

УДК 553.061:532.621.4(422.61/62)

Инж. КОСТЕНКО Д.Т., докт. геол.-мин. наук ВОЕВОДА Б.И., канд. геол.-мин. наук
ИВАНОВ Л.А., (ДонНТУ)

ЭПИГЕНЕЗ И МАГНИТНАЯ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ УГЛЕНОСНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ДОНБАССА

Угольная геология и практика углеразведки требуют дальнейшего совершенствования геофизических методов исследования угольных скважин. Основной задачей, поставленной горной промышленностью перед наукой в области геофизических исследований скважин (ГИС), является постоянное повышение достоверности и объективности получаемой геологической информации. Пути решения лежат либо в усовершенствовании существующих методов ГИС, либо в разработке новых методов, базирующихся на принципиально новом, ранее не применявшемся в данной отрасли геологии физическом параметре. Для угольной геофизики подобным новым параметром может стать параметр магнитной восприимчивости (χ).

До недавнего времени применение магнитного метода при решении углеразведочных задач считалось малоперспективным. Это связано с тем, что существующая стандартная скважинная аппаратура, измеряющая параметр магнитной восприимчивости, обладала сравнительно низкой ($1 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-3}$ ед. СИ) чувствительностью. При такой чувствительности скважинной аппаратуры незначительные различия пород по магнитной восприимчивости не могли быть замечены.

В конце 80-х годов XX столетия во ВНИИГИСе (Всесоюзный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт геофизических исследований геологоразведочных скважин Министерства геологии СССР) была разработана аппаратура широкополосного электромагнитного каротажа (ШЭМК), которая отвечает требованиям к геофизической аппаратуре для углеразведочных скважин. Чувствительность аппаратуры ШЭМК — $1 \cdot 10^{-6}$ ед. СИ, погрешность измерений — 5–10%. Такой аппаратурой впервые проведены на территории Донбасса петромагнитные исследования, результаты которых доказали наличие высокой дифференциации угленосных отложений Донбасса по параметру магнитной восприимчивости при общих невысоких ее значениях у всех типов пород угленосной толщи [1–5].

Базисом эффективного геологического использования геофизических методов являются установленные связи между изучаемым физическим параметром и основными геологическими характеристиками пород, а так же геологическими факторами его изменения [8]. Известно, что физические свойства угленосных отложений обусловлены суммарным воздействием двух групп геологических факторов: первичных (генетических), отраженных в различии пород по составу, и вторичных (эпигенетических), обеспечивших их преобразование [6–8].

Для выяснения связи магнитной восприимчивости с генетическими и эпигенетическими факторами угленосных отложений проведены петромагнитные исследования по разрезам глубоких параметрических скважин Донбасса. Исследованы две параметрические скважины: К-900 (Красноармейский угленосный район) и Щ-1027 (Донецко-Макеевский угленосный район). Известно, что параметрические скважины отличаются от обычных разведочных скважин более детальным изучением керна с использованием различных лабораторных методов, в том числе петрографических с помощью микроскопа, а также детальными исследованиями разреза расширенным комплексом методов ГИС. Геологические и геофизические данные параметрических скважин обеспечивают достоверные и обоснованные решения как практических, так и научных задач.

Мощность толщи, непрерывно исследованной по разрезу Очеретинской скважины К-900, составила 2660 м. Толща представлена отложениями свит $C_3^2 - C_2^4$, испытавших различные эпигенетические преобразования (от V(D₁) до XI(T₁)). По разрезу скважины Щ-1027 непрерывно изучено 2250 м (отложения свит $C_3^1 - C_2^3$ на стадиях эпигенеза VII₁(Г₁) – XIII(ПА₁)). Нумерация стадий эпигенетических преобразований углевещающих пород принята по В.В. Гречухину, который для угленосных отложений выделил всего 19 стадий эпигенеза (от низшей I-ой стадии, соответствующей торфу, до высшей стадии — XIX, соответствующей максимально преобразованным антрацитам) [8].

Замеры параметра магнитной восприимчивости на образцах горных пород проводились в лабораторных условиях на высокочувствительной (с точностью измерения $-1 \cdot 10^{-6}$ ед. СИ и погрешностью — 5%) аппаратуре ЛИМВ-70 (лабораторный измеритель магнитной восприимчивости), разработанной во МГРИ (г. Москва), а также каппаметром чешского производства — KLY-2. Оба лабораторных прибора обладают равными значениями погрешности измерений, совпадающими с погрешностью измерения магнитной восприимчивости пород скважинной аппаратурой ШЭМК. Поэтому результаты магнитных измерений, выполненные на образцах керна и в скважинах, являются равноточными. Это делает обоснованным их совместную обработку, анализ и сопоставления.

Основой выполненных исследований явилась геолого-геофизическая методика, согласно которой породы угленосной толщи делятся не на литологические, а на петрофизические типы (петротипы).

Петротип — тип породы, который всесторонне охарактеризован рядом различных показателей: гранулометрическим (преобладающий размер обломочных зерен — d_3), вещественного состава (содержание кластического — $C_{кл}$, глинистого — $C_{гл}$ карбонатного материала — $C_{к}$, и органического вещества — $C_{орг}$), петрофизическими (общая пористость — K_p , минералогическая плотность — δ_m , объемная плотность абсолютно сухой породы — δ_c , и породы при максимальном влагонасыщении — δ_n , удельное электрическое сопротивление — ρ_p , скорость прохождения продольных упругих волн — V_p , интенсивность естественного гамма-излучения — I_γ абсолютная и относительная), геохимического состава (14 основных химических элементов и соединений) и эпигенетических (стадия и ступень) — всего 28 показателей. То есть, петротип более объективно характеризует породы и используется на практике для детального определения литологии отложений, вещественного состава пород, их прочностных, деформационных, структурных, технологических и физико-механических свойств, а также при изучении устойчивости, обрушаемости пород в горных выработках, выбросоопасности и т.п. [2, 6–8].

С учетом всего многообразия литологических типов, представленных в любых угленосных отложениях, составлена генерализованная классификация. Она включает в себя 34 петротипа (28 — описывающих породы и 6 — угли и углистые породы), рассматриваемые на 4 стадиях преобразования (сингенез, диагенез, катагенез и метагенез) [2, 6–8]. На основании генерализованной классификации была составлена литолого-геофизическая классификация угленосных отложений Донбасса. Она представлена также 34 петротипами на различных стадиях преобразования и охарактеризованными не только геологическими и геохимическими но и петрофизическими показателями. По комплексу геофизических диаграмм и петрофизическим показателям в разрезах скважин были выделены слои различной мощности, представленные разными петрофизическими типами. На основании литолого-геофизической классификации по каждому выделенному слою определен не только петротип, но и его литологическая, вещественная и гранулометрическая характеристики.

Петромагнитные исследования по разрезам скважин включали равномерный отбор образцов наиболее распространенных в угленосных отложениях Донбасса петротипов. К таким типам пород отнесены: аргиллит (петротип XVIII) — занимающий 25% от общей мощности угленосных отложений Донбасса, песчаник мелкозернистый с глинистым цементом (петротип IX) — 11,5% и песчаник среднезернистый с глинистым цементом (петротип VI) — 6% [6, 7]. К изучению принимались образцы, отвечающие двум ограничивающим условиям. Содержание карбонатного материала в образцах ограничивалось 5% ($C_k \leq 5\%$). Содержание органического вещества — 5% ($C_{орг} \leq 5\%$). Таким образом, каждый образец был четко охарактеризован рядом петрографических показателей. Это позволило избежать в исследованиях ошибок, связанных с вариациями гранулометрического и вещественного составов, которые строго контролировались изучением шлифов по каждому образцу. Не отвечающие указанным ограничениям образцы исключались из дальнейших исследований.

При изучении магнитной восприимчивости по данным только скважинных геофизических наблюдений, литологический, вещественный и гранулометрический составы изучаемых слоев определялись по упомянутой выше геолого-геофизической методике.

Изучение петромагнитных изменений под воздействием только эпигенеза обеспечивалось путем исключения влияния первичных (генетических) факторов. С этой целью по разрезам скважин рассматривалась магнитная восприимчивость однотипных пород (одинакового вещественного и гранулометрического составов) в различных интервалах разреза, т.е. на различных стадиях эпигенетических преобразований [6, 8].

Использованная методика исследований позволила добиться максимально достоверных и объективных результатов.

Связь магнитной восприимчивости пород со степенью их эпигенеза определялась тремя способами: путем прослеживания изменений магнитной восприимчивости однотипных пород по разрезам глубоких параметрических скважин; путем эпигенетической корреляции петромагнитных разрезов глубоких скважин, а также анализом корреляционных связей между значением магнитной восприимчивости пород и коэффициентом их пористости.

Петромагнитный разрез представляет собой кривые изменения магнитной восприимчивости однотипных пород по разрезам отдельных скважин (рис. 1).

Кроме изменения χ пород по разрезу (с глубиной залегания), петромагнитный разрез раскрывает численные значения параметра и их вариации для каждого изученного типа породы в пределах рассмотренного интервала. Установлено, что χ аргиллита без примесей изменяется от $295 \cdot 10^{-6}$ до $410 \cdot 10^{-6}$ ед. СИ, песчаника мелкозернистого с глинистым цементом — от $70 \cdot 10^{-6}$ до $310 \cdot 10^{-6}$ ед. СИ и песчаника среднезернистого с глинистым цементом — от $35 \cdot 10^{-6}$ до $220 \cdot 10^{-6}$ ед. СИ (см. рис. 1).

Петромагнитные разрезы были построены для скважин К-900 и Щ-1027. Их анализ позволил сделать следующие выводы:

— изменения с глубиной залегания параметра магнитной восприимчивости однотипных пород, прослеженные по разрезам упомянутых скважин, имеют волнообразный разнонаправленный характер

— разнонаправленность изменений параметра наблюдается в разрезе, как на различных стадиях эпигенеза, так и в пределах одной стадии;

— наблюдается сходный характер изменений магнитной восприимчивости трех однотипных пород по разрезам каждой из изученных скважин.

Таким образом, изменения параметра магнитной восприимчивости однотипных пород (петротип XVIII, петротип IX и петротип VI) по всему ряду эпигенетических

преобразований, представленному в разрезах скважин Щ-1027 и К-900 (от V(D₁) до XIII (ПА₁)), не являются закономерными и однонаправленными (см. рис. 1).

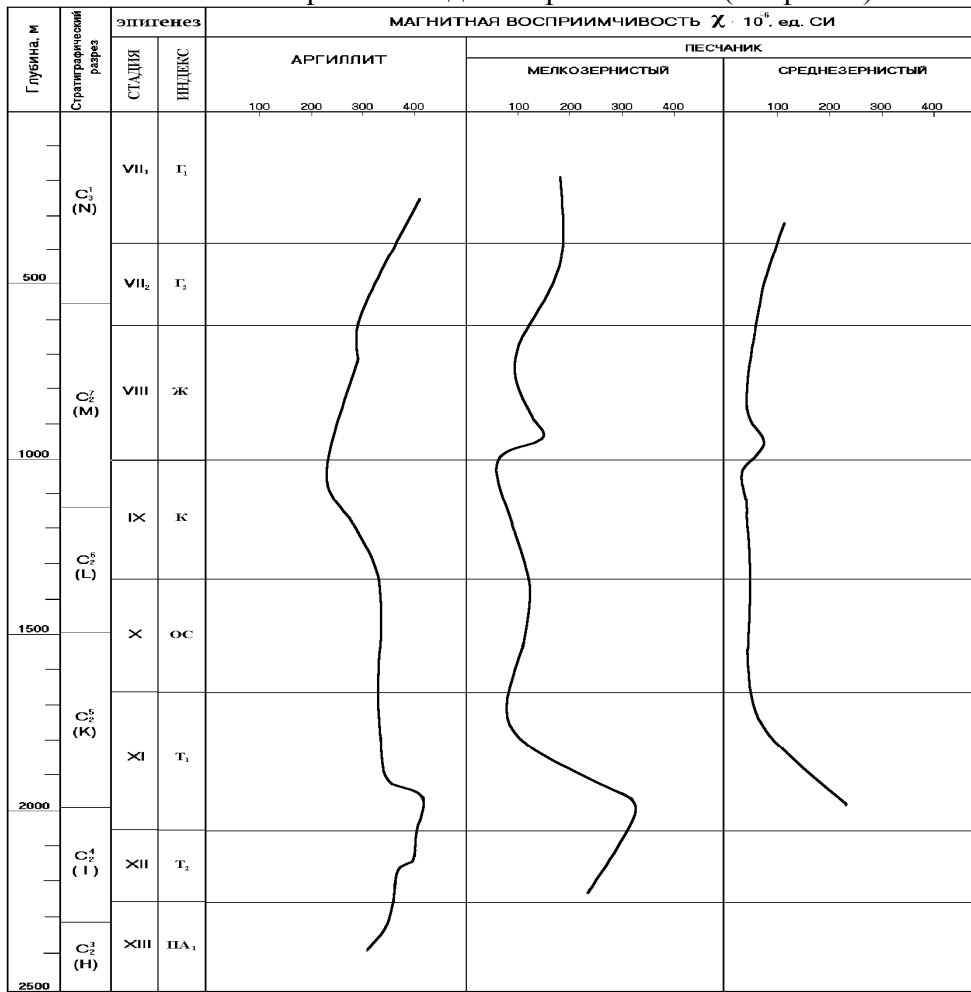


Рис. 1. Петромагнитный разрез угленосных отложений скважины Щ-1027

Эпигенетическая корреляция произведена путем совмещения петромагнитных разрезов скважин К-900 и Щ-1027 по одноименным стадиям эпигенетических преобразований, вскрытых в разрезе скважин (рис. 2). При этом были проанализированы фоновые значения изучаемого параметра однотипных аргиллитов, мелко- и среднезернистых песчаников, которые прослежены по каждой скважине, начиная с глубины с 200 метров и глубже.

Фоновые значения магнитной восприимчивости пород каждого стратиграфического интервала определены величинами среднего арифметического M и его допустимой погрешности ϵ . Погрешность среднеарифметических значений ϵ определена с доверительной вероятностью 0,95 и с учетом коэффициента Стьюдента для двухсторонней (\pm) проверки (см. рис. 2).

Диапазон изменения значений χ от $M-\epsilon$ до $M+\epsilon$ представляет собой доверительный интервал, в пределах которого с вероятностью 0,95 находится среднеарифметическое значение параметра магнитной восприимчивости каждого типа пород для рассматриваемого интервала разреза. Доверительные интервалы использованы при построении кривых, аппроксимирующих среднеарифметические значения по всем стратиграфическим интервалам. Каждая кривая построена так, что всегда проходит внутри всех ее доверительных интервалов с максимальной близостью к среднеарифметическим значениям χ (см. рис. 2).

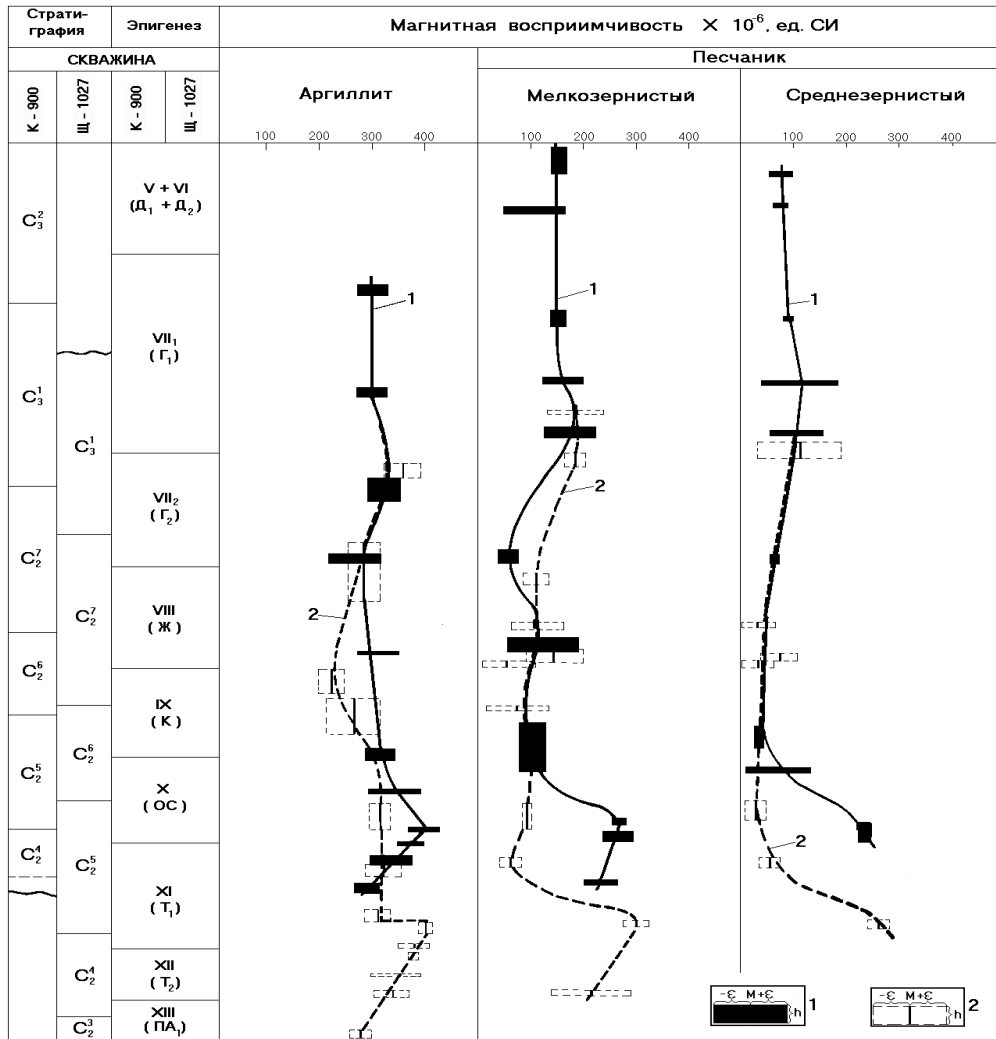


Рис. 2. Эпигенетическая корреляция петромагнитных разрезов скважин К-900 и Щ-1027: 1 — скважина К-900; 2 — скважина Щ-1027; μ — среднее арифметическое параметра χ ; ε — погрешность μ с доверительной вероятностью 0,95; h — интервал разреза

Эпигенетическая корреляция петромагнитных разрезов показала существенные различия в поведении параметра магнитной восприимчивости однотипных пород на одной стадии эпигенеза. Например, в пределах VII₁ стадии эпигенеза с глубиной магнитная восприимчивость всех трех петротипов по обеим скважинам возрастает, а в пределах VII₂ стадии с глубиной этот параметр уменьшается. Это еще раз подтверждает отсутствие закономерной связи между магнитной восприимчивостью угленосных отложений и степенью их эпигенетических преобразований (см. рис. 2).

Основным фактором, обуславливающим процессы эпигенеза пород в осадочной толще, является увеличение давления (т. е. изменение барических условий).

Увеличение давления влечет за собой необратимое закономерное увеличение объемной плотности пород, то есть основных ее видов — объемной плотности абсолютно сухой породы δ_c и объемной плотности породы при максимальном влагонасыщении δ_n [8, 9].

Применяемый в угольной геологии коэффициент общей пористости K_p , вычисляется аналитически, учитывает основные плотностные характеристики пород (δ_c , δ_n , δ_m) и находится в прямой зависимости от степени эпигенеза отложений [8, 9].

Коэффициент общей пористости K_p как показатель, наиболее достоверно количественно характеризующий процесс эпигенетического преобразования пород угленос-

ной толщи, принят для проведения корреляционного анализа и выявления связи магнитной восприимчивости и эпигенеза пород [8, 9].

Выполнен парный корреляционный анализ между значениями параметра магнитной восприимчивости и коэффициента общей пористости однотипных пород.

Корреляционные связи между параметрами χ и $K_{п}$ для однотипных пород по разрезам скважин К-900 и Щ-1027 имеют сходный характер. В качестве примера приведены графики корреляционных зависимостей для пород скважины К-900 (рис. 3).

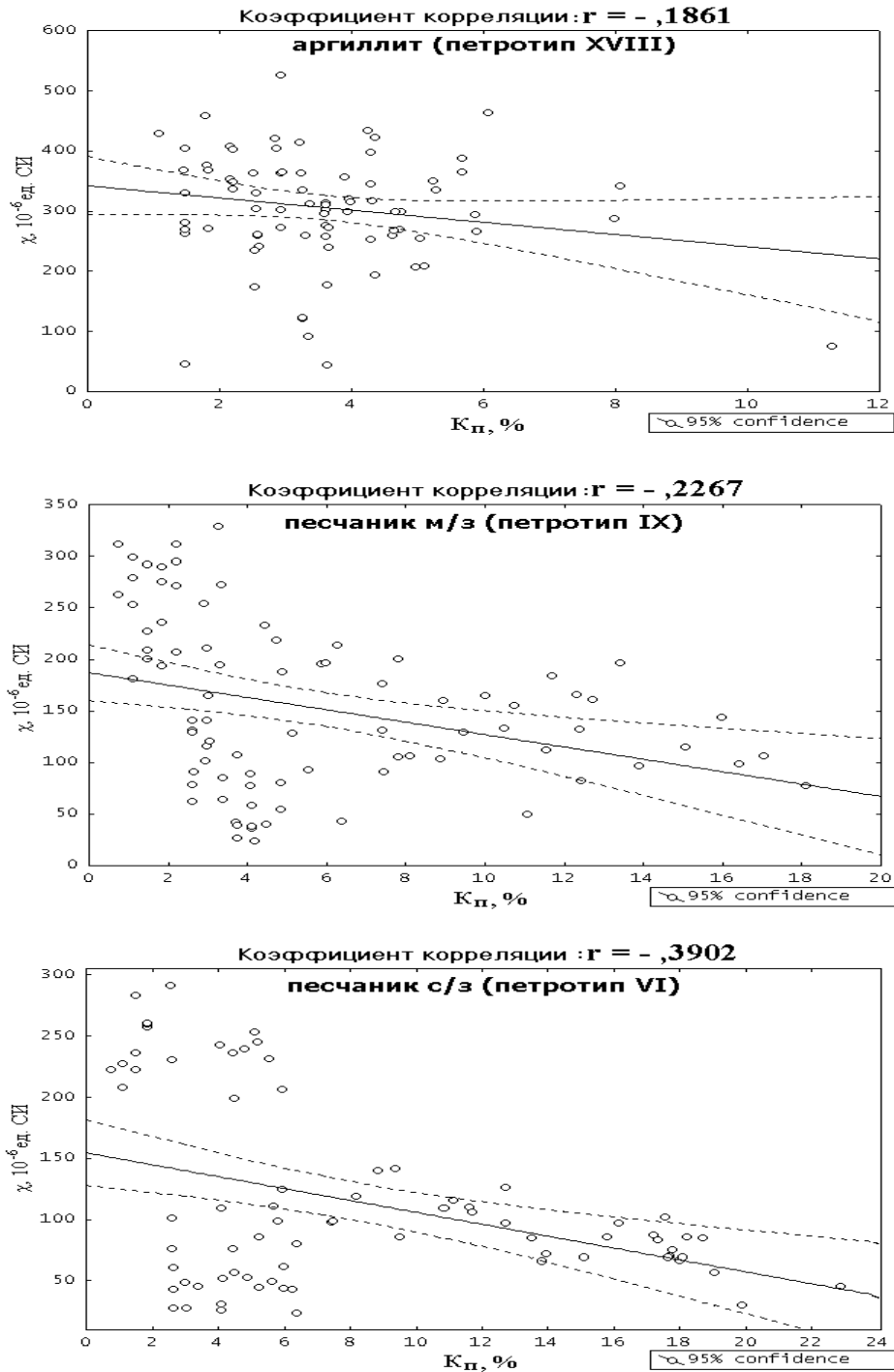


Рис. 3. Корреляционные связи коэффициента пористости $K_{п}$ и параметра магнитной восприимчивости χ однотипных пород в разрезе скважины К-900

По разрезу скважины К-900 составлена выборка из 85 образцов однотипного аргиллита. Результаты анализа парных корреляционных связей χ и K_n следующие:

- коэффициент корреляции $r = -0,1861$;
- кривая зависимости χ от K_n имеет слабый обратный наклон;
- поле корреляции имеет изометрическую конфигурацию, наблюдается большой разброс точек (см. рис. 3 а).

Аналогичная, еще более слабая связь наблюдается для аргиллитов в скважине Щ-1027 (коэффициент корреляции $r = -0,0379$).

Результаты анализа парных корреляционных связей χ и K_n однотипного мелкозернистого песчаника в скважине К-900 следующие:

- коэффициент корреляции $r = -0,2267$;
- кривая зависимости χ от K_n имеет небольшой обратный наклон;
- поле корреляции имеет изометрическую конфигурацию, наблюдается очень сильный разброс точек (см. рис. 3, б).

Для скв. Щ-1027 $r = -0,0498$.

Результаты анализа парных корреляционных связей χ и K_n однотипного среднезернистого песчаника в скв. К-900 следующие:

- коэффициент корреляции $r = -0,3902$;
- кривая зависимости χ от K_n имеет обратный наклон;
- поле корреляции имеет изометрическую конфигурацию, наблюдается очень большой разброс точек (см. рис. 3, в).

Для такого же песчаника в скважине Щ-1027 коэффициент корреляции $r = -0,3565$.

Результаты парного корреляционного анализа χ и K_n однотипных пород по разрезам глубоких параметрических скважин К-900 и Щ-1027 дают возможность сделать однозначный вывод — закономерная связь между магнитной восприимчивостью угленосных пород и эпигенетическими преобразованиями отложений практически отсутствует.

Вывод: эпигенетические преобразования угленосной толщи Донбасса не оказывают заметного влияния на изменение магнитной восприимчивости однотипных пород.

Библиографический список

1. **Воевода Б.И., Костенко Д.Т.** Возможности параметра магнитной восприимчивости при расчленении осадочной толщи. — сб. «Нафтогазова геологія та геофізика України – погляд у нове тисячоліття». — Чернігів: ЧВ УкрДГРІ, 2000. — С. 105–106.
2. **Воевода Б.И., Костенко Д.Т.** Магнитная восприимчивость угленосных отложений Донбасса. — сб. «Геология угольных месторождений». — Екатеринбург: УГГГА, 2001. — С. 205–208.
3. **Воевода Б.И., Костенко Д.Т.** Перспективы применения метода КМВ в углеразведке // Труды ДонГТУ, сер. горно-геологическая, вып. 24. — Донецк, 2001. — С. 117–120.
4. **Костенко Д.Т.** Магнитная восприимчивость горных пород как новый петрофизический показатель в углеразведке // Сб. «Проблемы геологии и освоения недр». — Томск: ТПУ, 2001. — С. 282.
5. **Костенко Д.Т., Воевода Б.И.** Магнитный метод в углеразведке ?, // Сб. «Геологічна наука ХХІ століття». — Луганск: «Альма-матер», 2004. — С. 74–76.
6. **Воевода Б.И., Костенко Д.Т., Мигель О.В.** Литология угленосных отложений Донбасса и методология ее детального изучения // Труды ДонГТУ, сер. горно-геологическая, вып. 11. — Донецк, 2000. — С. 137–140.
7. **Воевода Б.И., Костенко Д.Т., Мигель О.В.** Литологические закономерности угленосных отложений Донбасса // Труды ДонГТУ, сер. горно-геологическая, вып. 28. — Донецк, 2001. — С. 10–14.
8. **Гречухин В.В.** Петрофизика угленосных формаций. — М.: Недра, 1990. — 472 с.
9. **Метаморфизм** углей и эпигенез вмещающих пород / Под ред. Г.А. Иванова. — М.: Недра, 1975. — 255 с.