

Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2025. № 9(405). С. 25–36.

Geology, geophysics and development of oil and gas fields. 2025; (9(405)):25–36.

Научная статья

УДК 550.384+551.76+551.763.1

1.6.11. Геология, поиски, разведка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений

ПЕРВЫЕ МАГНИТОСТРАТИГРАФИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ПО ГОТЕРИВ-БАРРЕМСКИМ ОТЛОЖЕНИЯМ КАРПИНСКО-МАНГЫШЛАКСКОГО СЛОЖНОГО ВАЛА

А.Ю. Гузиков¹, О.И. Смирнова², М.В. Смирнов³, А.С. Штунь⁴

¹*Саратовский национальный исследовательский государственный университет*

имени Н.Г. Чернышевского, Саратов, Россия,

^{2,3}*ООО "ЛУКОЙЛ-Инжиниринг", Волгоград, Россия,*

⁴*ООО "ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть", Астрахань, Россия*

¹aguzhikov@yandex.ru, ²Olga.Smirnova@lukoil.com, ³Mikhail.Smirnov@lukoil.com, ⁴Artem.Shtun@lukoil.com

Аннотация. Впервые получены магнитостратиграфические данные по готеривским–барремским отложениям, вскрытым пятью скважинами в северной части Каспийского моря, на территории Каспийско-Мангышлакской системы поднятий. В каждой из скважин выделены от 2 до 7 разнополярных магнитозон, которые, наряду с петромагнитными данными, способствуют детальному расчленению и корреляции разрезов. В исследованных разрезах выявлены магнитозоны геомагнитной полярности – аналоги всех барремских магнитных хронов, которые являются ценными корреляционными реперами. Самая крупная магнитозона обратной полярности идентифицирована как аналог раннебарремского хрона М3. Отождествление готеривских магнитозон с хронами шкалы геомагнитной полярности пока остается проблематичным из-за сложной палеомагнитной зональности готеривского яруса. Однако по мере накопления данных сводный палеомагнитный разрез нижнемеловых отложений Северного Каспия будет совершенствоваться и, вероятно, станет результативным стратиграфическим инструментом. Палеомагнитные данные в сочетании с данными микропалеонтологических исследований способствуют наиболее детальному сопоставлению скважин и уточнению возраста отложений. Перспективность продолжения палеомагнитных исследований терригенных нижнемеловых отложений Северного Каспия для повышения эффективности геолого-разведочных работ в этом регионе представляется очевидной.

Ключевые слова: Северный Каспий, готерив-барремские отложения, стратиграфия, магнитостратиграфический метод

Для цитирования: Первые магнитостратиграфические данные по готерив-барремским отложениям Карпинско-Мангышлакского сложного вала / А.Ю. Гузиков, О.И. Смирнова, М.В. Смирнов, А.С. Штунь // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2025. – № 9(405). – С. 25–36.

Original article

THE FIRST MAGNETOSTRATIGRAPHIC DATA ACCORDING TO THE HAUTERIV-BARREMIAN DEPOSITS KARPINSK-MANGYSHLAKSKIY COMPOSITE SHAFT

A.Yu. Guzhikov¹, O.I. Smirnova², M.V. Smirnov³, A.S. Shtun⁴

¹*Saratov State University, Saratov, Russia,*

^{2,3}*LUKOIL Engineering LLC, Volgograd, Russia,*

⁴*LUKOIL-Nizhnevolzhskneft LLC, Astrakhan, Russia*

¹aguzhikov@yandex.ru, ²Olga.Smirnova@lukoil.com, ³Mikhail.Smirnov@lukoil.com, ⁴Artem.Shtun@lukoil.com

Abstract. For the first time, magnetostratigraphic data have been obtained for Hauterivian–Barremian deposits penetrated by five wells in the Northern Caspian, within the Caspian-Mangyshlak uplift system. In each well, 2 to 7 magnetozones of different polarities were identified, which, along with rock-magnetic data, facilitate detailed subdivision and correlation of the sections. The studied intervals reveal geomagnetic polarity magnetozones – analogues of all Barremian magnetic chrons, which serve as valuable correlation markers. The largest reversed-polarity magnetozones was identified as an analogue of the early Barremian chron M3. Correlation of Hauterivian magnetozones with the Geomagnetic Polarity Time Scale chrons remains problematic due to the complex paleomagnetic zonation of the Hauterivian stage. However, as more data are accumulated, the composite paleomagnetic section of the Lower Cretaceous deposits in the Northern Caspian will be refined and will likely become an effective stratigraphic tool. Paleomagnetic data, combined with micropaleontological studies, enable more precise well-to-well correlation and age determination. The potential of further paleomagnetic studies of terrigenous Lower Cretaceous deposits in the Northern Caspian to enhance the efficiency of geological exploration in this region appears evident.

Keywords: Northern Caspian, Hauterivian-Barremian deposits, stratigraphy, magnetostratigraphic method

For citation: The first magnetostratigraphic data according to the Hauteriv-Barremian deposits Karpinsk-Mangyshlakskey composite shaft / A.Yu. Guzhikov, O.I. Smirnova, M.V. Smirnov, A.S. Shtun // Geology, geophysics and development of oil and gas fields. – 2025. – № 9(405). – Pp. 25–36.

Магнитостратиграфический метод, возникший в середине прошлого века как способ расчленения и корреляции осадочных толщ по знаку геомагнитной полярности, определяемой по направлению первичной компоненты вектора естественной остаточной намагниченности [1], в настоящее время является неотъемлемой частью современной стратиграфии. Важнейшим достоинством магнитостратиграфического метода является изохронность геомагнитных инверсий, продолжительность которых не превышает тысяч – первых десятков тысяч лет, что позволяет достичь наибольшей точности по сравнению с другими методами при межрегиональных и глобальных палеомагнитных корреляциях.

Петромагнитные и магнито-минералогические исследования позволяют оценить пригодность отобранных образцов для палеомагнитных (магнитополярных) определений и способствуют обоснованию природы намагниченности. Помимо этого, вертикальные вариации магнитных свойств отложений имеют самостоятельную ценность как инструменты для дополнительного расчленения и корреляции разрезов, а также как индикаторы условий осадконакопления [2–4]. Статус петромагнитных подразделений как самостоятельной разновидности магнитостратиграфических подразделений закреплен в Стратиграфическом кодексе России [5], но, по сути, они являются специфической разновидностью литостратиграфических подразделений.

Петромагнитный метод хорошо зарекомендовал себя при детальном расчленении и корреляции разрезов пограничного интервала юры–мела Северного Каспия [6, 7]. Магнитостратиграфические исследования готерива–баррема Северного Каспия обнаружили, по крайней мере, частичную пригодность этих пород к палеомагнитным определениям [8]. Палеомагнитная структура готеривского яруса сложна и не способствует эффективному использованию метода для датировки отложений. Зато структура барремского яруса в шкале геомагнитной полярности (GPTS) [9] проста (нижней половине баррема соответствует доминирующая обратная (R) полярность, а верхней половине – преимущественно прямая (N) полярность) и создает благоприятные предпосылки для обоснования ранне- или позднебарремского возраста по знаку полярности при наличии даже скудной палеонтологической информации.

Отложения нерасчлененных готеривского и барремского ярусов на рассматриваемой территории залегают с резким несогласием на разновозрастных отложениях верхней юры, от оксфордского яруса до волжского регионаруса, и представлены толщей переслаивания песчаников (преобладают), алевролитов и глин уплотнённых. Литологическое строение, вопросы лито- и петротипизации, а также фациальные особенности исследуемого разреза детально рассмотрены в предшествующих работах [8, 10].

Для петро- и палеомагнитных исследований были взяты образцы из 5 скважин, пробуренных в акватории Каспийского моря на территории Каспийско-Мангышлакской системы поднятий. Местоположения скважин (скв. 1–5) образуют ломаную линию субширотного простирания. В общей сложности из керна изученных скважин было отобрано 275 частично ориентированных (верх–низ) монолитных штуфов, из которых впоследствии выпиливалось не менее двух образцов кубической формы с ребрами 2 см. У образцов измерялись объемная магнитная восприимчивость до (K_v) и после их прогрева в течение часа при температуре 500 °С (K_{lv}), естественная остаточная намагниченность J_n , изучалась анизотропия магнитной восприимчивости (АМВ), по результатам магнитного насыщения определялись поля остаточной коэрцитивной силы B_{cr} и величины остаточной намагниченности насыщения J_{rs} , проводился термомагнитный анализ (исследования зависимостей намагниченности от температуры). Для измерений удельной магнитной восприимчивости K_m и ее прироста после нагревов ($dK_m = K_m - K_m$) дополнительно были отобраны 994 неориентированных осколка керна (в среднем через каждые 30 см толщины). Лабораторные палеомагнитные исследования ориентированных образцов, проводившиеся по стандартной методике [3], заключались в измерениях J_n после серий последовательных магнитных чисток переменным полем или температурой.

Измерения K проводились на каппабридже MFK1-FB, а всех видов остаточной намагниченности – на спин-магнитометре JR-6. Магнитные чистки проводились на установке LDA-3AF и в печи конструкции В.П. Апарина. В термокаппаметрических исследованиях была задействована муфельная печь СНОЛ-6/11-В. Магнитное насыщение и разрушение образцов проводились с помощью регулируемого электромагнита, обеспечивающего максимальную интенсивность поля 700 мТл. Термомагнитный анализ проводился на термоанализаторе фракций ТАФ-2.

Работа с частично ориентированным керном, к сожалению, исключает возможность корректного использования ряда полевых тестов и методов, а также не позволяет анализировать межпластовые кучности направлений. Поэтому о возрасте намагниченности приходилось судить по косвенным признакам.

Результаты исследований

Петромагнитные и магнито-минералогические исследования. Во всех образцах, подвергнутых магнитному насыщению, независимо от их литотипа, доминирует магнитомягкая фаза, характерная для магнетита, титаномангнетитов, маггемита и магнитных сульфидов железа (типа пирротина, грейгита). Интенсивный рост намагниченности при насыщении в исследуемых об-

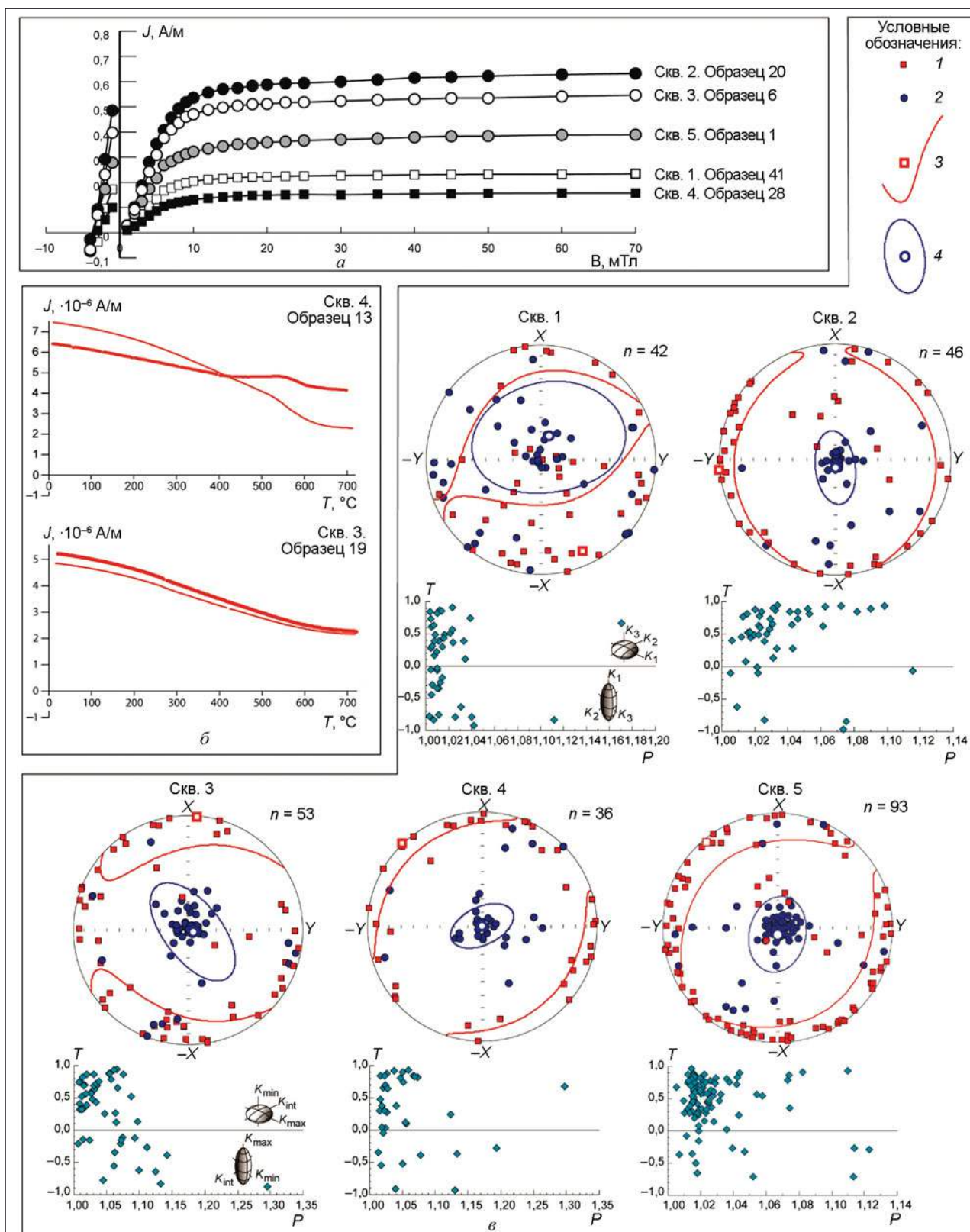
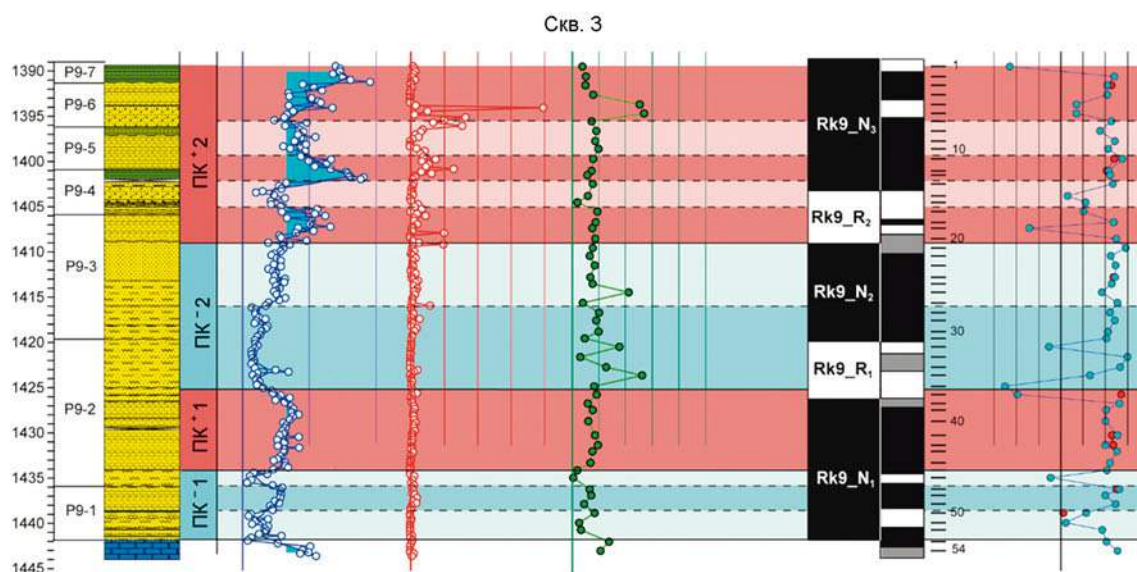
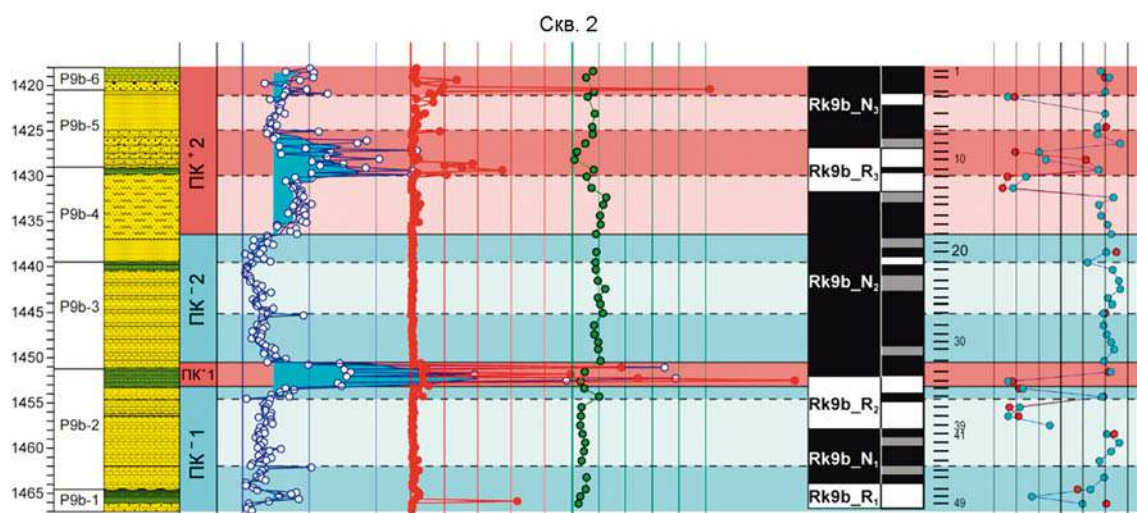
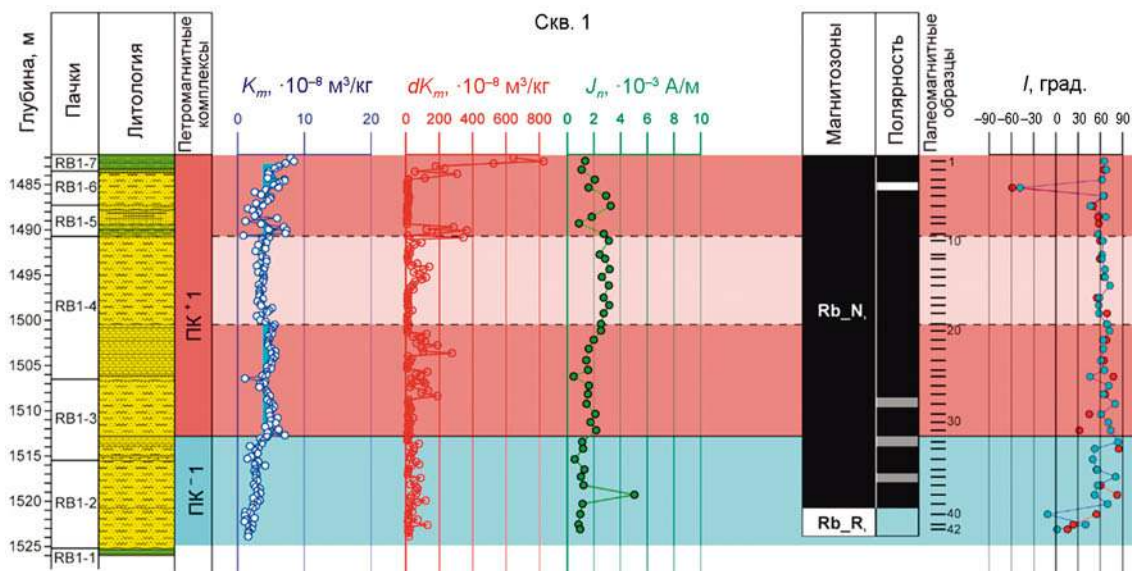


Рис. 1. Результаты магнито-минералогических исследований:

кривые магнитного насыщения (а); кривые термомангнитного анализа (толстые и тонкие линии – первый и второй прогревы, соответственно) (б); стереопроекции осей эллипсоидов, магнитной восприимчивости (n – число образцов) в системе координат образца и диаграммы Йелинека, где $P = K_1 / K_3$ – степень анизотропии, $T = (2 \ln K_2 - \ln K_1 - \ln K_3) / (\ln K_1 - \ln K_3)$ – параметр формы, положительные и отрицательные значения T указывают на уплощенные и удлинённые формы магнитных частиц, соответственно (в). 1, 2 – длинные (K_1) и короткие (K_3) оси эллипсоидов АМВ, соответственно; 3, 4 – средние направления с овалами доверия K_1 и K_3 соответственно.



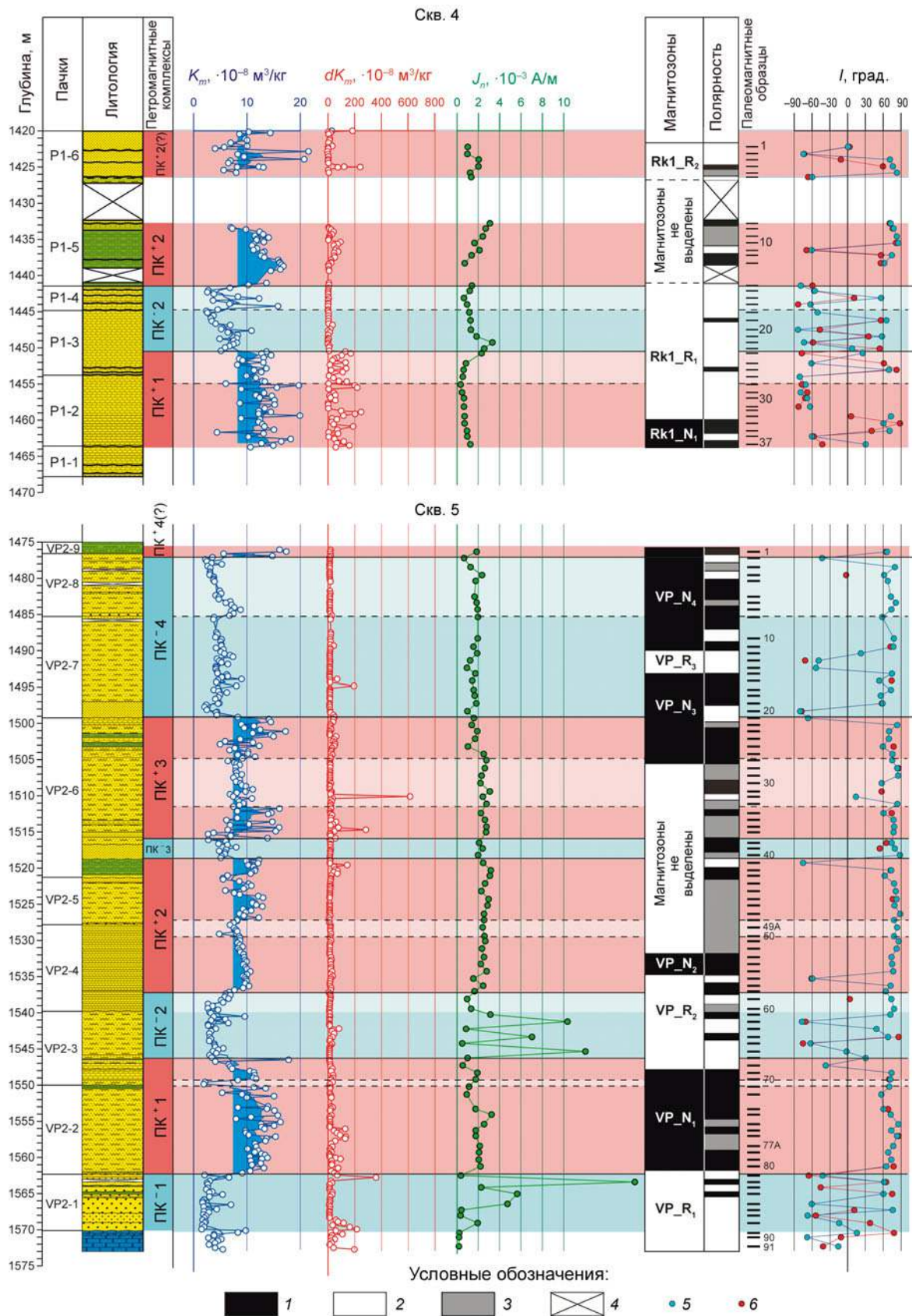


Рис. 2. Магнитостратиграфические разрезы скважин:

1, 2 – прямая и обратная геомагнитная полярность, соответственно; 3 – перемагничивание современным полем;
4 – отсутствие данных; 5, 6 – палеомагнитные наклонения I по результатам размагничивания переменным магнитным полем и температурой, соответственно

разцах прекращается после 100...300 мТл, а коэрцитивная сила B_{cr} изменяется в пределах от 24 до 51 мТл (рис. 1, а). Подобные параметры магнитного насыщения однозначно свидетельствуют о доминировании магнитомягкой фазы в изученных отложениях и характерны для тонкодисперсного магнетита.

Данные терромагнитного анализа оказались практически неинформативными в плане выявления минералов – носителей остаточной намагниченности. Термокривые по образцам, в которых при нагревах протекали бурные химические реакции под влиянием углеводородов, не интерпретируемы из-за ложных всплесков намагниченности вследствие механической разбалансировки магнитных весов, которая в свою очередь приводит к смещению диагностических температур минералов. Немногочисленные кривые, поддающиеся интерпретации, фиксируют пирит по возрастанию намагниченности при нагреве свыше 400 °С (см. рис. 1, б, образец 13 из скв. 4), однако FeS_2 не обладает ферромагнитными свойствами. Единственный ферромагнетик, диагностируемый на всех кривых по спаду намагниченности вблизи температуры Кюри минерала (578 °С) – магнетит является, как правило, новообразованным продуктом из пирита (не исключено, что в ряде случаев из других сульфидов железа или сидерита), и в этом случае дифференцировать на его фоне первичный Fe_3O_4 невозможно. Первичный магнетит в отсутствие карбоната и сульфидов железа все же диагностируется в единичных образцах (см. рис. 1, б, образец 19 из скв. 3), поэтому с учетом материалов магнитного насыщения можно обоснованно считать магнетит главным носителем J_n в исследуемых отложениях. Роль сульфидов типа пирротина, греггита в формировании J_n нельзя исключить в образцах с высоким параметром Кенигсбергера (фактором $Q = J_i/J_n$, где J_i – индуктивная намагниченность), свойственным естественной остаточной намагниченности химического генезиса. Однако уровни со значениями $Q > 1$ встречаются в исследуемых отложениях редко (за исключением скв. 5, в нижней части которой зафиксированы два разобщенных интервала толщиной до 7 м с аномально высокими J_n) (рис. 2).

Вариации графиков dK_m по разрезам связаны с изменениями концентраций тонкодисперсных сульфидов железа и сидерита в отложениях [2–4], которые (по крайней мере, частично) могли образоваться под влиянием миграции углеводородов, что ограничивает использование термокаппаметрических данных в корреляции разрезов.

Анализ данных АМВ по разрезам скважин обнаружил, что распределения проекций осей эллипсоидов магнитной восприимчивости близки к первичной магнитной текстуре осадочных пород, образующейся при накоплении осадка в спокойных гидродинамических условиях. Но при этом во всех скважинах нередки отклонения коротких осей (K_3) от вертикали, вплоть до горизонтального положения, а длинные оси (K_1) ино-

гда располагаются вертикально, приобретая так называемую "обращенную" магнитную текстуру, характерную для однодоменного магнетита [11]. Для всех пород характерна близкая к изометричной форма магнитных частиц, фиксируемая значениями параметра степени анизотропии P , близкими к единице (в основном $< 1,15$ и лишь в единичных случаях достигающих значений 1,2...1,36). Частицы уплощенной формы преобладают в магнитной фракции над частицами вытянутой формы (см. рис. 1, в). Близость АМВ большинства исследуемых пород к первичной осадочной магнитной текстуре является благоприятной предпосылкой для палеомагнитных исследований. Исключение представляют относительно узкие интервалы в низах скв. 5 и верхах скв. 1.

Ориентируясь в первую очередь на результаты измерений K_m по неориентированным кусочкам керна как на наиболее массовые, готерив-барремские отложения исследуемых скважин расчленены на несколько петромагнитных комплексов (ПК), границы которых определялись по наиболее резким (скачкообразным) изменениям петромагнитных графиков (см. рис. 2). В качестве дополнительных критериев для уточнения границ петромагнитных подразделений использовались точки пересечения осредненной кривой K_m с вертикальной линией, соответствующей среднему значению параметра по разрезу (осредненная кривая строилась методом скользящего окна размером 5 образцов с шагом 1 образец). Для дополнительного обоснования петромагнитных рубежей привлекалось, по возможности, максимальное число параметров.

Все петромагнитные комплексы нетрудно дополнительно расчленить на петромагнитные интервалы, используя при этом те же принципы, что и при выделении ПК (на рис. 2 границы петромагнитных интервалов показаны пунктирными линиями). Однако это не имеет реального стратиграфического значения, потому что на данном этапе исследований, учитывая predetermined генезисом отложений фациальную пестроту, различия в темпах осадконакопления и наличие многочисленных перерывов, следует признать невозможность корректного прослеживания границ в разных разрезах не только петромагнитных интервалов, но и петромагнитных комплексов без привлечения независимых данных. Богатый фактический материал о магнитных свойствах пород (десятки параметров, отражающих вещественный состав, структурно-текстурные и концентрационные особенности ферромагнитной фракции) в сочетании с литолого-минералогическими характеристиками нуждается в комплексной обработке. Возможно, использование статистических методов, в том числе факторного и кластерного анализов, позволит выявить скрытые закономерности в распределениях магнитных свойств пород и надежно идентифицировать латерально устойчивые корреляционные реперы.

Палеомагнитным исследованиям в общей сложности подвергнуты 397 образцов с 271 уровнем. 271 обра-

зец (по одному образцу с каждого уровня) размагничивался переменным магнитным полем, еще 126 образцов-дублей размагничивались температурой. На каждом уровне по результатам магнитных чисток выделены компоненты естественной остаточной намагниченности. Как правило, J_n состоит из двух компонент: низко- и высококоэрцитивной (или низко- и высокотемпературной). Низко- и высококоэрцитивные компоненты выделяются преимущественно в диапазонах полей 0...15 и 10...70 мТл, соответственно, низко- и высокотемпературные составляющие – в интервалах температур 100...150 и 150...300 °C (редко до 400...500 °C), соответственно (рис. 3). Низкокоэрцитивные и низкотемпературные компоненты, вероятно, имеют вязкую природу. Высококоэрцитивные и высокотемпературные компоненты J_n в половине случаев (в образцах со 139 уровней, составляющих 51 % от общего числа исследуемых уровней) являются характеристическими (ChRM) с наклонениями I , соответствующими как прямой N , так и обратной R полярности. Максимальный угол отклонения ChRM менее 15°, что позволяет считать их надежно определенными [12].

Наклонения считались соответствующими прямой полярности, если I превышало +40°. Наклонения раннемелового геомагнитного поля, пересчитанные из ключевых палеомагнитных полюсов стабильной Европы (возрастом 130...110 млн лет) [13], для района исследований составляют 52...57°. Эти оценки очень приблизительны, поскольку не учитывают возможные наклоны пластов, а правомерность использования европейских полюсов для оценки величины I на данной территории дискуссионна (палеомагнитные данные по нижнему мелу Карпинско-Мангышлакского вала, впрочем, как и по нижнему мелу всей Скифско-Туранской эпигерцинской платформы, к сожалению, отсутствуют). Тем не менее, взяв их за основу и приняв во внимание амплитуду палеогеомагнитных вариаций, по аналогии с амплитудой современных вариаций – 10° [14], можно обоснованно предположить, что величины раннемеловых наклонений на территории Северного Каспия, скорее всего, не выходили за пределы диапазона 40...70°. Палеомагнитные векторы с еще более крутыми наклонениями с высокой вероятностью можно считать результатом перемагничивания пород современным полем. Поэтому компоненты намагниченности с $I > 75^\circ$ не интерпретировались как отражение полярности древнего поля. Образцы, в которых выделялись только компоненты J_n с $I > 75^\circ$, считались полностью перемагниченными и на соответствующих им в разрезах уровней геомагнитная полярность не определялась.

Первичная компонента обратной полярности антипараллельна вторичной, и даже незначительное разрушение одной из них приведет к существенному изменению их векторной суммы. Следствием этого будут большие разбросы наклонений результирующих компонент намагниченности (и в ряде случаев смещения направлений J_n в ходе магнитных чисток вдоль боль-

ших кругов) в широком диапазоне – от –84 до +20° и более (см. рис. 2).

В небольшом количестве образцов (в 18, что составляет менее 5 % от общего числа образцов), спорадически рассеянных по разрезам, наклонения находятся в диапазоне от +20 до +40°. Такие наклонения интерпретировались как тот же знак полярности, который свойственен вмещающим отложениям (как правило, образцы, в которых +20° < I < +40°, приурочены к интервалам обратной полярности).

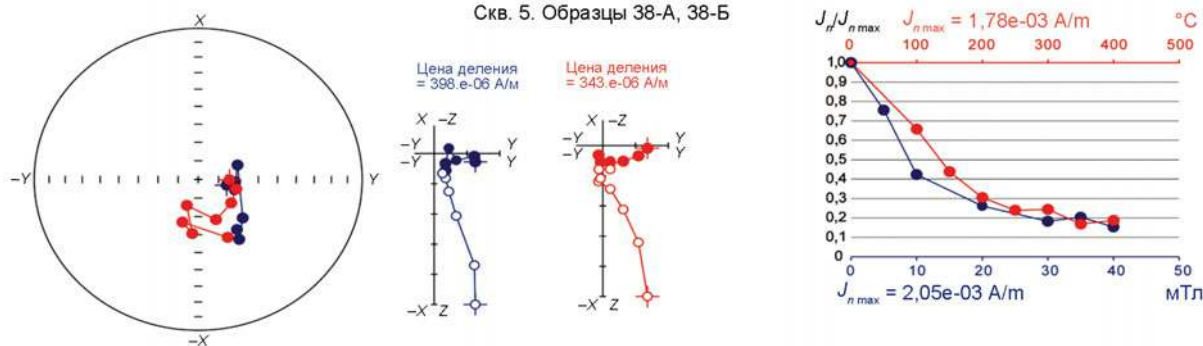
Несмотря на близкий возраст и сходный литологический состав, исследуемые разрезы дифференцированы по степени перемагничивания. Наибольшее число полностью перемагниченных уровней (с $I > +75^\circ$) обнаружено в скв. 5. Судя по завышенным (относительно прогнозируемых направлений раннемелового поля) наклонениям, соответствующим прямой полярности, большая часть отложений, вскрытых скв. 2, 3 и 4, частично перемагничены (вторичная компонента разрушена в них не полностью). Это обстоятельство не сказывается на определении знака полярности, потому что наличие первичной компоненты обратной полярности, неполное разрушение вторичной намагниченности формируют результирующий вектор с пологим или, по крайней мере, с аномально заниженным (< +40°) наклонением. Породы в скв. 1, судя по величине среднего наклонения (+61,9°), наиболее близкого к раннемеловым наклонениям, перемагничивание затронуло в наименьшей степени.

Результирующие палеомагнитные колонки разрезов (см. рис. 2) строились при соблюдении следующих правил:

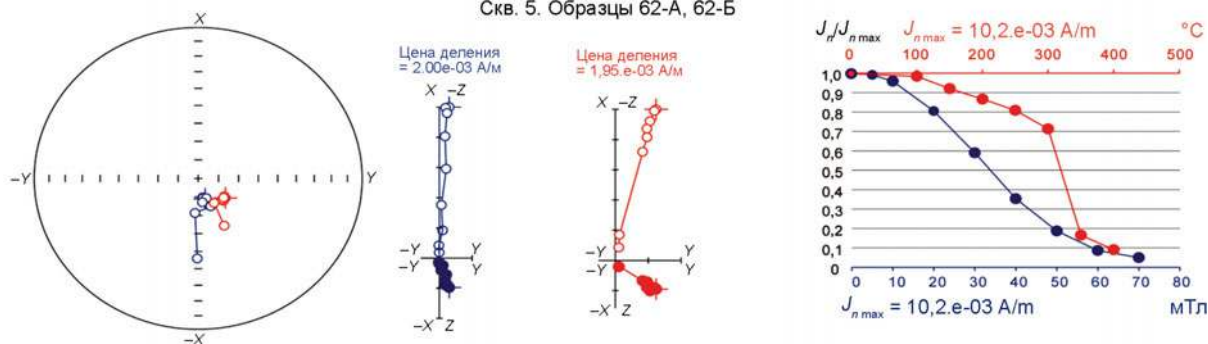
1. Для выделения магнитозоны необходимо ее обоснование образцами не менее чем с трех уровней подряд [15].
2. Магнитополярные интервалы, зафиксированные только на 1–2 уровнях, игнорировались, если они располагались внутри доминирующей полярности противоположного знака.
3. Единичные и двоянные перемагниченные уровни игнорировались, и в палеомагнитной колонке на их месте показывался знак полярности, свойственный вмещающим отложениям. Если единичные и двоянные перемагниченные уровни находились между участками с разной полярностью, то граница между разнополярными магнитозонами проводилась посередине перемагниченного интервала. Если на трех и более уровнях фиксировалось полное перемагничивание, то соответствующий интервал разреза отмечался в палеомагнитной колонке как пропуск в определениях полярности.

Разрезу скв. 1 свойственна доминирующая прямая полярность. Палеомагнитная колонка состоит из мало-мощной зоны обратной полярности Rb_R_1 (толщиной ~ 3 м) в подошве разреза и крупной зоны прямой полярности Rb_N_1 (~ 39 м), соответствующей вышележащим отложениям (см. рис. 2).

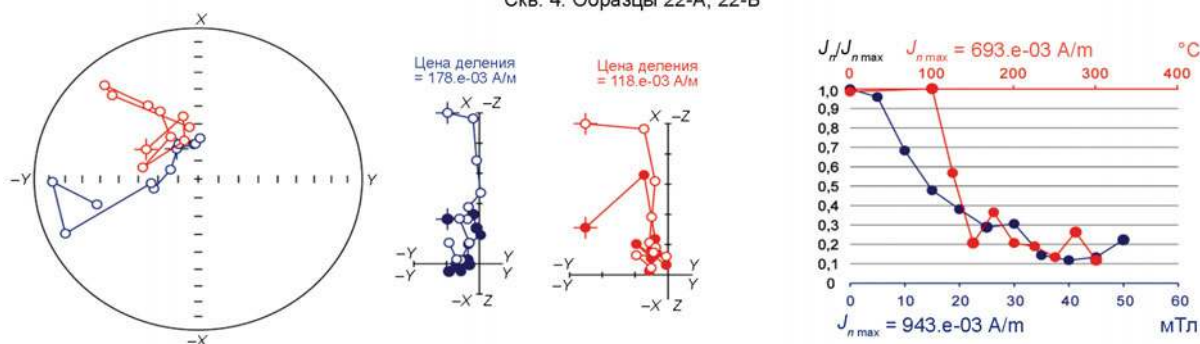
Скв. 5. Образцы 38-А, 38-Б



Скв. 5. Образцы 62-А, 62-Б



Скв. 4. Образцы 22-А, 22-Б



Скв. 3. Образцы 12-А, 12-Б

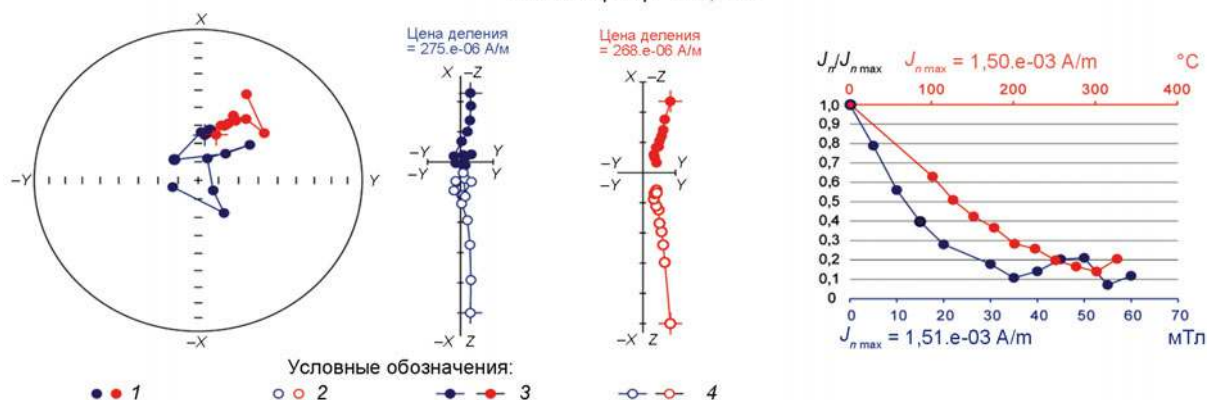


Рис. 3. Типичные результаты магнитных чисток (слева направо): стереографические изображения изменения векторов J_n в процессе чисток; диаграммы Зийдervельда (в системе координат образца); графики размагничивания образцов.

Условные обозначения: проекции J_n на нижнюю (1) и верхнюю (2) полусферы, горизонтальную (3) и вертикальную (4) плоскости. Синий и красный цвета соответствуют данным, полученным по результатам размагничивания переменным магнитным полем и температурой, соответственно

В палеомагнитной колонке скв. 2 выделены 6 магнитозон: 3 прямой полярности – Rk9b_N₁ (~ 6 м, образец 41-46), Rk9b_N₂ (~ 20 м, образец 14-33) и Rk9b_N₃ (~ 9 м, образец 1-8) и 3 обратной полярности – Rk9b_R₁ (~ 3 м, образец 47-49), Rk9b_R₂ (~ 6 м, образец 34-39), Rk9b_R₃ (~ 5 м, образец 9-13) (см. рис. 2).

В палеомагнитной колонке скв. 3 выделены 5 магнитозон: 3 прямой полярности – Rk9_N₁ (~ 18 м, образец 38-54), Rk9_N₂ (~ 11 м, образец 21-31) и Rk9_N₃ (~ 14 м, образец 1-14) и 2 обратной полярности – Rk9_R₁ (~ 6 м, образец 32-37), Rk9_R₂ (~ 6 м, образец 15-20).

В палеомагнитной колонке неокома скв. 4 выделены 3 магнитозоны: зона прямой полярности – Rk_N₁ (~ 5 м, образец 32-37) и две неравноценных по толщине зоны обратной полярности – Rk_R₁ (~ 20 м, образец 14-32), Rk_R₂ (~ 6 м, образец 1-6), разделенные крупным (~ 14 м) пропуском в определении полярности. Однако этот пропуск связан не столько с наличием трех подряд перемагнитненных уровней (образец 8-10), сколько с крупными пропусками (до 6 м) в представительности керна и знакопеременной полярностью на уровнях образцов 7, 11, 12, 13 (см. рис. 2).

Наиболее полный магнитостратиграфический разрез неокома скв. 5 состоит из чередования 7 магнитозон: 4 прямой полярности – VP_N₁ (~ 14 м, образец 69-80), VP_N₂ (~ 6 м, образец 53-58), VP_N₃ (~ 12 м, образец 15-27), VP_N₄ (~ 14 м, образец 1-11) и 3 обратной полярности – VP_R₁ (~ 8 м, образец 81-89), VP_R₂ (~ 10 м, образец 59-68), VP_R₃ (~ 3 м, образец 12-14). К сожалению, в этом разрезе имеется крупный перемагнитненный интервал (толщиной ~ 27 м, образец 28-52), на котором полярность не определена (см. рис. 2).

Важным признаком в пользу первичности намагнитченности является независимость знака полярности от особенностей вещественного состава пород. В данном случае индифферентность магнитозон к литологии и петромагнитным вариациям очевидна (см. рис. 2).

На гистограмме величин наклонений явно выделяются две области отрицательных и положительных наклонений ($-90^\circ < I < -40^\circ$ и $+50^\circ < I < +80^\circ$, соответственно), в пределах которых величины I распределены нормально (рис. 4). Средние значения наклонений в этих областях статистически совпадают по абсолютной величине: $-64,2^\circ$ и $64,4^\circ$. Этот факт нельзя рассматривать как аналог положительного результата теста обращения, но он, по крайней мере, не противоречит предположению о различии средних векторов J_n , соответствующих обратной и прямой полярностям, на 180° .

Как свидетельство в пользу первичности намагнитченности можно расценить большой разброс палеомагнитных наклонений, соответствующих как прямой, так и обратной полярности, если усмотреть в нем влияние палеогеомагнитных вариаций, не осредненных из-за высокой скорости осадконакопления.

В верхах четырех из пяти изученных разрезов (за исключением скв. 1) фиксируются магнитозоны обратного знака небольшой толщины (от 3 до 6 м) на фоне прямой полярности (рис. 2, 5). Возможно, что магнитозоны, проиндексированные как VP_R₃, Rk_R₂, Rk9_R₂ и Rk9b_R₃, являются возрастными аналогами. Если это предположение будет согласовываться с независимыми, в том числе палеонтологическими данными, то латеральная устойчивость магнитозоны обратной полярности будет еще одним веским аргументом в пользу первичности намагнитченности и правомерности использования полученных данных в магнитостратиграфических целях.

Корреляция палеомагнитных колонок и сопоставление выделенных магнитозон с хронами шкалы геомагнитной полярности (GPTS) затруднены вследствие огромного количества перерывов разной длительности и крайне неравномерной скорости осадконакопления при формировании исследуемых толщ. Магнитозоны, обоснованные малым числом образцов (с трех уровней) могут быть ложными ввиду возможного нарушения ориентировки (перевернутости) керна. Подобные опасения усугубляются при весьма фрагментарной сохранности керна из некоторых скважин. В то же время некоторые интервалы того или иного знака полярности, зафиксированные по образцам с 1–2 уровнями, могут оказаться напрасно отбракованными при построении палеомагнитных колонок.

Несмотря на все перечисленные препятствия, нет оснований сомневаться в объективности выделения наиболее крупных магнитозон (толщиной десятки метров, обоснованных десятками образцов) – Rk_R₁ и Rb_N₁. Исходя из рационального предположения о малой вероятности формирования монополярных интервалов в эпохи знакопеременной полярности (даже в специфических и пестрых условиях осадконакопления в литорали), идентификация крупных магнитозон с известными хронами не вызывает особых затруднений. Самая большая по толщине (~ 21 м) зона Rk_R₁ в скв. 4,

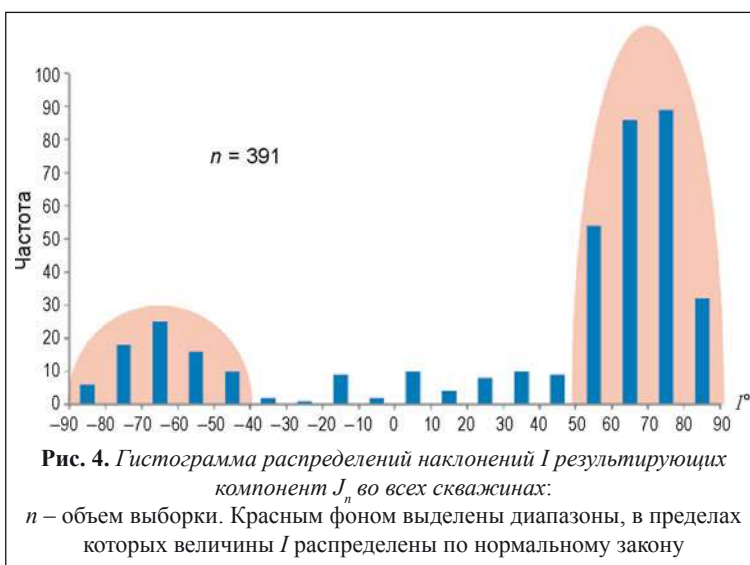


Рис. 4. Гистограмма распределений наклонений I результирующих компонент J_n во всех скважинах:

n – объем выборки. Красным фоном выделены диапазоны, в пределах которых величины I распределены по нормальному закону

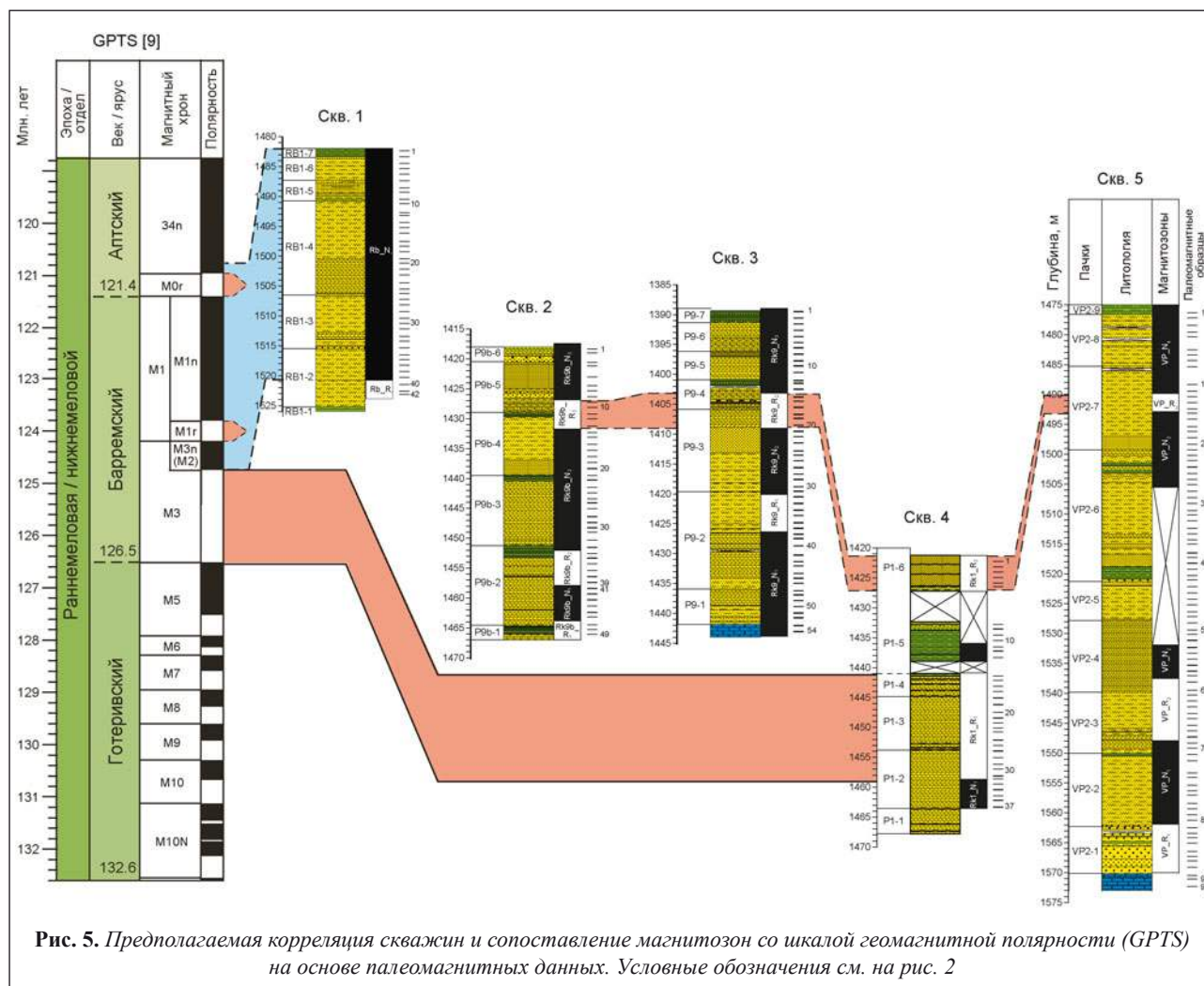


Рис. 5. Предполагаемая корреляция скважин и сопоставление магнитозон со шкалой геомагнитной полярности (GPTS) на основе палеомагнитных данных. Условные обозначения см. на рис. 2

скорее всего, соответствует самому длительному из готеривских–барремских магнитных хронов обратной полярности – раннебарремскому хрону M3. Наиболее мощная (~ 38 м) магнитозона прямой полярности Rb_N в скв. 1 наверняка образовывалась в эпоху доминирующего нормального поля, наступившую после M3. В принципе, она может отвечать любому из хронов прямой полярности – M2, M1n, 34n или их суперпозиции (рис. 5). Идентификация остальных магнитозон, даже предположительная, возможна только при комплексном анализе палеомагнитных и палеонтологических данных о возрасте отложений.

Выводы

1. Изученные породы пригодны к магнитостратиграфическому изучению. Палеомагнитные данные в сочетании с данными микропалеонтологических исследований способствуют наиболее детальному сопоставлению скважин и уточнению возраста отложений. Поэтому перспективность продолжения палеомагнитных исследований неокма Северного Каспия для повыше-

ния эффективности геолого-разведочных работ в этом регионе представляется очевидной.

2. В исследуемых разрезах выявлены магнитозоны геомагнитной полярности – аналоги барремских магнитных хронов, которые являются ценными корреляционными реперами. Отождествление готеривских магнитозон с хронами GPTS пока остается проблематичным из-за сложной палеомагнитной зональности готеривского яруса. Однако по мере накопления данных сводный палеомагнитный разрез неокма Северного Каспия будет совершенствоваться и, вероятно, станет результативным стратиграфическим инструментом для всей готеривской–барремской толщи.

3. Графики удельной магнитной восприимчивости K_m могут быть использованы для точной увязки каротажных диаграмм с каменным материалом благодаря несомненному сходству (во многих случаях вплоть до деталей) кривых K_m и гамма-каротажа (GR). Петромагнитная ритмичность, наряду с вариациями каротажных характеристик, может быть использована для дополнительного обоснования границ литолого-стратиграфических подразделений. Однако в целом стратиграфическая информативность магнитных свойств пород готе-

рив-баррема оказалась на данном этапе исследований значительно ниже, чем, например, при исследованиях пограничного интервала юры–мела Северного Каспия, проводимых ранее [6, 7]. Но было бы наивно полагать, что в толщах, изобилующих перерывами неизвестной длительности и существенно различающихся по темпам осадконакопления, петромагнитные характеристики окажутся столь же эффективными для выполнения детальных корреляций, как и в глубоководных морских разрезах. Огромный, уникальный по разнообразию петромагнитных параметров массив данных подвергнут пока только первичной статистической обработке. Для раскрытия своего стратиграфического потенциала он нуждается в математической обработке с использованием корреляционного, кластерного, факторного и других методов статистического анализа, направленных на поиск критериев для прослеживания латерально устойчивых уровней и выявление скрытых пока закономерностей в истории формирования пород.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Храмов А.Н. О палеомагнетизме как основе нового метода корреляции и расчленения осадочных толщ // ДАН СССР. – 1957. – Т. 112. – № 5. – С. 849–852.
2. Гужиков А.Ю., Молостовский Э.А. Стратиграфическая информативность численных магнитных характеристик осадочных пород (методические аспекты) // Бюл. МОИП. Отд. геол. – 1995. – Т. 70. – Вып. 1. – С. 32–41.
3. Молостовский Э.А., Храмов А.Н. Магнито-стратиграфия и ее значение в геологии. – Саратов: Изд-во Саратовского гос. ун-та, 1997. – 180 с.
4. Гужиков А.Ю. Геологическая информативность магнетизма керна и шлама осадочных пород, полученных при бурении разведочных скважин // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2013. – № 4(46). – С. 51–61.
5. Стратиграфический кодекс России / Отв. ред. А.И. Жамойда. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2019. – 96 с.
6. Пограничные юрско-меловые отложения акватории Среднего Каспия: строение, стратификация и перспективы нефтегазоносности (на примере Сарматско-Хвалынской зоны поднятий) / М.В. Смирнов, С.Ю. Штунь, О.И. Смирнова, П.Ф. Попова // Нефт. хоз-во. – 2019. – № 8. – С. 22–26. – DOI: 10.24887/0028-2448-2019-8-22-26
7. Результаты био- и литостратиграфических исследований карбонатных верхнеюрско-нижнемеловых продуктивных отложений Прикумско-Центрально-Каспийской системы прогибов и поднятий (Северный Каспий) / Е.Ю. Барабошкин, А.Ю. Гужиков, А.Б. Кузнецов [и др.] // Геология нефти и газа. – 2025. – № 2. – С. 73–90. – DOI: 10.47148/0016-7894-2025-2-73-90
8. Смирнова О.И., Алексеев А.Г., Смирнов М.В. Опыт применения магнито-стратиграфических исследований для детальной стратификации терригенных отложений нижнего мела акватории Северного Каспия (на примере месторождения им. В. Филановского) // Геология, геофизика и раз-

- работка нефтяных и газовых месторождений. – 2023. – №4(376). – С. 36–41. – DOI: 10.33285/2413-5011-2023-4(376)-36-41
9. Gradstein F.M., Ogg J.G., Schmitz M.D. Geologic Time Scale 2020. – Amsterdam, Oxford, Cambridge: Elsevier, 2020. – 1390 p.
 10. Литолого-фациальные особенности готерив-барремских отложений Северного Каспия / О.И. Смирнова, А.Г. Алексеев, Е.Ю. Барабошкин, М.В. Смирнов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2025. – № 2(398). – С. 14–24.
 11. Lanza R., Meloni A. The Earth's Magnetism: An Introduction for Geologist. – Springer, 2006. – 278 p.
 12. Butler R.F. Paleomagnetism: magnetic domains to geologic terranes // Blackwell Sci. Publ. – Boston, 1992. – 319 p.
 13. 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. – Pp. 1–31.
 14. Бахмутов В.Г. Палеомагнитные вариации. – Киев: Наукова думка, 2006. – 295 с.
 15. Храмов А.Н., Шолто Л.Е. Палеомагнетизм. – Л.: Недра, 1967. – 224 с.

REFERENCES

1. Khramov A.N. O paleomagnetizme kak osnove novogo metoda korrelyatsii i raschleneniya osadochnykh tolshch // DAN SSSR. – 1957. – T. 112. – № 5. – S. 849–852.
2. Guzhikov A.Yu., Molostovskiy E.A. Stratigraficheskaya informativnost' chislennykh magnitnykh kharakteristik osadochnykh porod (metodicheskie aspekty) // Byul. MOIP. Otd. geol. – 1995. – T. 70. – Vyp. 1. – S. 32–41.
3. Molostovskiy E.A., Khramov A.N. Magnitostratigrafiya i ee znachenie v geologii. – Saratov: Izd-vo Saratovskogo gos. un-ta, 1997. – 180 s.
4. Guzhikov A.Yu. Geologicheskaya informativnost' magnetizma kerna i shlama osadochnykh porod, poluchennykh pri burenii razvedochnykh skvazhin // Pribory i sistemy razvedochnoy geofiziki. – 2013. – № 4(46). – S. 51–61.
5. Stratigraficheskiy kodeks Rossii / Otv. red. A.I. Zhamoyda. – SPb.: Izd-vo VSEGEI, 2019. – 96 s.
6. Pogranichnye yursko-melovye otlozheniya akvatorii Srednego Kaspiya: stroenie, stratifikatsiya i perspektivy neftegazonosnosti (na primere Sarmatsko-Khvalynskoy zony podnyatiy) / M.V. Smirnov, S.Yu. Shtun', O.I. Smirnova, P.F. Popova // Neft. khoz-vo. – 2019. – № 8. – S. 22–26. – DOI: 10.24887/0028-2448-2019-8-22-26
7. Rezul'taty bio- i litostratigraficheskikh issledovaniy karbonatnykh verkhneyursko-nizhnelovyykh produktivnykh otlozheniy Prikumsko-Tsentr'al'no-Kaspiyskoy sistemy progibov i podnyatiy (Severnnyy Kaspiy) / E.Yu. Baraboshkin, A.Yu. Guzhikov, A.B. Kuznetsov [i dr.] // Geologiya nef'ti i gaza. – 2025. – № 2. – S. 73–90. – DOI: 10.47148/0016-7894/0016-7894-2025-2-73-90
8. Smirnova O.I., Alekseev A.G., Smirnov M.V. Opyt primeneniya magnitostratigraficheskikh issledovaniy dlya detal'noy stratifikatsii terrigenykh otlozheniy nizhnego mela akvatorii Severnogo Kaspiya (na primere mestorozhdeniya im. V. Filanovskogo) // Geologiya, geofizika i razrabotka nef'tyanykh i gazovykh mestorozhdeniy. – 2023. – №4(376). – S. 36–41. – DOI: 10.33285/2413-5011-2023-4(376)-36-41
9. Gradstein F.M., Ogg J.G., Schmitz M.D. Geologic Time Scale 2020. – Amsterdam, Oxford, Cambridge: Elsevier, 2020. – 1390 p.

10. *Litologo-fatsial'nye osobennosti goteriv-barremskikh otlozheniy Severnogo Kaspiya* / O.I. Smirnova, A.G. Alekseev, E.Yu. Baraboshkin, M.V. Smirnov // *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy*. – 2025. – № 2(398). – S. 14–24.
11. Lanza R., Meloni A. *The Earth's Magnetism: An Introduction for Geologist*. – Springer, 2006. – 278 p.
12. Butler R.F. *Paleomagnetism: magnetic domains to geologic*

- terrane* // *Blackwell Sci. Publ.* – Boston, 1992. – 319 p.
13. 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. – Pp. 1–31.
14. Bakhmutov V.G. *Paleovekovye geomagnitnye variatsii*. – Kiev: *Naukova dumka*, 2006. – 295 s.
15. Khramov A.N., Sholpo L.E. *Paleomagnetizm*. – L.: Nedra, 1967. – 224 s.

Информация об авторах

Андрей Юрьевич Гузиков, д-р геол.-минерал. наук, заведующий кафедрой
Ольга Игоревна Смирнова, ведущий инженер
Михаил Викторович Смирнов, начальник отдела
Артём Сергеевич Штунь, ведущий геолог

Information about the authors

Andrey Yu. Guzhikov, DSc (geol.-mineral.), head of the Department
Olga I. Smirnova, leading engineer
Mikhail V. Smirnov, head of the Department
Artem S. Shtun, leading geologist

Статья поступила в редакцию 14.06.2025; одобрена после рецензирования 10.07.2025; принята к публикации 20.07.2025.



ЦЕНТР КОЛЛЕКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

Центр коллективного пользования Губкинского университета предоставляет открытый доступ к современному научному оборудованию и уникальным научным установкам для решения широкого спектра исследовательских задач в рамках научных направлений:



**ПОИСК И ДОБЫЧА
УГЛЕВОДОРОДОВ**



**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ,
ДИАГНОСТИКА И БЕЗОПАСНОСТЬ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**



**ХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ
УГЛЕВОДОРОДОВ**

ЦКП Губкинского университета реализует комплексный подход к выполнению исследований для осуществления научно-технических проектов и решения междисциплинарных задач углеводородной, углеродной, водородной энергетики и рационального природопользования.

Научные сотрудники ЦКП Губкинского университета осуществляют поддержку и сопровождение полного цикла реализации проекта (от разработки и согласования уникальной методики испытаний до внедрения новых поколений технологических объектов) с экспертной оценкой полученных результатов.

Контактное лицо:
Кошкина Елена Анатольевна

E-mail: ckp@gubkin.ru
Телефон: +7 (499) 507-86-18
 +7 (926) 189-79-11



СКП.GUBKIN.RU