

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

Кафедра геофизики

**Анализ и геологическая интерпретация коэрцитометрических данных по
разрезу кампана–маастрихта «Большевик» (г. Вольск)**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 403 группы
направления 05.03.01 «Геология»
профиль подготовки «Нефтегазовая геофизика»
геологический факультет
Ошкина Ильи Сергеевича

Научный руководитель:

д. г.-м. н., профессор

А. Ю. Гужиков

Зав. кафедрой

геофизики:

к. г.-м. н., доцент

Е. Н. Волкова

Саратов 2026

Введение. Актуальность работы: в настоящей работе представлены результаты анализа и геологической интерпретации коэрцитометрических данных по разрезу кампана-маастрихта «Большевик», расположенного на севере Саратовского Правобережья (г. Вольск).

Палеомагнетизм и петромагнетизм являются геофизическими методами, используемыми для выяснения эволюции магнитного поля Земли и решения геологических задач. Одним из актуальных практических приложений магнетизма горных пород являются реконструкции разнообразных условий осадконакопления. Но для грамотной геологической интерпретации магнитных свойств осадочных пород необходимо безусловное знание вида и генезиса ферромагнитных минералов. Коэрцитометрические характеристики, определяемые в ходе анализа материалов магнитного гистерезиса, являются одним из важных источников информации о магнито-минералогическом составе пород, доменном состоянии и структуре ферромагнитной фракции. В последние десятилетия зарубежными исследователями, в первую очередь Р. Егли (R. Egli) [Egli, 2004a, b], разработаны теоретические и методические основы диагностики генезиса ферромагнитных минералов, успешно применяемые на практике, в том числе отечественными авторами.

Согласно Р. Егли, по значениям положений максимумов коэрцитивных спектров (ПМКС) можно надежно идентифицировать ферромагнитные компоненты, связанные с терригенным магнетитом, биогенным магнетитом, биогенным грейгитом и гематитом. Эти минералы, действительно, доминируют в ферромагнитной фракции большинства осадков и определяют их коэрцитометрические свойства, по которым можно оперативно осуществить дифференцированную диагностику вида и генезиса минералов. Однако во всех отложениях обязательно присутствует и космогенное вещество. Его доля, как правило, пренебрежима мала по сравнению с другими ферромагнитными компонентами. Однако в глубоководных карбонатных или кремнистых слабомагнитных и диамагнитных образованиях, слагающих значительную

долю осадочного чехла земной коры, вклад метеоритных частиц в магнитные свойства отложений может быть определяющим.

Между тем сведения о коэрцитометрических характеристиках ферромагнитных зерен космического происхождения до настоящего времени отсутствуют, хотя научное и практическое значение экспрессного способа для получения данных о содержаниях космической пыли в породах очевидно. Как минимум, его использование способствовало бы решению проблемы о роли импактных событий в геологических событиях планетарного масштаба на границе мезозоя–кайнозоя, включая великое вымирание, а уровни, обогащенные метеоритными частицами, могли бы стать глобальными изохронными корреляционными реперами. В практическом плане вариации в изменениях концентраций космогенного вещества открывают дополнительные возможности для расчленения и корреляции разрезов, новые перспективы для расчета скоростей седиментации, выявления перерывов в осадконакоплении и оценки их длительности, а также для решения других геологических задач.

В рамках выполненных ранее палеомагнитных и петромагнитных исследований кампана–маастрихта карьера «Большевик» были получены результаты микрозондового анализа, свидетельствующие о наличии метеоритных частиц, предположительно являющихся главными носителями намагниченности в изученном разрезе [Гужикова и др., 2014; Гужикова, Беньямовский, 2018]. Таким образом, терминальный мел Саратовского Поволжья является перспективным объектом для получения информации о коэрцитометрических свойствах космогенного вещества.

Цель работы: проверка практической возможности экспрессной дифференцированной диагностики ферромагнитного космогенного вещества по коэрцитометрическим данным на примере кампанских–маастрихтских меловых отложений разреза «Большевик».

Для достижения поставленных целей необходимо было решить следующие задачи:

1. Изучить теоретические основы применения коэрцитометрического метода при изучении осадочных пород, методики лабораторных коэрцитометрических исследований, обработки и анализа коэрцитометрических данных.

2. Ознакомиться с геологией и палеогеографией Саратовского Поволжья и, более детально, со стратиграфией и условиями формирования терминального мела (кампа–маастрихта) севера Саратовского Правобережья.

3. Обработать и проанализировать имеющиеся коэрцитометрические данные по образцам из кампа–маастрихта разреза «Большевик», выделить в них ферромагнитную, парамагнитную, суперпарамагнитную компоненты магнитной восприимчивости, определить положение максимумов коэрцитивных спектров и другие коэрцитометрические характеристики.

4. Изготовить и изучить шлифы выборочных образцов из кампа–маастрихта разреза «Большевик».

5. Провести разложение коэрцитивных спектров на компоненты с использованием программного обеспечения, реализующего EM-алгоритм.

6. Провести магнито-минералогическую интерпретацию коэрцитометрических данных с учетом имеющихся результатов микрозондового и термомагнитного анализов, петромагнитных материалов и полученных данных шлифового анализа.

Фактический материал. В ходе полевых работ 2012–2014 гг. была сформирована коллекция из 400 образцов, отобранных со 100 стратиграфических уровней кампа–маастрихтских отложений Саратовского Поволжья. Суммарная мощность изученных отложений составила более 66 м. Палеомагнитные и петромагнитные, в том числе коэрцитометрические, исследования, выполнены по образцам со всех 100 стратиграфических уровней. Результаты литолого-петрографического и микрозондового анализов получены по образцам с 4 и 5 уровней соответственно. Палеомагнитные и петромагнитные, данные получены в учебно-научной лаборатории

петрофизики геологического факультета Саратовского государственного университета (СГУ). Коэрцитометрические исследования проводились в палеомагнитной лаборатории института нефтегазовой геологии и геофизики (СО РАН, г. Новосибирск), а изучение на микрозонде – в геофизической обсерватории «Борок» Объединенного института физики Земли (ОИФЗ РАН, п. Борок Ярославской обл.).

Автор глубоко признателен коллективу лаборатории петрофизики СГУ, особенно своему научному руководителю – заведующему кафедрой общей геологии и полезных ископаемых, профессору А. Ю. Гужикову, а также исполняющему обязанности заведующего кафедры петрологии и прикладной геологии Д. А. Шелепову за помощь в проведении литолого-петрографического анализа и изготовлении шлифов, доценту кафедры общей геологии и полезных ископаемых А. Г. Маникину за многочисленные консультации. Отдельную благодарность автор выражает А. Ю. Казанскому (Геологический институт РАН, Москва) за предоставленное программное обеспечение, всестороннюю помощь при освоении теоретических и методических основ коэрцитометрического метода, конструктивные замечания и поддержку на всех этапах подготовки данной работы.

Выпускная квалификационная работа содержит в себе введение, заключение, список использованных источников, а также четыре раздела основного содержания работы:

- 1 Геологическое строение района исследований
- 2 Методика работ
- 3 Результаты работ
- 4 Обсуждение результатов исследований

Основное содержание работы. Первый раздел «Геологическое строение района исследований» включает четыре подраздела, в которых последовательно рассматриваются физико-географические условия, тектоническое строение, стратиграфия и история геологического развития.

В подразделе 1.1 приводится физико-географический очерк и характеристика геоморфологических особенностей территории Саратовской области. Территория расположена в пределах Русской равнины и отличается чётким разделением на правобережную и левобережную части. Правобережье представлено Приволжской возвышенностью – приподнятым эрозионно-расчленённым плато с асимметричным строением склонов. Левобережье, представленное Низменным Заволжьем, характеризуется преимущественно равнинным рельефом.

Подраздел 1.2 посвящён тектоническому строению Саратовского Правобережья. В тектоническом отношении территория расположена в юго-восточной части Восточно-Европейской платформы и приурочена к зоне Воронежской и Волго-Уральской антеклиз, разделённых Рязано-Саратовским прогибом. На доплитном этапе сформировались крупные структуры первого порядка, определившие последующее развитие осадочного чехла территории. В результате тектонической активности сформировались системы горстов, грабенов и тектонических ступеней, а также более крупные прогибы и своды, осложнённые поздней инверсией. Особое значение в строении региона имеет Вольско-Хвалынская структурная зона и Вольская впадина.

Подраздел 1.3 посвящён стратиграфии Поволжья. В геологическом строении осадочного чехла Поволжья принимают участие отложения кайнозойского, мезозойского и, в меньшей степени, палеозойского возраста. Архейские и нижнепротерозойские породы кристаллического фундамента непосредственно в пределах территории не вскрываются. Кайнозойский и мезозойский комплексы представлены преимущественно породами терригенного состава, за исключением верхнемеловых отложений, где наибольшим распространением пользуются породы карбонатного состава. Палеозойский комплекс представлен терригенно-карбонатными породами с включением эвапоритов.

Подраздел 1.4 посвящён истории геологического развития территории Поволжья. Формирование её структурного плана связано с длительной и многоэтапной эволюцией восточной части Русской платформы. На ранних этапах развития, в архее и нижнем протерозое, происходило накопление мощных терригенных толщ с внедрением основных магматических тел, которые впоследствии были метаморфизованы. В дальнейшем, в верхнем протерозое и палеозойско-кайнозойское время, развивались крупные прогибы и платформенные структуры, определившие современное строение территории. В мезозое и кайнозое развитие региона сопровождалось чередованием трансгрессивных и регрессивных фаз. В начале меловой эпохи площади морских бассейнов сократились, и устойчивые морские условия существовали главным образом в юго-восточной части Восточно-Европейской платформы. Территория Ульяновско-Саратовского прогиба, а соответственно и Вольской структурной зоны, была занята морем. В нижнемеловых бассейнах накапливались преимущественно песчано-глинистые осадки относительно небольшой мощности. В позднемеловое время происходила смена трансгрессий и регрессий, при этом максимальная трансгрессивная фаза пришлась на сеноман, а максимальная регрессия – на маастрихт, когда усилились аридные условия и возросла роль биохемогенного осадконакопления. В кайнозое продолжалось общее поднятие территории и сокращение морских условий, в результате чего сформировался современный континентальный облик региона.

Второй раздел «Методика работ» включает три подраздела, в которых последовательно рассматриваются палеомагнитные, петромагнитные и магнитно-минералогические, а также литолого-петрографические исследования.

В подразделе 2.1 описаны палеомагнитные исследования, выполненные по общепринятой методике и заключающиеся в магнитных чистках переменным полем с последующим измерением естественной остаточной намагниченности. На основании результатов магнитных чисток выделялись характеристические

компоненты намагниченности, которые после обоснования их первичности использовались для определения магнитопольных характеристик разреза.

Подраздел 2.2 посвящён петромагнитным и магнито-минералогическим исследованиям. Для диагностики магнитных минералов и оценки их вклада в суммарные магнитные свойства пород применялись методы дифференциального термомагнитного анализа и коэрцитивной спектрометрии. По результатам термомагнитных исследований определялась точка Кюри, позволяющая идентифицировать ферромагнитные минералы. Коэрцитометрические данные использовались для определения магнитных параметров, а также оценки доменной структуры ферромагнитных зерен с помощью диаграммы Дзя-Данлопа. Дополнительно выполнялось разделение магнитной восприимчивости на ферромагнитную, парамагнитную и суперпарамагнитную компоненты. На основании коэрцитометрических измерений проводилось разложение коэрцитивных спектров с использованием EM-алгоритма, позволяющего представить суммарный коэрцитивный спектр в виде суперпозиции нескольких гауссовых компонент, соответствующих ансамблям магнитных частиц различного происхождения.

Подраздел 2.3 посвящён литолого-петрографическим исследованиям, включающим изготовление петрографических шлифов, их микроскопическое описание и последующий анализ. Шлифы изготавливались по стандартной методике, заключающейся в прецизионном стачивании образцов до необходимой толщины с их последующим микроскопическим исследованием и описанием в проходящем поляризованном свете.

Третий раздел «Результаты работ» посвящён анализу результатов палеомагнитных, петромагнитных, магнито-минералогических, микрозондовых и литолого-петрографических исследований.

По результатам петромагнитных исследований установлено, что изученные отложения характеризуются очень слабыми магнитными свойствами, выраженными в низких значениях магнитной восприимчивости и

естественной остаточной намагниченности. По распределению магнитных параметров выделяется чередование преимущественно парамагнитных и диамагнитных толщ.

Палеомагнитные исследования позволили выделить характеристические компоненты нормальной и обратной полярности, а также выполнить корреляцию изученного разреза с глобальной шкалой магнитных хронов.

Микрозондовые и литолого-петрографические исследования продемонстрировали наличие в образцах тонкодисперсной магнитной фракции при полном отсутствии визуально диагностируемых крупных ферромагнитных зерен. Магнито-минералогические исследования подтвердили, что основным носителем намагниченности является тонкодисперсный магнетит. Анализ коэрцитивных спектров и гистерезисных параметров указывает на абсолютную однородность магнитного ансамбля и присутствие нескольких магнитных компонент различного происхождения – детритовой (D), биогенной магнитомягкой (BS) и биогенной магнитожёсткой (BH).

Четвёртый раздел «Обсуждение результатов исследований» посвящён интерпретации полученных петромагнитных, палеомагнитных, магнито-минералогических, микрозондовых и литолого-петрографических данных, а также рассмотрению возможного происхождения магнитной фракции исследуемых пород.

Результаты литолого-петрографических и микрозондовых исследований свидетельствуют о том, что магнитные свойства пород определяются преимущественно тонкодисперсной ферромагнитной фракцией.

Распределение точек на диаграмме Дзя–Данлопа не согласуется с реальными размерами магнитных зерен, так как тонкодисперсная размерность подразумевает однодоменное состояние фракции. Подобное несоответствие может быть объяснено наличием смеси нескольких ансамблей зерен различной размерности либо с наличием специфических магнитных состояний (single-

vortex или multi-vortex) в мелких зернах, при которых наблюдается смещение точек в MD-область диаграммы.

Несмотря на абсолютную однородность магнитных параметров, интерпретация диаграммы Дзю–Данлопа остаётся неоднозначной и зависит от комплекса факторов, включая минералогический состав, форму зерен и особенности магнитных взаимодействий. Однако, полученные данные так или иначе не подтверждают биогенное происхождение магнитных зерен.

Заключение. Настоящая выпускная квалификационная работа представляет собой результаты анализа коэрцитометрических данных и их геологической интерпретации по разрезу кампана–маастрихта «Большевик».

В результате анализа кривых магнитного гистерезиса по каждому образцу получен обширный спектр коэрцитометрических параметров: компоненты магнитной восприимчивости (χ_{int}), отвечающие за вклад ферромагнитной (χ_f), парамагнитной (χ_p) и суперпарамагнитной (χ_{sp}) фракций; намагниченность насыщения (\mathbf{J}_s), остаточная намагниченность насыщения (\mathbf{J}_{rs}), парамагнитная (\mathbf{J}_p) и суперпарамагнитной (\mathbf{J}_{sp}) намагниченности; коэрцитивная сила (\mathbf{H}_c) и остаточная коэрцитивная сила (\mathbf{H}_{cr}), параметр магнитной жесткости (\mathbf{S}).

По совокупности данных коэрцитометрического, микронзондового и шлифового анализов доказано, что магнитные свойства кампана–маастрихта Вольской впадины определяются в основном тонкодисперсными (порядка мкм) ферромагнетиками космического происхождения – магнетитовыми сферами и частицами самородных металлов (Fe, Ni, Cr).

Вертикальные вариации коэрцитометрических характеристик создают предпосылки для дополнительного расчленения разреза, выявления корреляционных реперов, обоснования границ местных стратиграфических подразделений.

Результаты разложения коэрцитивных спектров свидетельствуют о наличии трех компонент, две из которых (BS и BH) доминируют. Предложены два возможных варианта интерпретации этих результатов:

1. Одна из компонент – BS или BH соответствует не биогенному магнетиту, как следует из работ [Egli, 2024a, b], а магнетитовым микросферам космического происхождения.

2. Обе компоненты (BS и BH) соответствуют космогенным частицам: одна из них магнетиту, а другая – частицам самородных металлов.

Таким образом, в итоге проведенных исследований впервые получены сведения о положениях максимумов коэрцитивных спектров (ПМКС) для ферромагнитных частиц космогенного генезиса, и цель квалификационной выпускной работы, можно считать достигнутой. В перспективе полученную информацию, вероятно, можно будет использовать для дифференциальной экспрессной диагностики тонкодисперсного метеоритного вещества в разных типах осадочных пород, и использовать эти данные для решения разнообразных геологических задач.