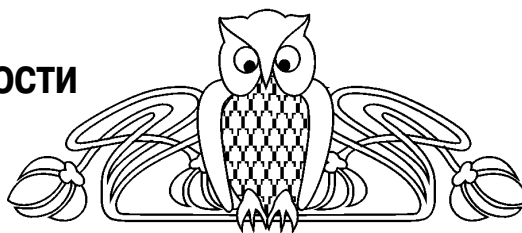




УДК 550.838.4

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОЦЕНКЕ ВОЗМОЖНОСТИ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ТЕРМОКАППАМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ



М.В. Пименов, А.Г. Маникин, О.Б. Ямпольская,
А.А. Гужикова¹, А.Н. Жуков²

Саратовский государственный университет,
кафедра общей геологии и полезных ископаемых
E-mail: PimenovMV@gmail.com, mag1983@list.ru,
obyu777@mail.ru

¹ кафедра геофизики

E-mail: blackhole3@yandex.ru

² кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых

E-mail: ZhukovAN@gmail.com

Термокаппаметрический метод, базирующийся на эффекте фазового перехода сульфидов и карбонатов железа в магнетит при нагреве до 500°C в окислительной среде, позволяет судить об относительных вариациях концентраций пирита в горных породах. Проведены лабораторные и полевые исследования с целью выяснения возможности получения количественной, а не качественной информации подобного рода по термокаппаметрическим данным. Анализ результатов лабораторных экспериментов с образцами марказита и пирита различного генезиса с размерностью частиц от 0,1 до 1,0 мм выявил значимую линейную зависимость значений термокаппы от концентраций FeS₂ после устранения фактора различной степени уплотнения сульфидосодержащих проб. Модифицированная методика термокаппаметрического метода апробирована на сланцевой толще *Dorsoplanites panderi* в стратотипе волжского яруса.

Preliminary Results of Researches of Estimation of an Opportunity of Quantitative Interpretation of Termokappametric Data

M.V. Pimenov, A.G. Manikin, O.B. Yampolskaya,
A.A. Guzhikova, A.N. Zhukov

Termokappametric method, that is based on the effect of phase transition of sulfides and carbonates of iron to magnetite at heating up to 500°C in the oxidizing environment, allows to define variations of concentration of pyrite in rocks. It is carried out laboratory and field researches with the purpose of finding-out of an opportunity to receive quantitative, instead of the qualitative with help of the termokappametric method. Results of laboratory experiments with samples of marcasite and pyrite (grain size 0,1–1,0 mm) are reveal significant linear dependence of termokappa values from concentration FeS₂ after loosing samples that contain sulfides. The modified technique of termokappametric method is approved on slate thickness *Dorsoplanites panderi* in the stratotype of the Volgian stage.

Суть термокаппаметрического метода заключается в измерении прироста магнитной восприимчивости образцов горных пород после температурного воздействия на них. При нагреве до 500°C в окислительной среде изначально не-

магнитный пирит превращается в сильномагнитный магнетит. Таким образом, величины прироста магнитной восприимчивости dK ($dK=K_1-K_0$, где K_1 (термокаппа) и K_0 – магнитная восприимчивость, измеренная после и до нагрева соответственно), обусловленные новообразованным магнетитом, пропорциональны концентрациям исходного пирита в породе.

Термокаппаметрический метод широко используется в разных областях геологии, например в стратиграфии, палеогеографии, в поиске и разведке залежей углеводородов. Эффективность термокаппаметрических данных для детального расчленения и корреляции разрезов была убедительно продемонстрирована на геологических объектах различного возраста и генезиса [1–4]. Термокаппаметрические вариации зачастую латерально устойчивы в региональном, а иногда и в межрегиональном масштабе [5]. С точки зрения палеогеографии изменения термокаппы по разрезу адекватно отражают седиментационную ритмичность и используются для реконструкций изменения окислительно-восстановительного потенциала в придонных слоях осадков палеобасейнов [1–3, 5]. Основные принципы стратиграфической и палеогеографической интерпретации петромагнитных данных были разработаны ранее [6, 7]. В плане поиска и разведки месторождений углеводородов данные термокаппаметрии представляют наибольший интерес, во-первых, для выявления слоев, обогащенных органическим веществом на стадиях осадконакопления и диагенеза: слои, обогащенные сидеритом и особенно пиритом, являются надежными индикаторами высокого содержания органического вещества в изначальном осадке, что является благоприятным фактором для нефтеобразования. Во-вторых, для выделения пластов со следами вторичных изменений за счет действия углеводородов. Пирит и пирротин в осадочных толщах зачастую связаны с вторичным сульфидообразованием за счет вертикальной миграции углеводородов. Таким образом, наличие аутигенных сульфидов железа с высокой степенью вероятности указывает на существование в нижележащих пластах нефтегазовых залежей. Известен метод оценки приближения к нефтеносному пласту на основе термокаппаметрических данных [8, 9].

Привлекательность термокаппаметрического метода объясняется наличием ряда преимуществ



по сравнению с традиционными минералогическими методами, направленными на определение концентраций пирита. Во-первых, это – экспрессность определений (результаты могут быть получены уже через несколько часов после поступления образцов для анализа), во-вторых, термокаппаметрические данные не зависят от размерности фракции сульфидов и карбонатов железа. Дело в том, что исследование тонкодисперсной фракции, которой зачастую и представлена основная масса FeS_2 , в осадочных породах требует привлечения весьма дорогостоящих методов (рентгеноструктурного, электронной микроскопии и т.д.). При этом вполне вероятно, что значительная часть еще более тонкодисперсной фракции остается недоступной для анализа. Третье преимущество термокаппаметрического метода заключается в относительной дешевизне определений (из аппаратного обеспечения для термокаппаметрических исследований требуется муфельная печь и измеритель магнитной восприимчивости, предварительная подготовка образцов требуемого размера). В совокупности перечисленные пункты создают выгодное отношение цены и качества (информативности) термокаппаметрического метода.

Термокаппаметрический метод, базирующийся на эффекте фазового перехода сульфидов и карбонатов железа в магнетит при нагреве до 500°C в воздушной среде, хоть и успешно используется в практической геологии для экспрессного определения повышенных концентраций пирита в породах, но до сих пор его результаты носят качественный характер. В большинстве случаев на основе анализа термокаппаметрических данных возможны выводы о наличии пирита в отложениях. При значительных вариациях термокаппетрических параметров можно качественно судить о повышенном или пониженном содержании пирита в горных породах. Количественная информация о весовых концентрациях пирита термокаппаметрическому методу в существующей модификации недоступна. Поэтому целью исследований, проведенных нами, было выяснение возможностей количественной интерпретации термокаппаметрических данных при сохранении главных преимуществ метода – экспрессности и доступности (относительной дешевизны) определений.

Для реализации поставленной задачи были проведены термокаппаметрические эксперименты с образцами, изготовленными искусственным способом из немагнитных сульфидов железа различного генезиса. Общее количество образцов, исследованных к настоящему времени, около 300. Методика лабораторных исследований заключалась в следующем. Предварительно готовились пробы с различными весовыми концентрациями (от 0,1 до 3 г) и разной размерностью частиц (более 1 мм, 0,25–1 мм, 0,15–0,25 мм, менее 0,15 мм, менее 0,1 мм) из марказита и пирита разного генезиса. В качестве исходного материала

для опытов использовались конкреции марказита из келловейских глин, собранные нами в разрезах Дубки и Бартоломеевка (Саратовский район), и кристаллы гидротермального пирита из разреза коры выветривания на Южном Урале, предоставленные для исследований В.В.Гудошниковым (СГУ). Фиксированные по массе, размерности и генезису пробы FeS_2 смешивались с растолченным мелом (весом 9 г) или кварцевым песком (весом 18 г), предварительно растолченным до размерности зерен $< 0,15$ мм и прогретым до температуры 550°C в течение 2 часов. Пробы, изготовленные путем смешивания с истолченным мелом, уплотнялись в разной степени. Немагнитность подготовленных образцов контролировалась измерениями магнитной восприимчивости (каппа, K), которая во всех случаях равнялась нулю, в пределах погрешности прибора. Измерения каппы проводились на измерителе магнитной восприимчивости конструкции Зотова (для контроля за качеством измерений выборочные образцы были повторно измерены на CLY-5 в Институте физики земли РАН). Впоследствии образцы нагревались в муфельной печи при температуре 500°C , после чего проводились повторные измерения магнитной восприимчивости, а новообразованные магнитные фазы исследовались под бинокляром. Большинство образцов было подвергнуто двукратным нагревам в течение одного часа.

Анализ результатов измерений магнитной восприимчивости после нагревов образцов (термокаппы, K_r) позволил сделать следующие выводы [10]:

1) Величина термокаппы существенно зависит от местоположения образцов в муфельной печи. K_r у одинаковых проб, находящихся около дверцы и в центральной или задней части печи, различается в несколько раз (рис. 1). Это может быть связано с неравномерностью нагрева в разных частях печи и/или с разницей в доступе воздуха.

2) Величина термокаппы сильно зависит от степени уплотнения пробы. Одинаковые по весу и фракции образцы FeS_2 в рыхлом мелу или песке и в уплотненной меловой матрице различаются по K_r в несколько раз и даже на порядок (см. рис. 1). Это обстоятельство, вероятнее всего, связано с различной степенью окисления новообразованного магнетита, что подтверждается изучением проб под бинокляром после нагрева. В наиболее сильно уплотненных образцах образованный магнитный минерал практически не окислен, в рыхлых образцах фиксируется обратная картина.

3) Очевидно, для того чтобы обнаружить зависимость величины термокаппы от массы сульфидов железа, необходимо исключить влияние по крайней мере двух вышеназванных факторов. Если от первого фактора (местоположение образцов в печи) легко избавиться при проведении исследований, то различную степень уплотнения в общем случае практически невозможно учесть

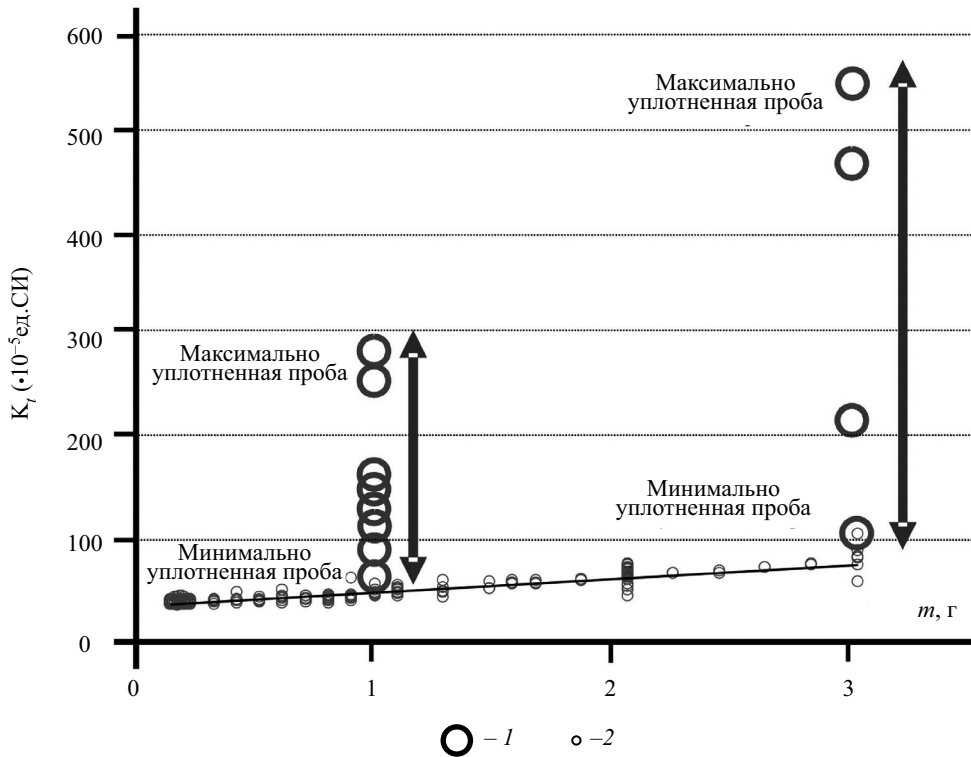


Рис. 1. Вариации термокаппы при одинаковой массе FeS_2 : 1 – в пробах с уплотненной в разной степени меловой матрицей, 2 – в пробах с рыхлой песчаной матрицей (длительность нагрева – 1 час)

при работе с реальными коллекциями горных пород (во всяком случае, за подобную процедуру придется заплатить главным преимуществом термокаппаметрического метода – его экспрессностью). Простейшим выходом из создавшейся ситуации представляется измельчение всех образцов до фракции одной размерности перед проведением нагревов. В этом случае мы сознательно жертвуем окислением части новообразованного магнетита (и потерей величины K_t) ради создания примерно одинаковых условий прогрева и окисления всех частиц FeS_2 . Подобная модель реализуется в наших опытах при равномерном перемешивании подготовленных проб пирита в песке или мелу без уплотнения. Анализ термокаппы по образцам пирита и марказита, помещенных в рыхлую матрицу, обнаруживает

ярко выраженную линейную зависимость величины K_t от весовых концентраций сульфидов железа (таблица, рис. 2). Тем самым открывается перспектива количественного учета разницы весовых концентраций пирита в разных образцах и определения массы FeS_2 . При исследовании реальных объектов с помощью термокаппаметрии по предложенной методике (измельчение всех образцов до единой фракции) обнаруженный эффект будет иметь особое значение для коллекций, представленных разными литотипами. Неизвестно пока, как подобная процедура будет влиять на тонкодисперсный пирит ($< 0,01$ мм), но из общих соображений представляется, что и в этом случае, при растирании пород, будут обеспечены более или менее одинаковые условия прогрева.

Статистические характеристики зависимости термокаппы от массы FeS_2 для разных размерностей фракции FeS_2

Размерность фракции FeS_2 , мм	Количество проб	Коэффициент линейной корреляции	Уравнение, характеризующее линию тренда
0,25–1	12	0,94	$K_t = 29,406 \cdot m$
0,15–0,25	12	0,83	$K_t = 24,956 \cdot m$
$< 0,15$	21	0,96	$K_t = 20,566 \cdot m$
$\ll 0,15$	15	0,84	$K_t = 23,735 \cdot m$

Примечание. Средние значения K_t для проб с одинаковой массой отражены в формуле $K_t = 21,953 \cdot m$ при коэффициенте линейной корреляции 0,97.

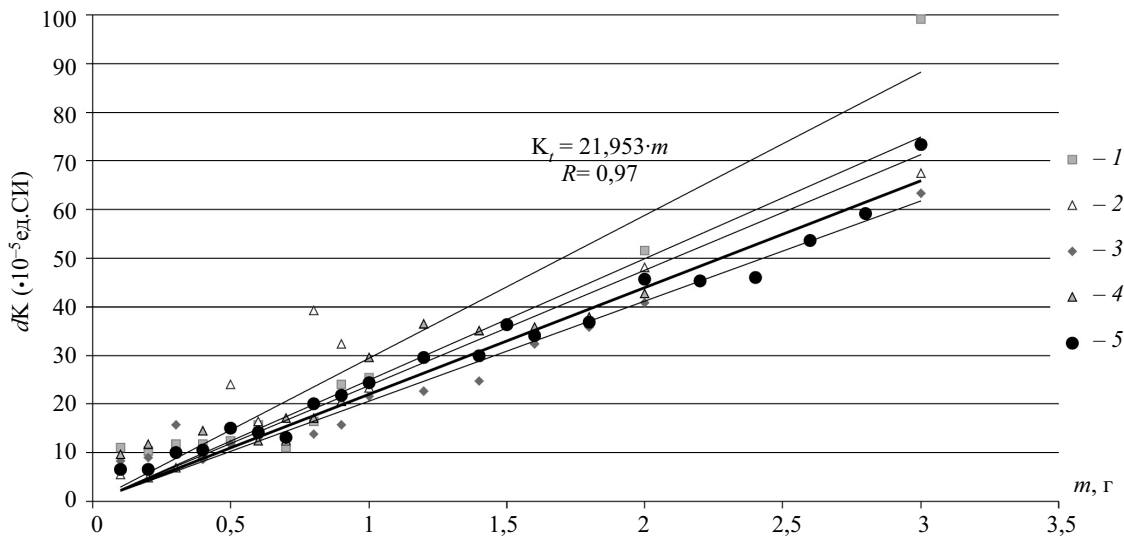


Рис. 2. Зависимость термокаппы от массы FeS_2 в пробах с матрицей из рыхлого кварцевого песка с размерностью зерен < 15 мм (двукратный нагрев по 1 часу): размерность фракции FeS_2 : 1 – 0,25–1 мм, 2 – 0,15–0,25 мм, 3 – меньше 0,15 мм, 4 – много меньше 0,15 мм, 5 – средние значения термокаппы для всех проб с одинаковой массой; для каждой размерности показаны тонкие линии тренда, жирная линия тренда – для средних значений термокаппы; R – коэффициент линейной корреляции между массой пирита и термокаппой

4) Судя по результатам проведенных опытов, величина термокаппы практически не зависит от генезиса FeS_2 .

5) В диапазоне фракций от $< 0,15$ до > 1 мм величина термокаппы слабо зависит от размерности частиц пирита.

6) Рекогносцировочные данные дифференциального термо-магнитного анализа (ДТМА) показывают, что сопутствующие магнитные фазы (лепидокрокит, маггемит) неустойчивы и в рыхлых пробах полностью переходят в слабомагнитный гематит при нагревах длительностью свыше 45 минут.

С целью апробации новой методики в 2005 г. было проведено повторное детальное опробование отложений зоны *Dorsoplanites panderi* стратотипа волжского яруса (д. Городищи, Ульяновский район), представленных чередованием глин и горючих сланцев (так называемая «сланцевая толща») [11]. Ранее в этом интервале разреза было зафиксировано, что скачкообразное повышение прироста магнитной восприимчивости (dK) примерно совпадает с резким увеличением валовой концентрации серы ($S_{\text{вал}}$) (рис. 3). В целом же по разрезу корреляция между петромагнитными и геохимическими параметрами отсутствовала. Коэффициент линейной корреляции (r) между dK и $S_{\text{вал}}$, посчитанный по всей сланцевой толще, равен $-0,01$ (число образцов $n = 29$). В качестве возможного объяснения несогласованности данных разных методов было выдвинуто предположение, что в величину $S_{\text{вал}}$ вносят вклад как сульфидная, так и сульфатная формы серы, а величина dK обусловлена только FeS_2 . Поскольку разрез представлен разными литотипами (глины и горючие сланцы), то, наряду с этим фактором,

нельзя исключить влияния различной степени уплотнения на характер распределения dK . Анализ данных термокаппаметрических исследований, проведенных по новой методике, обнаружил значимую корреляцию между dK и $S_{\text{вал}}$ ($r = 0,62$, $n = 27$) (рис. 4.), подтвердив тем самым влияние фактора уплотнения и эффективность модифицированной методики.

Проведенные опыты показали наличие ярко выраженной линейной зависимости термокаппы от концентраций FeS_2 в искусственно приготовленных пробах. Однако, прежде чем применять выявленные закономерности для определения концентраций пирита в реальных горных породах, необходимо провести ряд дополнительных исследований.

В реальных горных породах в ассоциации с пиритом (марказитом), как правило, встречаются и другие минералы (пирротин, грейгит, мельниковит, сидерит), обладающие сходным термомангнитным эффектом (фазовый переход в магнетит) при нагреве до 500°C . Но магнитные сульфиды и карбонаты железа имеют температуру фазового перехода ниже, чем у пирита, поэтому дифференцировать термокаппаметрические эффекты от разных магнитных фаз возможно путем последовательных нагревов до 350°C (температура, выше которой магнитные сульфиды типа пирротина, грейгита и сидерит превращаются в магнетит), а затем до 500°C .

Авторы выражают благодарность и признательность д-ру геол.-мин. наук, профессору А.Ю. Гужикову и д-ру геол.-мин. наук, профессору О.П. Гончаренко за всестороннюю помощь и многочисленные научные консультации во время проведения исследований и на этапе написания статьи.

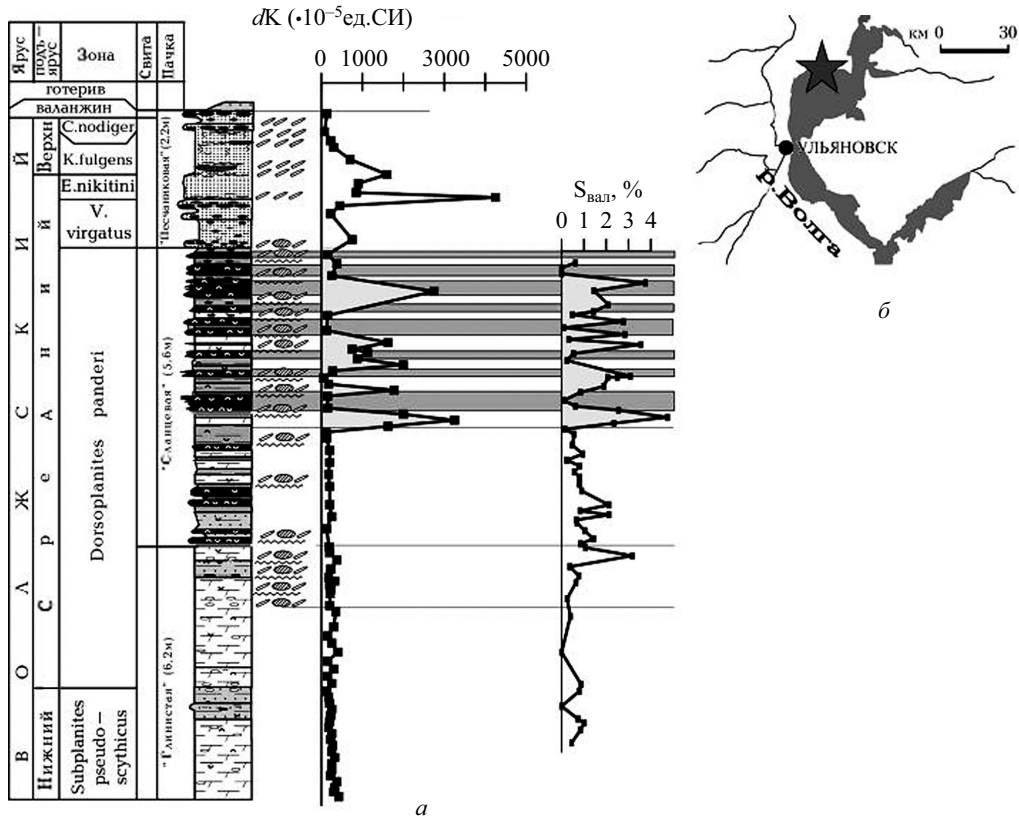


Рис. 3. Распределение прироста магнитной восприимчивости (dK) по данным 1996 г. (а) и валовой серы ($S_{вал}$) в разрезе волжского яруса у д. Городищи (Ульяновский район) (б)

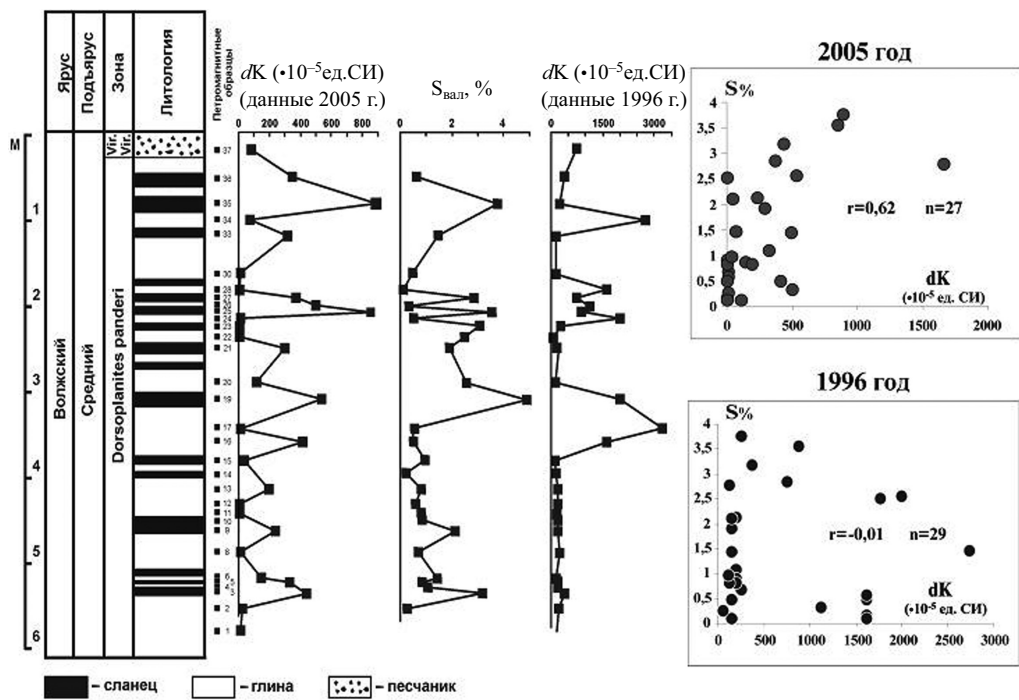


Рис. 4. Распределение прироста магнитной восприимчивости (dK) по данным 1996 и 2005 гг., валовой серы ($S_{вал}$) в пределах «сланцевой толщи» разреза Городищи



Библиографический список

1. Барбошкин Е.Ю., Гужиков А.Ю., Еремин В.Н. Био- и магнитостратиграфия альба в разрезе Акуша (Дагестан). Статья 2. Магнитостратиграфия // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1997. Т.72, вып. 3. С.41–51.
2. Гришанов А.Н., Гужиков А.Ю., Молостовская И.И., Харитонов Т.В. Использование петромагнитных критериев для детального расчленения разрезов уфимского яруса и обоснования границы между соликамским и шешминским горизонтами в пределах Соликамской впадины Предуральского прогиба // Изв. вузов. Геология и разведка. 1997. № 1. С.19–25.
3. Гужиков А.Ю., Барбошкин Е.Ю., Гаврилов Ю.О. и др. Магнитные свойства волжских отложений как индикаторы железосодержащих минералов и их значение для реконструкций условий седиментации в позднюрском палеобассейне Поволжья // Геологические науки – 99: Избр. тр. межвед. науч. конф. (Саратов, 5–16 апреля 1999 г.). Саратов, 1999. С. 38–42.
4. Гужиков А.Ю., Бирбина А.В., Копачевич Л.Ф. и др. Опорный разрез границы альбского и сеноманского ярусов Саратовского Заволжья // Недра Поволжья и Прикаспия. Саратов, 2002. Вып. 31. С.21–29.
5. Гужиков А.Ю., Барбошкин Е.Ю. О региональном отражении океанских аноксических событий (ОАЕ) в петромагнетизме меловых отложений и возможной связи ОАЕ с режимом геомагнитного поля // Палеомагнетизм и магнетизм горных пород: теория, практика, эксперимент: Материалы междунар. семинара. Казань, 2004. С. 289–294.
6. Молостовский Э.А. Скалярные магнитные характеристики горных пород как показатели условий седиментации // Использование магнетизма горных пород при геологической съемке. Л., 1986. С. 150–166.
7. 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.
8. Еремин В.Н., Молостовский Э.А., Первушова Е.В., Черняева А.Ф. Магнитная зональность осадочных пород и пространственное распределение аутигенных минералов железа в зонах влияния углеводородов // Геология нефти и газа. 1986. № 4. С. 38–44.
9. Молостовский Э.А., Фролов И.Ю. Использование термомагнитометрии при поисках месторождений нефти и газа // Палеомагнетизм и магнетизм горных пород: теория, практика и эксперимент: Материалы междунар. семинара. Казань, 2004. С. 257–262.
10. Жуков А.Н., Маникин А.Г., Пименов М.В. и др. К вопросу о количественной интерпретации термокаппаметрических данных // Геологи XXI века: Материалы VI Всерос. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых специалистов (Саратов, 5–7 апреля 2005 г.). Саратов, 2005. С. 38–40.
11. Гужикова А.А. Результаты апробации модифицированной методики термокаппаметрических данных // Геологи XXI века: Материалы VII Всерос. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых специалистов (Саратов, 28–31 марта 2006 г.). Саратов, 2005. С. 33–34.

УДК 551.763.1 (470.4)

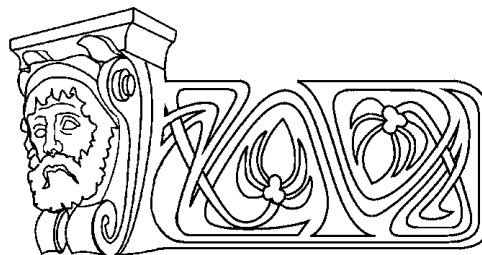
ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕСТНЫХ СТРАТИГРАФИЧЕСКИХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ НИЖНЕГО МЕЛА НА СЕВЕРЕ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

В.Ф. Салтыков, А.Г. Маникин¹

Саратовский государственный университет,
кафедра общей геологии и полезных ископаемых
E-mail: dekanat@geol.sgu.ru

¹ Научно-исследовательский институт естественных наук
Саратовского государственного университета,
отделение геологии
E-mail: MAG1983@list.ru

Детальное опробование нижнемеловых отложений, вскрытых в обнажениях и в скважинах на севере Волгоградской области, выявило особенности изменений вещественного состава по разрезу на уровне местных стратиграфических подразделений. Установлена цикличность при формировании нижнемеловых отложений. Анализ собственных и опубликованных палеонтологических сведений позволил произвести их датировку по отношению к общей стра-



тиграфической шкале. Рассматривается стадийность осадконакопления в течение раннего мела на территории Волгоградской области.

Characteristics of the Lower Cretaceous Local Stratigraphic Units from the North of the Volgograd Region

V.F. Saltykov, A.G. Manikin

Detailed sampling of the Lower Cretaceous beds from the wells and outcrops in the north of the Volgograd Region has revealed peculiarities in the material composition alterations along the section at the level of local stratigraphic units. Cyclicity in the Cretaceous bed formation has been established. Analyses of the authors' own and of the earlier published paleontologic data have made it possible to date the beds relative to the general stratigraphic scale. Sedimentation stages in the Early Cretaceous have been considered for the Volga right bank region in the vicinity of Volgograd.