

## Магнитная восприимчивость пород северо-западной части Днепровско-Донецкой впадины

© М. И. Орлюк, В. В. Друкаренко, 2010

Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

Поступила 19 августа 2009 г.

Представлено членом редколлегии О. М. Русаковым

Уперше в лабораторних умовах проведено вивчення об'ємної магнітної сприйнятливості порід у 8 свердловинах, пробурених у північно-західній частині Дніпровсько-Донецької западини. Вивчено характер змінення магнітної сприйнятливості порід, а також обчислено її середні значення для кожної свердловини. Виявлено суттєву просторову неоднорідність розподілу цієї величини у породах досліджуваного регіону. Максимальними середніми значеннями характеризуються породи свердловин, що розташовані в крайовій частині западини та, як правило, поблизу магнітних аномалій. Виконано дослідження залежності магнітної сприйнятливості порід від наявності чи відсутності флюїду під впливом температури. Експериментально показано, що на характер магнітної сприйнятливості порід впливає її початкове значення, а також склад порід.

Laboratory studies of a three-dimensional magnetic susceptibility from 8 boreholes drilled in north-western part of the Dnieper-Donets Depression were studied for the first time. Average magnetic susceptibility values for each bore-hole and its variability character were investigated. Essential spatial heterogeneity of this value of the region was revealed. Bore-holes with maximal average magnetic susceptibility values of the rocks occur at the depression margin and near magnetic anomalies.  $\chi$  investigations of dry and gasoline-saturated samples in heating process were studied. Experimental study displays different kind of magnetic susceptibility behaviour in dependence on its primary values and rocks composition.

**Введение.** Проблема прогнозирования нефтегазоносности земной коры требует рассмотрения широкого круга процессов и явлений, которые так или иначе могут быть связаны с разными аспектами происхождения, миграции и накопления углеводородов. Одним из важных магнитных параметров, чувствительным к составу и строению геологического разреза, а также к процессам, происходящим в земной коре в целом и в осадочном чехле в частности, является магнитная восприимчивость пород. К настоящему времени имеются многочисленные примеры применения данного параметра как для изучения условий осадконакопления и стратиграфического расчленения осадочного чехла, так и для прогнозирования скоплений углеводородов в нефтегазоносных областях и провинциях [Орлюк и др., 2000; LeSchak, 2002]. Северо-западная часть Днепровско-Донецкой впадины (ДДВ) представляет собой хороший объект для таких исследований, поскольку здесь находится много скважин, которые

вскрыли глубокие горизонты не только карбона и девона, но и кристаллического фундамента. Карта аномального магнитного поля ( $\Delta T$ )<sub>a</sub> этой части Днепровско-Донецкого авлакогена (ДДА) позволяет сопоставить на качественном уровне намагниченность осадочного чехла и кристаллического фундамента с региональными и локальными особенностями геомагнитного поля (рис. 1). Следовательно, экспериментальное исследование магнитной восприимчивости пород земной коры данного района позволит впервые изучить пространственную неоднородность осадочного чехла в магнитном отношении, а также проанализировать ее в дальнейшем как в плане связи с намагниченностью кристаллического фундамента, так и прогнозирования распределения углеводородов.

**Краткая характеристика геомагнитного поля и разреза чехла в местах расположения скважин.** Аномальное магнитное поле ( $\Delta T$ )<sub>a</sub> района исследований имеет довольно простую структуру, с наличием в его составе

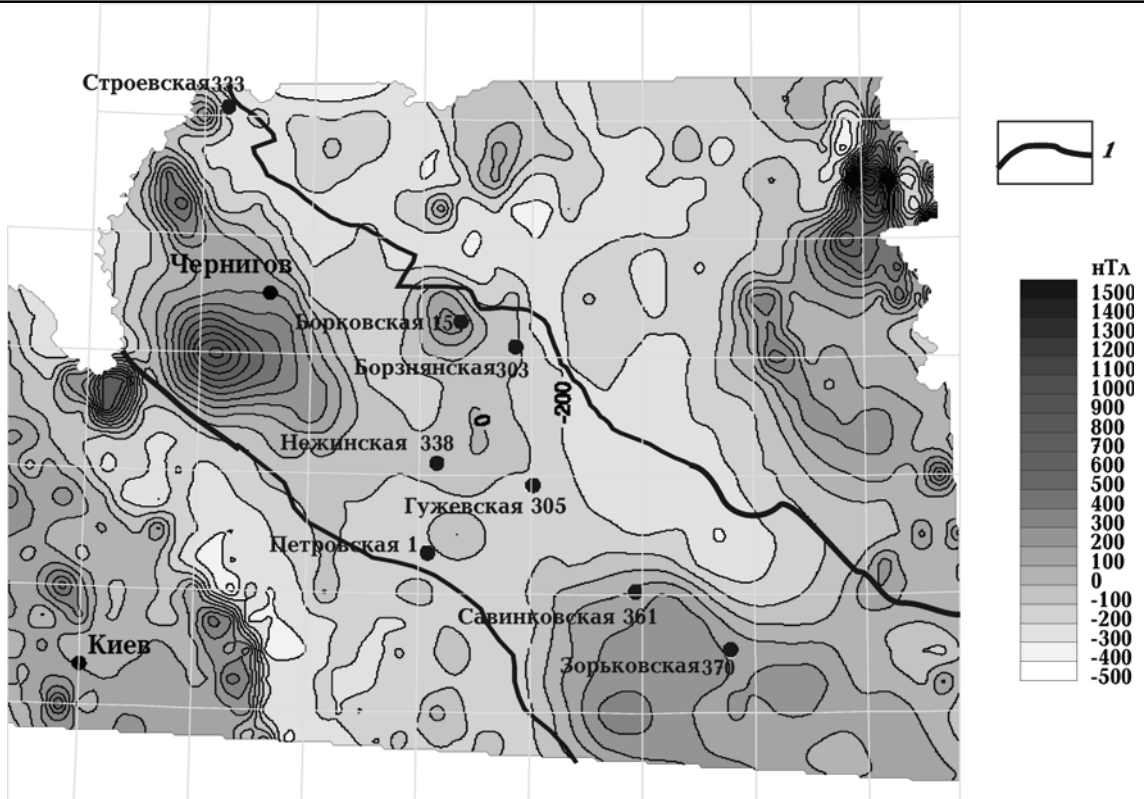


Рис. 1. Карта аномального магнитного поля ( $\Delta T$ ) в районе расположения скважин: 1 — граница ДДВ

региональной и локальной компонент [Орлюк, 1999; 2007]. Исследуемые скважины расположены в областях с разным характером геомагнитного поля ( $\Delta T$ )<sub>a</sub> — от минимумов, максимумов и градиентных зон локальных магнитных аномалий до соответствующих зон в региональной компоненте геомагнитного поля (см. рис. 1)

*Строевская 333* параметрическая скважина пробурена вблизи северного края ДДА в градиентной зоне локальной магнитной аномалии в присводовой части Строевской однокрылой структуры. Вскрыла подсолевые девонские отложения в северо-западной части Гриборуднянской впадины кристаллического фундамента. Перспективы нефтегазоносности на этой площади связывались с подсолевыми отложениями девона, в которых на соседних участках (Гриборуднянском и Ловинском) были получены прямые проявления нефти [Иванишин, 2005]. Достигнув глубины 3803 м, скважина вскрыла кайнозойские, мезозойские, палеозойские и докембрийские отложения. Девонские породы на глубине 846 м представлены верхним и средним отделами, которые не расчленены. Значитель-

ную часть разреза девона составляют эффузивные породы. Докембрийские породы (гнейсы, гранитогнейсы и граниты) вскрыты в интервале 2976—3803 м. В этом плане скважина является уникальной для ДДВ по глубине вскрытия фундамента.

*Борковская 15* поисковая скважина пробурена в северной прибортовой зоне ДДВ на северном крыле Ушнянского поднятия в непосредственной близости максимума крупной локальной магнитной аномалии. Достигнув глубины 4776 м, скважина вскрыла отложения всех комплексов девона. Межсолевой девон представлен терригенными, терригенно-карбонатными и эффузивными образованиями. Особенностью нижнего (франского) соленосного комплекса является малая мощность пластов соли, которая залегает в интервалах 4010—4080, 4304—4331 и 4538—4600 м.

*Борзнянская 303* параметрическая скважина расположена в геомагнитном отношении, как и предыдущая, но пробурена ближе к северному краю ДДА. Достигнув глубины 4508 м, скважина вскрыла только межсолевые (Елецкие) отложения. Граница между девонem (данково-лебедянские породы) и нижним карбо-

ном (визе) проходит на глубине 2276 м. Мощность девона составляет 2232 м. В надсолевом девоне сверху вниз выделяются алевро-тоглинистая, песчано-глинистая и мергельно-глинистая толщи. В этом районе в межсолевых терригенных отложениях девона на Кинашевской и Ядутовской площадях были приливы нефти.

*Нежинская 338* параметрическая скважина расположена в области регионального минимума магнитного поля (но на фоне слабоинтенсивной локальной аномалии), пробурена в северо-западной части приосевой зоны впадины, в сводовой части Валентиновского поднятия в карбоне. При фактической глубине 5337 м скважина вскрыла надсолевые озерско-хованские отложения на глубине 3370 м и из них не вышла. В визейском, серпуховском и башкирском ярусах преобладают терригенные отложения.

*Гужевская 305* параметрическая скважина пробурена в северо-западной части приосевой зоны ДДВ на Гужевской террасе, которая пространственно связана с Ичнянской группой соляно-купольных структур. Расположена в области регионального минимума магнитного поля. Достигнув глубины 5501 м, скважина вскрыла надсолевые переходные (пограничные) каменноугольно-девонские руденковско-бельские (озерско-хованские) породы на глубине 3600—5501 м и из них не вышла. Девонская часть разреза представлена терригенной толщей, над ней несогласно залегают терригенная толща верхневизейского подъяруса.

*Савинковская 361* параметрическая скважина пробурена в приосевой зоне впадины, в Сребненской депрессии на Савинковской террасе, расположена в пределах градиентной зоны Лохвицкой региональной магнитной аномалии. На глубине 6005 м скважина вскрыла верхнюю часть (15 м) нижнего визе. Нижнекаменноугольные образования мощностью 1415 м представлены серпуховским и визейским ярусами. Отложения верхнего визе мощностью 1041 м представлены терригенными породами.

*Зорьковская 370* параметрическая скважина пробурена в области Лохвицкой региональной магнитной аномалии и локальной аномалии северо-западного простирания и находится на Свиридовско-Червонозаводском валу, на соединении Сребненской и Ждановской депрессий в приосевой зоне впадины. Достигнув проектной глубины, скважина

вскрыла верхнюю часть девона, обнаружив месторождение углеводородов в горизонте В-22, а потом и Червонозаводско-Рудовскую зону нефтегазоаккумуляции. Керном охарактеризованы отложения славянской свиты нижней перми, московского и башкирского ярусов среднего карбона, серпуховского, визейского, турнейского ярусов нижнего карбона и верхней части (41 м) девона.

*Петровская 1* параметрическая скважина пробурена в южной прибортовой зоне авлакогена, в области регионального минимума магнитного поля, на одноименном структурном носе по межсолевым девонским отложениям. Достигнув глубины 5501 м, скважина вскрыла надсолевой девон на глубине 3203—3336 м (терригенные и карбонатные породы), верхнюю соленосную толщу (3330—3413 м), межсолевой девон (3413—5501 м) при полном отсутствии в толще вулканогенных примесей.

**Магнитная восприимчивость пород.** Объемная магнитная восприимчивость ( $\chi$ ) служит коэффициентом пропорциональности между интенсивностью намагниченности объема вещества и напряженностью намагничивающего поля:  $J = \chi H$  и является соответственно безразмерной величиной. Магнитная восприимчивость, рассчитанная на единицу массы вещества, называется удельной магнитной восприимчивостью. В нашем случае измерялась и анализировалась объемная магнитная восприимчивость, которую можно использовать в дальнейшем для расчетов аномалий магнитного поля от исследуемых объектов. В качестве единиц измерения магнитной восприимчивости используются единицы СГСМ и единицы СИ: СИ =  $4\pi$  СГСМ [Савин, 1985]. Магнитная восприимчивость пород изменяется в широких пределах — от  $10^{-4}$ — $10^{-6}$  до десятков единиц СГСМ, при этом она может быть как положительной, так и отрицательной. Отрицательной магнитной восприимчивостью обладают диамагнетики: они намагничиваются против поля. У парамагнетиков и ферромагнетиков она положительна (намагничивание по полю).

Поскольку ферромагнитные минералы, особенно магнетит, широко распространены в природе, то их присутствие в составе горных пород повышает восприимчивость последних. Среди осадочных пород магнитные породы, особенно с высокими значениями восприимчивости, встречаются крайне редко. Магнитные характеристики осадочных пород обусловлены главным образом акцессорными ми-

нералами, которые имеют четко выраженные ферромагнитные особенности (магнетитом и его разновидностями, маггемитом, гематитом и гидроксидами железа). К сильным парамагнитным минералам относятся сидерит, хлорит, пирит, ильменит, биотит, иногда глинистые минералы, что в значительной мере обусловлено примесями, реликтами и новообразованиями железистоокисных минералов с ферромагнитными свойствами. С этими включениями и примесями связаны повышенные значения магнитной восприимчивости, ферромагнитные свойства указанных минералов, чистые разновидности которых относятся к парамагнетикам [Дортман, 1984; Третьяк, 1983].

Магнитная восприимчивость осадочных пород зависит от содержания и состава акцессорных минералов и изменяется в широких пределах для каждой геологической разновидности. Прямой функциональной зависимости между концентрацией железистоокисных минералов и магнитной восприимчивостью осадочных пород не наблюдается, однако статистическая зависимость такого рода существует. Высокие значения магнитной восприимчивости для песчаников и алевролитов можно отметить около источников сноса, они обусловлены повышенным содержанием магнетита (в виде рудных зерен), а также их хорошей сохранностью. В последнее время обнаружены пляжные магнитные пески, распространенные во многих районах мира, с концентрацией ферромагнетика более 2,5%, представленные в основном магнетитом и обладающие соответственно высокой магнитной восприимчивостью [Курников и др., 2005; 2007; Орлюк и др., 2005]. По этой же причине наблюдаются различия в магнитных характеристиках осадочных пород складчатых и платформенных районов. По величине магнитной восприимчивости можно судить о направлении и длине линии сноса, а также в некоторой мере о составе пород питающей провинции [Дортман, 1984].

**Методика измерения магнитной восприимчивости пород.** Измерения магнитной восприимчивости ( $\chi$ ) проводились по стандартной методике [Михайлова и др., 1974] на образцах, отобранных из кернов вышеприведенных сверхглубоких скважин. Для лабораторных исследований из каждого штуфа выпиливались два образца, близких по форме к кубической ( $V \approx 8 \text{ см}^3$ ). Магнитная восприимчивость образцов измерялась на приборе KLY-1 и астатическом магнитометре МГ-2. Об-

разец измерялся в двенадцати положениях (в четырех по каждой из осей  $x, y, z$ ) на уровне между магнитами магнитной системы магнитометра, что позволяло уменьшить ошибки, связанные с магнитной анизотропией и несовпадением магнитного центра образца с магнитным центром кардана. Для каждого образца значение магнитной восприимчивости рассчитывалось по формуле

$$\chi = C_m x(V/8), \quad (1)$$

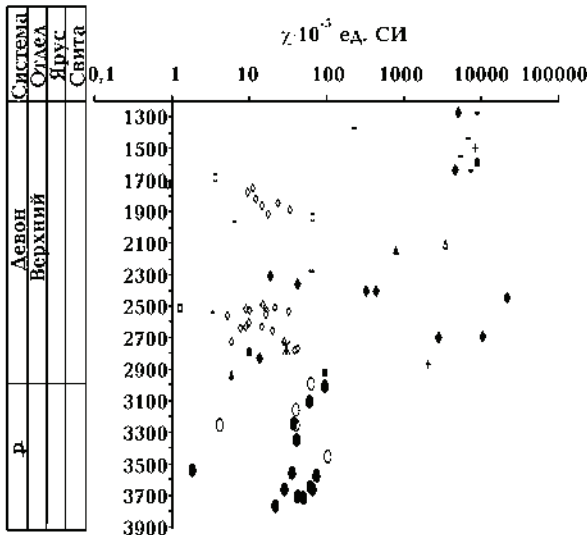
где  $C_m$  — цена деления прибора,  $x$  — отсчет прибора каждого образца,  $V = P_{\text{воз}} - P_{\text{вода}}$  — объем образца,  $P_{\text{воз}}$  и  $P_{\text{вода}}$  — его вес в воздухе и в воде соответственно. Вычислялась также плотность образцов.

**Результаты исследований.** С использованием приведенной методики была измерена магнитная восприимчивость около 900 образцов пород из восьми скважин. В целом для региона значения  $\chi$  разных типов пород изменяются в широких пределах: аргиллиты — от  $1,8 \cdot 10^{-5}$  (Гужевская) до  $4980 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ (Строевская); алевролиты — от  $4 \cdot 10^{-5}$  (Нежинская) до  $11450 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ (Борковская); известняки — от 0 (Нежинская) до  $340 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ (Зорьковская); песчаники — от  $1,9 \cdot 10^{-5}$  (Нежинская) до  $11665 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ (Борковская); туфобрекчии — от  $13 \cdot 10^{-5}$  до  $84 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ (Борковская); мергели — от  $6,9 \cdot 10^{-5}$  до  $365 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ (Борковская); туфопесчаники — от  $7 \cdot 10^{-5}$  (Борковская) до  $8913 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ (Строевская). Магнитная восприимчивость образцов соли из Борзнянской скважины невелика — до  $-8 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ, у ангидритов она колеблется от  $-1,6$  до  $-6 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ (Строевская). Базальты Борковской скважины отличаются высокими значениями  $\chi$  — до  $11110 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ. Значения  $\chi$  гнейсов Строевской скважины колеблются в пределах  $(1,9-95) \cdot 10^{-5}$  ед. СИ, гранитогнейсов —  $(4,2-104) \cdot 10^{-5}$  ед. СИ.

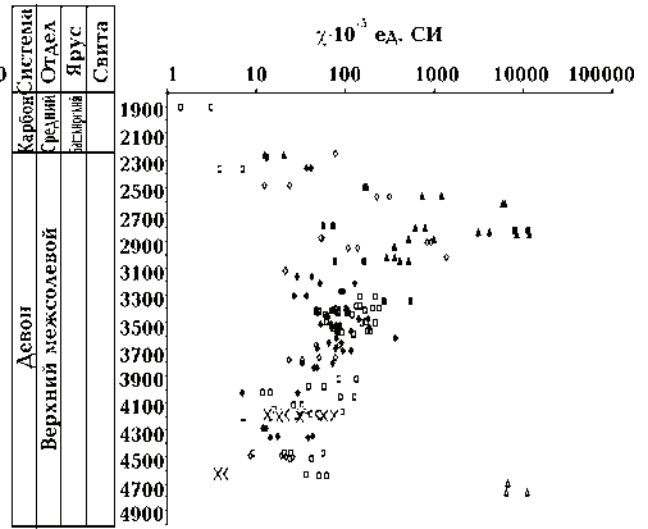
Для отдельных скважин характер изменения величин магнитной восприимчивости вдоль разреза с глубиной имеет свои особенности, которые рассмотрим детально (рис. 2).

Керн Строевской скважины представлен аргиллитами, алевролитами, песчаниками, ангидритами, известняками, доломитом, туфоаргиллитами, туфопесчаниками, эффузивными породами, гнейсами, гранитогнейсами верхнего девона и докембрия (рис. 2, а).

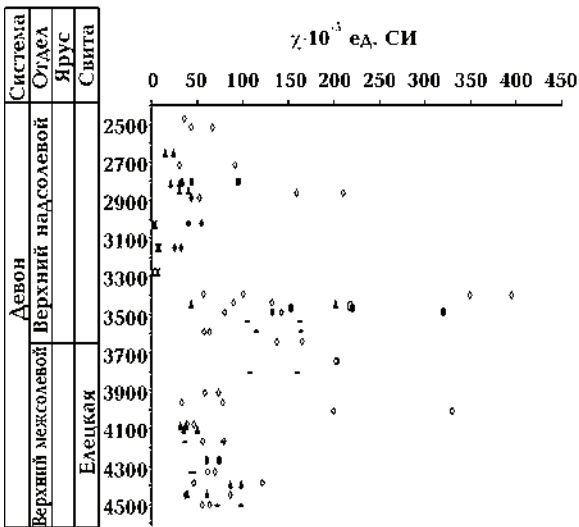
Значения магнитной восприимчивости изменяются в широких пределах: аргиллиты — от  $5,2 \cdot 10^{-5}$  (глубина 2561 м) до  $4980 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ



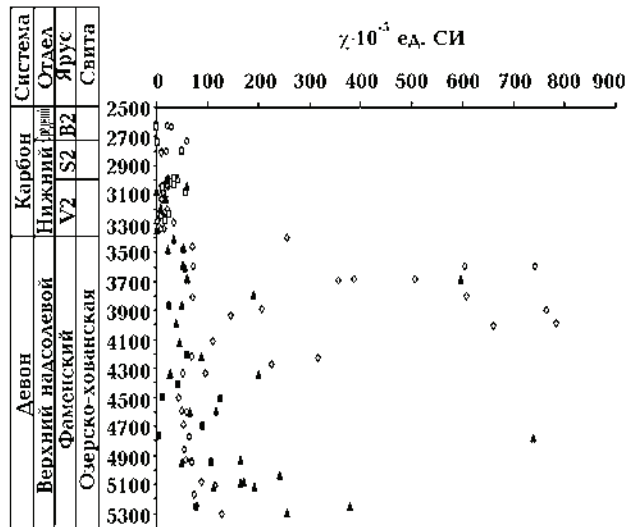
а



б



в



г

(1429 м), алевролиты — от  $10 \cdot 10^{-5}$  (2796 м) до  $8800 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ (1596 м), известняки — от  $1,2 \cdot 10^{-5}$  (1733 м) до  $66 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ (хотя это значение явно аномально, поскольку у остальных образцов значения  $\chi$  приблизительно одинаковы), ангидриты — от  $1,6$  до  $6 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ, туфоаргиллиты — от  $13 \cdot 10^{-5}$  (2834 м) до  $21290 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ (2446 м), туфопесчаники — от  $63 \cdot 10^{-5}$  (2282 м) до  $8913 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ (1279 м), гнейсы — от  $1,9 \cdot 10^{-5}$  (3543 м) до  $95 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ (3018 м), гранитогнейсы — от  $4,2 \cdot 10^{-5}$  (3261 м) до  $104 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ (3457 м). Высокие значения  $\chi$  имеют песчаники — до  $3445 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ, хотя

один образец характеризуется нормальным показателем —  $6 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ (2939 м). У эффузивных пород минимальное значение  $\chi$  наблюдается у образца с глубины 2869 м —  $2017 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ, максимальное —  $8350 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ с глубины 1495 м.

В целом же какой-либо закономерности изменения  $\chi$  с глубиной не наблюдается ни у одного из типов пород. Лишь на глубине до 3000 м встречаются аномально высокие значения  $\chi$  туфоаргиллитов, туфопесчаников, эффузивных пород, аргиллита, алевролита и песчаников. Можно также отметить некото-

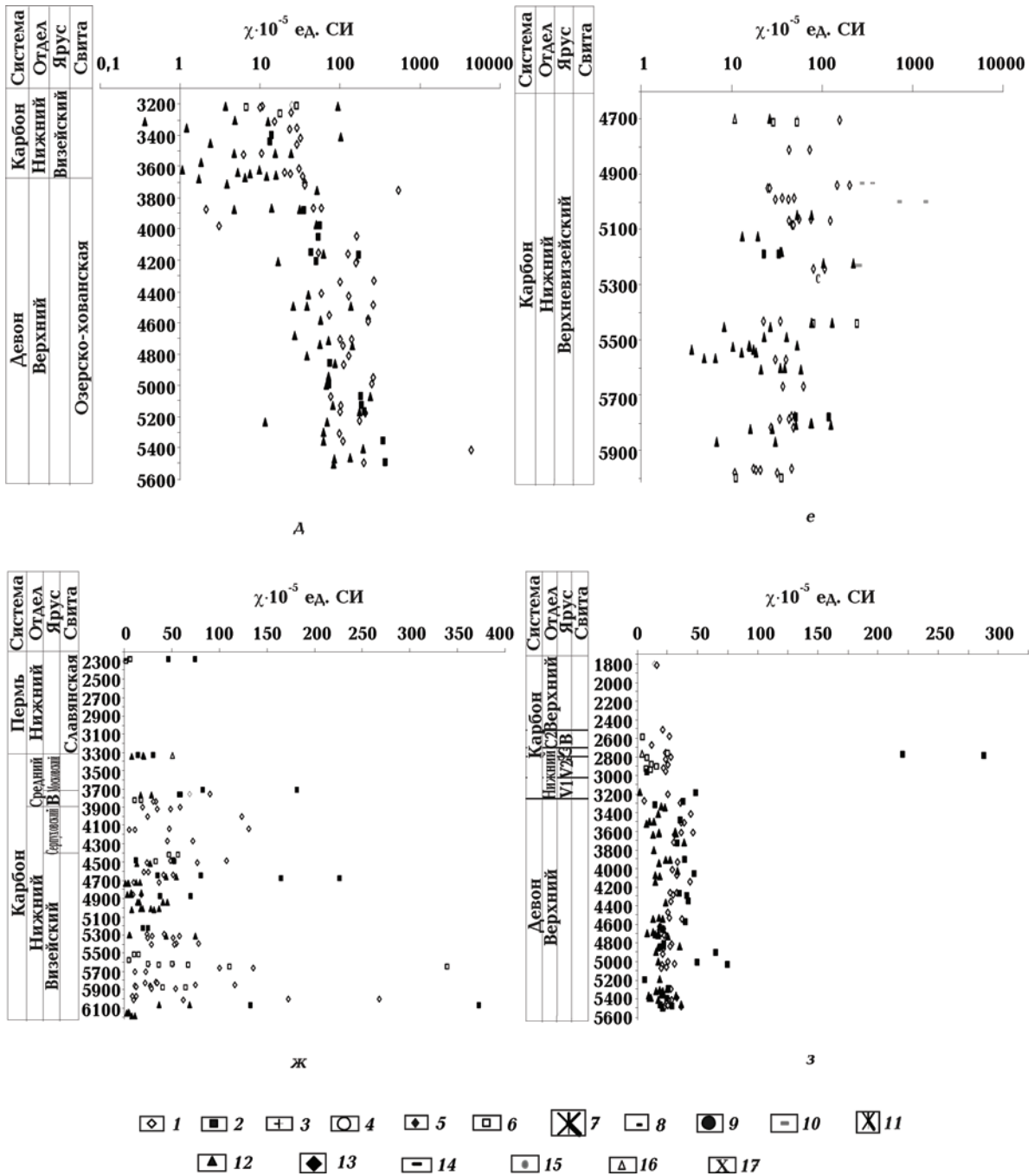


Рис. 2. Магнитная восприимчивость пород по скважинам: а — Строевская, б — Борковская, в — Борзнянская, г — Нежинская, д — Гужевская, е — Савинковская, ж — Зорьковская, з — Петровская; 1 — аргиллиты, 2 — алевролиты, 3 — эффузивные породы, 4 — гранитогнейсы, 5 — мергели, 6 — известняки, 7 — доломиты, 8 — ангидриты, 9 — гнейсы, 10 — конкреции, 11 — каменная соль, 12 — песчаники, 13 — туфоаргиллиты, 14 — туфопесчаники, 15 — туфобрекчии, 16 — базальты, 17 — известняки доломитизированные.

рое уменьшение магнитной восприимчивости пород на границе докембрий—девон.

Керн Борковской скважины (рис. 2, б) представлен разнообразными породами — алевролитами, песчаниками, аргиллитами, известня-

ками, мергелями, туфобрекчиями, туфопесчаниками, а также базальтами. Значения магнитной восприимчивости алевролитов колеблются в пределах от  $13,2 \cdot 10^{-5}$  (2280 м) до  $11450 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ (2828 м), песчаников от  $12,3 \cdot 10^{-5}$  (2261 м) до

11665·10<sup>-5</sup> ед. СИ (2848 м), аргиллитов от 12,3·10<sup>-5</sup> (2489 м) до 1355·10<sup>-5</sup> ед. СИ (3021 м), известняков от 3,1·10<sup>-5</sup> (1910 м) до 245·10<sup>-5</sup> ед. СИ (3402 м), мергелей от 6,9·10<sup>-5</sup> (4025 м) до 364·10<sup>-5</sup> ед. СИ (3617 м) ед. СИ, доломитизированных известняков от 3,7·10<sup>-5</sup> (4631 м) до 75·10<sup>-5</sup> ед. СИ (4196 м), туфопесчаников от 7·10<sup>-5</sup> (4231 м) до 52·10<sup>-5</sup> ед. СИ (4224 м). Туфобрекчии представлены всего двумя образцами: 13,4·10<sup>-5</sup> ед. СИ (4250 м) и 84·10<sup>-5</sup> ед. СИ (4240 м). Базальты характеризуются весьма высокой магнитной восприимчивостью — до 11112·10<sup>-5</sup> ед. СИ (4764 м). В общем для Борковской скважины максимальные значения  $\chi$  характерны для глубины 2700—2900 м, далее наблюдается закономерное уменьшение  $\chi$  для всех типов осадочных пород. Исключение составляют базальты с высокими значениями  $\chi$  внизу разреза. Учитывая тот факт, что скважина расположена в центре локальной магнитной аномалии (см. рис. 1), высокие значения  $\chi$  алевролитов и песчаников можно объяснить близким расположением источника сноса.

Породы Борзнянской скважины (рис. 2, в) представлены надсолевыми и междусолевыми породами верхнего девона, а именно аргиллитами, песчаниками, алевролитами, мергелями, туфопесчаниками, мергелями и образцами каменной соли. Значения  $\chi$  аргиллитов изменяются в пределах от 30,7·10<sup>-5</sup> (2711 м) до 395·10<sup>-5</sup> ед. СИ (3400 м), песчаников от 15·10<sup>-5</sup> (2653 м) до 202·10<sup>-5</sup> ед. СИ (3445 м), алевролитов от 44,6·10<sup>-5</sup> (2806 м) до 221·10<sup>-5</sup> ед. СИ (3469 м), туфопесчаников от 36,9·10<sup>-5</sup> (4172 м) до 164·10<sup>-5</sup> ед. СИ (3592 м), каменной соли от -1,6·10<sup>-5</sup> (3274 м) до -8,4·10<sup>-5</sup> ед. СИ (3152 м), мергелей от 32·10<sup>-5</sup> (3147 м) до 52,8·10<sup>-5</sup> ед. СИ (2885 м).

В соответствии с измерениями значительного изменения значений  $\chi$  пород с глубиной не наблюдается. Лишь в интервале глубин 3400—3900 м на границе межсолевого и надсолевого девона происходит увеличение значений  $\chi$  всех типов пород. Особо высокими показателями отличаются здесь аргиллиты и алевролиты.

Породы Нежинской скважины (рис. 2, г) представлены аргиллитами, алевролитами, песчаниками, известняками и доломитами верхнего девона, нижнего и среднего карбона. Значения  $\chi$  аргиллитов изменяются от 2,3·10<sup>-5</sup> (3287 м) до 782·10<sup>-5</sup> ед. СИ (3984 м), алевролитов от 4·10<sup>-5</sup> (4770 м) до 125·10<sup>-5</sup> ед. СИ (4510 м), песчаников от 1,9·10<sup>-5</sup> (3083 м) до 740·10<sup>-5</sup> ед. СИ (4776 м), известняков от 0 (2633 м) до 57·10<sup>-5</sup> ед. СИ (3090 м).

Судя по графику, некоторое увеличение  $\chi$  пород с глубиной наблюдается у песчаников, есть два образца с аномально высокими значениями. Известняки и алевролиты ведут себя более или менее ровно. У аргиллитов на границе между девонем и карбоном резко повышаются значения  $\chi$ , хотя в основном эти породы не отличаются большими вариациями магнитной восприимчивости. В целом же прослеживается монотонное увеличение значений магнитной восприимчивости всех типов пород с глубиной, особенно с глубины 4800 м.

Керн Гужевской скважины (рис. 2, д) представлен аргиллитами, алевролитами, песчаниками и известняками верхнего девона и нижнего карбона. Магнитная восприимчивость аргиллитов изменяется от 1,8·10<sup>-5</sup> (3356 м) до 4330·10<sup>-5</sup> ед. СИ (5416 м), песчаников от 2·10<sup>-5</sup> (3574 м) до 192·10<sup>-5</sup> ед. СИ (5410 м), известняков от 6·10<sup>-5</sup> (3219 м) до 28·10<sup>-5</sup> ед. СИ (3218 м), алевролитов от 13·10<sup>-5</sup> (3443 м) до 365·10<sup>-5</sup> ед. СИ (5499 м).

Для Гужевской скважины, начиная с границы между девонем и карбоном, наблюдается четкое увеличение значений  $\chi$  пород озерско-хованской свиты с глубиной. Причем аномальные значения  $\chi$  для одного типа пород не наблюдаются, исключение составляют лишь некоторые образцы аргиллита, отличающиеся высокими (3748 и 5416 м) значениями  $\chi$ . Можно отметить некоторое увеличение магнитной восприимчивости пород в интервале 4000—4500 м.

Савинковская скважина (рис. 2, е) вскрыла породы нижнего карбона, а именно аргиллиты, алевролиты, песчаники, известняки и конкреции. Магнитная восприимчивость песчаников изменяется от 3,6·10<sup>-5</sup> (5534 м) до 222·10<sup>-5</sup> ед. СИ (5224 м), аргиллитов от 10,9·10<sup>-5</sup> (5982 м) до 203·10<sup>-5</sup> ед. СИ (4940 м), известняков (всего три образца) от 11·10<sup>-5</sup> (6003 м) до 244·10<sup>-5</sup> ед. СИ (5440 м), конкреций от 246·10<sup>-5</sup> (5231 м) до 1388·10<sup>-5</sup> ед. СИ (5003 м), алевролитов (всего два образца) от 23·10<sup>-5</sup> (5192 м) до 120·10<sup>-5</sup> ед. СИ (5781 м).

Можно говорить о некотором уменьшении с глубиной магнитной восприимчивости аргиллитов, песчаников и известняков в интервале 5900—6000 м. Значения  $\chi$  алевролитов же, напротив, несколько возросли. Также наблюдается небольшой пласт песчаников с заметно пониженным значением  $\chi$  (5400—5600 м) по сравнению с другими глубинами. Конкреции отличаются высокими значениями  $\chi$ . В основном все породы в интервале глубин

4700—5300 м характеризуются повышенными значениями  $\chi$  по сравнению с интервалом 5400—5900 м. В целом же значения магнитной восприимчивости всех типов пород незначительно уменьшаются разрезе скважины.

Керн Зорьковской скважины (рис. 2, ж) представлен аргиллитами, алевролитами, песчаниками, известняками и ангидритами нижней перми, среднего и нижнего карбона. Значения  $\chi$  аргиллитов изменяются в пределах от  $5,4 \cdot 10^{-5}$  (4144 м) до  $173 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ (5998 м), песчаников от  $2,9 \cdot 10^{-5}$  (6158 м) до  $75 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ (5313 м), алевролитов от  $12,6 \cdot 10^{-5}$  (4489 м) до  $372 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ (6074 м), известняков от  $2,1 \cdot 10^{-5}$  (2300 м) до  $340 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ (5650 м). Ангидриты отличаются нулевыми значениями  $\chi$ .

В целом же можно выделить два интервала глубин (3700—4700 м и 5500—6100 м), которые представлены в основном аргиллитами, алевролитами и известняками, разделенными небольшим пропластком песчаников, где наблюдается небольшое увеличение значений  $\chi$ , особенно высокими значениями отличаются единичные образцы алевролитов, аргиллитов и известняка. Интервал между ними (4700—5100 м) представлен песчаниками и характеризуется низкими значениями  $\chi$ , впрочем, как и по всей глубине скважины.

Петровская скважина (рис. 2, з) вскрыла те же породы верхнего девона, что и Гужевская. Интервал значений магнитной восприимчивости для отдельных типов пород следующий: аргиллиты — от  $5 \cdot 10^{-5}$  (3275 м) до  $46 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ (3616 м), песчаники — от  $2 \cdot 10^{-5}$  (3182 м) до  $38 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ (3725 м), известняки — от  $4,5 \cdot 10^{-5}$  (2596 м) до  $25 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ (2769 м), алевролиты — от  $6,5 \cdot 10^{-5}$  (5207 м) до  $287 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ (2793 м).

Значения  $\chi$  с увеличением глубины существенно не меняются, лишь в интервале приблизительно 3100—4500 м наблюдается небольшое возрастание  $\chi$  для всех типов пород. Также имеются образцы алевролита (2783 и 2793 м) с аномально высокими значениями  $\chi$ .

Кратко анализируя полученные результаты, отметим, прежде всего, существенные отличия средних значений магнитной восприимчивости ( $\chi_{\text{ср}}$ ) пород отдельных скважин, а также стандартных отклонений для каждой из них. В частности, средняя магнитная восприимчивость пород Строевской скважины  $\chi_{\text{ср}} = 1378 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ, отклонение от среднего составляет  $3423 \cdot 10^{-5}$ , намечается уменьшение магнитной восприимчивости пород с увеличением глубины их залегания. Меньшими зна-

чениями  $\chi$  характеризуются породы, представляющие кристаллический фундамент. Для пород Борковской скважины  $\chi_{\text{ср}} = 604 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ, отклонение от среднего —  $1959 \cdot 10^{-5}$ , при этом наблюдается увеличение магнитной восприимчивости пород до глубины 3000 м, а затем следует, вплоть до глубины 4700 м, уменьшение величин до  $(10—40) \cdot 10^{-5}$  ед. СИ. Следует отметить, что граница, на которой меняется характер поведения магнитной восприимчивости пород с глубиной, расположена внутри верхнего межсолевого комплекса девона. Для Борзнянской скважины  $\chi_{\text{ср}} = 88 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ, отклонение составляет  $77,8 \cdot 10^{-5}$ . Повышенными значениями  $\chi$  характеризуются глубины 2850, 3500 и 4000 м. Среднее значение  $\chi$  пород Нежинской скважины составляет  $121 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ, отклонение —  $180 \cdot 10^{-5}$ . На фоне монотонного увеличения значений магнитной восприимчивости пород по разрезу скважины отметим резкое возрастание на границе между нижним карбоном и верхним надсолевым девонном. По Гужевской скважине  $\chi_{\text{ср}}$  по всем породам составляет  $114 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ, отклонение —  $388 \cdot 10^{-5}$ . Прослеживается четкое увеличение магнитной восприимчивости пород с глубиной начиная приблизительно с 4000 м и до 5600 м. Породы Савинковской скважины характеризуются низким значением —  $\chi_{\text{ср}} = 83 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ, отклонение —  $167 \cdot 10^{-5}$ . Наблюдается слабое уменьшение значений  $\chi$  в пределах верхневизейского яруса. Низкими значениями магнитной восприимчивости пород характеризуется Зорьковская скважина ( $\chi_{\text{ср}} = 45 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ), при этом наблюдается закономерное увеличение значений  $\chi$  с глубиной. Еще меньшими значениями магнитной восприимчивости пород характеризуется разрез Петровской скважины ( $\chi_{\text{ср}} = 24 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ), без заметного изменения ее величины с глубиной.

Полученные средние значения магнитной восприимчивости пород по отдельным скважинам, а также для всего региона в целом значительно выше значений магнитной восприимчивости для области Центральной депрессии ДДВ [Орлюк, 1999; Орлюк та ін., 2000; Максимчук, Кудеравец, 2009]. Это может быть объяснено небольшой глубиной залегания кристаллического фундамента, интенсивной магматической и вулканической деятельностью на девонском этапе развития территории, а также наличием в дальнейшем исходных магнитных пород при образовании осадочного чехла.



**Изменение магнитной восприимчивости пород под влиянием углеводорода и температуры.** Для выявления возможной генетической связи между магнитной восприимчивостью разных типов пород и местами скопления или прохождения углеводородов изучено изменение  $\chi$  для насыщенных и ненасыщенных образцов горных пород под влиянием температуры для Строевской, Зорьковской, Борковской и Нежинской скважин. Впервые такой эксперимент был проведен на примере осадочных и кристаллических пород Предкарпатского прогиба [Buchа, 1984]. В результате магнитная восприимчивость всех типов пород, насыщенных флюидом, существенно увеличивалась, а новообразование магнетита было доказано рентгеноструктурным анализом. Значимое увеличение значений магнитной восприимчивости осадочных пород экспериментально установлено и для образований осадочного чехла Центральной депрессии ДДА [Орлюк, 1999, Орлюк та ін., 2000]. Для проведения подобного эксперимента на породах северо-западной части ДДВ один из двух подготовленных образцов штуфа закладывался в углеводород (газолин) сроком на один месяц, другой исследовался без влияния флюида. После выдержки образца в газолине перед началом эксперимента его магнитная восприимчивость еще раз измерялась

на магнитометре МГ-2. Результаты сравнения значений магнитной восприимчивости чистых образцов и образцов, насыщенных газолитом, приведены в табл. 1—4, из которых видно, что  $\chi$  чистых и насыщенных образцов до нагрева практически идентичны. Экспериментальные исследования заключались в терморазмагничивании или термочистке образцов пород, что представляет собой нагрев и выдержку последних в практически немагнитном пространстве. Были выбраны ступени нагрева 100, 150, 200, 250, 300, 350 °С. Образцы выдерживались в скомпенсированном поле от 25 до 15 мин, в зависимости от температуры. После каждого нагрева на приборах KLY-1 и МГ-2 измерялась магнитная восприимчивость образцов, которая фиксировала постоянство состава магнитной фракции пород в процессе эксперимента. В результате исследований были построены графики зависимости абсолютных значений магнитной восприимчивости (в ед. СИ) и относительных значений ( $\chi_0 = 1$ ) от температуры, где  $\chi_0$  — начальное значение магнитной восприимчивости при  $T = 20$  °С.

Анализ результатов показал, что не во всех породах выявлено образование новых магнитных минералов, что проявляется в повышении магнитной восприимчивости пород, насыщенных углеводородом, т. е. за счет про-

**Таблица 1. Магнитная восприимчивость пород Борковской скважины до эксперимента**

Номер образца	Глубина отбора, м	Возраст отложений	Порода	$\chi \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, образец без газаolina	$\chi \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, образец с газаoliном
1/1	2250,8—2260,7	D <sub>3 м</sub> ежс.	аргиллит	77,7	—
1/2				77,8	78,6
2/1	2827,6—2838,0	— " —	алевролит	8079	—
2/2				11450	11511,2
3/1	3016—3021	— " —	аргиллит	288	—
3/2				361,1	349
4/1	3016—3021	— " —	песчаник	1356	—
4/2				1364	1341,4
5/1	3348,7—3355,0	— " —	алевролит	548	—
5/2				276,3	273,1
6/1	3614,7—3620,7	— " —	мергель	363	—
6/2				79	80
7/1	4185,9—4189,8	— " —	известняк	49,9	—
7/2				40,9	37,1
8/1	4246—4256,2	— " —	туфобрекчия	13	—
8/2				15,9	11,9
9/1	4627,9—4635,6	— " —	известняк-доломит	4	—
9/2				3,7	6,9
10/1	4760,65—4767,05	— " —	базальт	11111	—
10/2				6482	6482,2

**Таблица 2. Магнитная восприимчивость пород Нежинской скважины до эксперимента**

Номер образца	Глубина отбора, м	Возраст отложений	Порода	$\chi \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, образец без газаolina	$\chi \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, образец с газолитом
1/1	2620—2626	$C_2b_2$	аргиллит	42	—
1/2				44,4	40,8
2/1	2799—2807	$C_1s_2$	известняк	88	—
2/2				116	111,4
3/1	2807—2815	$C_1s_2$	аргиллит	40,9	38,6
3/2				94,9	—
4/1	2986—2993	$C_1v_2$	песчаник	13	—
4/2				7,3	6,1
5/1	3084—3090	$C_1v_2$	известняк	62	—
5/2				81,7	81,6
6/1	3288—3295	$C_1v_2$	аргиллит	19,5	—
6/2				24,9	27,5

**Таблица 3. Магнитная восприимчивость пород Зорьковской скважины до эксперимента**

Номер образца	Глубина отбора, м	Возраст отложений	Порода	$\chi \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, образец без газаolina	$\chi \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, образец с газолитом
1/1	2278—2281	$P_1sl$	глина	46,8	38,9
1/2				74	—
2/1	2281—2285	$P_1sl$	ангидрит	0	—
2/2				0	0
3/1	3330—3338	$C_2m$	песчаник	50,7	—
3/2				19,8	18,9
4/1	3760—3770	$C_2b$	алевролит	59	—
4/2				57,9	58
5/1	4683—4691	$C_1v_2$	алевролит	226	—
5/2				165,1	157,7

**Таблица 4. Магнитная восприимчивость пород Строевской скважины до эксперимента**

Номер образца	Глубина отбора, м	Возраст отложений	Порода	$\chi \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, образец без газаolina	$\chi \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, образец с газолитом
1/1	3253—3253,9	докембрий	гнейс	43,9	—
1/2				51,4	46
2/1	3253,9—3258,7	—”—	гранитогнейс	41	—
2/2				25,4	23,3
3/1	3580,7—3585,7	—”—	гнейс	27,6	—
3/2				22,3	20,7
4/1	3665,7—3670	—”—	гнейс	36	—
4/2				17,3	15,7

цессов восстановления. Породы с вновь образовавшимися минералами после нагрева до 350°C представлены аргиллитами, алевролитами, мергелем, туфобрекчией, песчаником. Однако для большинства насыщенных углеводородом образцов не наблюдалось аномального возрастания значений  $\chi$ , а у некоторых даже происходило их уменьшение.

Существенное увеличение магнитной восприимчивости наблюдается для аргиллита

из Борковской скважины с глубины 2250,8—2260,7 м, где значения  $\chi$  образца, насыщенного газолитом, значительно превышают ее значения для чистого образца. То же можно сказать и об алевролите с глубины 3348,7—3355 м, хотя в этом случае  $\chi$  насыщенного образца возрастает не намного больше, чем ненасыщенного. У мергеля образуется новый минерал при увеличении температуры, значение  $\chi$  возрастает почти в 3 раза по

сравнению с начальным (у ненасыщенного образца — в 2,3 раза).

В Нежинской скважине образование новых минералов при увеличении температуры наблюдается в аргиллите с глубины 2620—2626 м, где магнитная восприимчивость насыщенного образца возрастает в 5 раз при 350°C ( $\chi$  ненасыщенного образца — лишь в 2,3 раза), и в аргиллите с глубины 3288—3295 м, где значения  $\chi$  насыщенного образца возрастают больше чем в 32 раза. То же можно сказать и про песчаник с глубины 2986—2993 м, где  $\chi$  насыщенного образца увеличивается больше чем в 13 раз.

В Зорьковской скважине образование новых минералов при увеличении температуры происходят в глине — увеличение  $\chi$  насыщенного образца в 3 раза, в песчанике — в 1,22 раза, в алевролите — магнитная восприимчивость насыщенного образца увеличивается в 14 раз, ненасыщенного — в 9 раз.

Во всех других образцах пород увеличение значений  $\chi$  насыщенного образца почти не происходит (как в гнейсах Строевской скважины), либо растет менее интенсивно, чем в ненасыщенном. И таких случаев из исследуемой коллекции больше, чем пород с новообразованными минералами. Очень слабые изменения магнитной восприимчивости алевролитов и аргиллита из Борковской скважины в процессе нагрева можно объяснить аномально высокими значениями  $\chi$  еще до эксперимента (см. табл. 1). В качестве примера приведем несколько графиков.

Новообразованный минерал неизвестного в данном случае минералогического типа можно наблюдать у аргиллита из Борковской скважины с глубины 2250,8—2260,7 м, где значение  $\chi$  образца, насыщенного газOLIном, при достижении температуры 250°C возрастает более, чем в 11 раз, тогда как чистого образца — лишь в 4 раза (рис. 3, а). То же можно сказать и про песчаник с глубины 3016—3021 м, хотя в этом случае  $\chi$  насыщенного образца возрастает не так резко, а ненасыщенного даже уменьшается при 250°C (рис. 3, б). Можно наблюдать некоторое увеличение значений магнитной восприимчивости образца мергеля (рис. 3, в), насыщенного флюидом, но  $\chi$  чистого образца здесь возрастает больше. У туфобрекчии возрастание  $\chi$  насыщенного образца оказывается более быстрым, чем ненасыщенного (рис. 3, г). Можно отметить незначительное увеличение  $\chi$  у ненасыщенного образца базальта (рис. 3, д), в то время как у образца с

газолином практически не меняется в процессе эксперимента [Orliuk, Drukarenko, 2009].

У аргиллита из Нежинской скважины (рис. 3, е) наблюдается резкий скачок магнитной восприимчивости сухого образца при 300°C, в то время как  $\chi$  насыщенного остается почти без изменений. У известняка (рис. 3, ж) магнитная восприимчивость образца с флюидом и без него отличаются ее возрастанием, только у насыщенного образца оно начинается уже при 100°C, а у сухого — при 250°C. В Зорьковской скважине значения магнитной восприимчивости исходных образцов песчаника (рис. 3, з) остаются практически без изменений. Незначительное ее увеличение можно наблюдать начиная с 250°C у образца с флюидом и с 300°C — у чистого. Можно отметить резкое увеличение значений  $\chi$  образца алевролита без газOLIна, примерно в 9 раз при температуре 300°C, в то время как магнитная восприимчивость насыщенного образца возрастает лишь в 4 раза при 250°C (рис. 3, и). Гранитогнейсы Строевской скважины отличаются постоянством восприимчивости обоих образцов во время нагрева (рис. 3, к).

В целом же можно отметить разный характер изменения магнитной восприимчивости насыщенных образцов пород под воздействием температуры, а также наличие довольно большого их количества без новообразованных магнитных минералов. По-видимому, полученные закономерности можно объяснить отсутствием в некоторых породах железа в той или иной форме, способного к восстановлению до магнетита, или же тем, что процесс восстановления железа по тем или иным причинам, уже прошел. И в том и в другом случае не будет наблюдаться новообразование магнитных минералов и соответственно увеличиваться магнитная восприимчивость пород.

**Закключение.** 1. Впервые в лабораторных условиях изучена объемная магнитная восприимчивость пород осадочного чехла и кристаллического фундамента для 900 образцов из 8 скважин, пробуренных в северо-западной части ДДВ.

2. Разрезы отдельных скважин характеризуются определенными закономерностями в отношении средней величины магнитной восприимчивости пород, ее изменения с глубиной, а также для отдельных литологических типов в пределах структурно-литологических комплексов девона и карбона. В большинстве случаев наблюдается изменение величины магнитной восприимчивости пород на грани-

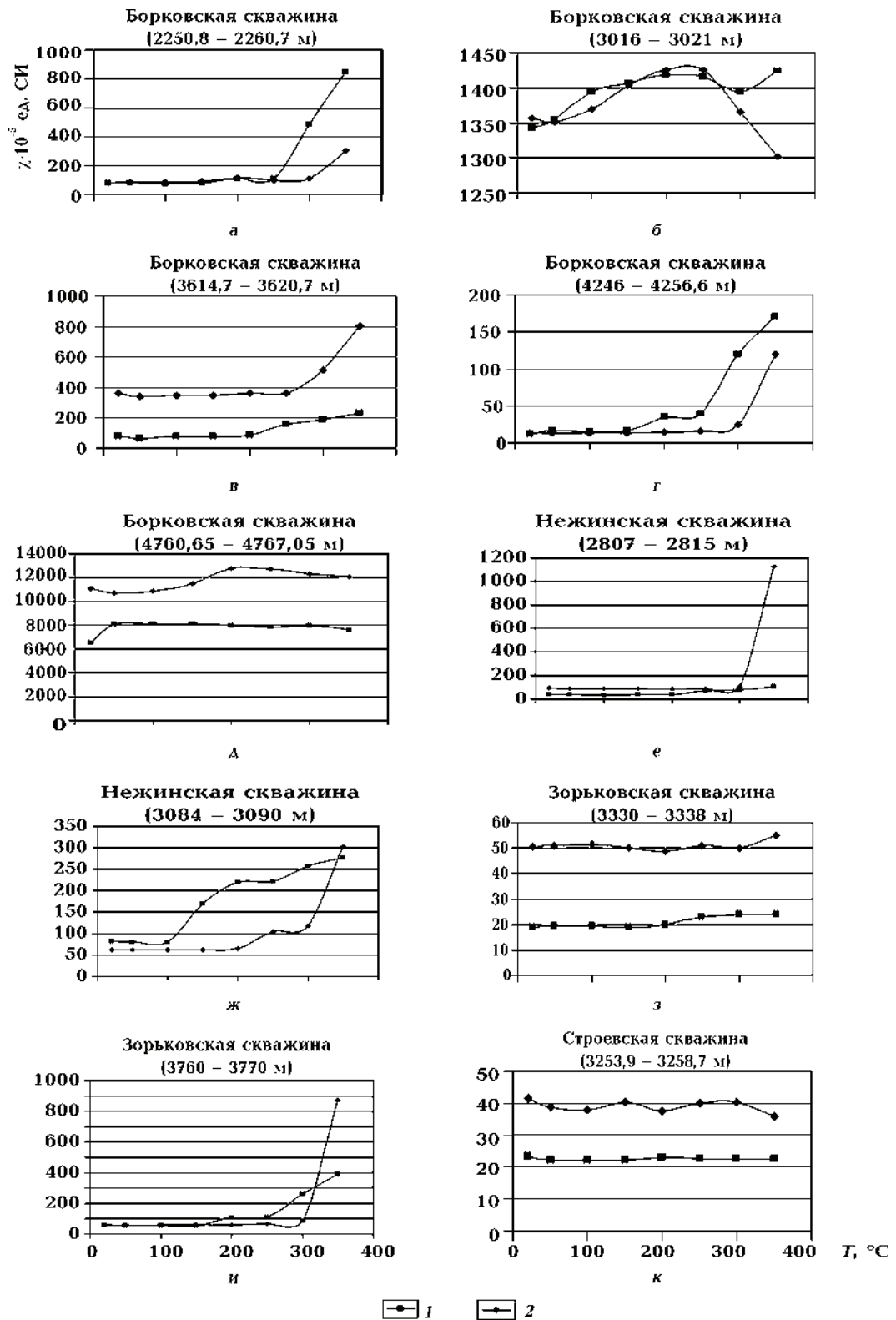


Рис. 3. Графики зависимости магнитной восприимчивости образцов от температуры: а — аргиллит, б — песчаник, в — мергель, г — туфобрекчия, д — базальт Борковской скважины, е — аргиллит, ж — известняк Нежинской скважины, з — песчаник, и — алевролит Зорьковской скважины, к — гранитогнейс Строевской скважины, 1 — образец с флюидом, 2 — образец без влияния флюида.

це карбона и девона, а также на границах отдельных отделов и ярусов.

3. Выявлена существенная пространственная неоднородность величин магнитной восприимчивости пород исследуемого региона. Максимальными средними значениями  $\chi$  характеризуются породы скважин, расположенных в краевой части впадины и, как правило, вблизи магнитных локальных аномалий (Строевская,  $\chi_{\text{ср}} = 1378 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ, Борковская,  $\chi_{\text{ср}} = 604 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ). Минимальными значениями  $\chi$  характеризуются породы скважин, расположенных ближе к ее центру и вблизи локальных и региональных минимумов: Нежинская ( $121 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ), Гужевская ( $114 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ), Петровская ( $24 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ).

4. Выполнены исследования зависимости величины магнитной восприимчивости пород от наличия или отсутствия в них флюида под воздействием температуры до  $350^\circ\text{C}$ . Отмечается разный характер поведения магнитной восприимчивости чистых и насыщенных

газолином образцов в процессе нагрева. Существенное увеличение магнитной восприимчивости пород наблюдается у образцов аргиллитов, алевролитов, туфобрекчий и песчаников из Борковской, Нежинской и Зорьковской скважин. Однако в ряде случаев для аналогичных пород из других скважин образования новых магнитных минералов не происходит, что может быть связано с отсутствием в их составе железа, способного восстановиться до магнетита или же тем, что процесс восстановления железа по тем или иным причинам, уже прошел.

**Благодарности.** Авторы признательны ведущему научному сотруднику ЧО УкрНИГРИ, г-ру геол. наук В.А.Иванишину за предоставление kernового материала и геологические данные, В. Н. Цыгоре за помощь в проведении экспериментальных исследований и главному научному сотруднику Института геофизики НАН Украины профессору О.М.Русакову за ценные замечания и полезные советы.

### Список литературы

- Дортман Н. Б. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых. — Москва: Недра, 1984. — 452 с.
- Иванишин В. А. Структурно-стратиграфічні і літолого-геохімічні критерії нафтогазоносності глибоко занурених відкладів Дніпровсько-Донецької западини: Дис. ... д-ра геол. наук / Ін-т геол. наук НАН України. — Київ, 2005. — 464 с.
- Курников Ю. А., Кравченко С. Н., Орлюк М. И. Магнитный песок — новый взгляд на практическое использование // Геология и полезные ископаемые мирового океана. — 2005. — № 2. — С. 111—120.
- Курников Ю. А., Кравченко С. Н., Орлюк М. И. Магнито-минералогические исследования природного песка крымского побережья // Геодинамика, тектоника и флюидодинамика нефтегазоносных регионов Украины: Тез. докл. VII междунар. конф. Украины "Крым-2007". — Симферополь: Изд-во Ассоц. геологов г. Симферополь, 2007. — С. 222—224.
- Лукин А. Е. Самородно-металлические микро- и нановключения в формациях нефтегазоносных бассейнов — трассеры суперглубинных флюидов // Геофиз. журн. — 2009. — 31, № 2. — С. 61—92.
- Максимчук В. Ю., Кудеравец Р. С. Перспективы застосування магнітометрії при пошуках родовищ нафти і газу // Зб. тез та доповідей наук.-практ. конф. "Нафтогазова геофізика — стан та перспективи" (Івано-Франківськ, 25—29 травня 2009 р.). — 2009. — С. 178—181.
- Михайлова Н. П., Глевасская А. М., Цыгора В. Н. Палеомагнетизм вулканогенных пород и реконструкция магнитного поля неогена. — Киев: Наук. думка, 1974. — 249 с.
- Орлюк М. И. Генетичні та структурно-генетичні зв'язки аномального магнітного поля Землі з її нафтогазоносністю // Геодинамика, тектоника и флюидодинамика нефтегазоносных регионов Украины: Тез. докл. VII междунар. конф. Украины "Крым-2007". — Симферополь: Изд-во Ассоц. геологов г. Симферополь, 2007. — С. 105—107.
- Орлюк М. И. Магнітна модель земної кори південного заходу Східноєвропейської платформи: Дис. ... д-ра геол. наук / Ін-т геофізики НАН України. — Київ, 1999. — 404 с.
- Орлюк М. И., Кравченко С. М., Єнтин В. А. Магнітна характеристика порід осадового чохла Центральної депресії Дніпровсько-Донецького авлакогена // Нафта і газ України. Зб. наук. праць: Матер. 6-ої міжнар. наук.-практ. конф. — Івано-Франківськ, 2000. — Т. 1. — С. 303.
- Орлюк М. И., Курников Ю. А., Кравченко С. Н. Магнитный песок: комплексные магнито-минерало-

- гические исследования и перспективы практического использования // *Екологія і природокористування*. — 2005. — Вип. 8. — С. 83—89.
- Савин А. П.* Физические величины, применяемые в разведочной геофизике, и их единицы. — Ленинград: Недра, 1985. — 128 с.
- Третьяк А. Н.* Естественная остаточная намагниченность и проблема палеомагнитной стратификации осадочных толщ. — Киев: Наук. думка, 1983. — 256 с.
- Bucha V.* Geomagnetism of the external flysch czechoslovakian Carpathians and the possible causes of anomalous geophysical manifestations // *Stud. geophys. et geod.* — 1984. — **24**. — P. 227—251.
- Drukarenko V. V., Orlyuk M. I.* Experimental studying of magnetic susceptibility of the rocks from north-western part of Dnieper-Donets depression // *Contributions to Geophysics & Geodesy. Paleo, Rock and Environmental Magnetism 11<sup>th</sup> Castle meeting. Abstracts*. — 2008. — **38**, special issue. — P. 20—21.
- LeSchak L. A., Van Alstine D. R.* High-resolution ground-magnetic (HRGM) and radiometric surveys for hydrocarbon exploration: Six case histories in Western Canada, in *Surface exploration case histories: Applications of geochemistry, magnetics, and remote sensing // AAPG Studies in Geology*. — 2002. — № 48 and SEG Geophys. Ref. Series № 11. — P. 67—156.
- Orliuk M., Drukarenko V.* Magnetic susceptibility experimental study of the rocks from north-western part of Dnieper-Donets Depression // *The IAGA11th Scientific Assembly in Sopron, Hungary*. — 2009. — [\\_iaga2009sopron.hu/iaga\\_abstracts](http://iaga2009sopron.hu/iaga_abstracts).