

УДК 550.384.3: 551.763.3

АНОМАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РЕЖИМА ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В КОНЦЕ МЕЛОВОГО СУПЕРХРОНА НОРМАЛЬНОЙ ПОЛЯРНОСТИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЙ ТУРОНА–САНТОНА ЮГО-ЗАПАДНОГО КРЫМА

© 2024 г. А. Ю. Гужиков^{1, *}, Е. Ю. Барабошкин^{2,3, **}, И. П. Рябов^{1, ***},
М. А. Устинова^{3, ****}, В. С. Вишневская^{3, *****}

¹Саратовский национальный исследовательский государственный университет
им. Н.Г. Чернышевского, г. Саратов, Россия

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

³Геологический институт РАН, г. Москва, Россия

*E-mail: aguzhikov@yandex.ru

**E-mail: ejbaraboshkin@mail.ru

***E-mail: ryaboff.il@yandex.ru

****E-mail: ustanova_masha@mail.ru

*****E-mail: valentina.vishnaa@mail.ru

Поступила в редакцию 07.04.2023 г.

После доработки 05.06.2023 г.

Принята к публикации 08.06.2023 г.

В 394 образцах, характеризующих 266 стратиграфических уровней в 4 разрезах турона–сантона ЮЗ Крыма, выделены характеристические компоненты намагниченности (**ChRM**), сформировавшиеся на стадии диагенеза. Полученные данные фиксируют запись палеогеомагнитных вариаций большой амплитуды (среднеквадратичное отклонение $S = 25.9^\circ$ при использовании фиксированного угла отсечения 45° , что примерно в два раза превышает модельные S для данной широты) в отложениях, формировавшихся в течение ~5–6 млн лет, и интерпретируются как аномальный режим геомагнитного поля в туронском, коньякском и сантонском веках.

Ключевые слова: палеомагнетизм, тонкая структура поля, меловой суперхрон нормальной полярности, магнитостратиграфия, верхний мел, турон, коньяк, сантон, бентосные фораминиферы, известковый наннопланктон, жилианеллы, аммониты.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002333724010024>, **EDN:** ENRCRN

ВВЕДЕНИЕ

Ранее в верхнетуронских–сантонских отложениях разреза оврага Аксу-Дере (Юго-Западный Крым) был зафиксирован аномально большой разброс палеомагнитных направлений [Гужиков, Федулеев, 2019; Гужиков и др., 2021б], не получивший однозначного объяснения из-за нехватки материалов для надежного обоснования первичности характеристических компонент намагниченности (**ChRM**). В частности, выяснению возраста **ChRM** препятствовала невозможность использования стандартных полевых тестов. Тест инверсий был не применим, потому что турон–сантон в ЮЗ Крыму

охвачены магнитозоной прямой полярности, а вышележащие кампанские–маастрихтские отложения, в которых встречены магнитозоны противоположного знака, частично перемагничены, вследствие чего в них не выделены древние компоненты намагниченности в “чистом” виде [Барабошкин и др., 2020; Гужиков и др., 2021б; Гужикова, 2018]. Тест складки оказался не работоспособен ввиду малых вариаций элементов залеганий пластов. Несмотря на наличие косвенных данных, свидетельствующих в пользу первичности намагниченности, их было недостаточно для однозначных выводов о природе **ChRM**. Поэтому, наряду с гипотезой об обусловленности значительных вариаций

палеомагнитных векторов аномальным режимом геомагнитного поля, не исключались другие версии, связанные с частичным перемагничиванием пород.

Доказательством существования необычного поведения поля на протяжении 5–6 млн лет, прошедших от конца турона до окончания сантонского века [Gradstein et al., 2020], могло бы стать прослеживание аналогичных высокоамплитудных вариаций **ChRM** в одновозрастных отложениях других разрезов. Результаты проведенных с этой целью исследований турона разреза Кизил-Чигир (~ в 8.5 км к северу от разреза Аксу-Дере) и сантона разреза Кудрино-2 (~ в 2.2 км к югу от Аксу-Дере) обнаружили высокие кучности [Гужиков, Федулеев, 2019; Гужиков и др., 2021б; 2020]. Однако впоследствии было установлено, что, по сравнению с Аксу-Дере, на Кизил-Чигире представлены более древние слои турона (возраст уточнен И.П. Рябовым на основе данных по бентосным фораминиферам (БФ), приведенным в настоящей статье), а в Кудрино-2 – более молодые сантонские породы, чем в Аксу-Дере [Гужиков и др., 2021а; 2021б]. Таким образом, вопрос о латеральной устойчивости палеомагнитных вариаций остался открытым. Значительный разброс **ChRM** был зафиксирован в маломощном (~ 2 м) обнажении пограничных слоев коньяка и сантона – Аксу-Дере-2, расположенном неподалеку (~ 1.4 км) от разреза Аксу-Дере [Гужиков, Федулеев, 2019]. Но всего шесть опробованных уровней в этом обнажении и его близость к основному разрезу не позволяют расценивать данные по Аксу-Дере-2 как весомый аргумент в пользу существования аномального режима позднемелового поля.

Ключевое значение для выяснения вопроса о природе высокоамплитудных вариаций палеомагнитных направлений имеют данные по сантону разреза горы Чуку в междуречье Бельбек-Кача, где зафиксированы вариации палеомагнитных направлений, аналогичные тем, которые были выявлены ранее в Аксу-Дере [Гужиков, Федулеев, 2019; Гужиков и др., 2021б]. Вместе с тем верхам разреза Чуку, являющимся возрастными аналогами верхов сантона в разрезе Кудрино-2, свойственна высокая кучность направлений.

Подробные результаты комплексных био- и магнитостратиграфических исследований по сантону сводного разреза Аксу-Дере–Кудрино приведены ранее [Гужиков и др., 2021а; 2021б], а краткая информация о палеомагнитных

и микропалеонтологических данных опубликована по туронской–коньякской части разреза Аксу-Дере [Гужиков, Федулеев, 2019; Гужикова и др., 2020], разрезам Кизил-Чигир и Чуку [Гужикова и др., 2021].

В настоящей работе приведены развернутые палеомагнитные и петромагнитные материалы по турону–коньяку разреза Аксу-Дере и турону разреза Кизил-Чигир (А.Ю. Гужиков), которые публикуются впервые. Краткая микропалеонтологическая характеристика турона–сантона разрезов Кизил-Чигир и Чуку (И.П. Рябов, М.А. Устинова, В.С. Вишневская), переопределения аммонитов из коллекции В.Г. Кликушина и седиментологическая характеристика разрезов (Е.Ю. Барабошкин) также приводятся впервые.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗУЧЕННЫХ РАЗРЕЗОВ

Туронский, коньякский и сантонский ярусы в юго-западной части Горного Крыма представлены преимущественно известняками и весьма схожи между собой в литологическом отношении. Нижний турон, обогащенный терригенной примесью, является частью белогорской свиты, средний–верхний турон и коньяк слагают прохладненскую свиту, а сантон, состоящий из менее твердых, по сравнению с туронскими–коньякскими, известняков, относится к кудринской свите [Плотникова и др., 1984; Алексеев, 1989]. Турон–сантон, как и весь верхний мел, входят в состав субплатформенного комплекса (мел–эоцен), моноклинально залегающего на киммерийском складчатом основании. Падение слоев в целом северо-западное (при локальных вариациях от западного до северного) и преимущественно пологое (от 10° до 15°). Только на южном краю моноклинали углы падения резко возрастают, вплоть до субвертикального залегания пластов (табл. 1). По сравнению с сантоном и коньяком, частично или полностью уничтоженных сантонским и предкампанским размывом, туронский ярус пользуется наибольшим распространением на территории ЮЗ Крыма [Алексеев, 1989].

На территории Бахчисарайского района нами изучены 4 разреза турона–сантона. Разрез Кизил-Чигир (обн. 3186, 3172) расположен на западном склоне одноименной горы на северной окраине с. Трудолюбовка на правом берегу р. Бодрак. Разрезы Кудрино-2 (обн. 3184) на северной окраине с. Кудрино и овраг Аксу-Дере (3168) ~ в 2 км к северу от этого села находятся на правом борту долины р. Кача. Разрез Чуку

Таблица 1. Сведения о разрезах

| Название разреза (№ обозначения) | Географические координаты | | Возраст | Мощность (м) / кол-во уровней | Измеренные / усредненные *** азимут(ы) и угол(углы) падения, град |
|-------------------------------------|---------------------------|-------------|--|----------------------------------|--|
| | с. ш. | в. д. | | | |
| Чуку (3180) | 44°38'11.2" | 33°56'20.5" | | 0.7 / 12 | 162–318 \angle 5–80 |
| Чуку (3175) | *44°38'11.0" | 33°56'22.3" | | 44.6 / 45 | 187–347 \angle 3–28 / 300 \angle 19 |
| Чуку (3181) | **44°38'10.5" | 33°56'13.1" | Верхний сантон | 29.2 / 32 | 185–240 \angle 15–55 / 208 \angle 33 |
| Чуку (3177, обр. 1–47) | *44°38'11.8" | 33°56'31.3" | | 96.4 / 31 | 282–334 \angle 20–50 / 309 \angle 35.5 |
| Чуку (3177, обр. 48–78) | **44°37'52.1" | 33°56'20.3" | Нижний(?) – верхний сантон | 40.7 / 47 | 287–342 \angle 38–85 / 320 \angle 69 |
| Чуку (3176) | *44°37'37.5" | 33°56'22.5" | | 13.0 / 18 | 277–317 \angle 10–14 / 292 \angle 13 |
| Кудрино-2 (3184) | **44°38'07.6" | 33°56'28.5" | Турон(?) + кампан(?) | 23.7 / 27 | 292–346 \angle 10–19 / 312 \angle 14 |
| Аксу-Дере (3168) | *44°42'15.0" | 33°56'49.5" | Верхний сантон | 16.7 / 69 | 317–17 \angle 6–21 / 344 \angle 11 |
| Кизил-Чигир (3186, 3172) | **44°42'17.8" | 33°56'47.6" | Верхний турон – коньяк + верхний сантон | 11.1 / 23 | 342–2 \angle 14–15 / 357 \angle 14 |
| | *44°43'27.0" | 33°56'52.0" | | | |
| | **44°43'26.9" | 33°56'54.6" | | | |
| | *44°47'43.0" | 33°59'18.5" | Нижний–средний (–верхний?) турон | | |
| | **44°47'42.2" | 33°59'20.7" | | | |

Примечания: * – начало отробования; ** – конец отробования; *** усредненные элементы залегания адекватно отражают доминирующие падения пластов, которые отчетливо выражены во всех обнажениях, кроме обн. 3180 (складка подводного оползания).

близ с. Высокое опробовался на южном и восточном склонах горы Чуку (Полюс), которая является частью водораздела рр. Кача–Бельбек (рис. 1, рис. 2, табл. 1).

Одним из наиболее хорошо охарактеризованных в палеонтологическом отношении разрезов является район оврага Аксу-Дере, в котором нами опробован интервал от верхнего турона до сантона включительно, видимой мощностью 16.5 м (рис. 2д, рис. 3). Позднетуронский – раннеконьякский

возраст пород обоснован иноцерамами и планктонными фораминиферами [Копаевич, Валашик, 1993; Кораевич, Walaszczuk, 1990]. Более поздними исследованиями в этом разрезе установлено наличие среднеконьякских отложений и не исключается присутствие верхнего коньяка [Гужикова и др., 2020; Щербинина, Гаврилов, 2018]. Подошва сантона (граница прохладненской и кудринской свит) определяется по поверхности зрелого твердого дна и легко опознается в соседнем (в ~ 1.4 км

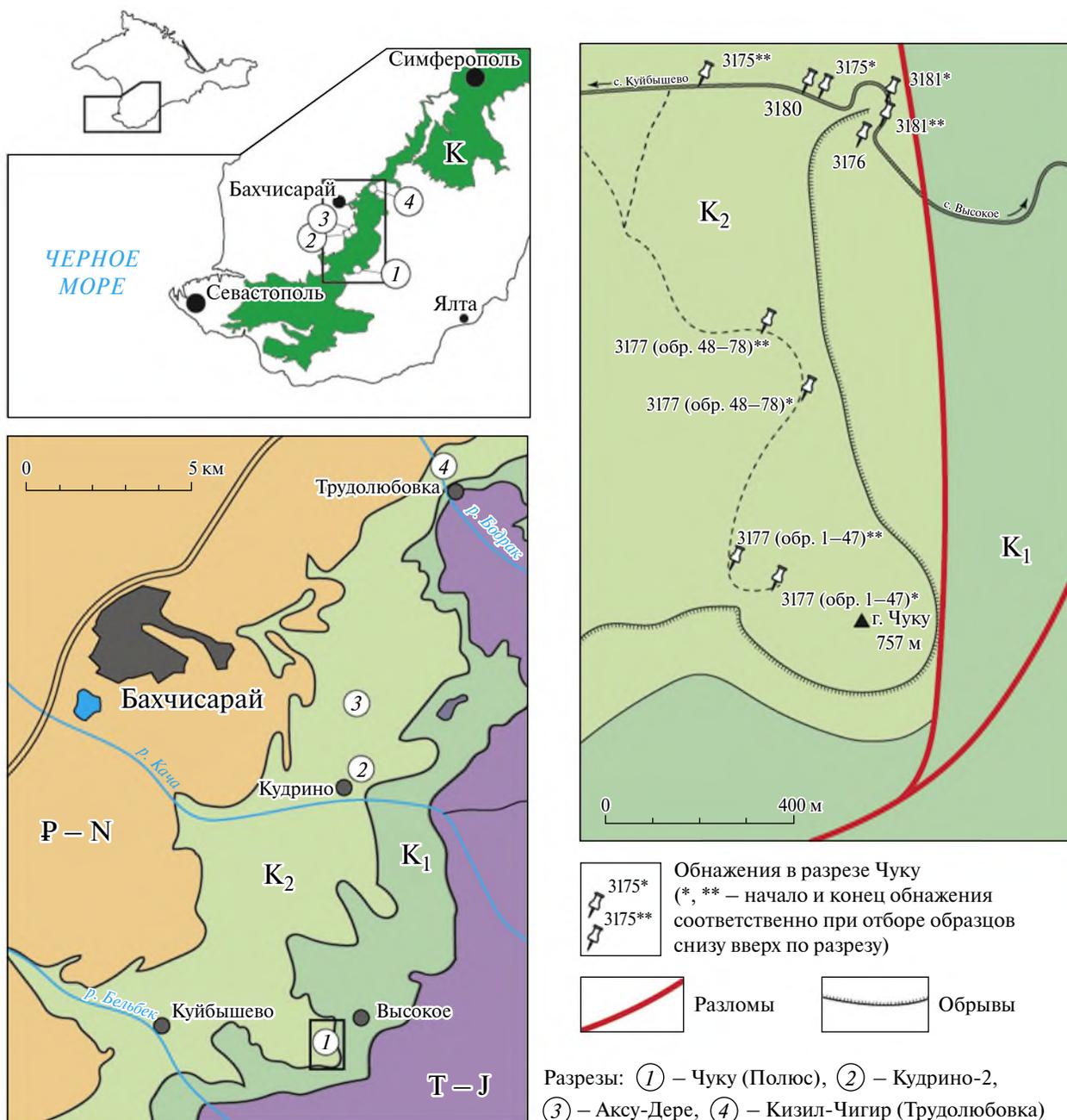


Рис. 1. Геологическая схема района исследований с указанием местоположений изученных разрезов и обнажений. Геологическая схема района горы Чуку дана по работе [Юдин, 2020].

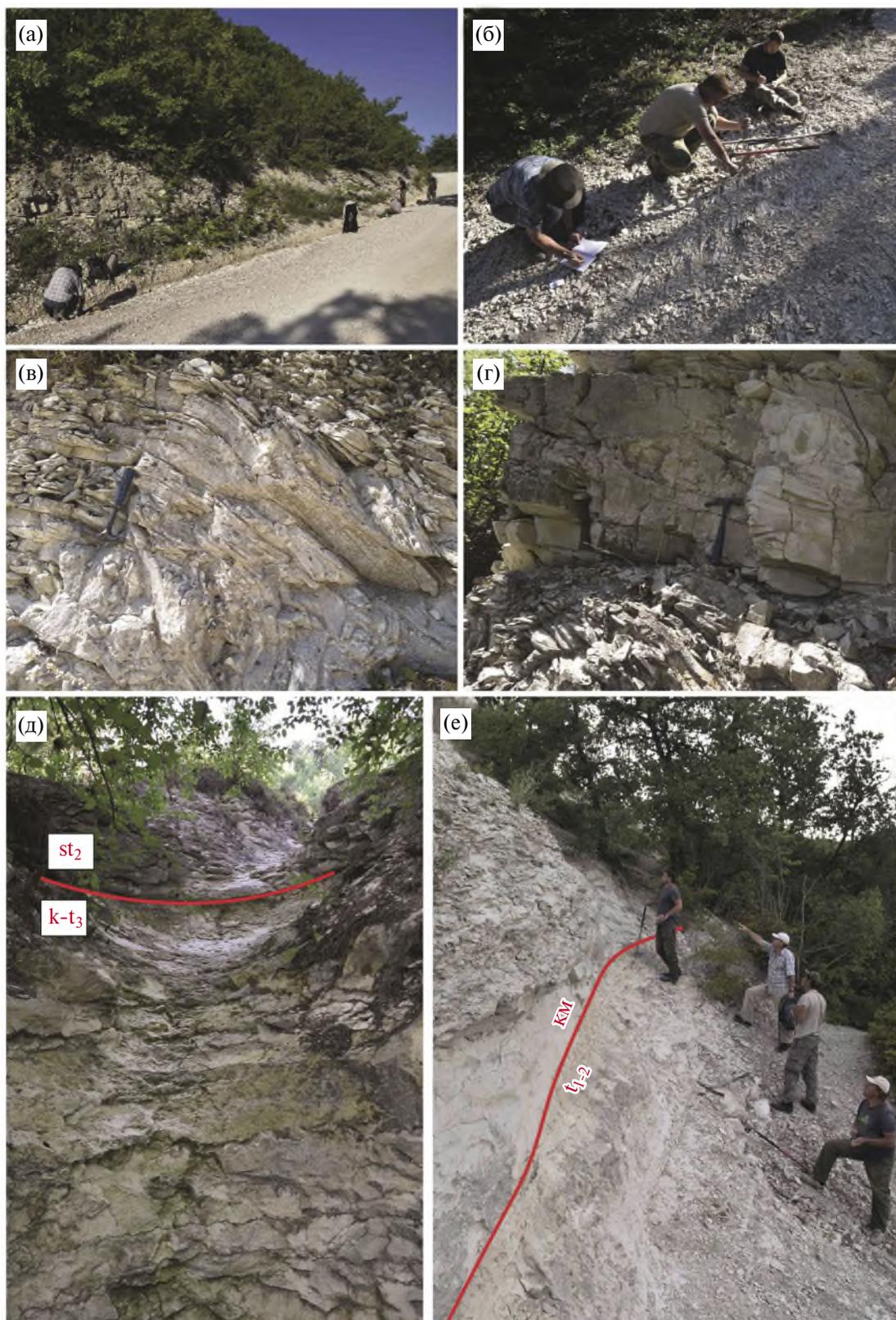


Рис. 2. Фотографии изученных обнажений в разрезе Чуку: (а) – обн. 3175 (верхний сантон); (б) – обн. 3177 (обр. 1–47) (нижний(?)–верхний сантон); (в) – обн. 3180 (верхний сантон); (г) – обн. 3176 (сантон?); (д) – разрез Аксу-Дере (обн. 3168, верхний турон–коньяк и низы верхнего сантона); (е) – разрез Кизил-Чигир (обн. 3172, граница между туроном и кампаном).

южнее) небольшом (видимая мощность 2.1 м) обнажении Аксу-Дере-2, в котором продублировано палеомагнитное опробование верхов коньяка и низов сантона. Нижнесантонский подъярус в разрезе отсутствует, позднесантонский возраст пород и уровень границы сантона—кампана в разрезе обоснованы комплексными био-, хемо- (стабильные изотопы углерода, кислорода и стронция) и магнитостратиграфическими данными [Гужиков и др., 2021a; 2021б].

Пограничный интервал сантона—кампана содержит явные признаки перерывов (в том числе размывов) в осадконакоплении и конденсации в разрезе Аксу-Дере, но в более полном виде сохранился разрезе Кудрино-2 (рис. 3), расположенном ~ в 2.2 км южнее. По результатам комплексных исследований установлено, что в Кудрино-2 в магнитостратиграфическом отношении изучены в основном более молодые слои сантона, аналоги которых отсутствуют в разрезе Аксу-Дере [Гужиков и др., 2021a; 2021б].

В разрезе Кизил-Чигир (рис. 3) обнажается прохладненская свита (турон), видимой мощностью 17 м, на которой, без признаков углового несогласия, но с перерывом, залегает кудринская свита (кампан). Верхи прохладненской свиты традиционно относились к верхнему турону [Алексеев, 1989; Барабошкин и др., 2016], но по результатам наших исследований в них установлен комплекс БФ, характерный для нижнетуронского подъяруса. В нижней части разреза (обр. 3186-1) встречены *Gyroidina nitida* (Reuss), *Tappanina eouvigeriniformis* (Keller), *Cibicides pollyrraphes* (Reuss), *Gyroidina lenticula* (Reuss), и др., характерные для нижнего турона Восточно-Европейской платформы, Крыма и Мангышлака. Выше, в обр. 3186-6, отмечается появление многочисленных *Stensioeina* (*Protostensioeina*) *granulata humilis* (Koch), а также *Marssonella oxycona* (Reuss), *Berthelina berthelini* (Keller) и др. Выше (обр. 3186-17) появляется *Reussella carinata* (Vasilenko), которая является потомком *R. turonica*.

Таким образом, в разрезе Кизил-Чигир возможно выделение трех комплексов БФ в ранге слоев, которые коррелируются с зональной схемой Восточно-Европейской платформы [Бенямовский, 2008]: слои с *Tappanina eouvigeriniformis* (зона *Gavelinella nana* LC3, нижний турон), слои с *Stensioeina* (*Protostensioeina*) *granulata humilis*/*Reussella turonica* и слои с *Reussella carinata* (зона *Protostensioeina* *praexculpta* LC5, средний — верхний турон) (рис. 3).

Присутствие в комплексе нижнетуронских форм БФ, не установленных в разрезе Аксу-Дере

[Гужикова и др., 2020], позволяет заключить, что верхи прохладненской свиты в районе Трудолюбовки являются более древними и относятся к нижнему—среднему турону.

По литературным данным [Кликушин, 1985; Алексеев, 1989] известно, что наиболее полные разрезы турона—сантона расположены на водоразделе рр. Кача и Бельбек, в том числе и на горе Чуку. Автор работы [Кликушин, 1985], детально изучавший туронские—сантонские отложения бассейна р. Бельбек, не зафиксировал на горе Чуку следов значительного перерыва, связанного с сантонским размывом, широко распространенным в ЮЗ Крыму.

В работе [Кликушин, 1985] по макрофаунстическим данным (криноидеи, иноцерамы, морские ежи, аммониты, брахиоподы) в разрезе Чуку выделены турон (мощностью 11 м), коньяк (20 м) и сантон (видимой мощностью 37 м). Позже из этих же разрезов были изучены комплексы радиолярий [Брагина, Брагин, 2007], подтвердившие только среднетуронский и нижнеконьякский возраст отложений.

В нашем распоряжении оказалась небольшая коллекция аммонитов, определения которых, выполненные А.А. Атабекяном (ВСЕГЕИ) и А.С. Алексеевым (МГУ), приведены в статье [Кликушин, 1985]. Хотя точное положение аммонитов в разрезах неизвестно, удалось установить их возраст. Позднетуронский возраст подтвержден находками *Puzosia* (*Puzosia*) cf. *muelleri* De Grossouvre и *Tongoboryceras* sp. juv., а позднесантонский — комплексом аммонитов *Hauericeras* (*Gardeniceras*) *gardeni* (Baily), “*Nowakites*” *katschthaleri* (Immel, Klinger et Wiedmann), *Baculites incurvatus* Dujardin, *Pseudoxybeloceras* (*Parasolenoceras*) *splendens* Collignon и др. Наличие коньякских и нижнесантонских отложений аммонитами пока не подтверждено.

Низы и верхи разреза, описанного в работе [Кликушин, 1985], опробованы в обнажениях 3176 (на крутом восточном склоне г. Чуку) и 3175 (на южном склоне, вдоль автодороги с. Высокое — с. Куйбышево, рис. 2а, 2г). В этом разрезе только в обр. 3176-3 были встречены бентосные фораминиферы *Gavelinella ammonoides* и *Marssonella oxycona*, позволяющие предполагать ранне—среднетуронский возраст основания разреза. Выше, М.А. Устиновой был определен комплекс наннопланктона с *Zeughrabdotus scutula* и *Eprolithus moratus*, позволивший отнести среднюю часть разреза (образцы 3176-4—3176-14) к сантону. Еще выше, над хорошо выраженной

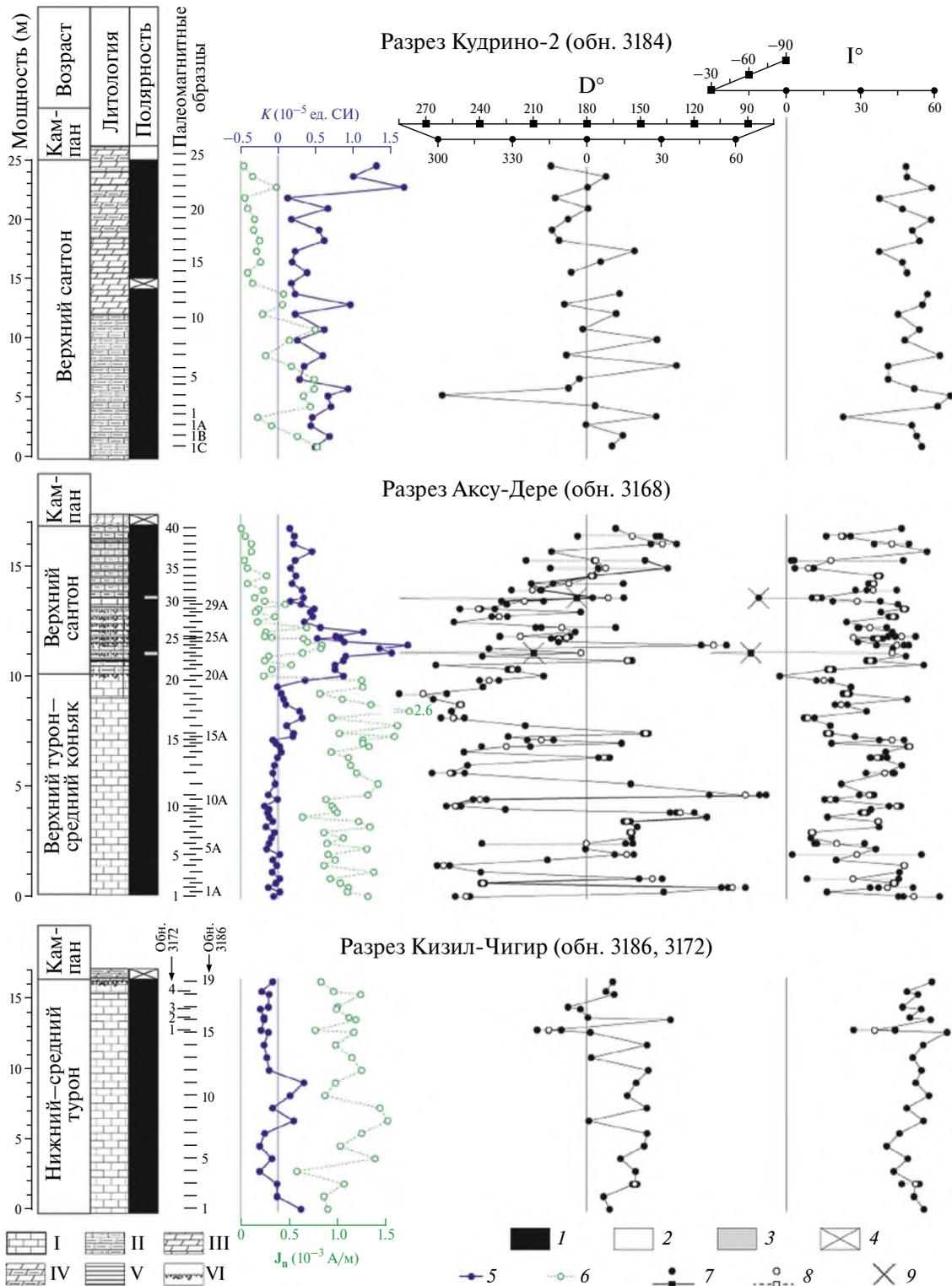


Рис. 3. Магнитостратиграфические характеристики турона–сантона разрезов Кизил-Чигир, Аксу-Дере и Кудрино-2. Условные обозначения. Литология: I – известняки, II – алевритистые известняки, III – мергели, IV – сильнооглинистые мергели, V – глины, VI – поверхности хардграундов. Полярность: 1 – прямая; 2 – обратная; 3 – аномальная; 4 – отсутствие данных о полярности. Графики по разрезам: 5 – магнитной восприимчивости (K); 6 – естественной остаточной намагниченности (J_n); 7 – палеомагнитного склонения (D) и наклоения (I); 8 – средние значения палеомагнитных векторов по образцам с одного уровня (кружки и квадратики соответствуют диапазонам $285^\circ < D < 360^\circ$, $0^\circ \leq D < 75^\circ$, $(-30^\circ) < I < 90^\circ$ и $75^\circ \leq D \leq 285^\circ$, $(-90^\circ) < I < (-30^\circ)$ соответственно); 9 – палеомагнитные направления, исключенные из статистического анализа.

поверхностью размыва, в обедненном комплексе наннопланктона появляются *Arkhangelskiella* sp., свидетельствующие предположительно о ранне-кампанском возрасте пород (образцы 3176-15–3176-18).

В обнажении 3175, судя по его мощности (44.6 м), должны быть представлены оба подъяруса сантона, потому что по работе [Кликушин, 1985] мощность нижнего сантона – 16 м, а видимая мощность верхнего сантона – 21 м. Однако определенный отсюда комплекс БФ, типичен только для верхнего сантона. Он включает в т.ч. *Heterostomella praefoveolata*, ранее известный в Крыму лишь из одноименных слоев разреза Кудрино-2, соответствующих самым верхам сантонского яруса [Гужиков и др., 2021а; 2021б]. В обн. 3175 встречены планктонные фораминиферы (ПФ) *Sigalia carpathica* (Salaj et Samuel), *S. decoratissima* (de Klasz), характерные для верхней части зоны *Dicarinella asymerica* [Coccioni et al., 2015], охватывающей самую верхнюю часть сантонского яруса. Это может указывать на присутствие здесь еще более молодых отложений, чем в Кудрино-2, где указанные ПФ не обнаружены [Гужиков и др., 2021а; 2021б]. Сантонскому возрасту не противоречит встреченный нами аммонит *Eupachydiscus* sp. из нижней части разреза (обр. 3175-3).

В поисках коньяк–нижнесантонских отложений, был изучен разрез в грунтовой дороге, ведущей через лес по западному склону горы Чуку к ее вершине (обн. 3177) (рис. 2б). Согласно работе [Юдин, 2020], меловые породы здесь деформированы в принадлежковую складку, и, при сохранении общего падения к западу–северо-западу, углы падения слоев закономерно выглаживаются от вершины горы к ее подножию. У вершины горы (интервал между обр. 3177-1 и 3177-47) средний угол падения составляет почти 70°, в середине склона (интервал между обр. 3177-48 и 3177-78) он равен ~40°, а у подножия (обн. 3175) – 13°–17° (табл. 1, рис. 1, рис. 2а, 2б, 2г). Значительные вариации азимутов и углов падений относительно средних значений элементов залеганий пластов (табл. 1), вероятно, связаны с широким распространением в разрезе сингенетичных оползневых деформаций (рис. 2в, 2г).

На основе БФ верхнюю часть обнажения 3177 (начиная с уровня обр. 3177-40) следует отнести к верхнему сантону в связи с появлением *Heterostomella praefoveolata*, и присутствием планктонных фораминифер *Sigalia decoratissima* (обр. 3177-57). Комплекс БФ в нижней

части обн. 3177 представлен *Gavelinella stelligera*, *Stensioeina gracilis*, *S. perfecta* и др., что предполагает сантонский возраст отложений, и ставит присутствие коньякского яруса под сомнение.

Кроме того, в образцах 3177/32, 3177/36, 3177/43, 3177/45 В.С. Вишневецкой определены известковые микропроблематики – жилианеллы (*Azymella cannabinata* Odin, *Gilianella tenuibrachialis* Odin, *Numismella tarbellica* Odin и другие), распространенные преимущественно в кампане, что подтверждает в целом поздне-сантон–кампанский возраст изученного разреза.

Таким образом, коньякский ярус и нижне-сантонский подъярус на горе Чуку нами не подтверждены, что, возможно, связано с ухудшившейся за последние 40 лет обнаженностью. Результаты полевых исследований выявили новую проблему: мощность опробованных нами сантонских отложений в обн. 3177 составляет ~90 м, а с учетом пропусков в обнаженности – не менее 140 м. Даже, если допустить, что обн. 3175 не наращивает разрез, а дублирует обн. 3177, то, все равно, измеренная нами мощность в разы превышает мощность сантонского яруса, указанную автором первоописания разреза. Учитывая фрагментарную обнаженность и сложное геологическое строение района исследований, можно предположить, что при опробовании допущено дублирование одних и тех же интервалов разреза из-за разрывных нарушений или сингенетичных деформаций (складок подводного оползания), широко распространенных в исследуемых отложениях (рис. 2в, 2г). Эти же факторы могли привести к редуцированию значительных интервалов разреза, описанного в работе [Кликушин, 1985], но для выяснения причин противоречий, необходимы дополнительные исследования.

Сантонские отложения на горе Чуку достаточно однородны, в них отсутствуют надежные литологические или петромагнитные реперы (рис. 4). Но по результатам палеомагнитных исследований, изложенных ниже в разделе “Результаты исследований”, вариант дублирования слоев исключается, по крайней мере, для обн. 3177 и 3175. Более вероятным представляется редуцирование фрагментов разреза за счет разрывных нарушений или/и наличия значительных изменений мощности разновозрастных слоев.

На горе Чуку нами было также опробовано обнажение 3181 с восточной стороны характерного петлеобразного изгиба автодороги Куйбышево–Высокое (рис. 1). Здесь вдоль дороги вскрываются породы, по внешнему виду

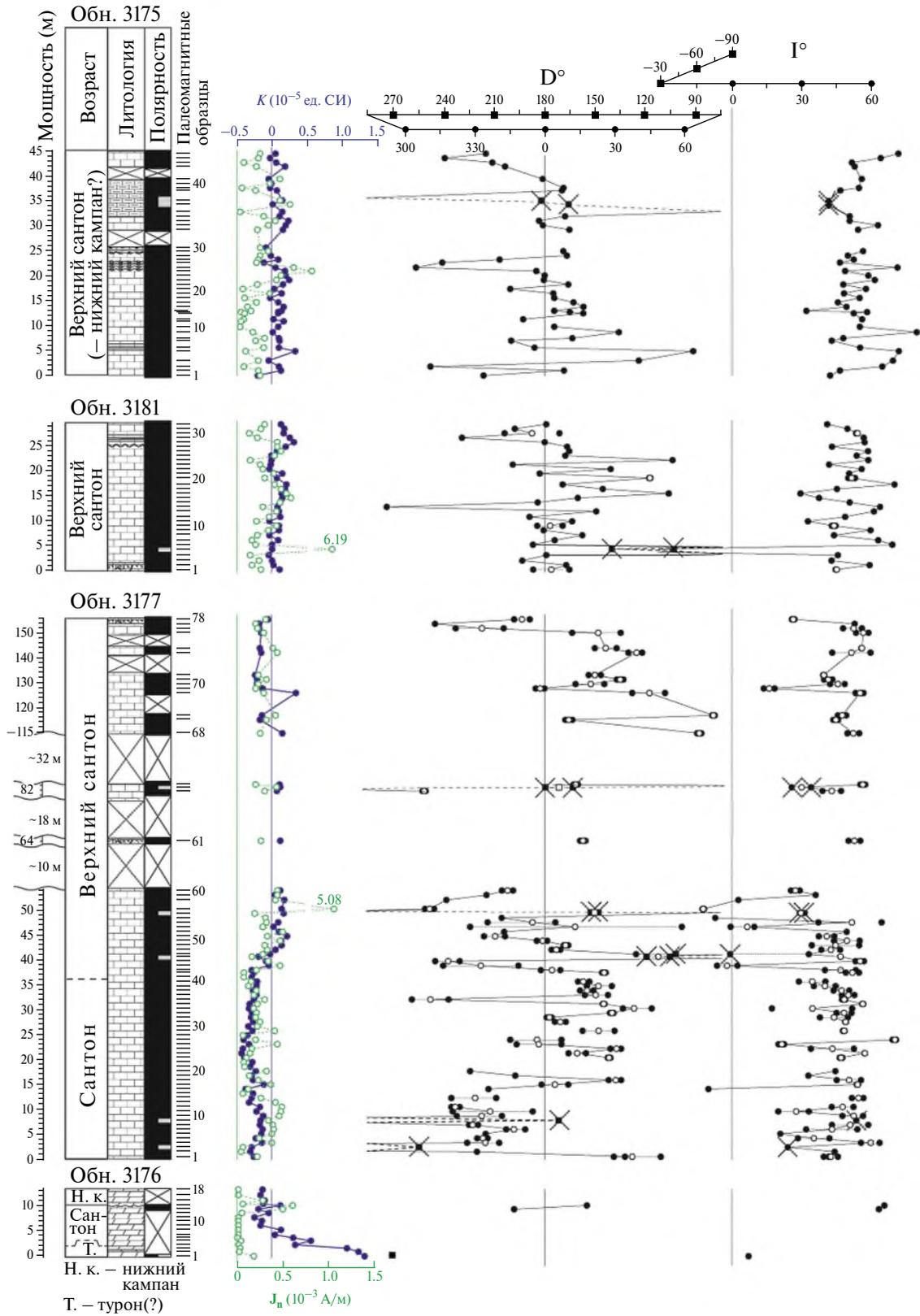


Рис. 4. Магнитостратиграфические характеристики турона(?) и сантона разрезов в районе г. Чуку. Условные обозначения см. на рис. 3. В обн. 3177 волнистыми линиями ограничены пропуски в обнаженности, мощность которых показана вне масштаба. Взаимное расположение обнажений 3176, 3175, 3176 и 3177 показано на рис. 10.

неотличимые от сантонских известняков, изученных в обн. 3175 и 3177. Комплекс бентосных фораминифер, встреченный в обн. 3181, идентичен комплексу БФ в обн. 3175. Палеомагнитные и петромагнитные данные (см. раздел “Результаты исследований”) не противоречат представлению об одновозрастности слоев в обн. 3175 и 3181.

В пределах обн. 3175, как отдельный объект палеомагнитных исследований (обн. 3180) обнаружена складка подводного оползания (рис. 2в). Ориентированные образцы с крыльев этой складки были отобраны и изучены с целью выяснения механизма формирования намагниченности при деформациях неполностью литифицированных слоев карбонатных осадков. Стоит отметить, что аналогичные складки встречены в разрезе 3176 в основании сантона (рис. 2г), нижнетуронских отложениях Аксу-Дере и других разрезах турона–сантона.

МЕТОДИКА РАБОТ

В каждом изученном разрезе параллельно с его детальным (послойным) описанием и поисками макрофаунистических остатков брались пробы для разных видов анализов по системе “образец в образец”. Для палеомагнитных исследований с помощью шанцевых инструментов отбирались ориентированные штуфы, из которых впоследствии выпиливалось по 3–4 образца в форме кубиков размером $2 \times 2 \times 2$ см, либо установкой Drill Core D261-С выбуривались ориентированные керны диаметром 2.5 см, из которых изготавливались цилиндры высотой 2.2 см. В зависимости от мощности стратиграфических подразделений интервал отбора палеомагнитных образцов варьировал от 0.2–0.3 до 0.9–1.2 м (табл. 1). Из каждого уровня отбирались образцы для петрографического изучения и изотопно-геохимических анализов, а из каждого пятого уровня брались пробы для микропалеонтологических анализов (планктонные и бентосные фораминиферы, диноцисты, наннопланктон).

В верхнетуронском–сантонском интервале разреза Аксу-Дере, в котором по результатам его палеомагнитного изучения в 2018 г. были зафиксированы вариации **ChRM** аномально большой амплитуды [Гужиков, Федулеев, 2019], для подтверждения обнаруженного эффекта в 2019 г. дополнительно были взяты ориентированные образцы еще с 29 уровней. Измерения элементов залегания пластов при повторном опробовании разреза проводились с особой тщательностью, чтобы исключить ложный эффект

значительного разброса **ChRM** вследствие ошибочного принятия за плоскости напластования поверхностей иной природы (например, обусловленных тектонической трещиноватостью).

Петромагнитные и магнито-минералогические исследования включали измерения естественной остаточной намагниченности (J_n), объемной магнитной восприимчивости (K) до и после прогрева пород при температуре 500°C в течение часа, анизотропии магнитной восприимчивости (AMB), параметров магнитного гистерезиса, коэрцитометрию.

Основная часть исследований выполнена в лаборатории петрофизики Саратовского государственного университета. Для измерений магнитной восприимчивости использовался каппабридж MFK1-FB (производство AGICO, Чехия) с чувствительностью $3 \cdot 10^{-8}$ ед. СИ (для K) и $2 \cdot 10^{-8}$ ед. СИ (для AMB), для измерений остаточной намагниченности – спин-магнитометр JR-6 (производство AGICO, Чехия) с чувствительностью 2×10^{-6} А/м. Гистерезисные характеристики получены с помощью регулируемого электромагнита с максимальной интенсивностью поля 700 мТл. Прогрев образцов до 500°C проводился в муфельных печах СНОЛ-6/11-В.

У выборочных образцов в лаборатории геодинамики и палеомагнетизма ИНГГ СО РАН (Новосибирск) исследовались зависимости K от температуры (T) на каппабридже MFK1-FA с приставкой CS3 (производство AGICO, Чехия). Выборочные образцы изучались также на коэрцитивном спектрометре J _meter в лаборатории палеомагнетизма и магнетизма горных пород Казанского федерального университета и микроанализаторе ТЕСКАН-ВЕГА II в геофизической лаборатории “Борок” ИФЗ РАН.

Палеомагнитные исследования проводились по стандартной методике [Храмов и др., 1982], заключавшейся в измерениях J_n ориентированных образцов на спин-магнитометре JR-6 после их последовательного размагничивания переменным полем на установке LDA-3 AF и температурой в печи конструкции Апарина. Палеомагнитные исследования выборочных образцов продублированы на криогенном магнитометре (SQUID) 2G-Enterprices в ИФЗ РАН. Данные, полученные по результатам разных видов размагничивания и на различных приборах, обнаружили хорошую сходимость.

В разрезе верхнего турона–сантона Аксу-Дере лабораторной палеомагнитной обработке подвергалось от 1 до 4 образцов с одного уровня, в обн. 3177 разреза Чуку – по 1–2 образца

с уровня. В остальных разрезах/обнажениях размагничивание переменным полем или температурой проводилось для одного образца с каждого уровня.

Для компонентного анализа использовалась программа Remasoft 3.0 [Chadima, Hroudá, 2006]. Анализ данных АМВ проводился с помощью программы Anisoft 5.1.03 (agico.com).

Методики, используемые при проведении лабораторных био- и магнито-стратиграфических исследований разрезов Кизил-Чигир, Чуку и верхнетуронской–коньякской части разреза Аксу-Дере, не отличались от методик изучения сантона разрезов Аксу-Дере и Кудрино-2, подробно изложенных в работах [Гужиков и др., 2021а; 2021б].

Для теста складки использовался алгоритм, предложенный автором работы [McFadden, 1990].

Количественный анализ тонкой структуры поля проводился как по всем направлениям, так и по выборкам, из которых предварительно были исключены виртуальные геомагнитные полюса (ВГП), отклоняющиеся от среднего ВГП на угол более 45° . Отбраковка необходима для оценки амплитуды палеогеомагнитных вариаций в течение “нормальных” (не экскурсионных, не инверсионных) эпох [Лебедев и др., 2022; McElhinny, McFadden, 1997].

За меру амплитуды палеомагнитных вариаций было принято среднеквадратичное отклонение:

$$S = \left[\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\Delta_i^2) \right]^{1/2} \quad (i=1, \dots, N), \quad (1)$$

где N – число стратиграфических уровней, на которых выделены **ChRM**; Δ_i – угловое расстояние i -го ВГП, рассчитанное для каждого i -го уровня по среднему **ChRM** на этом уровне, от среднего ВГП [Сох, 1990].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изученные разрезы (кроме обн. 3176 на горе Чуку) схожи между собой по магнитным свойствам и, в целом, представляют собой благоприятные объекты для палеомагнитных исследований. Характеристические компоненты намагниченности удалось выделить ~ в 95% от общего объема изученной коллекции.

Ранее подробно были изложены результаты петромагнитного, магнито-минералогического и палеомагнитного изучения сантона,

представленного только верхним подъярусом, в разрезах Аксу-Дере и Кудрино-2 [Гужиков и др., 2021б]. Главным носителем намагниченности в этих отложениях является тонкодисперсный псевдооднородный магнетит, предположительно, биогенного происхождения. Магнитная восприимчивость (K) – от 0.1 до $1.7 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, естественная остаточная намагниченность (J_n) варьирует от 0.1 до $0.8 \cdot 10^{-3}$ А/м, (рис. 3). Породы отмечены хорошим палеомагнитным сигналом, в них надежно выделены **ChRM**, характеризующиеся углами максимального отклонения (MAD) от 0.5° до 4° . Намагниченность имеет однокомпонентный или двухкомпонентный состав (последний более характерен для верхов сантонского яруса).

Магнитные свойства турона–коньяка разреза Аксу-Дере и сантона разреза Чуку, которые в данной работе представляются впервые, очень похожи на палео- и петромагнитные характеристики верхнего сантона в разрезах Аксу-Дере и Кудрино-2, но при этом обладают своими особенностями.

В разрезах Кизил-Чигир, Чуку и верхнетуронской–коньякской части разреза Аксу-Дере широко проявлен диамагнитный эффект ($K < 0$), но естественная остаточная намагниченность при этом достаточно высока – от 0.1 до $1.5 \cdot 10^{-3}$ А/м (кроме обн. 3176 в разрезе Чуку, где типичные значения J_n составляют всего 0.005– $0.05 \cdot 10^{-3}$ А/м) (рис. 3, рис. 4). Результаты магнитного насыщения и разрушения фиксируют магнитомягкую фазу, характерную для тонкодисперсного магнетита: насыщение достигается в полях 60–100 мТл, поле остаточной коэрцитивной силы (B_{cr}) варьирует от 25 до 30 мТл (рис. 5а). Коэрцитивные характеристики образцов располагаются вблизи участка теоретической кривой, соответствующей псевдооднородному магнетиту [Dunlop, 2002] (рис. 5б). Результаты термомагнитного анализа малоинформативны, поскольку при нагреве пик, соответствующий магнетиту, практически незаметен, очевидно, из-за крайне малых величин K , сопоставимых с погрешностью прибора (рис. 5в). На кривых охлаждения по их перегибу в районе $\sim 600^\circ\text{C}$ (рис. 5в) фиксируется новообразованный магнетит, возникший, вероятно, при окислении железа, восстановленного из органического вещества или/и первичного Fe_3O_4 . Результаты исследований анизотропии магнитной восприимчивости малоинформативны (рис. 5г). В туроне–коньяке разрезов Кизил-Чигир, Аксу-Дере и сантоне разреза Чуку доминируют диамагнитные породы. У образцов

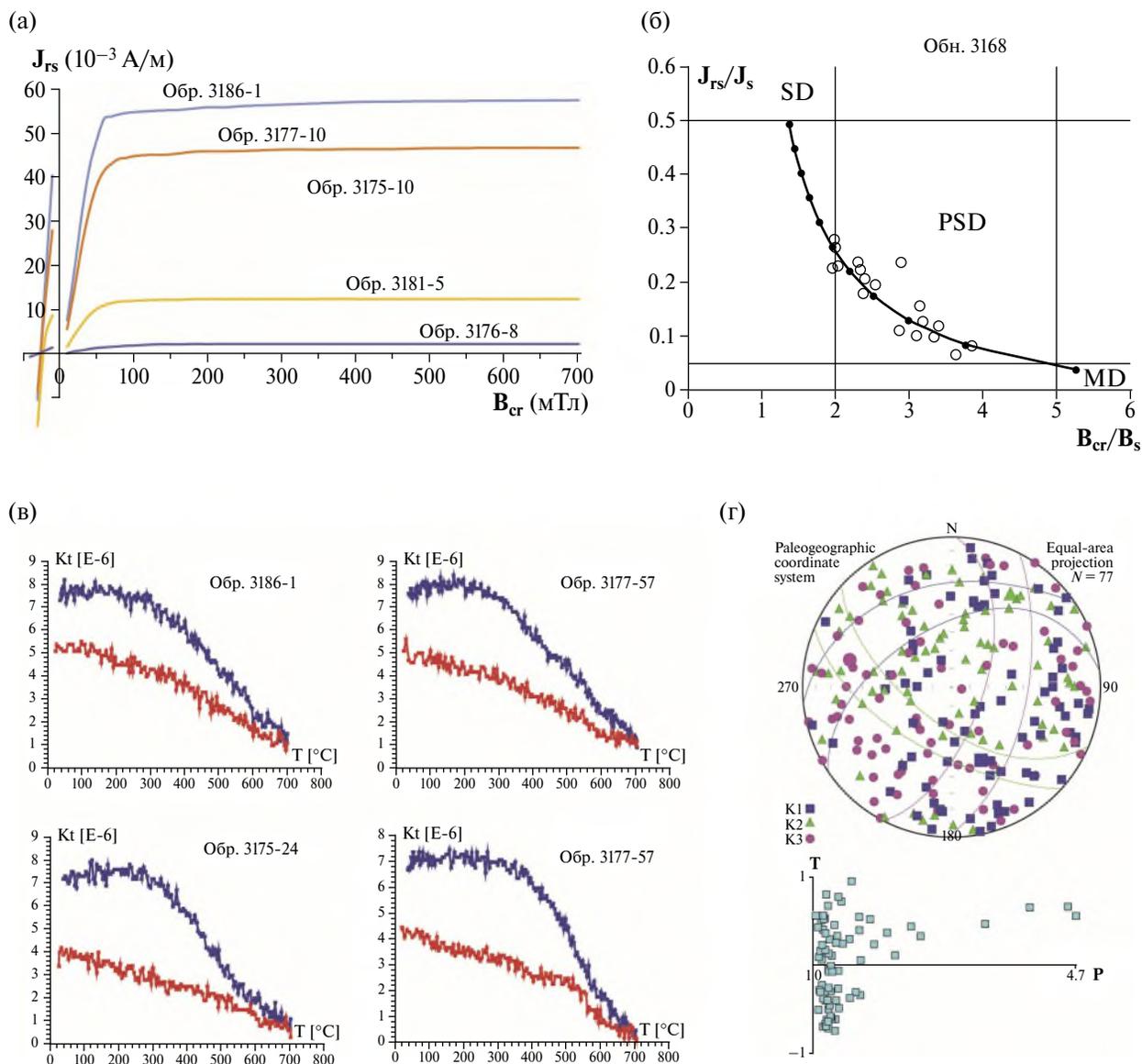


Рис. 5. Результаты магнито-минералогических исследований: (а) – кривые магнитного насыщения и разрушения; (б) – диаграмма Дея (SD, PSD и MD – области однодоменных, псевдооднодоменных и многодоменных частиц соответственно); (в) – кривые термомагнитного анализа (красный и синий цвета – нагрев и охлаждение соответственно); (г) – данные по анизотропии магнитной восприимчивости: стереограмма проекций длинных (K1), средних (K2) и коротких (K3) осей АМВ с овалами доверия в палеогеографической системе координат и диаграммы $P-T$ (P – показатель анизотропии, положительные и отрицательные значения T указывают на уплощенные и удлиненные формы ферромагнитных частиц соответственно); n – число образцов в выборке.

с положительной магнитной восприимчивостью оси магнитных эллипсоидов обнаруживают хаотичное распределение, что в большинстве случаев, вероятно, обусловлено близкими к нулю значениями K , сопоставимы с измерительной погрешностью прибора.

Турон разреза Кизил-Чигир и верхний турон–коньяк разреза Аксу-Дере характеризуются высоким палеомагнитным качеством. В этих отложениях доминируют породы

с однокомпонентной намагниченностью, являющейся **ChRM** с углом максимального отклонения (MAD) порядка первых градусов (рис. 6).

Для обнажений 3177, 3181 и 3175 в разрезе Чуку более типичен двухкомпонентный состав намагниченности. Низкокоэрцитивные или низкотемпературные компоненты имеют, вероятно, вязкую природу (рис. 6). Качество **ChRM**, как правило, хуже, чем в других разрезах ($MAD = 5^{\circ}–15^{\circ}$), возможно, из-за малых величин J_n , приближающихся

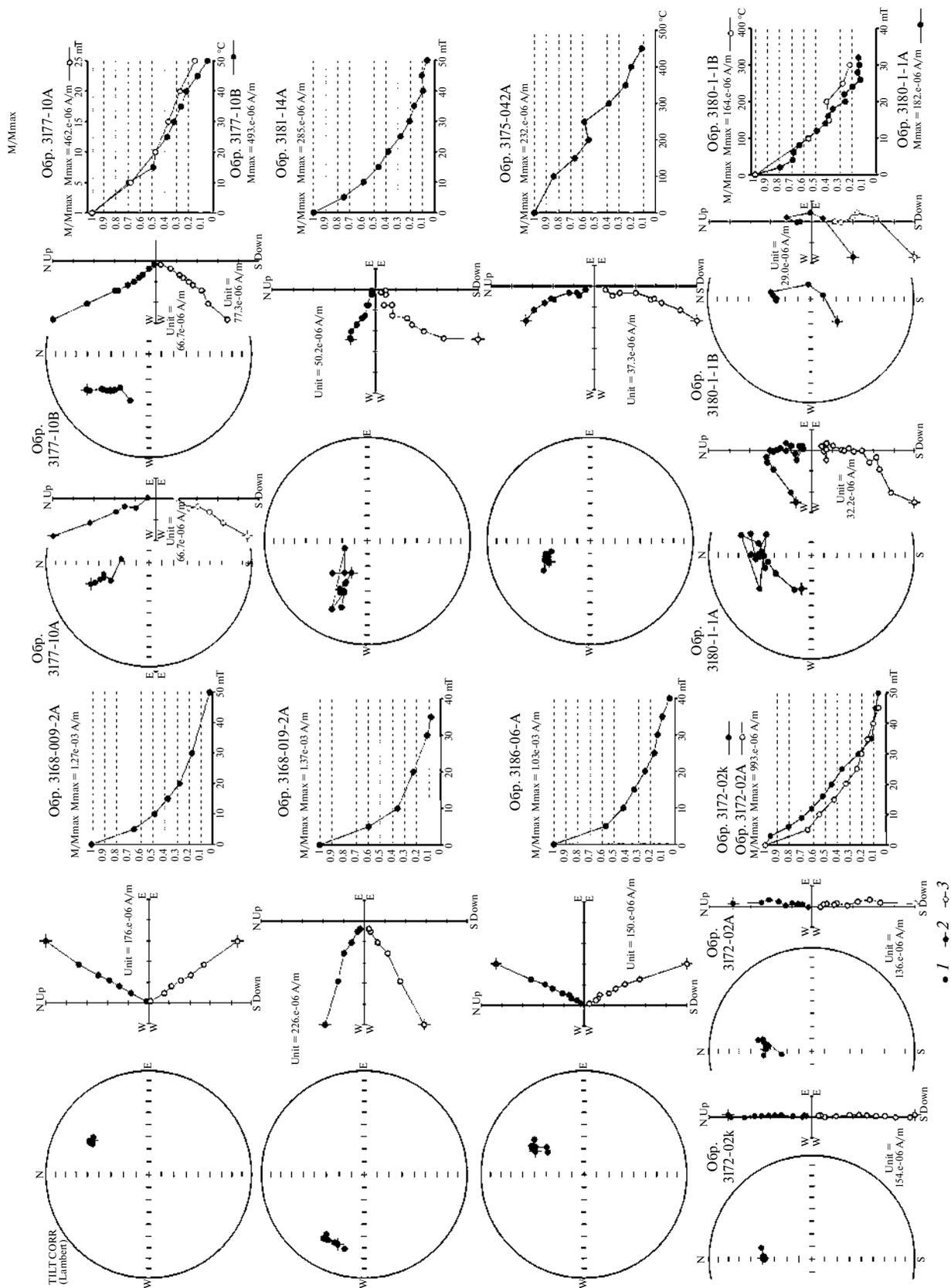


Рис. 6. Типичные результаты компонентного анализа (полярные стереопроекции, диаграммы Зейдлервельда, графики размагничивания). Все данные приведены в стратиграфической системе координат. Условные обозначения: проекции J_n на нижнюю полушару 2 и вертикальную 3 плоскости.

к пределу измерительной погрешности аппаратуры (рис. 6).

В обнажении 3176 на горе Чуку **ChRM** (равно как и любые другие компоненты J_n) удалось выделить лишь на единичных уровнях (рис. 3). По своему плохому палеомагнитному качеству эти породы схожи с кампанскими отложениями в разрезах Аксу-Дере и Кудрино-2 [Гужиков и др., 2021б].

Почти все палеомагнитные направления проецируются на нижнюю полусферу и группируются в северном полушарии, то есть соответствуют прямой (нормальной) полярности поля (рис. 3, рис. 4, рис. 7). Разрез Аксу-Дере (верхний турон, коньяк, верхний сантон) и обнажение 3177 разреза Чуку (нижний(?)—верхний сантон) отмечены очень большими разбросами палеомагнитных направлений. Разрезам Кизил-Чигир (нижний — средний турон), Кудрино-2 и обнажениям 3175 и 3181 разреза Чуку (верхи верхнего сантона) свойственны более высокие кучности **ChRM** (табл. 2, рис. 7).

Компоненты, отличающиеся от среднего палеомагнитного направления по разрезу/обнажению более чем на 60° , предварительно интерпретировались как палеомагнитные аномалии и исключались при статистическом анализе **ChRM** (табл. 2, рис. 7). В общей сложности обнаружено 10 подобных аномалий, спорадически рассеянных по разрезам. Окончательные выводы о количестве экскурсов в разрезах, базирующиеся на анализе результатов пересчета направлений в ВГП, приведены ниже в разделе “Обсуждение результатов”. Учитывая, что аномальные направления фиксируются по 1–2 уровням, в то время как для обоснования микрозоны необходимы данные как минимум с 3 уровней подряд, микрозоны аномальной полярности показаны в половину толщины палеомагнитной колонки (рис. 3, рис. 4).

В пределах каждого изученного обнажения, кроме обн. 3180, палеомагнитные кучности в географической и стратиграфической системе координат (k_g и k_s соответственно) статистически не различаются (табл. 2, рис. 7). Тест складки не приводит к определенным результатам. Скорее всего, неработоспособность теста обусловлена двумя главными факторами. Первый из них — это незначительные различия в элементах залегания пластов, из которых взяты палеомагнитные образцы. В обн. 3180, где вариации залеганий слоев значительны, результаты тестирования данных по 12 образцам, взятым с разных крыльев складки подводного оползания

(рис. 2в, рис. 7е), однозначно указывают на послескладчатый возраст **ChRM** на уровне значимости $p = 0.01$. При этом послескладчатый возраст необязательно должен быть связан с перемагничиванием пород. Генезис складки в обн. 3180 допускает формирование J_n по завершению деформации пластичного осадка, но до окончания его литификации. Для верхнемеловых отложений, возраст которых ~ 80 – 90 млн лет, обоснование посториентационной (диагенетической) природы **ChRM** практически тождественно доказательству ее первичности.

Второй фактор — это наличие в одном разрезе (обнажении) слоев как с додеформационной (ориентационной или посториентационной), так и последеформационной (посториентационной) намагниченностью. Теоретически, намагниченность в толщах, подвергшихся на стадии диагенеза оползневым деформациям, может быть стабилизированной векторной суммой до- и последеформационной компонент намагниченности. Этим явлением можно было бы объяснить аномальный разброс **ChRM**, не связывая его с изменениями вектора геомагнитного поля. Очевидно, что при анализе суммарных компонент намагниченности (рис. 8а) работоспособность теста складки снизится вплоть до отсутствия определенного результата. Но в таком случае эффект искажения истинного палеомагнитного направления за счет сложения до- и последеформационной компонент должен возрастать по мере увеличения наклона пластов, а в реальности подобной зависимости не наблюдается (рис. 8б). Значимой взаимосвязи между искажением палеомагнитного вектора и углом наклона пласта не выявляется, независимо от того подвергаются анализу все данные или по каждому разрезу в отдельности. Поэтому гипотетическое суммирование разных компонент J_n , которые невозможно разделить в процессе магнитных чисток, не может быть главной причиной возникновения вариаций **ChRM** в исследуемых отложениях.

Возраст намагниченности относительно неотектонического этапа, обусловивший современный структурный план, устанавливается, благодаря значительной разнице в залеганиях пластов в разных районах ЮЗ Крыма. Наблюдаемые распределения средних **ChRM** по разрезам имеют большой разброс в географической, и высокую концентрацию в стратиграфической системах координат: k_s превышает k_g в 7.9 раза (если исключить из анализа разрез Аксу-Дере (обн. 3168), среднее направление по которому статистически отличается от средних

Таблица 2. Статистические параметры распределений **ChRM** и виртуальных геомагнитных полюсов (ВГП)

| Рисунок | Разрезы (обнажения), возраст | n / N | D, град | I, град | k | α_{95} , град | F, град | L, град | f_m , град | A_{95} , град | |
|---------|--|---------|---|---------|------|----------------------|---------|---------|--------------|-----------------|-----|
| 7а | Аксу-Дере (3168, обр. 1–20А), верхний турон – коньяк | 74 | Geo | 347.2 | 46.4 | 6.02 | 7.4 | | | | |
| | | | Tilt | 347.6 | 35.6 | 5.56 | 7.7 | 63.0 | 240.4 | 19.7 | 8.7 |
| 7б | Аксу-Дере (3168, обр. 21–40), верхний сантон | 60 | Geo | 355.5 | 44.5 | 10.71 | 5.9 | | | | |
| | | | Tilt | 351.9 | 35.4 | 11.18 | 5.7 | 63.9 | 231.5 | 19.5 | 7.1 |
| | Аксу-Дере (3168), верхний турон – коньяк, верхний сантон | 134 | Geo | 351.1 | 45.6 | 7.47 | 4.8 | | | | |
| | | | Tilt | 349.7 | 35.5 | 7.20 | 4.9 | 63.5 | 236.3 | 19.6 | 8.1 |
| 7в | Кизил-Чигир (3172, 3186), нижний–средний (–верхний?) турон | 26 | Geo | 29.5 | 63.0 | 52.19 | 4.0 | | | | |
| | | | Tilt | 11.4 | 52.9 | 52.21 | 4.0 | 75.8 | 187.9 | 33.5 | 5.1 |
| 7г | Кудрино-2 (3184), верхи верхнего сантона | 26 | Geo | 19.6 | 58.9 | 32.57 | 5.0 | | | | |
| | | | Tilt | 2.6 | 53.4 | 33.2 | 5.0 | 79.1 | 202.4 | 33.9 | 5.8 |
| 7д | Чуку (3177, обр. 1–47), (нижний?)–верхний сантон | 69 | Geo | 102.1 | 50.0 | 12.14 | 4.9 | | | | |
| | | | Tilt | 1.1 | 48.7 | 10.79 | 5.4 | 74.9 | 210.3 | 29.7 | 7.4 |
| 7е | Чуку (3177, обр. 48–78), верхний сантон | 53 | Geo | 42.6 | 56.4 | 7.48 | 7.7 | | | | |
| | | | Tilt | 3.1 | 46.1 | 7.11 | 7.9 | 72.6 | 204.9 | 27.5 | 8.1 |
| 7ж | Чуку (3181), верхний сантон | 35 | Geo | 14.7 | 23.0 | 19.73 | 5.6 | | | | |
| | | | Tilt | 7.7 | 54.1 | 23.72 | 5.1 | 78.3 | 181.0 | 34.6 | 6.5 |
| 7з | Чуку (3175), верхний сантон | 39 | Geo | 16.2 | 57.8 | 35.47 | 3.9 | | | | |
| | | | Tilt | 358.5 | 57.8 | 30.60 | 4.2 | 83.6 | 224.6 | 38.4 | 6.3 |
| 7и | Чуку (3180), верхний сантон | 12 | Geo | 14.5 | 54.7 | 11.50 | 13.4 | | | | |
| | | | Tilt | 354.3 | 43.1 | 5.39 | 20.6 | | | | |
| 9а, б | Средние ChRM Все разрезы / обнажения Из анализа исключен разрез Аксу-Дере | 7 | Geo | 27.1 | 55.4 | 10.6 | 19.4 | | | | |
| | | | Tilt | 1.9 | 49.6 | 83.7 | 6.6 | 75.7 | 207.4 | 30.4 | 4.3 |
| | | 6 | Geo | 34.7 | 55.8 | 10.9 | 21.3 | | | | |
| | | | Tilt | 4.6 | 51.7 | 218.6 | 4.5 | 77.1 | 196.3 | 32.4 | 3.6 |
| | | | ВГП для стабильной Европы [Besse, Courtillot, 2022] | | | | | | | | |
| | | | 80 ± 10 млн лет | | | 81.4 | | | | | |
| | | | 90 ± 10 млн лет | | | 82.2 | | | | | |
| | | | 80 ± 5 млн лет | | | 81.0 | | | | | |
| | | | 85 ± 5 млн лет | | | 81.1 | | | | | |
| | | | 90 ± 5 млн лет | | | 80.8 | | | | | |
| | | | 95 ± 5 млн лет | | | 81.8 | | | | | |

Примечания: n – число образцов; N – число сайтов (разрезов или/и обнажений); **ChRM**: D, I – среднее палеомагнитное склонение и наклонение соответственно; k – кучность; α_{95} – радиус круга доверия вектора; ВГП: F – широта, L – долгота, f_m – палеомагнитная широта, A_{95} – радиус круга доверия. Geo и Tilt – географическая и стратиграфическая системы координат соответственно.

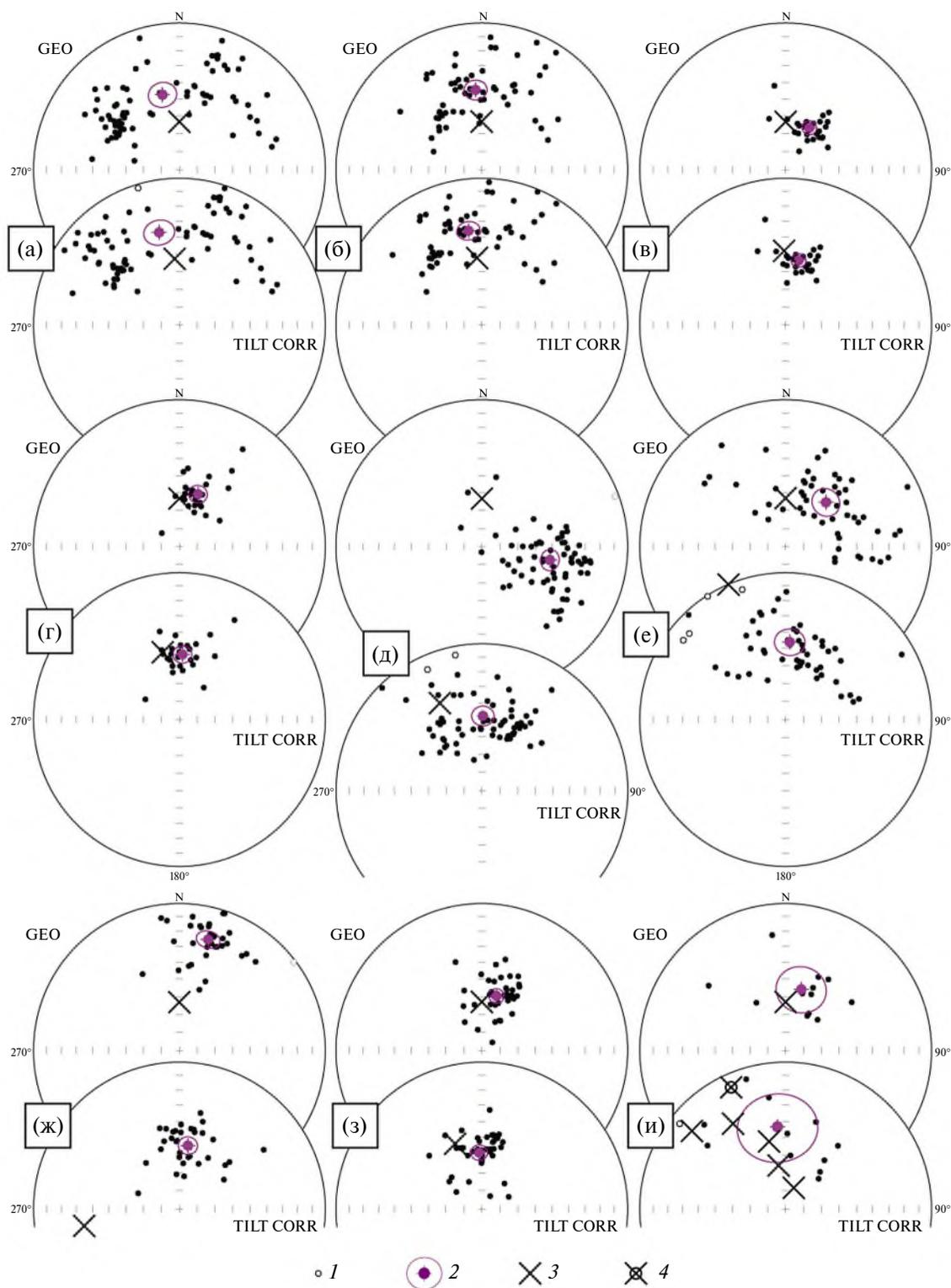


Рис. 7. Полярные стереопроекции **ChRM** по разрезам/обнажениям в географической (сверху) и стратиграфической (снизу) системах координат: разрез Аксу-Дере (обн. 3168): верхний турон–коньяк (а) и верхний сантон (б); разрез Кизил-Чигир (обн. 3186, 3172), нижний–средний турон (в); Кудрино-2 (обн. 3184), верхи верхнего сантона (г); разрез Чуку: обн. 3177 (обр. 1–47) (нижний?)–верхний сантон (д); обн. 3177 (обр. 48–78), верхний сантон (е); обн. 3181 (ж); обн. 3175 (з); обн. 3180 (и). Условные обозначения: 1 – проекции **ChRM** на верхнюю полусферу; 2 – проекции средних палеомагнитных направлений с кругами доверия (α_{95}); 3 и 4 – проекции направления перемагничивания современным полем на нижнюю и верхнюю полусферы соответственно. Остальные условные обозначения см. на рис. 6.

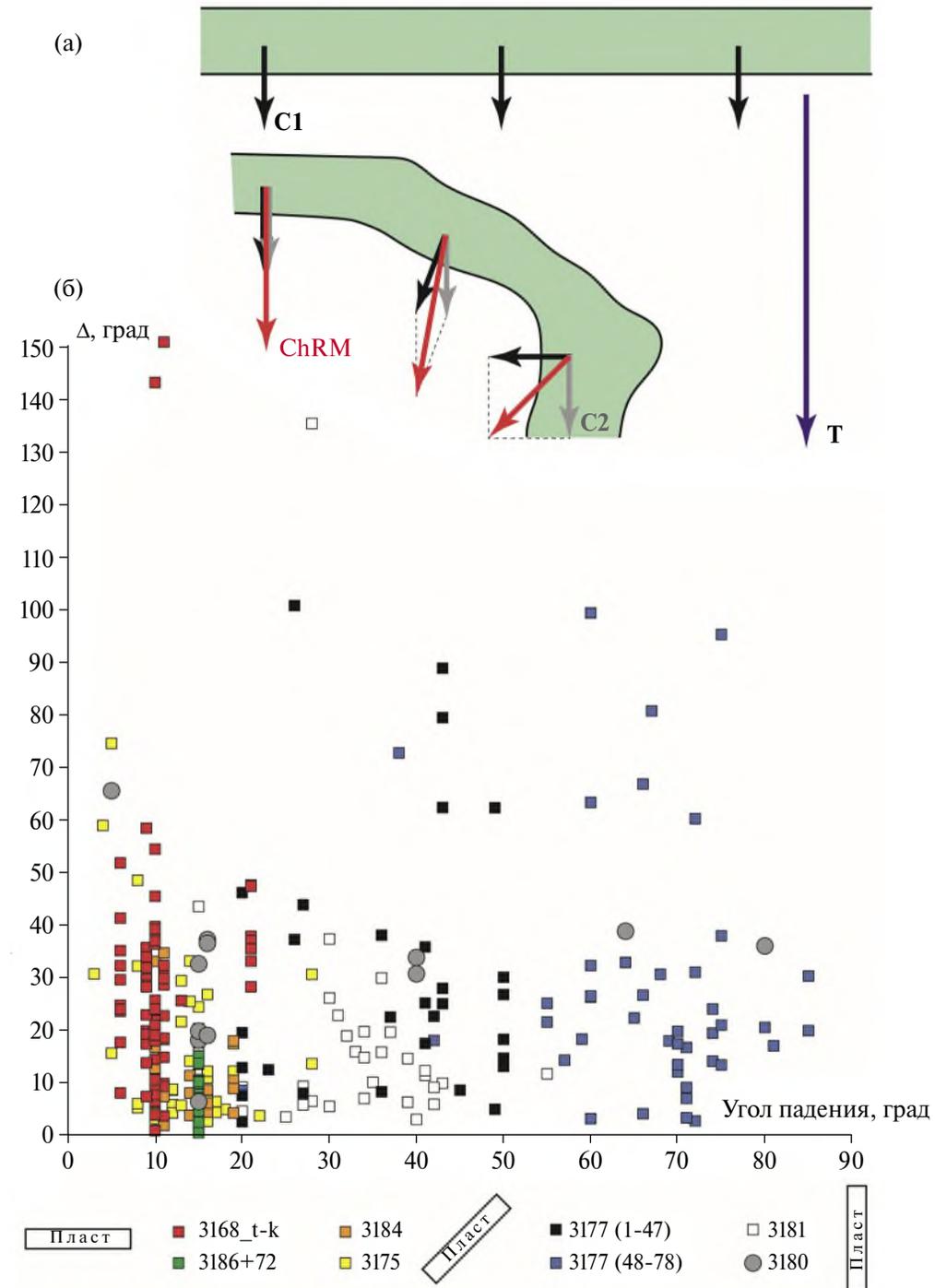


Рис. 8. Схема, иллюстрирующая гипотетическую зависимость разброса палеомагнитных векторов от интенсивности деформации слоев в складке подводного оползания при условии, что **ChRM** является стабилизированной векторной суммой до- (**C1**) и последеформационной (**C2**) компонент намагниченности, а вектор геомагнитного поля (**T**) неизменен (а) и диаграмма, иллюстрирующая эмпирическую связь между углом Δ , образуемым **ChRM** на каждом уровне со средним **ChRM** по разрезу/обнажению, и углом наклона пласта.

палеомагнитных векторов по другим разрезам, то $k_s/k_g = 20.1$) (рис. 9, табл. 2). Отношения кучностей при проверке по F-критерию значимы при $p = 0.01$, что уже доказывает доскладчатый

возраст намагниченности [Шипунов, 1995]. Результаты теста складки подтверждают доскладчатый возраст **ChRM** на уровне значимости $p = 0.01$ при проверке данных как по всем

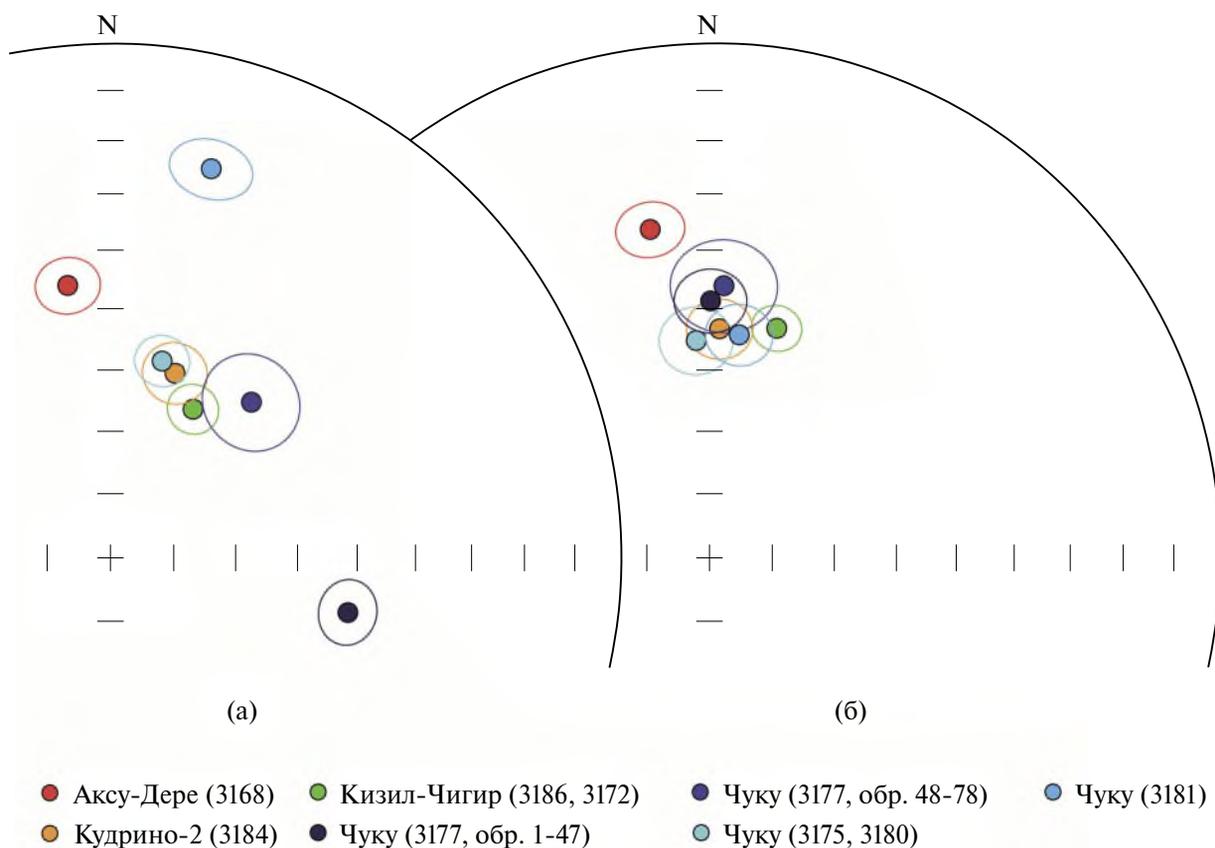


Рис. 9. Полярные стереопроекции со средними **ChRM** по сайтам (разрезам или/и обнажениям) в географической (а) и стратиграфической (б) системах координат.

разрезам, так и после исключения из рассмотрения разреза Аксу-Дере (средние элементы залегающих пластов для каждого разреза/обнажения рассчитывались из средних **ChRM** в географической и стратиграфической системе координат). Таким образом, результаты теста складки исключают предположение о перемагничивании пород на неотектоническом этапе и не противоречат гипотезе о посториентационной (диагенетической) природе намагниченности.

По разрезам Кизил-Чигир (турон), Кудрино-2 и обн. 3175, 3181 разреза Чуку (верхи верхнего сантона), в которых палеомагнитные кучности достаточно высоки (>30), рассчитаны средние виртуальные геомагнитные полюса (ВГП), которые статистически неотличимы от ВГП для стабильной Европы с возрастом 80–95 млн лет, примерно соответствующих турону–сантону [Gradstein et al., 2020] (табл. 2). Это является дополнительным подтверждением древней природы намагниченности.

Полученные данные удовлетворяют, как минимум, 7 критериям из 8, принятым для оценки

надежности магнитостратиграфических материалов в Стратиграфическом кодексе России [Храмов, Шкатова, 2000], и 6 из 7 критериев для оценки качества палеомагнитных данных, предложенных автором работы [Van der Voo, 1990]. Это позволяет использовать полученные результаты в стратиграфических корреляциях и геодинамических реконструкциях. Изменения **ChRM** в данном случае не претендуют на точную запись тонкой структуры поля в разрезах, ввиду неопределенности времени образования постседиментационной намагниченности [Печерский, 2010], но однозначно указывают на сам факт наличия высокоамплитудных палеогеомагнитных вариаций в исследуемом стратиграфическом диапазоне.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

На основании имеющихся биостратиграфических данных графики вариаций отклонения ВГП, рассчитанного на каждом стратиграфическом уровне, от среднего ВГП по разрезу/обнажению привязаны к шкале геологического

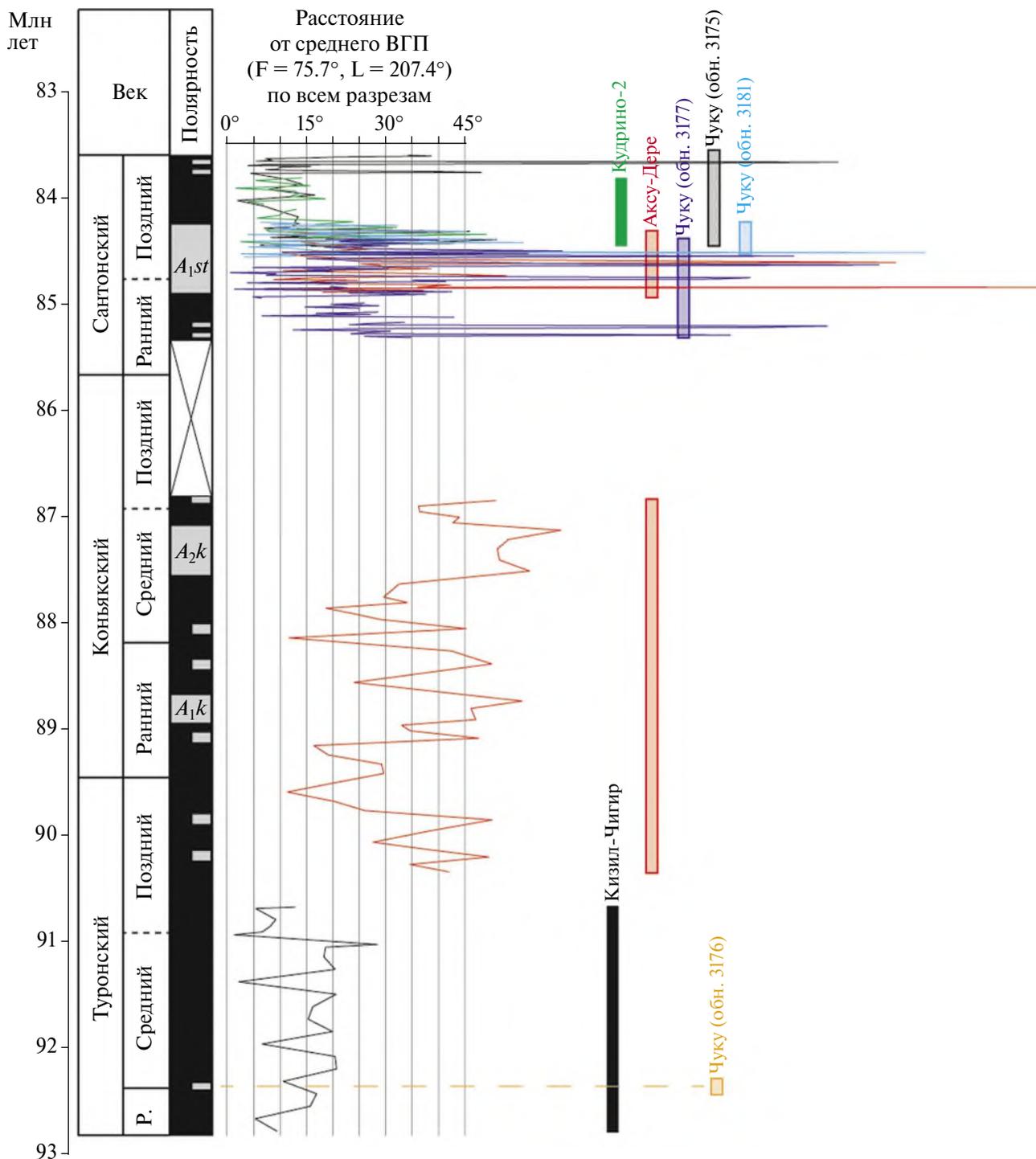


Рис. 10. Схематичный сводный магнитохронологический разрез турона–сантона ЮЗ Крыма. Условные обозначения см. на рис. 3. Для обн. 3176 показана только туронская часть.

времени [Gradstein et al., 2020] (рис. 10). Следуя определению палеомагнитного экскурса как отклонению полюса от своего среднего положения на 45° и более [Jacobs, 2007], на сводную палеомагнитную колонку к 10 аномалиям, выделенным при анализе **ChRM**,

следует добавить еще 18. В туронском ярусе зарегистрирован единственный экскурс. К коньякскому ярусу приурочены 8 экскурсов, причем двум из них, обоснованным образцами с 3 и 5 уровней подряд соответственно, отвечают полноценные магнитостратиграфические

подразделения – микрозоны аномальной полярности A_1k и A_2k . 15 из 19 уровней в сантонском ярусе, на которых выявлены экскурсы, объединяются в одну большую микрозону аномальной полярности A_1st . Все коньякские экскурсы характеризуются отклонениями от 45° до 63° , а большинство сантонских экскурсов – отклонениями от 90° до 150° (рис. 10).

Для приблизительной оценки амплитуды палеогеомагнитных вариаций выбран самый простой, но эффективный параметр – среднеквадратичное отклонение S (формула (1)) с использованием фиксированного угла отсечения 45° [McElhinny, McFadden, 1997].

Амплитуда отклонений минимальна в раннем–среднем туроне, достигает максимума в позднем туроне–коньяке, несколько снижается в раннем(?)–позднем сантоне и уменьшается до минимума к самому концу сантонского века (табл. 3). В пограничных слоях сантона–кампа (верхи обн. 3175 в разрезе Чуку) фиксируется возрастание амплитуды палеогеомагнитных вариаций, возможно, связанное с началом инверсионного перехода 34n–33g. Результаты анализа БФ допускают, что в опорном разрезе Кудрино-2, где задокументирована подошва хрона 33g [Гужиков и др., 2021б], возрастные аналоги верхов обн. 3175 могут быть редуцированы.

Полученные значения S_{45} в раннем–среднем туроне и конце сантона (от 11.5° до 15.6°) хорошо согласуются с моделями широтной зависимости палеогеомагнитных вариаций для Мелового суперхрона нормальной полярности [Лебедев и др., 2022], а в позднем туроне, коньяке и сантоне они достигают 31.1° , примерно в два раза превышая предсказываемые моделями значения ($\sim 12^\circ$ – 16°).

Максимальная амплитуда вариаций характерна для позднего турона–коньяка, но количество и амплитуда экскурсов закономерно возрастают от турона к сантону (рис. 10). Поэтому в данном случае амплитуда S , рассчитанная по всем полюсам без исключения (табл. 3), является полезным параметром, количественно отражающим изменения в степени “аномальности” режима геомагнитного поля.

Более наглядно те же закономерности в характере палеогеомагнитных вариаций и экскурсов на протяжении турона–сантона отражаются на траекториях ВГП, построенных для различных временных срезов (рис. 11). Пути перемещения одновозрастных ВГП, базирующихся на данных по удаленным разрезам (расстояние между разрезом Чуку и разрезами Аксу-Дере, Кудрино-2

Таблица 3. Оценки амплитуды палеогеомагнитных вариаций

| Рис. | Разрез (обнажение) | N/n | S, град | S_{45} , град | S, град | S_{45} , град | S, град | S_{45} , град |
|------|------------------------------|---------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 11а | Кизил-Чигир (3186, 3172) | 23 / 23 | 15.6 [12.1; 22.1] | 15.6 [12.1; 22.1] | | | | |
| 11б | Аксу-Дере (3168, обр. 1–20А) | 39 / 26 | 39.4 [32.2; 50.8] | 31.1 [24.4; 42.9] | | | 42.1 [37.7; 47.6] | 25.9 [23.0; 29.7] |
| 11в | Аксу-Дере (3168, обр. 21–40) | 32 / 28 | 45.1 [36.2; 60.0] | 25.9 [20.5; 35.3] | 43.0 [37.9; 49.8] | 24.4 [21.3; 28.6] | | |
| 11в | Чуку (3177) | 73 / 63 | 42.7 [36.7; 51.0] | 26.0 [22.1; 31.5] | | | | |
| 11г | Чуку (3175, обр. 1–9) | 9 / 7 | 33.7 [22.8; 64.6] | 26.9 [17.3; 59.2] | | | | |
| 11г | Кудрино-2 (3184, обр. 1В–10) | 13 / 12 | 22.2 [15.9; 36.6] | 17.9 [12.7; 30.4] | 29.3 [24.3; 37.0] | 16.7 [13.7; 21.4] | 30.0 [25.2; 37.0] | 18.3 [15.2; 23.0] |
| 11г | Чуку (3181) | 32 / 28 | 32.5 [26.1; 43.2] | 16.8 [13.3; 22.9] | | | | |
| 11д | Кудрино-2 (3184, обр. 11–24) | 13 / 13 | 12.2 [8.7; 20.1] | 12.2 [8.7; 20.1] | | | | |
| 11д | Чуку (3175, обр. 10–24) | 14 / 14 | 11.5 [8.3; 18.5] | 11.5 [8.3; 18.5] | 11.6 [9.1; 15.9] | 11.6 [9.1; 15.9] | | |
| 11е | Чуку (3175, обр. 25–45) | 18 / 16 | 42.7 [32.0; 64.0] | 20.8 [15.4; 32.2] | | | | |

Примечания: N – количество ВГП, использованных для оценки амплитуды вариаций (S) без отбраковки (совпадает с числом уровней, по которым получены палеомагнитные определения, включая экскурсы); n – количество ВГП для оценки амплитуды вариаций при использовании угла отсечения 45° (S_{45}). В квадратных скобках указаны нижние и верхние границы 95%-го доверительных интервалов для оценок S.

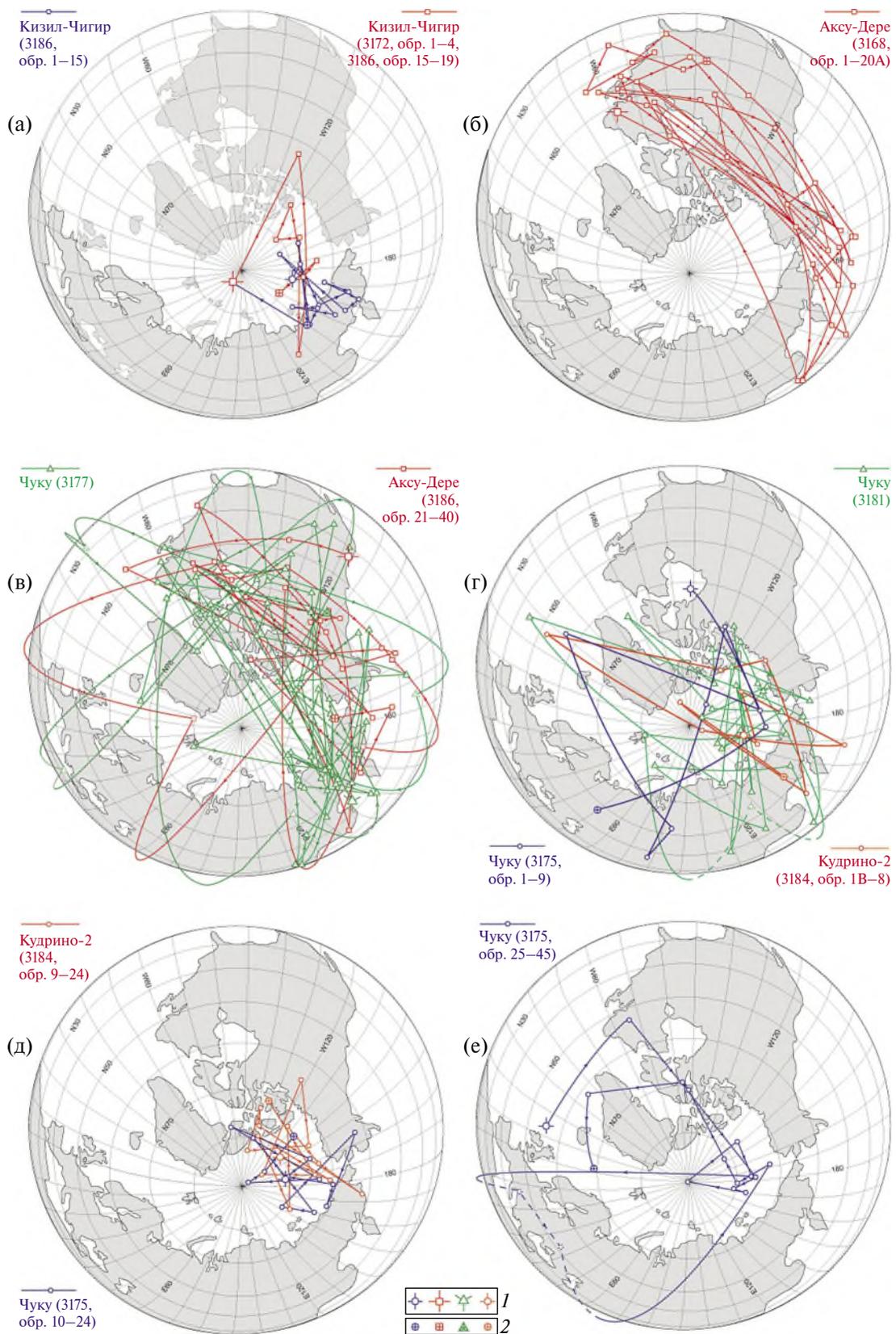


Рис. 11. Траектории ВГП для различных возрастных срезов: (а) – ранний–средний турон; (б) – поздний турон–коньяк; (в) – ранний(?)–поздний сантон; (г) – поздний сантон; (д) – конец позднего сантона; (е) – пограничный интервал сантона–кампана. Условные обозначения: исходные (1) и конечные (2) точки траекторий ВГП.

~ 10 км), похожи как по амплитуде вариаций (величины дисперсий статистически неразличимы), так и по положению на земной поверхности (рис. 11в, 11г, 11д).

Сходство траекторий одновозрастных ВГП, вплоть до деталей, в удаленных разрезах и закономерный характер изменений S по сводному разрезу являются главными аргументами в пользу того, что в изученной последовательности пород зарегистрированы особенности тонкой структуры туронского–сантонского геомагнитного поля.

Само по себе обнаружение записи вековых вариаций с аномально большой амплитудой в осадочных толщах не является редкостью. Подобное поведение поля свойственно эпохам геомагнитных инверсий или экскурсов. При отсутствии надежных биостратиграфических данных в подобной ситуации, скорее всего, был бы сделан вывод о кратковременности формирования исследуемых отложений, потому что по современным представлениям продолжительность переходных эпох не превышает 20 тыс. лет [Valet, Herrero-Bervera, 2007]. Однако в данном случае изучению были подвергнуты опорные разрезы с надежным палеонтологическим обеспечением, не позволяющим сомневаться в стратиграфической полноте верхнетуронских, коньякских и ниже(?)–верхнесантонских отложений, формировавшихся на протяжении ~6 млн лет [Gradstein et al., 2020]. Поэтому полученные данные указывают на аномальный режим геомагнитного поля, свойственный эпохам геомагнитных инверсий или экскурсов, но существующий на протяжении нескольких миллионов лет.

Материалы по ЮЗ Крыму хорошо согласуются с независимыми данными о сложной палеомагнитной зональности туронского, коньякского и сантонского ярусов Туаркыра [Гужиков и др., 2003], Нижнего–Среднего Поволжья [Гужикова и др., 2020; 2021; Guzhikova et al., 2019], Западной Сибири [Гнибиденко и др., 2014], Южной Англии [Montgomery et al., 1998] и других регионов [Еремин и др., 1995; Фомин, Еремин, 1993]. Общей особенностью палеомагнитных колонок турона–сантона в удаленных разрезах является наличие многочисленных магнитозон аномальной и/или обратной полярности на фоне доминирования прямой полярности в туроне–коньяке и преобладания обратной (аномальной) полярности в сантоне. Различия в деталях палеомагнитной структуры разрезов одновозрастных отложений в удаленных регионах выглядят естественными, если предположить,

что в туроне–сантоне часто нарушался дипольный характер геомагнитного поля.

Некоторые исследователи, например, автор работы [Gale et al., 2023], подвергают сомнению надежность магнитостратиграфических данных, свидетельствующих о сложной палеомагнитной зональности турона–сантона. Однако обоснованной критике может быть подвержена надежность магнитостратиграфических материалов по любому конкретному разрезу. Поэтому решающим аргументом в установлении истинного характера геомагнитного поля остается так называемый критерий внешней сходимости, заключающийся в прослеживании идентичной палеомагнитной структуры в одновозрастных отложениях разных регионов.

Среди известных нам данных по древним осадочным породам самый длительный интервал аномального состояния геомагнитного поля (~110 тыс. лет по оценке циклостратиграфическим методом) зарегистрирован в пограничном интервале перми–триаса Русской плиты [Фетисова и др., 2022]. Записи тонкой структуры поля в магматических породах ограничены временем их формирования, весьма коротким по геологическим меркам. Однако наряду с отсутствием достоверной информации об аномальном состоянии поля на протяжении длительного времени (порядка миллионов лет), следует отметить и малочисленность надежных палеомагнитных данных, свидетельствующих об устойчивом режиме нормальной полярности в туронском, коньякском и сантонском веках. Представления о монополярной структуре Мелового суперхрона базируются, главным образом, на результатах калибровки последовательности линейных магнитных аномалий (ЛМА) с магнитостратиграфическими данными по верхнему мелу Северного Средиземноморья (преимущественно Италии). Между тем, ни ЛМА, выделение которых в древней (мезозойской) океанской коре проблематично, ни разрезы верхнего мела Италии, постулируемое положение об исключительной стратиграфической полноте которых является дискуссионным, не могут быть признаны главным источником сведений для построения шкалы геомагнитной полярности [Гужиков и др., 2007; Guzhikova et al., 2019]. Поэтому данные по турону–сантону Крыма, не уступающие по качеству палеомагнитного материала своим возрастным аналогам в Италии, являются веским основанием для пересмотра традиционной точки зрения на режим геомагнитного поля в конце Мелового суперхрона.

Гипотеза об аномальном режиме туронско-сантонского поля находит косвенное подтверждение в результатах определений палеонапряженности по эффузивам Закавказья, согласно которым интенсивность коньякско-сантонского геомагнитного поля уменьшалась в 5–10 раз, по сравнению с ее современной величиной [Солодовников, 2001]. Хотя, судя по имеющимся сводкам [Куражковский и др., 2022], в каждом веке имели место и низкие, и высокие значения палеонапряженности. С этой точки зрения туронский, коньякский и сантонский века (~95–85 млн лет) принципиально не отличаются от других временных интервалов в последние 170 млн лет.

Выявленные особенности тонкой структуры поля, скорее всего, осредняются за период длительностью порядка сотен тысяч–миллиона лет. На это недвусмысленно указывают статистически неотличимые координаты сантонских средних палеомагнитных полюсов как по обн. 3177-А, 3177-Б на горе Чуку, в которых зафиксированы наиболее интенсивные палео-вековые вариации, так и по обн. 3175, 3181 на горе Чуку и разрезу Кудрино-2, где амплитуда вариаций значительно меньше (табл. 2). О времени формирования отложений в разрезе Чуку можно судить по средней продолжительности зон по бентосным фораминиферам, полученной путем деления длительности века на количество зон по БФ в ярусе (порядок сотен тысяч лет). В положениях средних ВГП по верхнему турону–коньяку и верхнему сантону разреза Аксу-Дере также не наблюдается статистически значимых отличий. Время, необходимое для формирования отложений верхнего турона–коньяка (~3–4 млн лет) и верхнего сантона (~1–2 млн лет) в разрезе Аксу-Дере, оценено благодаря зональным разбивкам не только по бентосным, но и по планктонным фораминиферам, и по наннопланктону [Гужиков и др., 2021а; 2021б; Гужикова и др., 2020; Копаевич, Валащик, 1993; Щербинина, Гаврилов, 2016]. Зоны по ПФ и наннопланктону увязаны (с долей условности) с абсолютным возрастом в Шкале геологического времени [Gradstein et al., 2020].

Средний полюс по изученным разрезам, за исключением Аксу-Дере, статистически совпадает с туронскими–сантонскими полюсами для стабильной Европы [Besse, Courtillot, 2002] (табл. 2), подтверждая тем самым точку зрения о присоединении Горного Крыма к южной окраине Евразии примерно в середине мелового периода [Печерский, Сафонов, 1993].

Для того чтобы средний полюс по разрезу Аксу-Дере совпал со средним полюсом по остальным разрезам при переводе среднего палеомагнитного вектора по Аксу-Дере из географической в стратиграфическую систему координат следует ввести поправку на пласт с азимутом падения 115° и углом падения 13° . В принципе, эти элементы залегания могут соответствовать плоскости незафиксированного локального разлома, по которому блок пород испытал смещение, сопровождавшееся пологим наклоном и разворотом к востоку. Обсуждение правомерности такого предположения требует привлечения разносторонней геологической информации и, в любом случае, выходит за рамки настоящей статьи. Но выдвинутая гипотеза иллюстрирует практический потенциал палеомагнитных данных для уточнения строения и геодинамики ЮЗ Крыма.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По опорным разрезам туронского, коньякского и сантонского ярусов ЮЗ Крыма получены палеомагнитные данные хорошего качества, регистрирующие запись палео-вековых вариаций аномально большой амплитуды и многочисленные геомагнитные экскурсы. Подобное аномальное состояние геомагнитного поля, характерное для переходных эпох, доминировало на протяжении ~6 млн лет (поздний турон–сантон). Стратиграфическая полнота разрезов контролируется биостратиграфическими данными, которые исключают версию о кратковременности записи тонкой структуры поля.

Палеомагнитные данные по турону–сантону ЮЗ Крыма принципиально согласуются с материалами по одновозрастным отложениям Южной Англии [Montgomery et al., 1998], Поволжья [Гужикова, 2020; 2021; Guzhikova et al., 2019], Тургая [Гужиков и др., 2003], Западной Сибири [Гнибиденко и др., 2014] и других регионов, фиксирующими сложную (знакопеременную или аномальную) палеомагнитную зональность туронского, коньякского и сантонского ярусов. В совокупности эта информация предполагает возможность пересмотра существующих представлений о нормальном режиме геомагнитного поля в конце Мелового суперхрона, с учетом того, что альтернативные материалы, свидетельствующие о простой монополярной структуре турона–сантона, немногочисленны и непротиворечивы.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны А.Г. Маникину, В.А. Грищенко (СГУ), Е.В. Наумову и Д.С. Болотовой (МГУ) за участие в полевом изучении разрезов; А.О. Сафоновой, Д.А. Агибалову и Р.А. Туякову (СГУ) за помощь в лабораторных исследованиях; Н.Э. Михальцову (ИНГГ СО РАН, Новосибирск) за проведение терромагнитного анализа; В.Э. Павлову, Р.В. Веселовскому, Г.П. Маркову и другим сотрудникам лаборатории Главного геомагнитного поля и петромагнетизма ИФЗ РАН за предоставление возможности измерений на криогенном магнитометре; Д.К. Нургалиеву, Д.М. Кузиной (КФУ) и А.М. Суринскому (СГУ) за содействие в работе на коэрцитометре.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-17-00091, <https://rscf.ru/project/22-17-00091/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев А.С.* Верхний мел – Геологическое строение Качинского поднятия Горного Крыма. Стратиграфия мезозоя / Мазарович О.А., Милеев В.С. (ред.). М.: изд-во Моск. ун-та. 1989. С. 123–157.
- Аркадьев В.В., Богданова Т.Н.* (ред.). Атлас меловой фауны Юго-Западного Крыма. СПб: Пангея. 1997. 357 с.
- Барабощкин Е.Ю., Аркадьев В.В., Копеевич Л.Ф.* Опорные разрезы меловой системы Горного Крыма. Путеводитель полевых экскурсий Восьмого Всероссийского совещания 26 сентября–3 октября 2016 г / Е.Ю. Барабощкин (ред.). Симферополь: издательский Дом ЧерноморПресс. 2016. 90 с.
- Барабощкин Е.Ю., Гужиков А.Ю., Александрова Г.Н., Фомин В.А., Покровский Б.Г., Грищенко В.А., Маникин А.Г., Наумов Е.В.* Новые седиментологические, магнитостратиграфические и биостратиграфические данные по разрезу кампана–маастрихта горы Бешкош, Юго-Западный Крым // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2020. Т. 28. № 6. С. 125–170. DOI: 10.31857/S0869592X20060046
- Беньямовский В.Н.* Схема инфразонального расчленения верхнего мела Восточно-Европейской провинции по бентосным фораминиферам. Статья 1. Сенман–коньяк // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2008. Т. 16. № 3. С. 36–46.
- Брагина Л.Г., Брагин Н.Ю.* Радиолярии в отложениях верхнего мела (турона–коньяка) бассейна р. Бельбек (Юго-Западный Крым). – Палеонтологічні дослідження в Україні: історія, сучасний стан та перспективи: Зб. наук. праць ІГН НАН України / П.Ф. Гожик, відпов. ред. Киев: Нора-прінт. 2007. С. 187–191.
- Гнибиденко З.Н., Лебедева Н.К., Шурыгин Б.Н.* Региональный магнитостратиграфический разрез верхне-меловых отложений юга Западной Сибири (Омская впадина) // Докл. РАН. 2014. Т. 458. № 1. С. 83–87.
- Гужиков А.Ю., Барабощкин Е.Ю., Александрова Г.Н., Рябов И.П., Устинова М.А., Копеевич 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 1. Геологическое описание, седиментология, биостратиграфия // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2021. Т. 29. № 4. С. 71–117.
- Гужиков А.Ю., Барабощкин Е.Ю., Александрова Г.Н., Рябов И.П., Устинова М.А., Копеевич 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 хеостратиграфия, обсуждение данных // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2021. Т. 29. № 5. С. 27–58.
- Гужиков А.Ю., Барабощкин 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. Сб. науч. Трудов / Е.М. Первушов (ред.). Саратов: изд-во Саратовского университета. 2007. С. 69–86.
- Гужиков А.Ю., Молоствовский Э.А., Назаров Х., Фомин В.А., Барабощкин Е.Ю., Копеевич Л.Ф.* Магнитостратиграфические данные по верхнему мелу Туаркыра (Туркменистан) и их значение для общей палеомагнитной шкалы // Физика Земли. 2003. № 9. С. 31–44.
- Гужиков А.Ю., Федулеев Д.В.* Палеомагнетизм коньякских–сантонских отложений ЮЗ Крыма. Палеомагнетизм и магнетизм горных пород. Материалы XXV юбилейной Всероссийской школы–семинара по проблемам палеомагнетизма и магнетизма горных пород (с международным участием) Москва–Борок, 25–29 сентября 2019 г. РАН Институт физики Земли, Геофизическая обсерватория “Борок” / В.П. Щербаков (ред.). Москва, Ярославль: Филигрань. 2019. С. 103–108.
- Гужикова А. А.* Первые магнитостратиграфические данные по маастрихту Горного Крыма (Бахчисарайский район) // Изв. Саратов. 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
- Гужикова А.А., Гужиков А.Ю., Рябов И.П.* Палеомагнитные данные по верхнему мелу Горного Крыма: аргументы в пользу существования длительной эпохи аномального режима геомагнитного поля в туроне–сантоне. Геологические науки – 2021: Материалы Всерос. научно-практ. конф. (Саратов, 2–3 декабря 2021 г.). Саратов: изд-во “Техно-Декор”. 2021. С. 66–69.

- Гужикова А.А., Грищенко В.А., Фомин В.А., Барабошкин Е.Ю., Шелепов Д.А. Магнитостратиграфия турона-сантона Самарского Правобережья // Изв. Саратовского университета. Новая серия. Сер.: Науки о Земле. 2021. Т. 21. Вып. 4. С. 248–263. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2021-21-4-248-263>
- Гужикова А.А., Первушов Е.М., Рябов И.П., Фомин В.А. Магнитозона обратной полярности в туроне-коньяке северного окончания Доно-Медведицких дислокаций // Изв. Сарат. ун-та. Новая серия. Сер. Науки о Земле. 2020. Т. 20. Вып. 4. С. 262–277. DOI: <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2020-20-4-262-277>
- Гужикова А.А., Рябов И.П., Копяевич Л.Ф. Новые палеомагнитные и микрофаунистические данные по турону-сантону разреза “Аксу-Дере” (ЮЗ Крым). Меловая система России и ближнего зарубежья: проблемы стратиграфии и палеогеографии: Материалы Десятого Всероссийского совещания, г. Магадан. 20–25 сент. 2020 г. / Е.Ю. Барабошкин, А.Ю. Гужиков (ред.). Магадан: ОАО “МАОБТИ”. 2020. С. 81–84.
- Еремин В.Н., Назаров Х., Рамазанов С.А., Фомин В.А. Магнитостратиграфия опорного разреза верхнего мела Западного Копетдага (Канавчай) // Изв. АН Туркменистана. 1995. № 4. С. 163–169.
- Кликушин В.Г. Туронские, коньякские и сантонские отложения долины р. Бельбека в Крыму // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1985. Т. 60. Вып. 2. С. 69–81.
- Копяевич Л.Ф., Валащик И. (1993) Расчленение турон-коньякских отложений разреза Аксудере по иноцератам и фораминиферам // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. № 5. С. 70–82.
- Куражковский А.Ю., Куражковская Н.А., Клайн Б.И. Спектр квазипериодических изменений геомагнитного поля в фанерозое // Геология и геофизика. 2022. Т. 63. № 11. С. 1520–1529.
- Лебедев И.Е., Бобровникова Е.М., Тихомиров П.Л., Эйд Б., Люлье Ф., Павлов В.Э. Амплитуда вековых геомагнитных вариаций в позднем мелу по результатам палеомагнитных исследований вулканитов Охотско-Чукотского пояса верхнего течения реки Малый Анюй (Западная Чукотка) // Физика Земли. 2022. № 2. С. 41–59.
- Печерский Д.М. Палеомагнитология, петромагнитология и геология. Словарь-справочник для соседей по специальности. 2010. <http://paleomag.ifz.ru/books/Pechersky.htm>
- Печерский Д.М., Сафонов В.А. Палинспастическая реконструкция положения Горного Крыма в средней юре-раннем мелу на основе палеомагнитных данных // Геотектоника. 1993. № 1. С. 96–105.
- Плотникова Л.Ф., Богаец А.Т., Бондаренко В.Г., Корбут Е.Б. Меловая система. Верхний отдел. Геология шельфа УССР. Стратиграфия (шельф и побережья Черного моря) / Тесленко Ю.В. (ред.). Киев: изд-во Наукова думка. 1984. С. 74–84.
- Солодовников Г.М. Определение напряженности магнитного поля Земли в сантон-коньяке верхнего мела, полученные на эффузивном разрезе Азербайджана // Физика Земли. 2001. № 7. С. 78–84.
- Фетисова А.М., Голубев В.К., Веселовский Р.В., Балабанов Ю.П. Палеомагнетизм и магнитостратиграфия опорных пермско-триасовых разрезов центральной части Русской плиты: Жуков овраг, Слукино и Окский съезд // Геология и геофизика. 2022. Т. 63. № 10. С. 1401–1419.
- Фомин В.А., Еремин В.Н. Магнитостратиграфия верхнемеловых отложений южных районов СССР. Вопросы стратиграфии палеозоя, мезозоя и кайнозоя / Г.В. Кулева, В.Г. Очев (ред.). Саратов: изд-во СГУ. 1993. С. 134–142.
- Храмов А.Н. Палеомагнитология. Л.: Недра. 1982. 312 с.
- Храмов А.Н., Шкатова В.К. Общая магнитостратиграфическая шкала полярности фанерозоя. Дополнения к стратиграфическому кодексу России. СПб.: ВСЕГЕИ. 2000. С. 24–45.
- Шипунов С.В. Новый тест складки в палеомагнетизме (реабилитация теста выравнивания) // Физика Земли. 1995. № 4. С. 67–74.
- Щербинина Е.А., Гаврилов Ю.О. Зональное расчленение сеноманских-сантонских отложений Юго-Западного Крыма по наннопланктону. Меловая система России и ближнего зарубежья: проблемы стратиграфии и палеогеографии. Сб. науч. трудов / Е.Ю. Барабошкин (ред.). Симферополь: изд. дом “Черноморпресс”. 2016. С. 292–294.
- Юдин В.В. Тектоника Бельбекского района в Крыму // Ученые записки КФУ им. В.И. Вернадского. География. Геология. Т. 6 (72). № 2. 2020. С. 338–360.
- 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. V. 107 (11). P. 1–31.
- Chadima M., Hroudá F. Remasoft 3.0 a user_friendly paleomagnetic data browser and analyzer // Travaux Geophysiques. 2006. V. XXVII. P. 20–21.
- Coccioni R., Premoli Silva I. Revised Upper Albian – Maastriichtian planktonic foraminiferal biostratigraphy and magnetostratigraphy of the classical Tethyan Gubbio section (Italy) // Newsletters on Stratigraphy. 2015. V. 48/1. P. 47–90.
- Cox A. Latitude dependence of the angular dispersion of the geomagnetic field // Geophys. J. R. astr. Soc. 1970. V. 20. P. 253–269.
- Dunlop D. Theory and application of the Day plot (Mrs/Ms versus Hcr/Hc) 1. Theoretical curves and tests using titanomagnetite data // J. Geophys. Res. 2002. V. 107. № B3. 2056. <https://doi.org/10.1029/2001JB000487>
- Gale A., Batenburg S., Coccioni R., Dubicka Z., Erba E., Falzoni F., Haggart J., Hasegawa T., Ifrim C., Jarvis I., Jenkins H., Jurowska A., Kennedy J., Maron M., Muttoni G., Pearce M., Petrizzo M.R., Premoli-Silva I., Thibault N., Voigt S., Wagreich M., Walaszczyk I. The Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP) of the Campanian

Stage at Bottaccione (Gubbio, Italy) and its auxiliary sections : Seaford Head (UK), Bocieniec (Poland), Postalm (Austria), Smoky Hill, Kansas (U.S.A), Тепаяс (Mexico). Episodes. ISSN (print) 0705-3797 (Epub Ahead of Print).

Jacobs J.A. Geomagnetic excursion. Encyclopedia of Geomagnetism and Paleomagnetism. Springer. 2007. P. 311–312.

Gradstein F.M., Ogg J.G., Schmitz M.B., Ogg G. M. Geologic Time Scale 2020. V. 2. Amsterdam, Oxford, Cambridge: Elsevier. 2020. 1357 p.

Guzhikova A. A., Guzhikov A. Y., Pervushov E. M., Ryabov I.P., Surinskiy A. M. Existence of the Reversal Polarity Zones in Turonian–Coniacian from the Lower Volga (Russia) : New Data. Recent Advances in Rock Magnetism, Environmental Magnetism and Paleomagnetism. Springer Geophysics / D. Nurgaliev, V. Shcherbakov, A. Kosterov, S. Spassov (eds.). Kazan : Springer. 2019. P. 353–369.

Kopaevich L.F., Walaszczyk I.P. An integrated inoceramid-foraminiferal biostratigraphy of the Turonian and Coniacian strata in south-western Crimea, Soviet Union // Acta Geol. Polon. 1990. V. 40. № 1–2. P. 83–96.

McElhinny M.W., McFadden P.L. Palaeosecular variation over the past 5 Myr based on a new generalized database // Geophysical Journal International. 1997. V. 131. P. 240–252.

McFadden P.L. A new fold test for palaeomagnetic studies // Geophysical Journal International. 1990. V. 103. P. 163–169.

Montgomery P., Hailwood E.A., Gale A.S., Burnett J.A. The magnetostratigraphy of Coniacian–Late Campanian chalk sequences in southern England // Earth Planet. Sci. Lett. 1998. V. 156. P. 209–224.

Valet J.-P., Herrero-Bervera E. Geomagnetic reversals, archives. Encyclopedia of Geomagnetism and Paleomagnetism. Springer. 2007. P. 339–344.

Van der Voo R. Palaeomagnetism of the Atlantic, Tethys and Iapetus oceans. Cambridge: Cambridge University press. 1993. 412 p.

agico.com – AGICO (Advanced Geoscience Instruments Company) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.agico.com/text/software/anisoft/anisoft.php>

Anomalous Features of the Geomagnetic Field Behavior at the End of the Cretaceous Normal Superchron Based on the Results of the Study of the Turonian–Santonian in the Southwestern Crimea

A. Yu. Guzhikov^{a, *}, E. Yu. Baraboshkin^{b, c, **}, I. P. Ryabov^{a, ***},
M. A. Ustinova^{c, ****}, and V. S. Vishnevskaya^{c, *****}

^aSaratov State University, Saratov, 410012 Russia

^bFaculty of Geology, Moscow State University, Moscow, 119991 Russia

^cGeological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, 119017 Russia

*e-mail: aguzhikov@yandex.ru

**e-mail: ejbaraboshkin@mail.ru

***e-mail: ryaboff.il@yandex.ru

****e-mail: ustinova_masha@mail.ru

*****e-mail: valentina.vishnaa@mail.ru

Received April 7, 2023

revised June 5, 2023

accepted June 8, 2023

Abstract – In 394 samples characterizing 266 stratigraphic levels in four Turonian–Santonian sections in the Southwestern Crimea, characteristic remanent magnetization components (**ChRM**) formed at the stage of diagenesis is identified. The data obtained represent the record of the Paleocene geomagnetic variations of high amplitude (rms deviation $S = 25.9^\circ$ with a fixed cut-off angle of 45° , which is about twice as high as the model S for this latitude) in the sediments formed in ~ 5 – 6 Ma and are interpreted as anomalous behavior of the geomagnetic field in the Turonian, Coniacian, and Santonian.

Keywords: paleomagnetism, fine structure of the field, Cretaceous normal polarity superchron, magnetostratigraphy, Upper Cretaceous, Turonian, Coniacian, Santonian, benthic foraminifera, calcareous nanoplankton, giliannes, ammonites