

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»
Кафедра общей геологии и полезных ископаемых

**Результаты исследования взаимосвязей между геохимическими и
петромагнитными показателями баженовской свиты (Западная Сибирь)**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 401 группы
направления (специальности) 050301 «Геология»
геологического факультета
Корчагина Алексея Андреевича

Научный руководитель

д.г.-м.н., профессор

_____ подпись, дата

А.Ю. Гужиков

Зав. кафедрой

к.г.-м.н.,

старший научный сотрудник

_____ подпись, дата

В.Н. Ерёмин

Саратов 2020

Введение. Методы петромагнетизма осадочных пород широко используются для решения разнообразных геологических задач, как в России, так и за рубежом[1-3]. Стратиграфическая и палеогеографическая информативность магнитных свойств отложений многократно подтверждена. Одной из разновидностей петромагнитных методов является термокаппаметрия – исследования магнитной восприимчивости пород после их прогрева в лабораторных условиях, по результатам которых можно судить о концентрациях пирита в исходных образцах. Достоинством термокаппаметрии является способность к экспрессным определениям наличия тонкодисперсного пирита, диагностика которого традиционными минералогическими методами неоднозначна, трудоемка, а, зачастую, невозможна. К недостаткам метода следует отнести его неспособность к количественному анализу. По термокаппаметрическим данным, к сожалению, можно судить только о наличии или отсутствии рассеянного FeS_2 в отложениях и качественно оценивать изменения в его содержаниях. Получить надежные количественные оценки концентраций пирита в отложениях по петромагнитным параметрам, пока не удавалось, хотя исследования подобного рода предпринимались. Однако и результаты качественной интерпретации термокаппаметрических данных очень информативны при реконструкциях геохимических обстановок в придонных слоях палеобассейнов и выявления интервалов, обогащенных органическим веществом (ОВ). Поскольку пирит образуется в восстановительной среде, которая, как правило, возникает при массовых захоронениях ОВ, то петромагнитные вариации отражают, в первую очередь, изменения в содержаниях тонкодисперсного пирита, ассоциирующего с органикой в исходном осадке. Подтверждений правомерности такой модели на качественном уровне множество. Поэтому теоретические предпосылки для разработки методики количественной интерпретации данных термокаппаметрии, безусловно, имеются.

В распоряжении автора работы оказались образцы керна из разреза баженовской свиты, вскрытым разведочной скважиной 4212 на территории Южно-каменного месторождения в Западной Сибири. Образцы были переданы для петромагнитного изучения в лабораторию. По 28 образцам имелись высокоточные геохимические определения концентраций 20 микроэлементов (в том числе Fe и S). Эта контрольная коллекция из 28 образцов и явилась объектом квалификационного исследования.

Задачей данной работы стал статистический анализ петромагнитных (термокаппаметрических) и геохимических данных по контрольной коллекции образцов из баженовской свиты, с целью выявления взаимосвязей между термокаппаметрическими показателями, с одной стороны, и концентрациями элементов (в первую очередь, входящих в состав пирита) и $C_{орг}$, с другой. В случае выявления значимых взаимосвязей следующей целью ставилось нахождение алгоритма для расчета концентраций микроэлементов и/или $C_{орг}$ непосредственно по петромагнитным данным.

Выпускная квалификационная работа проиллюстрирована 10 иллюстрациями и 5 таблицами, объем работы составляет 48 страниц. Количество использованных источников – 20

Основное содержание работы. В первом разделе работы дается геологическая характеристика объекта исследований, а так же стратиграфия и условия формирования баженовской свиты.

Баженовский горизонт (J_3-K_1) развит на значительной части территории Западной Сибири и охватывает площадь более 1 млн км². В его состав входят баженовская свита, являющаяся стратотипом горизонта, а также тутлеймская, даниловская, марьяновская, яновстанская и другие свиты [3]

Баженовская свита (далее как БС) входит в состав одноименного горизонта. Отличительной чертой этой свиты является битуминозность пород, мощность данной свиты от 10 до 60 м (в среднем ~ 30 м). Глубины залегания отложений возрастают в направлении от юга Западно-Сибирской плиты к северу.

Минимальные отметки глубин кровли составляют 600 м, максимальные – 3800 м.

Породы БС подстилаются прибрежно-морскими и морскими отложениями абалакской или георгиевской свит, отражающих процессы постепенного затопления территории Западной Сибири в поздней юре. Перекрываются песчано-глинистыми клиноформными отложениями нижнего мела. Накопление пород в составе баженовского горизонта отвечало условиям максимальной позднеюрско-раннемеловой трансгрессии морского бассейна, площадь зеркала воды которого достигала 2 млн. км². Западнее центрального поля развития отложений БС происходит последовательное омоложение битуминозных пород от титона до готерива

В целом количество органического вещества БС в отдельных прослоях достигает 60% и более по объему. Наряду с высоким содержанием органики в породах обнаруживаются высокие концентрации многих элементов: Мо, U, V, Cu, Zn, Ni, As, Sb, Se, Ag, Au, Ba, Br. Их распределение по разрезу связано с распределением органического вещества в породах. Увеличение содержания микроэлементов обычно объясняется концентрационной функцией планктона, обитавшего в толще воды.

Во втором разделе работы описывается методика исследований

Для достижения главной задачи квалификационной работы – выявления взаимосвязей между геохимическими характеристиками и петромагнитными показателями, необходимо было провести измерения магнитных свойств образцов и статистический анализ совокупности геохимических и петромагнитных данных.

1 - Петромагнитные исследования, включают в себя изучение широкого спектра различных параметров, наиболее экспрессными из которых являются измерения магнитной восприимчивости до - и после нагрева – каппаметрия и термокаппаметрия, соответственно. Каппаметрия – это измерения магнитной восприимчивости (K) – величины, отражающей способность вещества намагничиваться под действием внешнего магнитного поля.

Термокаппаметрия заключается в измерениях магнитной восприимчивости после нагрева образцов (K_t).

Изначально немагнитный пирит при нагреве от 400 до 500°C в окислительной среде превращается в сильномагнитный магнетит. Таким образом, прирост магнитной восприимчивости $dk = K_t - K$ отражает концентрацию новообразованного магнетита, по которой можно судить о наличии тонкодисперсного пирита в породе.

Измерения K в лаборатории проводились на стационарном высокочувствительном измерителе магнитной восприимчивости МФК1-ФВ (каппабридж). В термокаппаметрических исследованиях была задействована муфельная печь с программным регулированием температуры СНОЛ 6/11-В.

2 - Статистической обработке были подвергнуты данные по тем пробам, по которым петромагнитные и геохимические определения были получены по системе «образец в образец». Таковых образцов оказалось 28. Подобный объем позволяет считать выборку пригодной для статистического анализа.

Для обработки данных использовались следующие процедуры, приемы и методы:

1. Построение вертикальных графиков исходных петромагнитных и геохимических по разрезу, а также их трансформации путем осреднения методом скользящего окна.

2. Корреляционный анализ, включая построение корреляционных матриц по 4 параметрам, Коэффициенты линейной парной корреляции рассчитывались как по разрезу в целом, так и по отдельным интервалам, которые выделялись по различным признакам (литологическим и др.). Кроме того, коэффициенты корреляции определялись по окнам разного размера, перемещаемых с различным шагом по разрезу.

3. Линейная и полиномиальная регрессия. При обнаружении значимых корреляционных зависимостей между парами параметров предпринимались попытки их аналитической аппроксимации. Процедура линейной регрессии

заключается в подборе линейной функции, наилучшим образом, аппроксимирующей исследуемую совокупность.

4. Статистические тесты для проверки различия средних значений.

В разделе 3 представлены результаты работ и их обсуждение.

Результаты корреляционного анализа. Корреляционная матрица была построена для всей совокупности геохимических и петромагнитных параметров. Однако термокаппаметрические показатели обнаружили значимую корреляцию с концентрациями Fe, S. С точки зрения главной цели работы – выявления взаимосвязей между термокаппаметрическими показателями, концентрациями пирита и органическим веществом, актуальны значимые зависимости (на уровне значимости $p = 0,01$) между величинами dK , с одной стороны, и процентными содержаниями Fe и S, с другой. Наличие подобной взаимосвязи предопределяет возможность определения концентраций пирита (FeS_2) по значениям петромагнитных характеристик. Корреляция прироста магнитной восприимчивости с главным показателем содержания органического вещества – $C_{орг}$, в целом по разрезу отсутствует (коэффициент корреляции $dK-C_{орг}$ близок к нулю).

Результаты проверки гипотезы об обусловленности термокаппаметрических вариаций концентрациями пирита. Возможность количественной интерпретации термокаппаметрических данных (возможность пересчета величин dK в значения концентраций FeS_2) представляет собой пока неоднозначную проблему. Прежде всего, потому что в реальных породах пирит может встречаться совместно с другими сульфидами железа (типа пирротина) и сидеритом, которые обладают сходными термокаппаметрическими эффектами после нагрева до $500^{\circ}C$. Кроме того, даже при отсутствии в пробах других минералов, кроме пирита (марказита), значения термокаппаметрических параметров в значительной степени зависят от размерности частиц FeS_2 и степени уплотнения осадочной породы.

Располагая аналитическими данными о концентрациях микроэлементов и значениями петромагнитных параметров, полученных по одним и тем же образцам, мы можем на практике проверить тезис об обусловленности термокаппаметрических вариаций концентраций в БС, исключительно, пиритом.

Распределение концентраций Fe и S в разрезе, как показали результаты статистической проверки подчиняются нормальному распределению. Сравнение рассчитанных массовых долей со средними процентными соотношениями Fe и S по разрезу БС показывает, что они статистически не отличаются друг от друга.

Зависимости $Fe(dK)$, $S(dK)$, где Fe и S – процентные содержания элементов в образцах, наилучшим образом аппроксимируются полиномами пятой и четвертой степени для Fe и S соответственно. Результаты пересчета значений dK по полиномиальным формулам в процентные содержания Fe, S, и их сопоставления с реальными концентрациями элементов приведены на рисунках. Стоит отметить, что для серы рассчитанные по формулам значения, хорошо согласуются с истинными, что нельзя сказать о железе, где рассчитанные значения несколько отличаются от истинных, связано это с тем, что железо помимо пирита, содержится в составе других минералов или органики.

Таким образом, модель, подразумевающая, что все Fe и S в образцах связаны, исключительно, с пиритом правомерна, в полной мере, только для серы.

Проверка гипотезы об отражении в термокаппаметрических показателях концентраций органического вещества.

Поскольку тонкодисперсный пирит ассоциирует с органическим веществом, то разумно предположить, что термокаппаметрические показатели, обусловленные пиритом можно использовать и для расчета концентраций ОВ. Как показали результаты корреляционного анализа, связь между dK и $C_{орг}$ по разрезу скважины, в целом, отсутствует. Однако расчеты коэффициента корреляции со скользящим окном, показали, что на некоторых участках разреза наблюдается значимая положительная связь $C_{орг}$ с dK , а также с процентными содержаниями Fe и S. Высокие значения положительных коэффициентов

корреляции приурочены к образцам с алевроитовой составляющей, в то время, как в лишенных терригенных примесей битуминозных аргиллитах коэффициенты корреляций в парах $dK-C_{\text{орг}}$, $Fe-C_{\text{орг}}$, $S-C_{\text{орг}}$ либо близки к нулю, либо отрицательные, вплоть до значимых значений при $p=0,05$

Для того, чтобы предложить интерпретацию выявленных закономерностей, рассмотрим механизм образования пирита и источники поступления органического вещества в палеобассейн.

Как известно, пирит образуется в большинстве осадочных пород за счёт взаимодействия поверхностных водных растворов, содержащих железо, с сероводородом, обычно выделяющимся в результате разложения органических остатков. Кроме того, пирит образуется в результате восстановления сернокислых солей железа углеродом органических веществ. Выделяется пирит также в местах, где происходит разложение органических веществ в условиях недостаточного доступа кислорода. Образующийся сероводород реагирует с растворенными в воде солями железа, что и приводит к осаждению пирита.

Рассмотрим поступление в палеобассейн главного источника железа – органического вещества в процессе смены дизоксидной обстановки (с частичным доступом кислорода) на аноксидную (бескислородную), что соответствует реальным геохимическим условиям формирования баженовской свиты.

При дизоксидной обстановке поступление кислорода в придонные слои обеспечивается за счет гидродинамики, связанной с поступлением терригенного органического вещества. В водном слое кислорода достаточно для обитания планктонных и нектонных организмов. Таким образом, непрерывное поступление ОВ и связанного с ним железа – источника формирования пирита в осадок обеспечивается как за счет нектона, планктона и бентоса, способного обитать в условиях дефицита кислорода, так и за счет терригенной органики.

При аноксийной обстановке, которая сопровождается повышением уровня моря и удалением суши от района осадконакопления полностью прекращается терригенный снос, который был главным источником поступления железа. Органическое вещество на дне палеобассейна продолжает пополняться за счет нектона и планктона (бентосные организмы уже не участвуют в формировании осадка, поскольку не могут жить в полностью бескислородных условиях), но железа для образования пирита в прежних пропорциях с ОВ недостаточно.

С точки зрения предложенной модели становятся понятными, как значимая положительная корреляция $C_{\text{орг}}$ с тонкодисперсным пиритом и термокаппаметрическими параметрами в алевроитовых разностях, так и ее отсутствие в чистых битуминозных сланцах. В практическом плане это означает, что термокаппаметрический метод для определения концентраций ОВ можно использовать только для определенных типов фаций.

Заключение. Главным результатом проделанной работы стало обоснование возможности количественного анализа концентраций пирита по термокаппаметрическим данным на примере бажендовской свиты. На основе анализа имеющихся петромагнитных и геохимических данных выделены полиномиальные уравнения, позволяющие определять процентные содержания Fe и S непосредственно по значениям прироста магнитной восприимчивости после нагрева.

Таким образом, главная цель квалификационной работы – выявление значимых взаимосвязей между петромагнитными и геохимическими параметрами на основе их статистического анализа и нахождение алгоритма для расчета концентраций микроэлементов непосредственно по термокаппаметрическим данным достигнута.

Связь термокаппаметрических показателей с органическим веществом (с $C_{\text{орг}}$) оказалась, гораздо, сложнее предполагаемой. Предложенная в работе модель, согласно которой поступление железа в палеобассейн связано

преимущественно с терригенной органикой, не претендует на единственно возможный вариант объяснения наличия прямой зависимости dK от $C_{орг}$ в алевритистых разностях и ее отсутствия в чистых битуминозных сланцах. Возможно, распределение тонкодисперсного пирита в сланцах зависит, главным образом, от перераспределения микроэлементов на стадии диагенеза или от характера миграции углеводородов, или от других факторов. Это вопрос нуждается в дополнительном изучении.

Успешная апробация количественной интерпретации термокаппаметрических материалов на примере битуминозных аргиллитов баженовской свиты не гарантирует положительного результата при использовании подобной методики для других типов пород. Но она доказывает принципиальную возможность решения проблемы и стимулирует продолжение подобных исследований.

Практическая ценность результатов проведенного исследования заключается в возможности получения экспрессной оценки концентраций рассеянного тонкодисперсного пирита в баженовской свите по петромагнитным данным. Информация о закономерностях распределения этого минерала в отложениях, в свою очередь, необходима для реконструкций условий формирования баженовской свиты, являющейся перспективным объектом пополнения отечественной ресурсной базы углеводородов.

Список использованной литературы

1. Молостовский Э.А., Храмов А.Н. Магнитостратиграфия и ее значение в геологии / Э. А. Молостовский, А. Н. Храмов. - Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1997. - 179 с.
2. Гужиков А.Ю. Геологическая информативность магнетизма керна и шлама осадочных пород, полученных при бурении разведочных скважин // Приборы и системы разведочной геофизики 4(46)/2013. - С. 51-61.
3. Evans, M.E. Environmental Magnetism: Principles and Applications of Enviromagnetics / M.E. Evans, F. Heller // Elsevier-Academic Press. - 2003. - 316 pp.