

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра геофизики

**«МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА
КАМΠΑНСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ БАССЕЙНА РЕКИ КАЧА
(ЮГО-ЗАПАДНЫЙ КРЫМ)»**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студента 2 курса 261 группы
очной формы обучения
геологического факультета,
направления 05.04.01 «Геология»,
профиль «Геофизика при поисках нефтегазовых месторождений»
Мельника Алексея Владимировича

Научный руководитель:
к. г.-м.н., доцент

подпись, дата

Маникин А.Г.

Зав. кафедрой:
к.г.-м.н., доцент

подпись, дата

Волкова Е.Н.

Саратов 2024

Введение. В основу выпускной квалификационной работы положены результаты палеомагнитного и петромагнитного изучения опорного разреза кампанских отложений в Юго-Западном Крыму на правом склоне долины р. Кача в районе с. Кудрино. Мною проведены исследования вышележащих кампанских отложений в трех разрезах – Кудрино-3, Кудрино-4 и Кудрино-5. Целью квалификационной работы было получение петромагнитных и палеомагнитных данных по разрезам Кудрино-3, -4, -5, построение сводного разреза кампана долины р. Кача и геологическая интерпретация полученных данных.

Для достижения цели необходимо было решить ряд задач:

- полевое изучение разреза и отбор ориентированных образцов;
- предварительная подготовка коллекции для проведения лабораторных палео- и петромагнитных исследований;
- лабораторная обработка коллекций
- компонентный анализ, статистическая обработка полученных данных.

Полевое изучение и опробование разрезов были проведены сотрудниками лаборатории Петрофизики СГУ в 2022 году. Предварительная подготовка, лабораторная обработка образцов и геологическая интерпретация полученных данных проводились автором в учебно-научной лаборатории петрофизики СГУ.

Работа состоит из следующих разделов:

- Введение
- Основное содержание работы
 - 1 Краткая характеристика района исследований
 - 2 Методика лабораторных исследований
 - 3 Результат работ
 - 4 Сводный магнитостратиграфический разрез кампана ЮЗ Крыма
- Заключение

Основное содержание работы: 1 Краткая характеристика района исследований. 1.1 Физико-географическая характеристика Крыма Район исследования, находящийся возле села Кудрино, представляет собой местность, которая сформировалась под влиянием разнообразных природных и антропогенных условий. Географически данный участок работ расположен на западном берегу Крыма, в пределах Бахчисарайского региона, в речном бассейне Качи. Самыми близкими крупными поселениями являются города Симферополь и Бахчисарай. Рельеф района представляет собой правый склон долины реки Кача с плавным переходом от равнинной части к холмистой. В основном, местность характеризуется холмистым рельефом с перепадами высот до 50-60 метров. Гидрография: Река Кача является главной водной артерией района. Она берет свое начало на северных склонах Главной гряды Крымских гор и впадает в Черное море. Кроме того, в районе встречаются небольшие ручьи и родники, обеспечивающие население водой. Климат района - континентальный с засушливым летом и мягкой зимой. Средняя температура летом составляет около +25-27 градусов, зимой - около +4-6 градусов. Количество осадков варьируется от 250 до 450 мм в год.

1.2 Геологическая характеристика Крыма Геологическое строение Крымского полуострова весьма сложное, что связано с его уникальным тектоническим положением. Горный Крым и Керченский полуостров являются частью Альпийской геосинклинальной складчатой области, которая образует обширный пояс, простирающийся через всю Южную Европу и охватывающий побережья Средиземного и Чёрного морей, продолжаясь в Южную Азию. Горный Крым вместе с Керченским полуостровом представляет одно из окраинных больших антиклинальных поднятий — мегантиклинорий, которые вытянуты вдоль границы этой складчатой области и ограничивающей ее с севера платформы. Подобными же антиклинальными поднятиями является Большой Кавказ, Балканский хребет, Восточные Карпаты и др.

1.3. Геологическая характеристика кампана долины р. Кача Разрезы Кудрино-1 -2 -3 -4 -5 расположены в Бахчисарайском районе.

Разрез оврага Аксу-дере (так называемый 3168, наблюдаемая мощность 31 метр, расположен в 2,2-2,3 км к северу от села Кудрино), начинается с поверхности прохладненского пласта (верхний турон – нижний коньяк). Открытая основа разреза находится в глубоком овраге на склоне (координаты начала разреза: 44°43'27,0" северной широты, 33°56'52,0" восточной долготы). Далее разрез продолжается вдоль грунтовой дороги на водораздел и затем вдоль небольшого оврага в лесу до вершины водораздела (координаты взятия образца 3168-42, после которого продолжается опробование разреза вдоль этого оврага: 44°43'26,9", 33°56'54,6").

Разрез Кудрино-2 (т.н. 3184, видимая мощность 43 м) расположен на северо-восточной окраине с. Кудрино. Низы разреза, частично задернованные, расположены в бортах небольшого оврага, практически сразу за домами (координаты начала разреза: 44°42'15.0" с.ш., 33°56'49.5" в.д.), а верхняя часть – в небольшой промоине на продолжении этого оврага, выше пересечения с грунтовой дорогой, ведущей на водораздел (координаты конца разреза: 44°42'17.8" с.ш., 33°56'47.6" в.д.). Подошва сантонских известняков кудринской свиты здесь не вскрывается.

Разрезы Кудрино-3 (44°42'20.50" с.ш., 33°56'9.90" в.д.), Кудрино-4 (44°42'31.10" с.ш., 33°56'6.60" в.д.) и Кудрино-5 (44°42'25.50" с.ш., 33°55'58.10" в.д.) расположены между сс. Кудрино и Машино. Во всех пяти разрезах слои залегают согласно и наклонены к северо-западу. Азимуты падения варьируют от 292° до 340° (в основном 310°–330°), а углы падения от 6°30" до 19° (в основном 10°–13°). Все разрезы имеют схожее строение, литологически весьма однородны, представлены мергелями и глинистыми мергелями (кудринская свита).

2 Методика лабораторных исследований. 2.1 Петромагнитные и магнито-минералогические исследования *Лабораторные исследования.*

С целью определения пригодности образцов для проведения палеомагнитных определений, а также получения дополнительной информации о вещественном составе и условиях формирования отложения проводились петромагнитные исследования. Исследования включали измерения магнитной восприимчивости (K), анизотропии магнитной восприимчивости (AMB), термокаппы (Kt), естественной остаточной намагниченности (J_n), остаточной намагниченности насыщения (J_{rs}) и ряда расчетных параметров, таких как отношение K/J_{rs} , приращение магнитной восприимчивости после прогрева образцов до 500°C $dK=Kt-K$, и параметр Кенигсбергера (Q). Снятие кривых насыщения, обычно, прекращалось после разрушения J_{rs} , но дополнительно измерялась остаточная намагниченность после воздействия полем 300 мТл, антипараллельным J_{rs} , для расчета параметра $S = |J_r(300)/ J_{rs}|$. Параметр S отражает магнитную жёсткость зерен ферромагнитных минералов и может колебаться от 0 до 1 . Значения, близкие к 1 , указывают на преобладание зерен “мягких” магнитных минералов. Магнитно-минералогический анализ выборочных образцов проводился через опыты магнитного насыщения и термомагнитный анализ (ТМА) в двух формах: исследование температурных зависимостей намагничивания и магнитной восприимчивости. *Каппаметрический* анализ проводится путем измерения параметра K и часто используется для получения оперативной информации о концентрации парамагнитных и ферромагнитных минералов в породе. Этот метод позволяет быстро и экономично разделять, и сопоставлять слои породы с высокой точностью. *Термокаппаметрический* анализ измерения увеличения магнитной восприимчивости образцов горных пород после их нагрева до 500°C в окислительной среде ($dK=Kt-K$, где K – магнитная восприимчивость, Kt – магнитная восприимчивость после нагрева). Это увеличение происходит из-за превращения изначально немагнитного пирита в высокомагнитный магнетит. Сульфиды железа и сидерит также обладают аналогичным эффектом. Для точного истолкования термокаппаметрических

данных обычно достаточно информации о начальной магнитной восприимчивости в сочетании с результатами магнитно-минералогического анализа по выборочным образцам. При отсутствии других магнитных фаз, кроме магнетита, после нагрева происходит спад величин K , за счет частичного окисления Fe_3O_4 . Высокая вариативность параметра dK (от значений близких к нулю до многих тысяч 10^{-5} ед. СИ) позволяет эффективно использовать его для дополнительного расчленения разрезов, а информация об изменениях в концентрациях тонкодисперсного пирита весьма актуальна для реконструкций геохимических обстановок в придонных слоях палеобассейна.

3 Результаты работ. 3.1 Магнито-минералогическая характеристика

В исследуемых разрезах кампана Кудрино -3, -4, -5 фиксируется магнитомягкая фаза с низкими значениями полей магнитного насыщения ($90-200 \cdot 10^{-3}$ мТл) и коэрцитивной силы (20-50 мТл), типичная для тонкодисперсного магнетита. Аналогичные параметры магнитного насыщения характерны и для разрезов Кудрино-2 и Кудрино-1. Результаты магнитного насыщения согласуются с результатами термомагнитного анализа, полученными ранее по разрезу Кудрино-2, свидетельствующими о главной роли тонкодисперсного магнетита в качестве главного носителя намагниченности.

3.2 Петромагнитная характеристика В петромагнитном отношении практически все изученные отложения характеризуются минимальной естественной магнитностью: $K < 2 \cdot 10^{-5}$ ед.СИ, $J_n < 1 \cdot 10^{-3}$ А/м. Несмотря на это, в разрезах присутствуют четкие закономерности в вертикальных распределениях петромагнитных параметров. Значения магнитной восприимчивости в Кудрино-3 обнаруживают очевидный тренд к убыванию вверх по разрезу (от $2.1 \cdot 10^{-5}$ ед.СИ в основании разреза до $0.3 \cdot 10^{-5}$ ед.СИ в верхах). Аналогичный тренд в этом разрезе обнаруживает и распределение J_n (от $0.01 \cdot 10^{-3}$ А/м в основании разреза до $0.06 \cdot 10^{-3}$ А/м в верхах). В разрезах

Кудрино-4, -5 значимых вариаций магнитной восприимчивости не отмечается, величины K варьируют около $1 \cdot 10^{-5}$ ед.СИ в незначительных пределах. Но по J_n разрез Кудрино-5 выделяется повышенными значениями параметра (до $0.7 \cdot 10^{-3}$ А/м). Разрез Кудрино-3 отмечается пониженными значениями параметра dK (от 0.1 до $0.8 \cdot 10^{-5}$ ед.СИ), а вот разрезах Кудрино-4, -5 наоборот наблюдается существенное повышение значений (от 0.07 до $2.4 \cdot 10^{-5}$ ед.СИ). Графики J_{rs} по Кудрино-3 и Кудрино-4 обнаруживают тренды к уменьшению значений вверх по разрезу. В Кудрино-4, напротив, J_{rs} возрастает к верхам разреза. Вероятно, в целом по сводному разрезу вариации J_{rs} носят циклический характер. Низкие значения фактора Q (<1) во всех разрезах и вероятно указывают на аллотигенную природу генезиса ферромагнитных зёрен. Исключением является интервал повышенных значений фактора Q (>1), в низах разреза Кудрино-4. Значения параметра V_{cr} мало отличаются в изученных разрезах (от 15 до 30 мТл). Вертикальные вариации параметра невыразительны. На графиках K/J_{rs} во всех разрезах наблюдаются контрастные чередования интервалов, повышенных (от 0.1 до $0.32 \cdot 10^{-3}$ А/м) и пониженных ($0.01 - 0.1 \cdot 10^{-3}$ А/м) значений по сводному разрезу Кудрино-3, -4, -5. Фактор S практически не меняется во всех трёх разрезах ($S=0.9 - 1$), за исключением двух уровней с аномально низкими значениями параметра: обр. 11 в Кудрино-3 и обр. 10 в Кудрино-4. Очевидно, аномальные уровни связаны с повышенным количеством магнитожёстких минералов (сильно дегидратированных гидроокислов железа или гематита). Показатель магнитной анизотропии, в разрезах Кудрино-3 и Кудрино-5, варьирует от 1 до 1.2 – 1.3, указывая на близкую к изометричной форму ферромагнитных частиц, в Кудрино-4 наблюдается показатель от 1 до 18.9. Превышение длинной оси магнитного эллипсоида над короткой \sim в 19 раз – это самая большая анизотропия, зафиксированная в единственном образце. В половине образцов из разреза Кудрино-4 анизотропия, хотя и велика, но изменяется в пределах от 2 до 4.3. Возможно, высокая степень анизотропии связаны с наличие

пеплового материала. В стереографических распределениях проекций осей магнитных эллипсоидов также наблюдаются некоторые закономерности.

3.3 Палеомагнитная характеристика В процессе *Н*-чисток применялись поля до 20 мТл, а в отдельных случаях до 30-40 мТл. Более высокие значения поля использовать невозможно, так как при этих значениях величина намагниченности становится сравнимой с погрешностью измерительного прибора, а направления \mathbf{J}_n изменяются хаотично. Средние величины \mathbf{J}_n (в среднем $< 0,03 \cdot 10^{-3} \text{ А/м}$) являются причиной достаточно невысокого качества диаграмм Зийдervельда, построенных по результатам измерений как на JR-6. Но всё равно, примерно на половине диаграмм разрезов Кудрино-3, -4, -5 удастся выделить участки, при аппроксимации которых прямолинейными отрезками максимальный угол отклонения (MAD) менее 15° (в противном случае компоненты \mathbf{J}_n не выделялись). В образцах с 24 уровнями выделены характеристические компоненты намагниченности (ChRM), при расчете которых центр координат учитывался в качестве конечной точки как показано на рисунках 11, 12, 13. Если аппроксимирующая интервал диаграммы прямая существенно отклонялась от направления к началу координат, то дополнительные точки в расчеты не включались, а выделенные компоненты намагниченности, условно, назывались «стабильными» (\mathbf{J}_{st}). В образцах с 23 уровнями никаких компонент \mathbf{J}_n выделить не удалось. *Термочистки*, выполненные в диапазоне от 100° до 400°C , с шагом 50°C , оказались достаточно результативными (на 18 уровнях удалось выделить ChRM). В разрезах Кудрино-3, -4, -5 наблюдается очень большой разброс направлений ChRM как показано на рисунках 14 - 15. Подобный аномальный разброс может быть связан с вулканогенной кластикой. Следуя определению палеомагнитного экскурса, как отклонению полюса от своего среднего положения на 45° и более, соответствующие этому критерию уровни исключены при расчетах палеомагнитной статистики.

4 Сводный магнитостратиграфический разрез кампана ЮЗ Крыма

Стратиграфические выводы. По полученным данным можно дополнить ранее изученные разрезы Кудрино -2, -1 и сформировать некоторый общий стратиграфический вывод.

По Кудрино-2 значительно дополнена палеонтологическая и биостратиграфическая характеристика пограничного интервала сантона–кампана Юго-Западного Крыма. В сводном разрезе зафиксированы важнейшие биотические события, маркирующие границу сантона–кампана: LO криноидей *Marsupites testudinarius*, FO *B. parca parca* (основание зоны UC14/CC18 по наннопланктону) и LO *D. concavata/asymetrica* при постоянном присутствии *Gl. elevata/stuartiformis* (основание зоны *Gl. elevata* по ПФ).

В разрезе Кудрино-1 установлен уровень границы нижнего и верхнего кампана ОСШ и европейской шкалы, подтверждаемый разными группами биоты и другими методами. Биостратиграфически наиболее убедительно этот уровень определяется по смене комплексов бентосных фораминифер и проводится по появлению *Brotzenella monterelensis*. Подошва слоев с *Brotzenella monterelensis*, *Cibicides veltziana* (БФК-7) в разрезе Кудрино-1 почти совпадает с границей магнитных хронов C33r и C33n и с началом изотопного события $\delta^{13}\text{C}$ МСаЕ. Обнаруженная в разрезах Кудрино-3, -4, -5 магнитозона обратной полярности R2, возможно, является аналогом магнитного хрона C32r.2r или C32r.1r, или их суперпозиции. Если это предположение верно, то тем самым решается актуальная стратиграфическая задача: выявление синронного корреляционного уровня, позволяющего проводить детальные сопоставления удаленных разрезов кампана в глобальном масштабе. С точки зрения палеомагнитной корреляции отложения в разрезе Кудрино-3 (интервал обр. от 11 до 20) соответствуют зоне по аммонитам *Baculites compressus* (*Baculites cuneatus*?) в Северной Америке, так же зоне по планктонным фораминиферам *Globotrunc. aegyptiaca* в Западной Европе и зоне по иноцерамам “*Inoceramus*” *altus*. Высокие значения J_n и

фактора Q довольно ритмичны что может говорить нам о перерывах, во время которых осадок биотурбируется в норках возникают аутигенные минералы которые приобретают химическую намагниченность и в следствии чего мы наблюдаем повышение значения J_n , повышенные значения B_{cr} может быть связано с магнитожесткими гидроксидами железа – продуктами окисления магнетита (титаномагнетитов) и/или пирита. По термомагнитным кривым магнетит (как и другие магнитные фазы) диагностировать не удалось, ввиду крайне малой концентрации ферромагнетиков. Однако в соседнем разрезе Кудрино-2, в котором вскрываются низы подпачки XVIa, на некоторых кривых ТМА были зафиксированы малозаметные перегибы в районе температуры Кюри $Fe_3O_4 - 578^\circ C$, а также термомагнитные эффекты, характерные для титаномагнетитов из вулканических пеплов. Высокие значения фактора Q с высокой вероятностью указывают на химическую природу намагниченности. Низкие Q , в совокупности с магнитной текстурой, близкой к осадочной, свидетельствуют в пользу ориентационного (посториентационного) генезиса J_n . В общем и целом, магнитная текстура изученных отложений соответствует первичной текстуре осадков с аллотигенными ферромагнетиками, что является благоприятной предпосылкой для сохранности первичной намагниченности, что в свою очередь говорит о довольно стабильных условиях осадконакопления, как показано в главе 3.2 на рисунке 9. Снижение магнитной жёсткости вверх по разрезу связано с менее интенсивным окислением магнетитовых зёрен что в свою очередь обычно связывают с климатом. В данном случае можно предположить о гумидизации климата. Сводная кривая магнитной восприимчивости по разрезу Кудрино обнаруживает в главных чертах сходство с глобальными эвстатическими циклами. Повышенное значение магнитной восприимчивости соответствует глобальным регрессиям, а пониженная соответственно глобальным трансгрессиям поэтому можно предположить, что в целом по сводному разрезу кривая K отражает

глобальные эвстатические тренды, это предположение основано на том что вариация величин магнитной восприимчивости зависит от терригенного матерела. Несмотря на то что примеси вулканогенного материала безусловно портят полезный сигнал.

Заключение. Все цели, которые были поставлены, были успешно достигнуты. Одним из ключевых моментов было проведение полевого исследования, которое осуществил коллектив лаборатории петрофизики СГУ. Мне же доверили выполнение лабораторной обработки коллекций, включая измерения магнитной восприимчивости и её анизотропии, естественной остаточной намагниченности и получение гистерезисных и термокаппаметрических характеристик. Я также провёл магнитные чистки переменным полем и температурой на разрезах Кудрино-3, -4, -5. До начала моей работы в лаборатории Петрофизики были обработаны и опубликованы данные по разрезам Кудрино-1, -2. Главным результатом моей деятельности стало построение сводного магнитостратиграфического разреза кампанских отложений близ с. Кудрино, на основе которого уточнен возраст отложений и реконструированы важные особенности осадконакопления на основе анализа петромагнитных характеристик. При сопоставлении палеомагнитной колонки сводного разреза с Шкалой геомагнитной полярности две магнитозоны обратного знака могут быть идентифицированы как хроны C33r и C32r соответственно. Это позволяет решить актуальную задачу изохронной трансрегиональной корреляции кампанских отложений, сопоставив разрез Кудрино напрямую со стратотипическими разрезами, и датировать отложения в Кудрино-3 зоной *Nostoceras hyatti* по аммонитам и зоной *Globotrunc aegurtiaca* по планктонным фораминиферам, не дожидаясь появления микропалеонтологических данных по разрезу. Данные о магнитных текстурах дают основания предположить, что верхи сводного разреза обогащены вулканогенным материалом, наличие которого фиксируется по высокой степени анизотропии магнитных частиц и обращенной текстуре, являющейся

индикатором суперпарамагнитного магнетита, характерного для вулканических пеплов. Закономерности в ориентировке осей магнитных эллипсоидов указывают на проявление коллизионного сжатия. На основе принципиального сходства вариаций магнитной восприимчивости по разрезу Кудрино с глобальными трансгрессивно-регрессивными циклами выдвинута гипотеза о контроле интенсивности терригенного сноса в ЮЗ Крыму эвстатическими колебаниями.