УДК 551.763.3: 550.384

ПЕРВЫЕ МАГНИТОСТРАТИГРАФИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ПО МААСТРИХТУ ГОРНОГО КРЫМА (Бахчисарайский район)

А. А. Гужикова

Гужикова Анастасия Андреевна, инженер лаборатории Петрофизики, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, blackhole3@yandex.ru

По двум разрезам карбонатного маастрихта – Чахмахлы и Такма в Бахчисарайском районе Республики Крым получены представительные данные о магнитной восприимчивости и ее анизотропии до и после прогревов до 500°С, а также других петромагнитных параметрах. В изученных разрезах установлены магнитозоны нормальной и аномальной полярности, проведено их сопоставление с магнитостратиграфической шкалой. По характеристическим компонентам, соответствующим нормальной полярности, рассчитан виртуальный магнитный полюс, значимо отличающийся от одновозрастных полюсов для стабильной Европы.

Ключевые слова: верхний мел, маастрихт, Крым, магнитостратиграфия, палеомагнетизм, анизотропия магнитной восприимчивости, космическое вещество.

First Magnetostratigraphic Data on the Maastrihtian of Mountain Crimea (Bakhchysarai Region)

A. A. Guzhikova

Anastasia A. Guzhikova, ORCID 0000-0001-5669-7116, Saratov State University, 83, Astrakhanskaya Str., Saratov, 410012, Russia, blackhole3@yandex.ru

The representative data about magnetic susceptibility, its anisotropy before and after heating up to 500°C and other petromagnetic characteristics were received on two sections of carbonate sediments of Maastrihtian – Chahmahly and Takma, located in Bakhchysarai region of the Republic of Crimea. In the studied sections there were established the magnetozones of normal and anomalous polarity, the comparison of determined zones with Geomagnetic Polarity Time Scale was conducted. In accordance with the directions of characteristic components, corresponding to normal polarity there was calculated a virtual magnetic pole that has a significant difference with the same age VGP for a stable Europe.

Key words: Upper Cretaceous, Maastrichtian, Crimea, magnetostratigraphy, paleomagnetism, anisotropy of magnetic susceptibility, cosmic matter.

DOI: 10.18500/1819-7663-2018-18-1-41-49

Введение

В 2014–2016 гг. проведено детальное петромагнитное и палеомагнитное изучение двух разрезов маастрихта Юго-Западного Крыма в пределах Внутренней (Второй) гряды Крымских гор.

Разрез овраг Чахмахлы (точка наблюдения 3042: 44°46’58.6’’ с.ш., 33°57’52.3’’ в.д.) расположен в Бахчисарайском районе Республики Крым (рис. 1) близ с. Трудолюбовка на территории полигона учебных геологических практик студентов Московского и Санкт-Петербургского университетов. Разрез сложен белыми мелоподобными мергелями в нижней части и светло-серыми слабоалевритистыми мергелями в верхней. Подробное литологическое описание разреза и обоснование возраста пород опубликованы ранее А. С. Алексеевым (Alekseev) и Л. Ф. Копаевич (Kopaevich) [1]. Граница кампанского и маастрихтского ярусов, по мнению авторов, должна располагаться внутри зоны *Angulogavelinella gracilis* (LC18-19) по бентосным фораминиферам (БФ), установленной в основании разреза (см. рис. 2). Находки ростров белемнита *Belemnitella conica* Arkhangelsky несколько выше кровли этой зоны подтверждают версию о соответствии низов разреза пограничному интервалу кампана – маастрихта [1] (см. рис. 2).

Разрез овраг Такма (точка наблюдения 3043: 44°48’21’’ с.ш., 34°00’03’’ в.д.) находится у с. Скалистое Бахчисарайского района, примерно в 4 км к северо-востоку от разреза Чахмахлы. Оба разреза очень схожи в литологическом отношении. Детальное описание разреза Такма и сведения о магнитной восприимчивости пород приведены в работе Б. И. Сизанова, А. В. Рудаковой, Р. Р. Габдуллина [2].

Элементы залегания определены по кровле характерного плотного мелоподобного мергеля: азимут падения – 325°, угол – 11°.

Методика работ

В 2014 г. в разрезах Чахмахлы и Такма для магнитостратиграфического анализа были отобраны ориентированные штуфы через каждые 0.9–2.7 м мощности. В разрезе Чахмахлы взяты штуфы с 92 уровней (см. рис. 2), в интервале мощностью 122 м, а в разрезе Такма – с 51 уровня в интервале мощностью 44 м (см. рис. 2). Каждый штуф распиливался на 4 образца кубической формы размером 2х2х2 см. Основание разреза (пачка XIX, внутри которой расположена граница кампана–маастрихта [1]) оказалось недоступным для изучения.

Образцы со всех уровней подвергнуты измерениям объемной магнитной восприимчивости (K), анизотропии магнитной восприимчивости (АМВ) до и после прогрева проб при температуре 500°С в течение часа, естественной остаточной

© Гужикова А. А., 2018

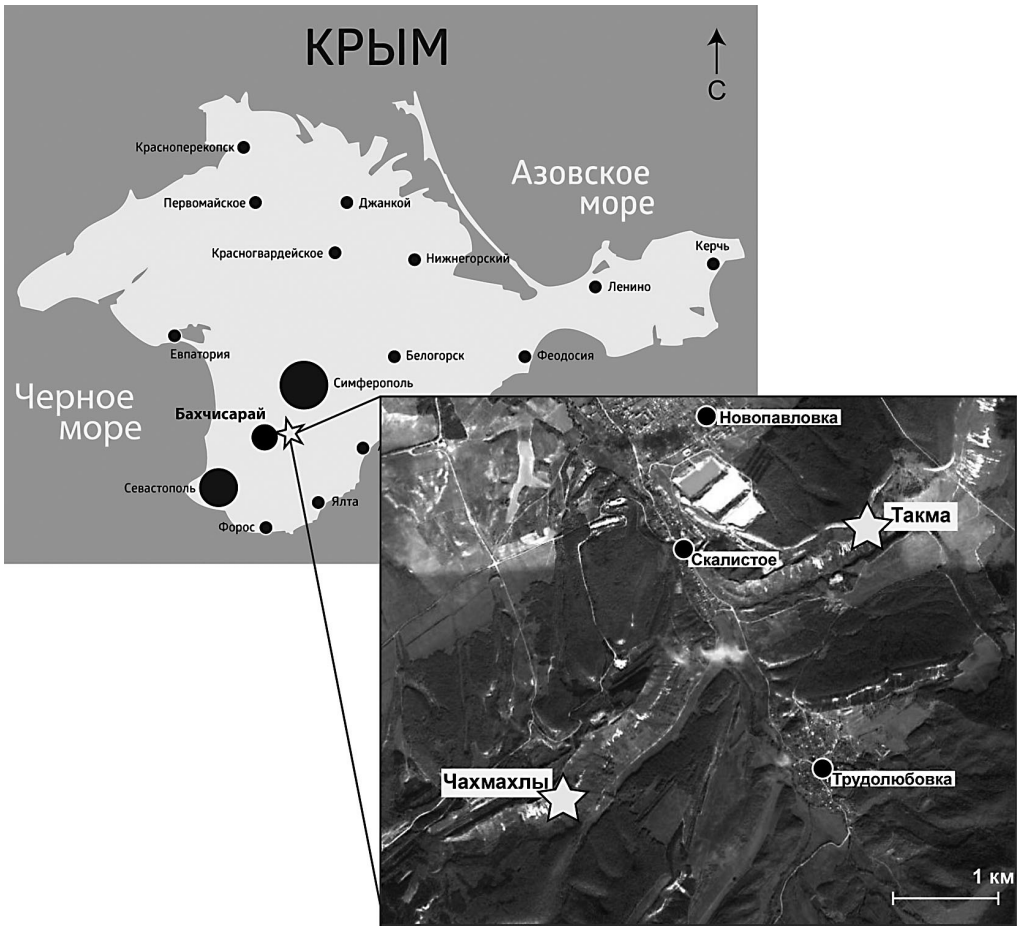


Рис. 1. Схема расположения изученных разрезов маастрихта (разрезы обозначены звездочками)

намагниченности ($\mathbf{J_n}$), опытам магнитного насыщения с последующим определением остаточной намагниченности насыщения ($\mathbf{J_{rs}}$) и остаточной коэрцитивной силы ($\mathbf{H_{cr}}$), а также палеомагнитному анализу.

Палеомагнитные исследования проводились по стандартной методике [3] и заключались в последовательных магнитных чистках переменным полем (до 50–80 мТл с шагом 5–10 мТл) с последующим компонентным анализом $\mathbf{J_n}$.

Измерения магнитной восприимчивости (каппаметрия) велись на каппабридже MFK1-FB, намагниченности – на спин-магнитометре JR-6. Прогрев образцов с целью последующих измерений их АМВ (термокаппаметрия) проводился в муфельных печах СНОЛ 6/11-В. Для магнитного насыщения использовался регулируемый электромагнит, обеспечивающий интенсивность поля до 700 мТл. Магнитные чистки проводились на криогенном магнитометре 2G-Enterprices и на демагнетизаторе LDA-3AF с последующими замерами $\mathbf{J_n}$ на JR-6. Анализ данных АМВ осуществлялся с помощью программы Anisoft 4.2, компонентный анализ палеомагнитных данных – в программе Remasoft 3.0. Выборочные образцы исследовались на микроанализаторе «ТЕСКАН-ВЕГА II».

Результаты исследований

Магнитная минералогия и петромагнетизм

По результатам магнитного насыщения в изученных разрезах повсеместно фиксируется магнитомягкая фаза, характерная для тонкодисперсного магнетита: $\mathbf{J_{rs}}$ приобретается в полях до 100 мТл, а разрушается при 20–40 мТл (рис. 3, *а*). Результаты микрозондового анализа 3 образцов с разных стратиграфических уровней (обр. 3042/31, 3042/79 и 3042/83) из разреза Чахмахлы подтверждают наличие в образцах магнетита, в основном в виде магнетитовых сферул субмикронной размерности (см. рис. 3, *б*). Кроме них микрозондовый анализ обнаружил железные (реже железоникелевые) чешуйки (иногда с микрочастицами вольфрама) и силикатные микросферы, а также частицы ильменита, в некоторых случаях пирротина (FeS) (см. рис. 3, *б*). Химический состав (Fe, Ni, W), субмикронная размерность и форма частиц (чешуйки, сферулы) характерны для метеоритной пыли и в совокупности с данными магнитного насыщения являются основанием для того, чтобы признать космогенные магнетит и железо главными носителями намагниченности.

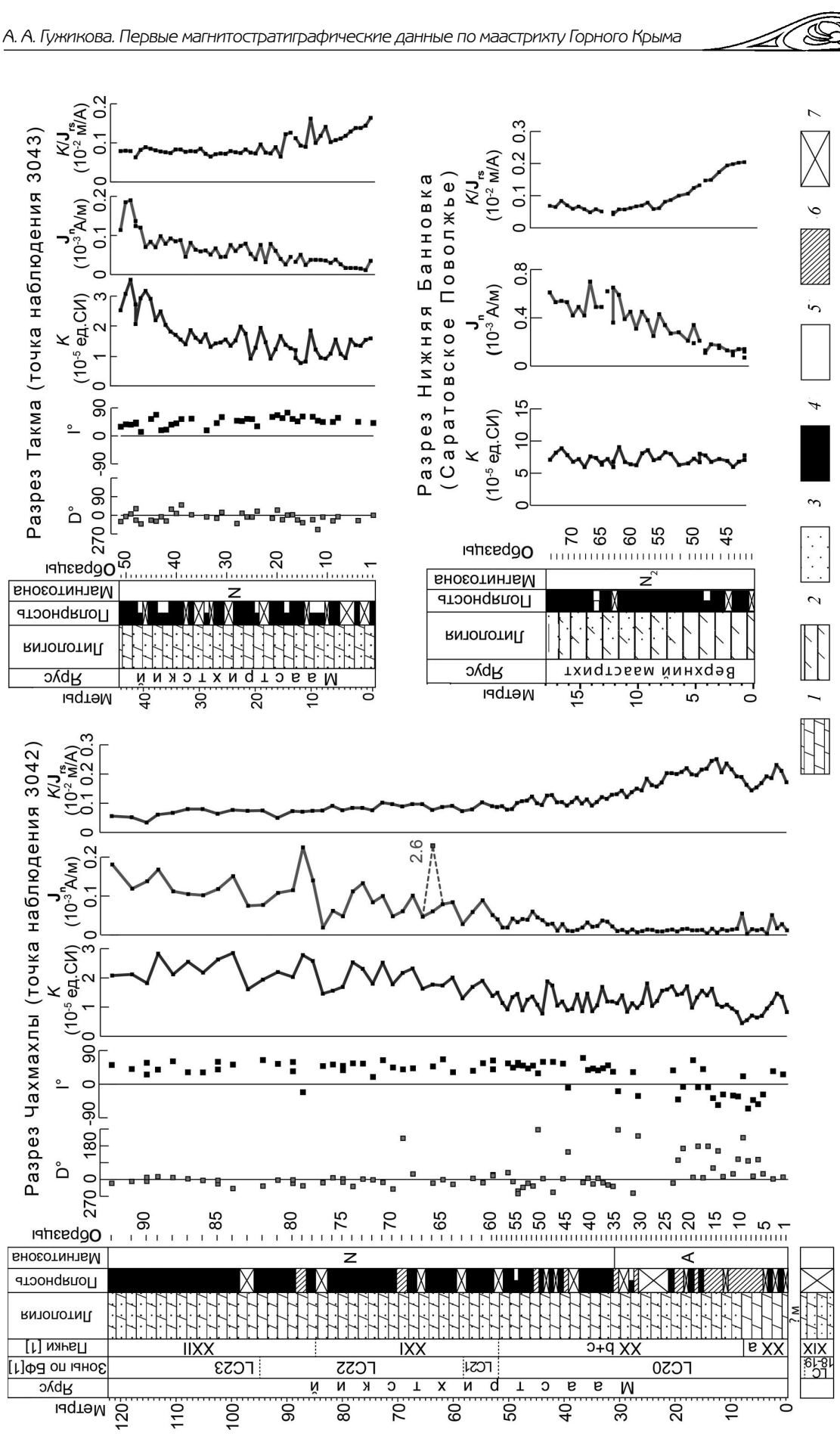


Рис. 2. Палео- и петромагнитные характеристики разрезов маастрихта Горного Крыма (Чахмахлы, Такма) и Саратовского Поволжья (Нижняя Банновка). Условные обозначения: *1* – мергель; *2* – глины карбонатные; *3* – песчанистый материал; полярность: *4* – нормальная (*N*); *5* – обратная (*R*); *6* – аномальная (*A*); *7* – отсутствие данных

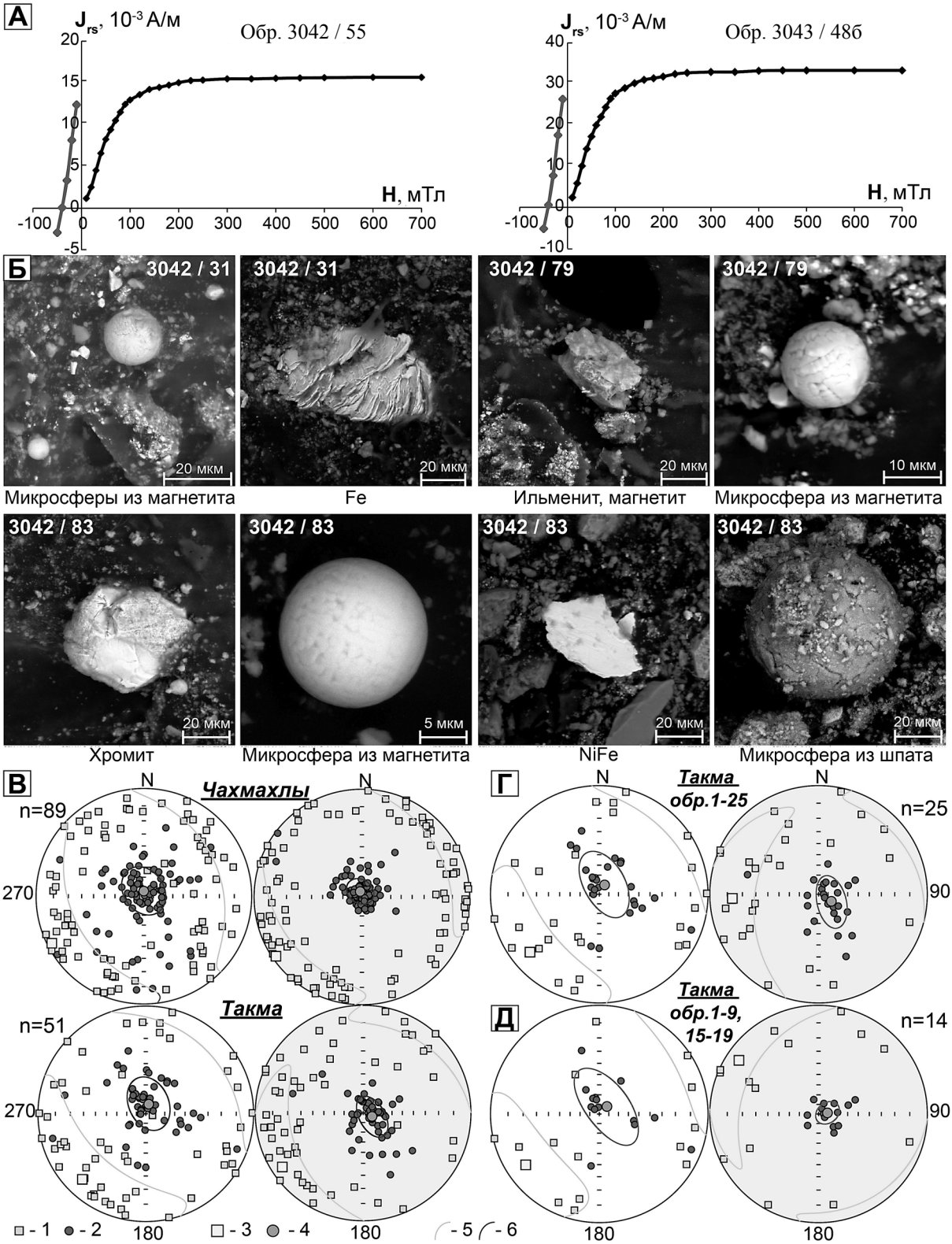


Рис. 3. Результаты магнито-минералогического анализа: **А** – кривые магнитного насыщения и разрушения; **Б** – результаты микрозондового анализа; **В**–**Д** – данные по анизотропии магнитной восприимчивости в виде стереограмм (в стратиграфической системе координат) проекций длинных (К1) и коротких (К3) осей АМВ до (слева) и после (справа) прогрева образцов на 500°С по разрезам Чахмахлы и Такма (**В**), по интервалу разреза Такма, по которому имеются данные о степени биотурбированности пород [2], по всем образцам (**Г**) и после исключения образцов, соответствующих наиболее интенсивно биотурбированным уровням (**Д**). Условные обозначения: проекции осей: *1* – длинных (К1), *2* – коротких (К3); *3, 4* – проекции средних направлений К1и К3 соответственно; *5, 6* – овалы доверия для К1 и К3 соответственно

Отложения очень слабомагнитные: магнитная восприимчивость и естественная остаточная намагниченность варьируют от 0.4 до $3.7 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ и от 0.003 до $0.2 \cdot 10^{-3}$ А/м соответственно (за исключением единичного случая – обр. 3042/66-б, где $\mathbf{J_n}$ достигает $2.6 \cdot 10^{-3}$ А/м) (см. рис. 2, *а*). С точки зрения закономерностей в распределении петромагнитных данных характерной особенностью изученных разрезов являются выразительные тенденции к возрастанию K, $\mathbf{J_n}$, $\mathbf{J_{rs}}$ в сочетании с отчетливым убыванием значений параметра $K/\mathbf{J_{rs}}$ вверх по разрезу (см. рис. 2). Аналогичные петромагнитные тренды отмечены в верхнемаастрихтской карбонатно-терригенной толще у с. Нижняя Банновка Саратовского Поволжья, в которой содержится большое количество микрочастиц железа, никеля, интерметаллидов и магнетитовых сферул [4], характерных для метеоритной пыли (см. рис. 2). Совпадение петромагнитных тенденций в одновозрастных осадочных толщах разных геоструктур свидетельствует о глобальном характере события, обусловившего сходство магнитных свойств удаленных разрезов. В связи с этим можно предположить, что особенности петромагнитного строения верхов маастрихта и в Поволжье, и в Крыму связаны с обогащением осадка космогенным веществом вследствие усиления метеоритной бомбардировки Земли в конце мелового периода [5].

Повышенное содержание ферромагнитных космогенных частиц субмикронной размерности в осадке не приводило к существенному увеличению K, но обусловило уменьшение $K/\mathbf{J_{rs}}$, пропорциональное среднему размеру ферромагнитных зерен, и возрастание $\mathbf{J_n}$ за счет хорошей ориентировки метеоритной пыли по геомагнитному полю. Небольшое отличие петромагнитной характеристики крымских маастрихтских карбонатных толщ от поволжских проявляется в заметном возрастании магнитной восприимчивости в верхах разрезов (см. рис. 2). Это может быть связано с наличием более сильномагнитного (по сравнению с Поволжьем) источника размыва в Юго-Западном Крыму. В перспективе по мере накопления подобных материалов петромагнитные характеристики могут использоваться в качестве глобального изохронного корреляционного репера событийной природы.

Изучение АМВ по двум разрезам показало, что, несмотря на хаотичное распределение осей эллипсоидов АМВ во многих образцах, в большинстве случаев проекции коротких осей (К3) концентрируются в центре стереопроекции, а длинных осей (К1) – равномерно распределены вдоль ее экватора, что характерно для осадков, формировавшихся в спокойной гидродинамической обстановке (рис. 3, *в*). Однако после прогрева образцов до 500°С степень концентрации К3 около центра стереограмм в разрезе Чахмахлы значительно возрастает за счет превращения FeS_2 в сильномагнитный магнетит при температуре свыше 400°С, и магнитные текстуры становятся ближе к идеальной осадочной магнитной текстуре (см. рис. 3, *в*). Мы предполагаем, что пирит выполняет раковины фораминифер плоской формы, поэтому распределение осей АМВ после термической обработки приобретает вид, характерный для плоских ферромагнитных частиц, осаждавшихся при отсутствии гидродинамических воздействий [6].

В разрезе Такма степень концентрации проекций К3 в центре стереограммы сильно не различается до и после прогрева (рис. 3, *в*, *г*). Однако после исключения из анализа наиболее интенсивно биотурбированных пород кучность К3 после нагрева возрастает также значимо, как и в разрезе Чахмахлы (рис. 3, *д*) (сведения об индексе биотурбаций отложений, заключенных между образцами 3043/1 и 3043/25 (рис. 3, *г*, *д*) взяты из работы [2]). Возможно, это связано с тем, что максимально биотурбировались наименее вязкие и, следовательно, легкоподвижные осадки. В таком случае значительный разброс К3 можно объяснить вязкопластичными деформациями на стадии диагенеза, тем более что магнитная текстура наиболее биотурбированных отложений в Такме типична для подводно-оползневых деформаций.

Палеомагнетизм

Несмотря на малые значения $\mathbf{J_n}$, благодаря измерениям на криогенном магнитометре, во многих образцах удалось выделить характеристические компоненты (**ChRM**) приемлемого качества с максимальным углом отклонения менее 15° (как правило, менее 10°) (см. рис. 2). В большинстве образцов **ChRM** закономерно группируются в северных румбах нижней полусферы, что соответствует нормальной (*N*) полярности геомагнитного поля (рис. 4, *а*). В остальных случаях либо выделенные компоненты имеют аномальные направления (рис. 4, *б*), либо компоненты $\mathbf{J_n}$ выделить невозможно (рис. 4, *в*).

N-компоненты намагниченности в обоих разрезах характеризуются хорошими показателями палеомагнитной статистики: кучность направлений (k) более 15, радиус доверия на 95%-ном уровне, значимости (α_{95}) менее 4° (рис. 4, *г*). Среднее направление по выборке значимо отличается от направления современного поля, наклонение которого на широте изученных разрезов составляет 63.1°. Значимость различия векторов оценивалась согласно [7], для современного поля в качестве n взято количество обнажений (2), за α_{95} принята максимальная амплитуда вековой вариации (10°) [8]. Виртуальный магнитный полюс, рассчитанный по среднему направлению, значимо отличается от стандартных полюсов для стабильной Европы с возрастом 65–75 млн лет [9] (рис. 5).

Аномальные направления характеризуются хаотичным распределением (k менее 1.5°, α_{95} почти 50°), но их общей особенностью является то, что большинство векторов проецируются на верхнюю полусферу (рис. 4, *г*). Некоторые из

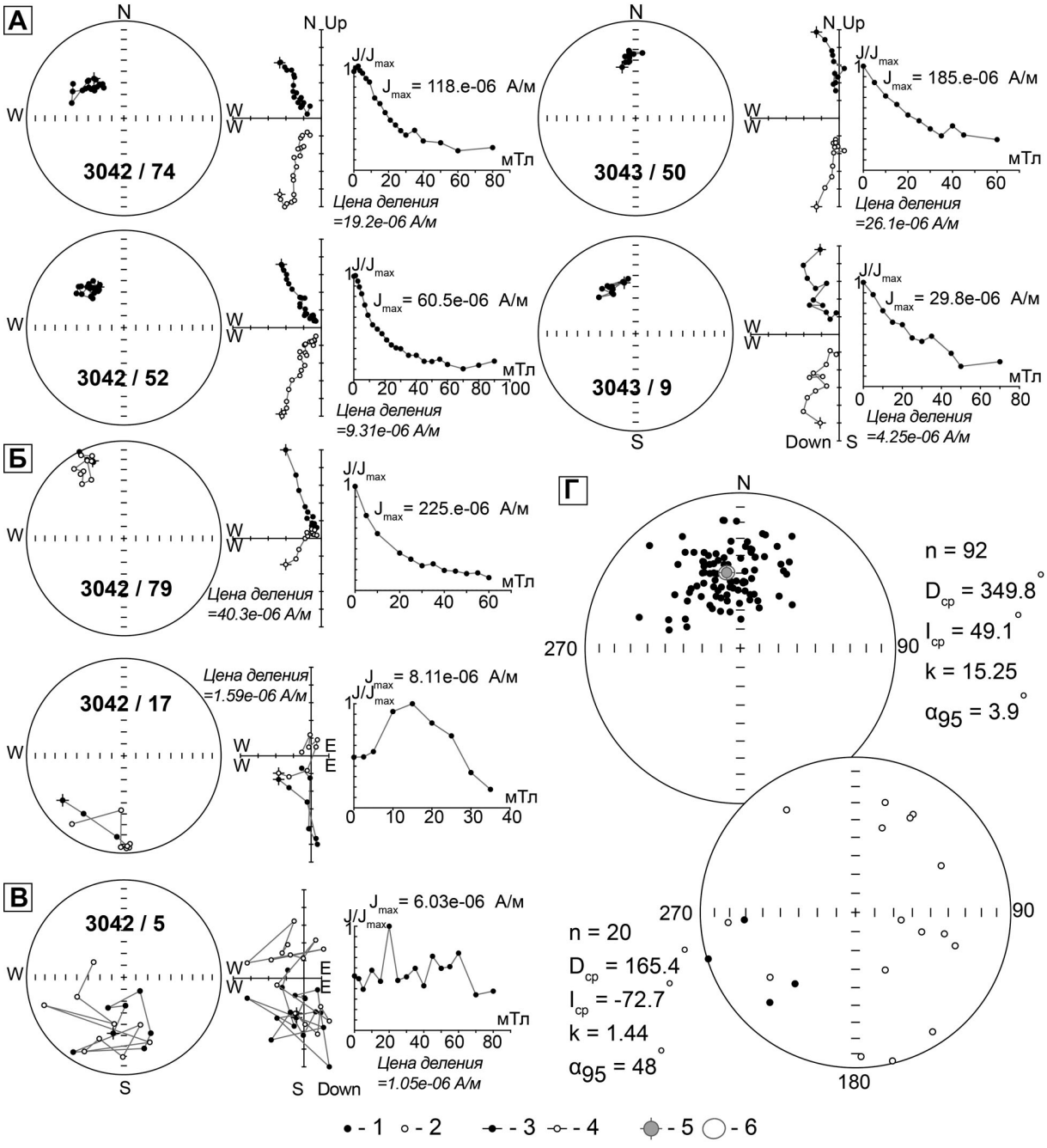
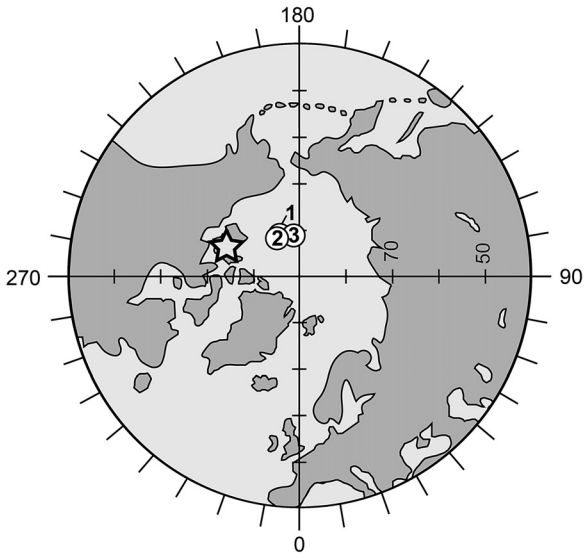


Рис. 4. Результаты палеомагнитных исследований в стратиграфической системе координат: **А–В** – результаты компонентного анализа (слева направо: стереографические изображения изменения векторов $\mathbf{J_n}$ в процессе магнитных чисток, диаграммы Зийдервельда) для образцов с **ChRM**, соответствующей нормальной (**А**), аномальной (**Б**) полярности и для образцов, в которых компоненты $\mathbf{J_n}$ выделить невозможно (**В**); (**Г**) – стереопроекции совокупностей **ChRM**, соответствующих прямой (верхняя) и аномальной (нижняя) полярности с показателями палеомагнитной статистики: *n* – число образцов в выборке: $D_{ср}$, $I_{ср}$ – среднее палеомагнитное склонение и наклонение соответственно, *k* – палеомагнитная кучность, α_{95} – радиус круга доверия вектора. Условные обозначения: *1, 2* – проекции $\mathbf{J_n}$ на нижнюю и верхнюю полусферы соответственно; *3, 4* – проекции $\mathbf{J_n}$ на горизонтальную и вертикальную плоскости соответственно; *5, 6* – среднее палеомагнитное направление и круг доверия



		Lat	Lon	A_{95}
☆	Разрезы Чахмахлы и Такма (N-магнитозоны)	73.2	246.0	4.2
①	64.0 млн лет (осреднение 5 млн лет) [9]	81.3	188.6	3.6
②	68.3 млн лет (осреднение 5 млн лет) [9]	80.0	213.2	4.8
③	75.4 млн лет (осреднение 5 млн лет) [9]	79.8	209.5	7.2

Рис. 5. Положение и характеристики виртуальных магнитных полюсов для маастрихта Горного Крыма (звездочка) и одновозрастных полюсов для стабильной Европы [9] (кружки с цифрами). Lat, Lon, A_{95} – широта, долгота и радиус круга доверия соответственно для среднего ВМП

ChRM, расположенных в южных румбах верхней полусферы, близки к направлениям, характерным для обратной (R) полярности геомагнитного поля (см. рис. 4, *г*).

В разрезе Такма и большей части разреза Чахмахлы (обр. 3042/36 – 3042/92) доминирует нормальная полярность, в то время как подавляющее большинство аномальных направлений и все немногочисленные R-направления сосредоточены в низах разреза Чахмахлы (3042/1 – 3042/35) (см. рис. 2, 6). Поэтому палеомагнитная колонка Чахмахлов дифференцирована нами на две магнитозоны: верхнюю, мощностью 91 м, нормальной полярности и нижнюю, мощностью 31 м, аномальной полярности (см. рис. 6). Учитывая приуроченность аномальных направлений к одному интервалу разреза, можно предположить, что они обусловлены наличием в породах первичной $\mathbf{J_n}$ обратного знака и представляют собой векторную сумму древней компоненты и стабилизированной вторичной составляющей намагниченности. Однако для того, чтобы убедиться в правомерности этой гипотезы, необходимо получить палеомагнитные данные по одновозрастным отложениям в соседних разрезах. Разрезу Такма соответствует только зона нормальной полярности (см. рис. 6).

Учитывая, что изученные интервалы разрезов соответствуют в основном маастрихтскому ярусу [1], выделенные в них *N*-магнитозоны однозначно опознаются как аналоги совокупности хронов 31n и 30 (см. рис. 6). Базируясь на сопоставлении полученных данных с Шкалой геомагнитной полярности (GPTS) [10] (см. рис. 6), можно утверждать, что интервалы разрезов Такма и Чахмахлы, характеризующиеся нормальной полярностью, относятся только к верхнему маастрихту, а не к нижнему, как предполагалось ранее [2].

Если зона аномальной полярности соответствует хрону 31r, то уровень подошвы маастрихта находится ниже изученной части разреза Чахмахлы (см. рис. 6), потому что в GSSP яруса (разрезе Терсис в Юго-Восточной Франции) нижняя граница маастрихта расположена ниже основания 31r [11]. Однако, учитывая предварительный характер магнитополярной интерпретации в этой части разреза, окончательные выводы делать преждевременно.

Заключение

В результате проведенных исследований впервые получены палеомагнитные и детальные петромагнитные данные по маастрихту Горного Крыма.

Графики петромагнитных параметров являются хорошим инструментом для детальной корреляции соседних разрезов. Идентичность петромагнитного облика верхов маастрихта в Горном Крыму и Поволжье [4], обусловленного концентрациями космогенных частиц, позволяет связать их с повышенным поступлением метеоритного вещества на Землю в конце мелового периода. Данные об анизотропии магнитной восприимчивости до и после прогрева могут интерпретироваться как индикатор особенностей минерального заполнения фораминифер [6], но это предположение нуждается в дополнительной проверке.

В изученных разрезах установлены зоны нормальной полярности, соответствующие совокупности хронов 31n и 30, позволившие обосновать позднемаастрихтский возраст охваченных ими отложений. Присутствие зоны аномальной полярности в нижней части разреза Чахмахлы предполагает возможность выявления аналогов хрона 31r при палеомагнитном изучении соседних разрезов.

Рассчитанный по нашим данным палеомагнитный полюс отличается от одновозрастных полюсов для стабильной Европы, что свидетельствует о перемещении Юго-Западного Крыма относительно Евразийского континента в послемеловое время. Однако индекс достоверности полюсного определения невысок – 4 из 7 возможных баллов [12]. Не исключено, что исследование других разрезов позволили бы кардинально повысить надежность палеомагнитных результатов за счет использования стандартных полевых тестов (тест инверсии, тест складки и др.). Поэтому доказательство наличия в маастрихте Юго-Западного Крыма магнитозоны обратного знака имело бы большое значение не только для стратиграфии, но и для геодинамических реконструкций.

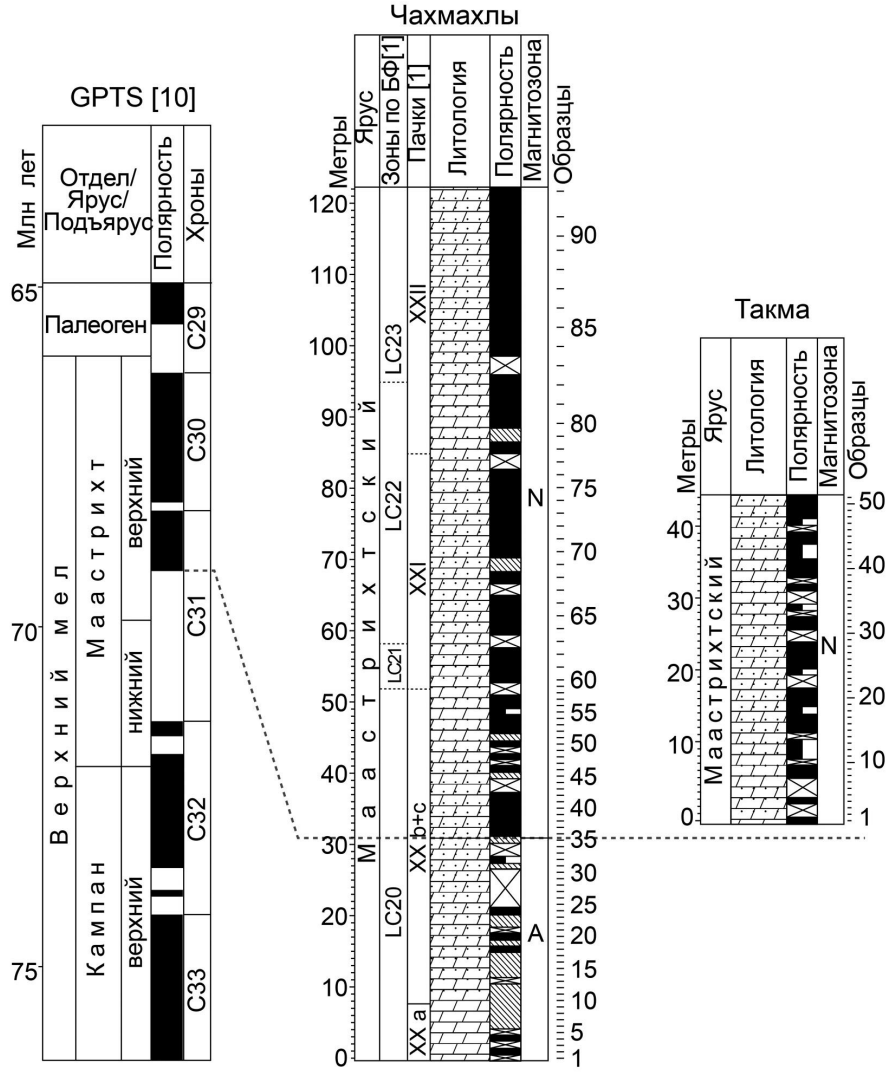


Рис. 6. Сопоставление магнитостратиграфических разрезов маастрихта Юго-Западного Крыма со Шкалой геомагнитной полярности (GPTS) [10]. Условные обозначения см. рис. 2

Благодарности

Автор благодарен всем сотрудникам лаборатории Главного геомагнитного поля и Петромагнетизма ИФЗ РАН (Москва) за предоставленную возможность измерений на криогенном магнитометре, В. А. Цельмовичу (геофизическая обсерватория «Борок» ИФЗ РАН, поселок Борок, Ярославская область) за микрозондовые исследования образцов, В. А. Грищенко, А. Ю. Гужикову и А. Г. Маникину (Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского) за участие в полевом изучении разрезов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 16-35-00219-мол_а, № 16-35-00339-мол_а и № 18-05-00784-мол_а).

Библиографический список

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

2. *Сизанов Б. И., Рудакова А. В., Габдуллин Р. Р.* Новая методика выделения ритмов и интерпретация их генезиса на примере нижнемаастрихтских отложений оврага Токма (Юго-Западный Крым, Украина) // Вестн. МГУ. Сер. 4, Геология. 2006. № 3. С. 25–31.

3. *Молостовский Э. А., Храмов А. Н.* Магнитостратиграфия и ее значение в геологии. Саратов, 1997. 180 с.

4. *Гужиков А. Ю., Барабошкин Е. Ю., Беньямовский В. Н., Вишневская 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.

5. *Корчагин О. А.* Ископаемые микрометеориты, микротектиты и микрокриститы: методика исследований, классификация и импакт-стратиграфическая шкала // Стратиграфия в начале XXI века – тенденции и новые идеи. Очерки по региональной геологии России. М., 2013. Вып. 6. С. 112–142.

6. *Гужикова А. А., Грищенко В. А., Глинских Л. А.* Отражение особенностей минерального заполнения фораминифер в анизотропии магнитной восприимчивости // Трофимуковские чтения – 2017 : материалы Всерос. молод. науч. конф. с иностр. участием / Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука. Новосибирск, 2017. С. 19–22.

7. *Debiche M. G., Watson G. S.* Confidence limits and bias correction for estimating angles between directions with applications to paleomagnetism // J. Geophys. Res. 1995. Vol. 100, № B12. P. 24405–24430.

8. *Бахмутов В. Г.* Палеовековые геомагнитные вариации. Киев, 2006. 295 с.

9. *Besse J., Courtillot V.* Apparent and true polar wander and the geometry of the geomagnetic field over the last 200 Myr // J. Geophys. Res. 2002. Vol. 107 (11). P. 1–31.

10. *Ogg J. G., Ogg G. M., Gradstein F. M.* A Concise Geologic Time Scale. Elsevier, 2016. 242 p.

11. *Odin G. S., Lamaurelle M. A.* The global Campanian-Maastrichtian Stage boundary // Episodes. 2001. Vol. 24, № 4. P. 229–238.

12. *Van der Voo R.* Palaeomagnetism of the Atlantic, Tethys and Iapetus oceans. Cambridge, 1993. 412 p.

Образец для цитирования:

Гужикова А. А. Первые магнитостратиграфические данные по маастрихту Горного Крыма (Бахчисарайский район) // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2018. Т. 18, вып. 1. С. 41–49. DOI: 10.18500/1819-7663-2018-18-1-41-49.

Cite this article as:

Guzhikova A. A. First Magnetostratigraphic Data on the Maastrihtian of Mountain Crimea (Bakhchysarai Region). *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Earth Sciences,* 2018, vol. 18, iss. 1, pp. 41–49 (in Russian). DOI: 10.18500/1819-7663-2018-18-1-41-49.