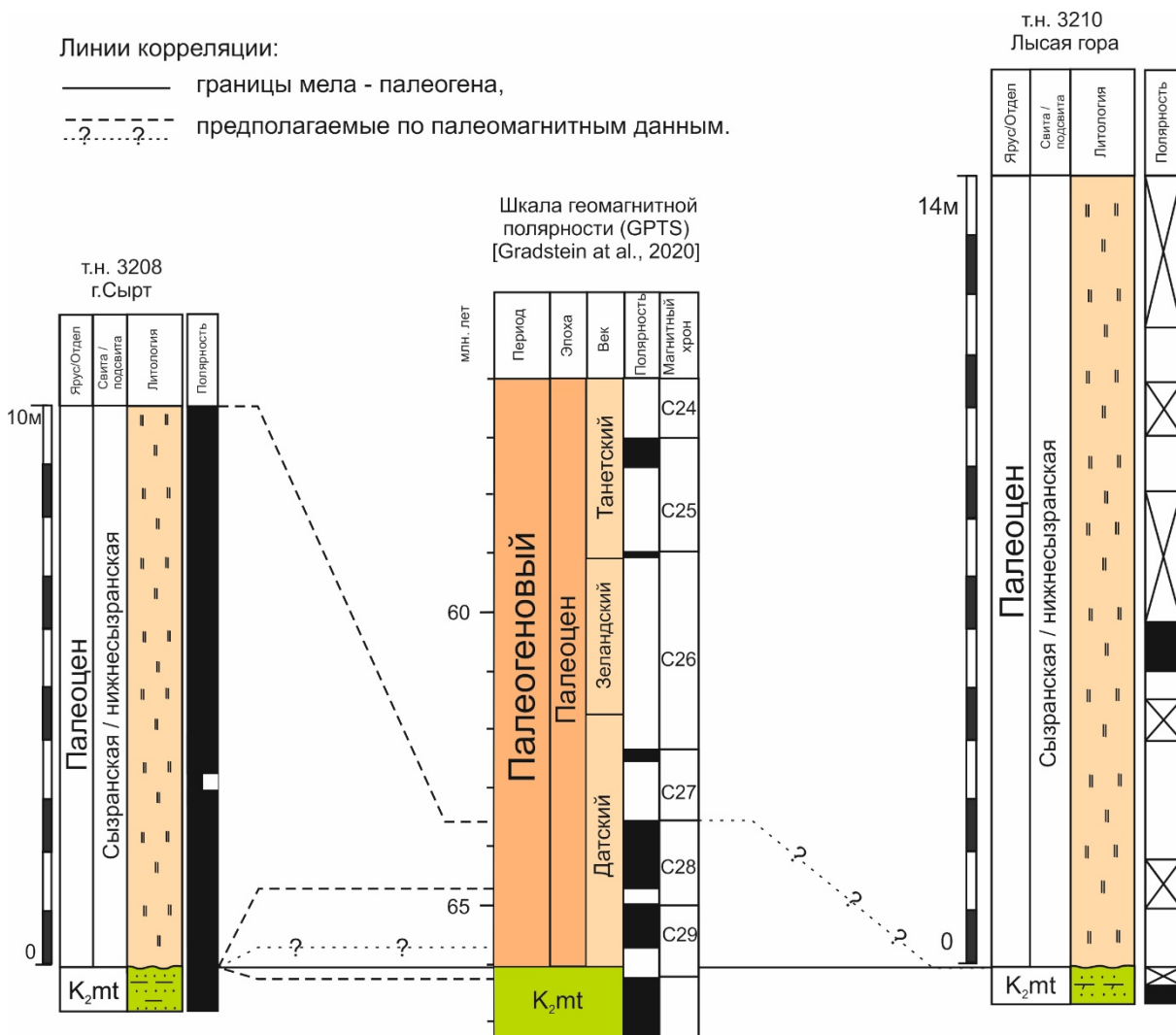


Рис. 7. Предполагаемое сопоставление магнитостратиграфических разрезов нижнесызранской подсвиты Саратовского Правобережья со Шкалой геомагнитной полярности (GPTS). Условные обозначения см. рис. 2



Заключение

В результате проведенных исследований впервые получены детальные петромагнитные и палеомагнитные характеристики низов нижнесызранской подсвиты в двух разрезах Саратовского Правобережья – гора Сырт и Лысая гора.

Главным результатом выполненных работ следует считать демонстрацию возможности получения палеомагнитных данных по палеоцену Поволжья. В силицитах сызранской свиты успешно выделяются компоненты естественной остаточной намагниченности, в том числе характеристические. Как правило, они являются стабилизированной векторной суммой первичной (ориентационной) и вторичной (химической) компонент, связанных с магнитомягким магнетитом, возникшим на стадии формирования осадка, и магнито жесткими гидроокислами железа (иногда сильно дегидратированными), которые возникли в результате гипергенного окисления железосодержащих минералов. Анализ палеомагнитных данных позволил установить, что намагниченность в разрезе Сырт возникла в результате сложения компонент, соответствующих одному и тому же (нормальному) режиму полярности, а в разрезе Лысая гора – в результате сложения компонент разного знака полярности. Магнитополярная характеристика палеоценовых отложений на горе Сырт более надежна, чем на Лысой горе, но в обоих разрезах она нуждается в дополнительном обосновании.

Имеющаяся на данный момент неоднозначность определения знака полярности должна уменьшаться по мере получения новых данных по разновозрастным отложениям других разрезов, даже если они окажутся в такой же степени затронутыми процессами перемагничивания, как и низы сызранской свиты на горе Сырт и Лысой горе. Однако не исключено, что другие объекты исследований окажутся более благополучными в палеомагнитном отношении.

Установлено, что низы сызранской свиты в изученных разрезах хорошо дифференцированы по магнитным свойствам, вариации которых отражают важные особенности ферромагнитной фракции в породах (вид и генезис железосодержащих минералов, их концентрацию, форму и размерность частиц). Тем самым показана перспективность получения петромагнитных данных по палеоцену Поволжья для выполнения детальных корреляций разрезов и реконструкции условий осадконакопления.

Выполненный шлифовый анализ силицитов сызранской свиты является продолжением и развитием многолетних работ по исследованию вещественного состава палеоцена Поволжья, проводимых Е. Ф. Ахлестиной и другими сотрудниками Саратовского университета [16].

В ближайшем будущем планируется получение микропалеонтологических данных по изу-

ченным разрезам и продолжение комплексных био-, магнитостратиграфических и литолого-минералогических исследований палеоцена в других районах Саратовского Правобережья.

Библиографический список

1. Мусатов В. А., Музылев Н. Г., Ступин С. И. Палеоценовые отложения Поволжья и Северного Прикаспия : новые данные, событийный подход // Вопросы стратиграфии Поволжья и Прикаспия : сборник научных трудов / редакторы А. В. Иванов, В. А. Мусатов. Саратов : Издательство Саратовского университета, 2004. С. 226–258.
2. Унифицированная стратиграфическая схема палеоценовых отложений Поволжско-Прикаспийского субрегиона / редакторы : М. А. Ахметьев, С. М. Шик, А. С. Алексеев ; составители : Г. Н. Александрова, М. А. Ахметьев, В. Н. Беньямовский [и др.]. Москва : ВНИГНИ, 2015. 96 с.
3. Постановления Межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий. Санкт-Петербург : Издательство ВСЕГЕИ, 2016. Вып. 44. 67 с.
4. Стратиграфический кодекс России. Издание третье, исправленное и дополненное. Санкт-Петербург : Издательство ВСЕГЕИ, 2019. 96 с.
5. *Gabdullin R. R., Guzhikov A. J., Bogachkin A. B., Bondarenko N. A., Lubimova T. V., Widrik A. B.* Periodites below and above the K / T boundary // Bull. de l'Institute Royal des Sciences Naturelles de Belgique. Sciences de la Terr. 1999. 69-suppl. P. 87–101.
6. *Molostovsky E. A., Fomin V. A.* Sedimentogenesis in Maastrichtian-Danian basins of the Russian plate and adjacent areas in the context of plume geodynamics // Russian Journal of Earth Sciences. 2006. Vol. 8. P. 1–3.
7. *Милановский Е. В.* Очерк геологии Среднего и Нижнего Поволжья. Москва ; Ленинград : Гостоптехиздат, 1940. 276 с.
8. *Гужиков А. Ю., Барабошкин Е. Ю., Беньямовский В. Н., Вишневецкая В. С., Копаевич Л. Ф., Первушов Е. М., Гужикова А. А.* Новые био- и магнитостратиграфические данные по кампанским–маастрихтским отложениям классического разреза Нижняя Банновка (юг Саратовского Правобережья) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2017. Т. 25, № 1. С. 24–61.
9. *Lanza R., Meloni A.* The Earth's Magnetism : An Introduction for Geologist. Berlin : Springer, 2006. 278 p.
10. *Гужиков А. Ю., Барабошкин Е. Ю., Александрова Г. Н., Рябов И. П., Устинова М. А., Копаевич Л. Ф., Миранцев Г. В., Кузнецов А. Б., Фокин П. А., Косоруков В. Л.* Био-, хемо- и магнитостратиграфия пограничного интервала сантона–кампана разрезов Кудрино и Аксу-Дере (Юго-Западный Крым) : проблемы глобальной корреляции и выбора лимитотипа нижней границы кампанского яруса. Статья 2. Магнито- и хемостратиграфия, обсуждение данных // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2021. Т. 29, № 5. С. 27–58.
11. *Гужикова А. А., Первушов Е. М., Рябов И. П., Фомин В. А.* Магнитозона обратной полярности в туронско-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>
12. Гужикова А. А., Грищенко В. А., Фомин В. А., Барбошкин 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>
13. Besse J., Courtillot V. Apparent and true polar wander and the geometry of the geomagnetic field over the last 200 Myr // Journal of Geophysical Research. 2002. Vol. 107, № 11. P. 1–31.
14. Третьяк А. Н. Естественная остаточная намагниченность и проблема палеомагнитной стратификации осадочных толщ. Киев : Наукова Думка, 1983. 256 с.
15. A Geologic Time Scale 2012 / F. M. Gradstein, J. G. Ogg, M. D. Smitz, G. M. Ogg. Elsevier BV, 2012. 1390 p.
16. Ахлестина Е. Ф., Иванов А. В. Атлас кремнистых пород мела и палеогена Поволжья. Саратов : ГосУНЦ «Колледж», 2000. 166 с.

Поступила в редакцию 15.02.2022; одобрена после рецензирования 28.02.2022; принята к публикации 01.03.2022
The article was submitted 15.02.2022; approved after reviewing 28.02.2022; accepted for publication 01.03.2022