

Физические параметры пород осадочного чехла северо-западной части Днепровско-Донецкой впадины

© М. И. Орлюк, В. В. Друкаренко, 2013

Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина
Поступила 16 мая 2011 г.

Представлено членом редколлегии О. М. Русаковым

Досліджено густину та об'ємну магнітну сприйнятливість порід восьми свердловин, пробурених у північно-західній частині Дніпровсько-Донецької западини, а також вивчено характер змінення цих величин для основних типів порід, що представлені у кожній із свердловин. Відповідно до отриманих даних, густина порід одного типу змінюється у широких межах як для окремих свердловин, так і для розрізу осадового чохла в цілому. Виявлено зони розуцільнення деяких типів порід на фоні збільшення їхньої магнітної сприйнятливості, що може свідчити про потенційну нафтогазоносність цих зон.

Density and volume magnetic susceptibility of rocks from 8 boreholes drilled in northwestern part of the Dnieper-Donets Depression were studied as well as variations of these values for the major rock types found in each of the wells. In accordance with the data the density of rocks of the same type is changed widely for both separate wells and sedimentary cover section as a whole. De-compacted rocks spaces accompanied by increased values of magnetic susceptibility are revealed. Such spaces may be potentially oil-and-gas bearing.

Введение. Северо-западная часть Днепровско-Донецкой впадины является одним из перспективных на углеводороды регионом. Залежи нефти и газа связываются с палеозойскими отложениями осадочного чехла, а также с докембрийскими образованиями фундамента [Доленко и др., 1991]. Здесь пробурены параметрические и поисковые скважины: Строевская 333 (глубина 3803 м), Борковская 15 (4776 м), Нежинская 338 (5337 м), Зорьковская 370 (6200 м), Борзнянская 303 (4508 м), Гужевская 305 (5501 м), Савинковская 361 (6005 м) и Петровская 1 (5501 м), позволившие получить важную информацию о составе и структуре осадочного чехла, а также его взаимоотношения со структурами фундамента. Магнитная восприимчивость и плотность пород являются важными параметрами, чувствительными к составу и строению геологического разреза, а также к процессам, происходящим в земной коре в целом и в осадочном чехле в частности. Эти параметры применяются для изучения условий осадконакопления, магнитостратиграфического расчленения осадочного чехла, прогнозирования путей миграции и скопления углеводородов [Орлюк, 1994, 1999, 2007; Орлюк та ін., 2000; LeSchak, Van Alstine, 2002; Максимчук, Кудеравец, 2009 и др.]. Лабораторные иссле-

дования магнитной восприимчивости и плотности пород проведены на одном и том же керновом материале, что, несомненно, важно в плане дальнейшего истолкования аномалий в распределении плотности и намагниченности пород и выяснения их взаимосвязи. Магнитная характеристика пород коры изучаемого региона детально рассмотрена в работе [Орлюк, Друкаренко, 2010], поэтому остановимся на исследовании плотности пород, а также их совместном с магнитной восприимчивостью анализе. Исследуемая область характеризуется двумя максимумами гравитационного поля, приуроченными к Черниговскому и Лохвицкому блокам земной коры [Куприенко и др., 2010]. Пониженными и отрицательными аномалиями $\Delta g_{\text{Буге}}$ характеризуется переходная область между блоками, а также бортовые зоны впадины (рис. 1). Скважины расположены в областях с разным характером интенсивности гравитационного поля — от -10 мГал (Борзнянская) до $+50$ мГал (Строевская). Скважина Гужевская находится в относительном минимуме поля на границе двух блоков коры.

В целом разрез коры района исследований представлен аргиллитами, алевролитами, песчаниками, известняками, мергелями, туфопесчаниками, туфоаргиллитами, доломитами,

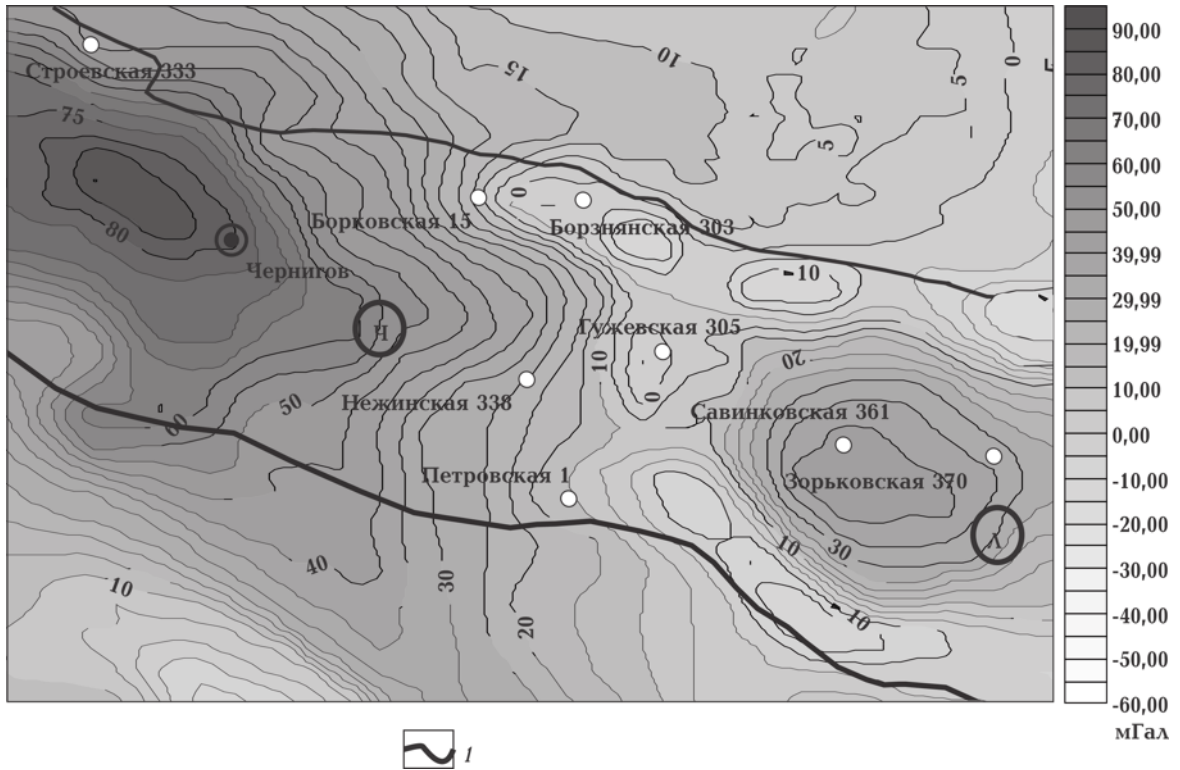


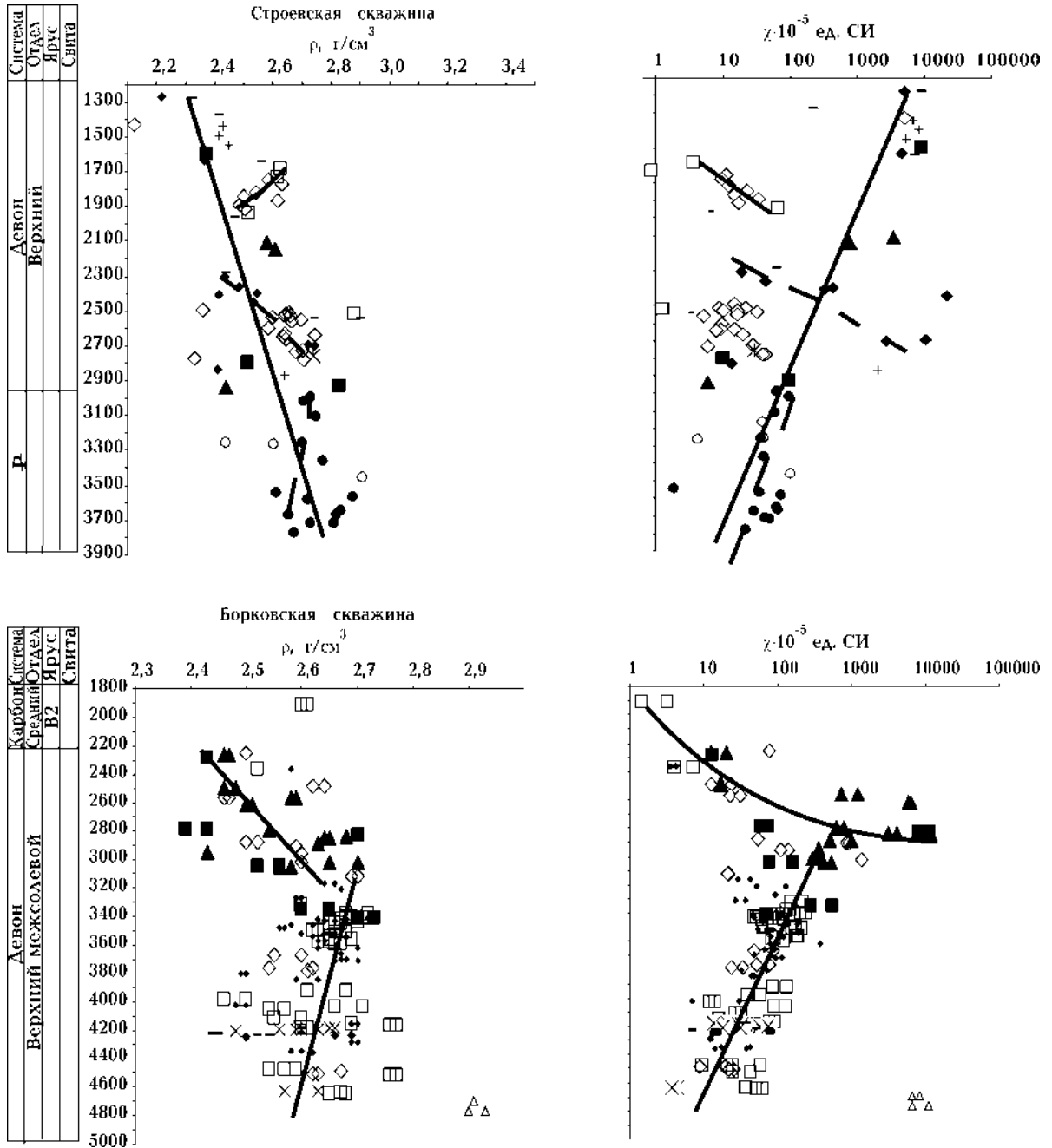
Рис. 1. Карта гравитационного поля $\Delta g_{\text{Буге}}$ в районе исследования скважин (по [Куприенко и др., 2010]): 1 — граница Днепровско-Донецкой впадины, Ч — Черниговский блок, Л — Лохвицкий блок.

солью, туфобрекчиями, гнейсами, гранитогнейсами и базальтами. Гнейсы и гранитогнейсы представляют докембрийский фундамент. Плотность и магнитная восприимчивость пород замерена в ~900 образцах со всех скважин.

Результаты исследований. Лабораторные измерения плотности пород (σ) определялись выражением $\sigma = P_{\text{воз}}/V$, где $P_{\text{воз}}$ — вес образца в воздухе, V — его объем, и выполнялись по стандартной технологии [Дортман, 1984].

В соответствии с измерениями плотность однотипных пород изменяется в широком интервале как для отдельных скважин, так и для разреза осадочного чехла в целом. В частности, плотность эффузивных пород скв. Строевская находится в пределах от 2,41 (на глубине 1495 м) до 2,64 г/см³ (2869 м), гранитогнейсов — от 2,44 (3255 м) до 2,9 г/см³ (3457 м), гнейсов — от 2,61 (3543 м) до 2,87 г/см³ (3562 м), ангидритов — от 2,45 (1966 м) до 2,88 г/см³ (2543 м). Плотность аргиллитов изменяется от 2,1 (Строевская, 1429 м) до 2,98 г/см³ (Зорьковская, 5998 м), алевролитов — от 2,31 (Зорьковская, 2279 м) до 2,94 г/см³ (Зорьковская, 6074 м), песчаников — от 2,1 (Гужевская, 3349 м) до 2,78 г/см³ (Гужевская, 4422 м),

известняков — от 2,26 (Нежинская, 2741 м) до 2,88 г/см³ (Строевская, 2520 м), туфопесчаников — от 2,32 (Строевская, 1279 м) до 2,67 г/см³ (Борзнянская, 3807 м); мергелей скв. Борковская — от 2,48 (4025 м) до 2,72 г/см³ (3406 м), туфобрекчий — от 2,5 (4250 м) до 2,69 г/см³ (4240 м), базальтов — от 2,9 до 2,93 г/см³ (4764 м). Плотность образцов соли скв. Борзнянская — от 2,13 (3274 м) до 2,16 г/см³ (3152 м) [Orliuk, Drukarenko, 2010]. Следовательно, за исключением плотности соли и базальтов, изменяющихся в незначительных диапазонах, плотность остальных типов пород перекрывается в широком диапазоне их значений (рис. 2). В некоторых скважинах встречаются образцы с аномальными значениями плотности, в частности плотность аргиллита из скв. Гужевская — 1,78 г/см³ (3564 м), алевролита скв. Петровская — 3,36 г/см³ (2793 м) и 3,19 (2783 м), известняка скв. Нежинская — 3,01 г/см³ (2992 м). Отметим, что образцы алевролитов скв. Петровская с аномальной плотностью характеризуются также и высокими значениями магнитной восприимчивости (рис. 2). Скорее всего, это можно объяснить повышенным содержанием магнетита, являющегося главным минералом



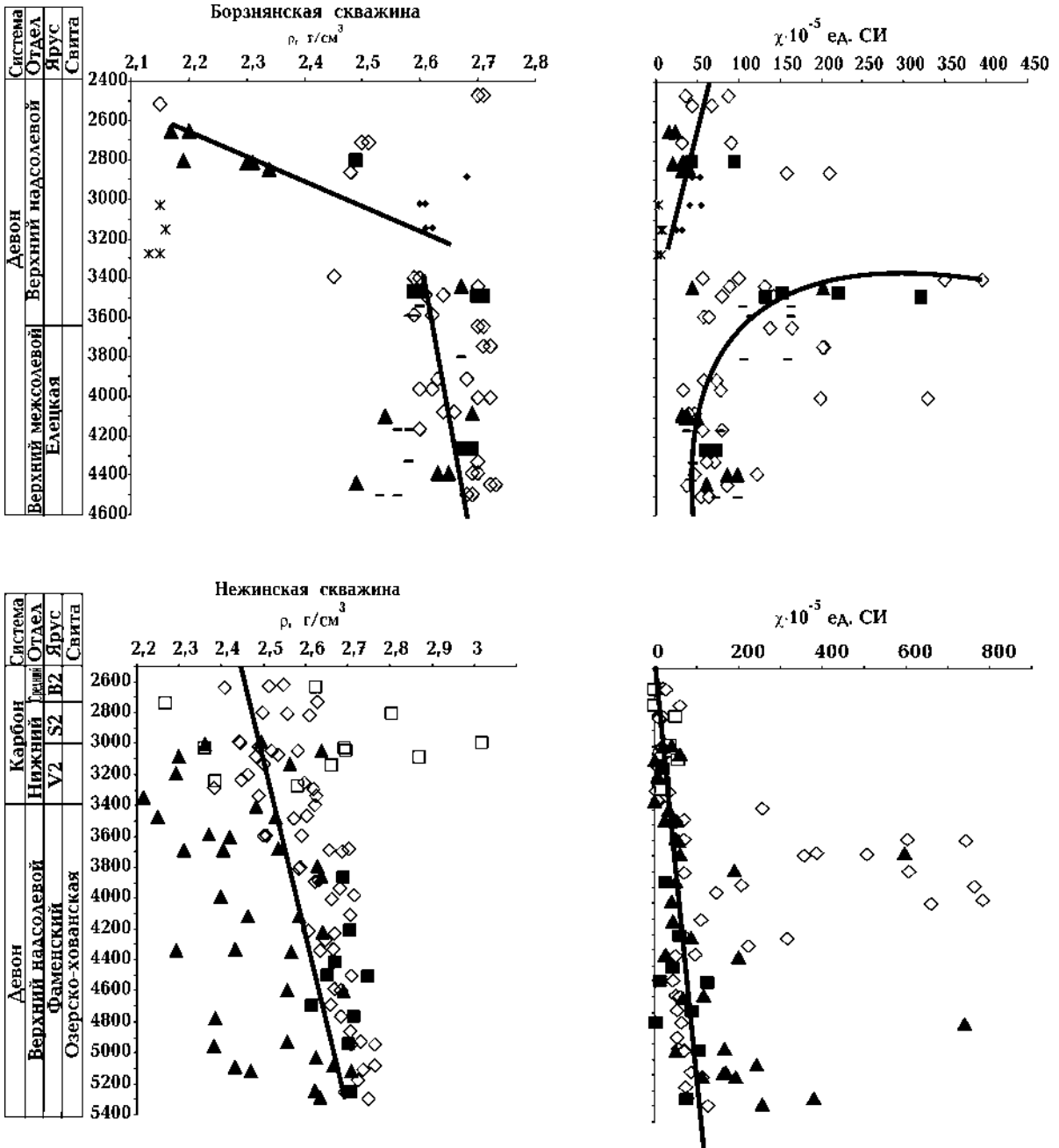
Начало рис. 2.

современных природных магнитных песков [Курников, Орлюк, 2011].

Скв. Строевская вскрыла породы осадочного чехла, представленные аргиллитами, алевролитами, песчаниками, ангидритами, известняками, доломитом, туфоаргиллитами, туфопесчаниками и эффузивами, а также гнейсы и гранитогнейсы докембрийского кристаллического основания (рис. 2). Рассчитанные средние значения плотности пород составляют для аргиллитов $2,58 \text{ г/см}^3$, алевролитов — $2,57 \text{ г/см}^3$, песчаников — $2,54 \text{ г/см}^3$,

известняков — $2,66 \text{ г/см}^3$ (четыре образца), туфопесчаников — $2,43 \text{ г/см}^3$ (четыре образца).

Как видно из рис. 2, наблюдается некоторое увеличение плотности пород с глубиной от $2,25$ до $2,8 \text{ г/см}^3$ (коэффициент корреляции $r=0,53$) при менее значимом уменьшении их магнитной восприимчивости. На фоне этой общей зависимости выделяются интервалы с другой закономерностью. В частности, в интервале $1700\text{—}2000 \text{ м}$ плотность аргиллитов и известняков несколько уменьшается с глубиной, а магнитная восприимчивость увели-

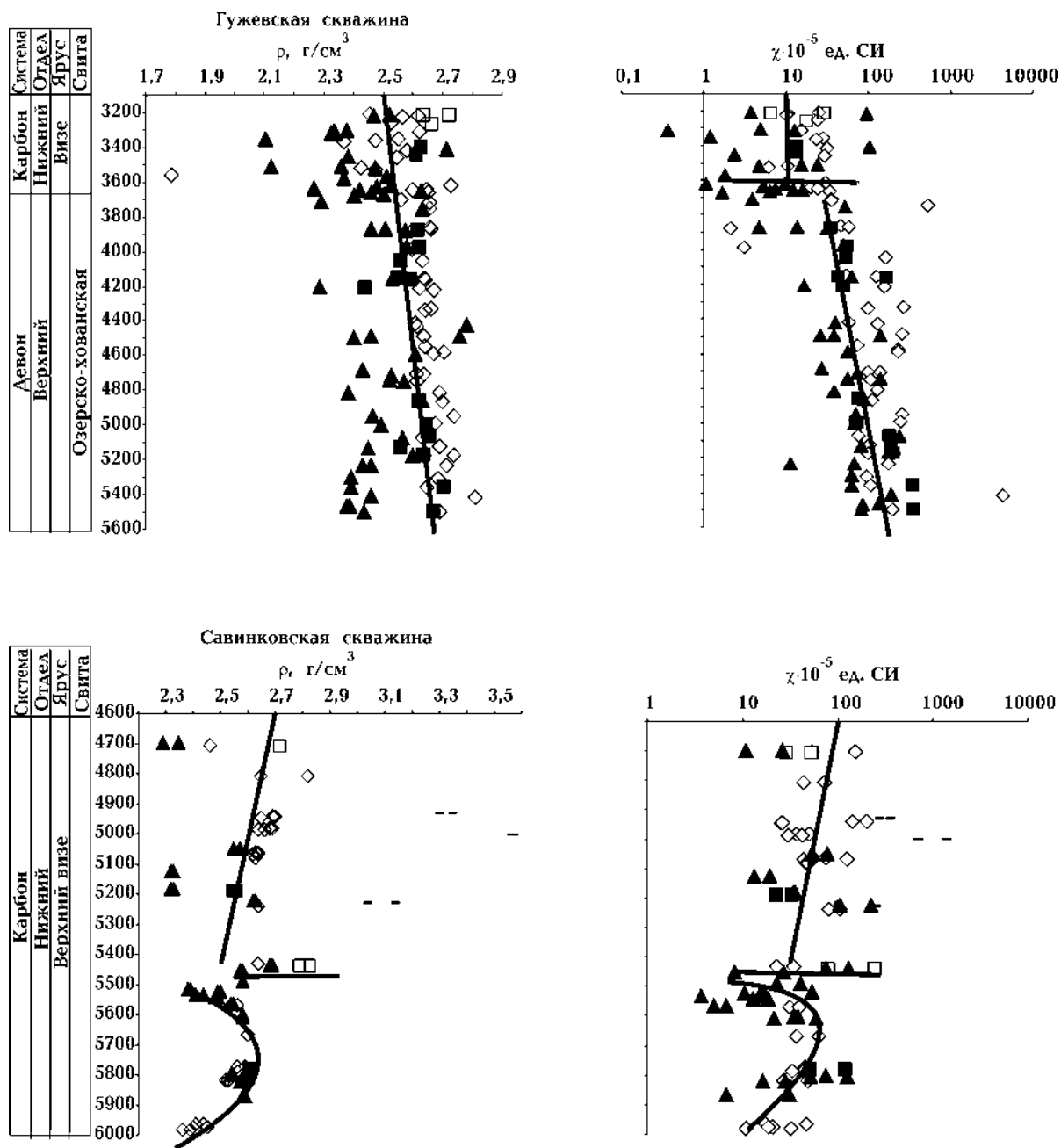


Продолжение рис. 2.

чивается. Такая зависимость при постоянном составе пород, возможно, объясняется геохимическими причинами, скорее всего, наличием флюида. Частичным подтверждением этого могут служить приливы нефти на расположенных поблизости Гриборуднянском и Ловинском участках. Также обращает на себя внимание некоторое возрастание с глубиной плотности и магнитной восприимчивости туфоаргилитов, а также некоторое уплотнение аргилитов с одновременным уменьшением их магнитной восприимчивости на глубине 2300—3000 м.

Керн *скв. Борковская* представлен алевролитами, песчаниками, аргиллитами, известняками, мергелями, туфобрекчиями, туфопесчаниками, а также базальтами. Среднее значение плотности аргиллитов составляет 2,58 г/см³, песчаников — 2,56 г/см³, алевролитов — 2,58 г/см³, известняков — 2,64 г/см³, мергелей — 2,63 г/см³, туфопесчаников — 2,52 г/см³, туфобрекчий — 2,58 г/см³ (два образца), базальтов — 2,91 г/см³ (два образца).

Известняки башкирского яруса нижнего карбона имеют повышенную плотность и слабую магнитную восприимчивость (χ).



Продолжение рис. 2.

Начиная с границы карбон—девон (2250 м) до глубины около 3050 м наблюдается незначительное увеличение плотности (от 2,45 до 2,65 г/см³) и магнитной восприимчивости (от 5·10⁻⁵ до 75·10⁻⁵ ед. СИ) песчаников и аргиллитов. Глубже происходит изменение характера зависимости плотности и магнитной восприимчивости с глубиной — наблюдается закономерное уменьшение обоих параметров. Вскрытые скважиной базальты обладают большой плотностью (2,94 г/см³) и магнитной восприимчивостью (1000·10⁻⁵ ед. СИ). В целом для разреза скважины можно отметить согла-

сованный характер изменения плотности и магнитной восприимчивости всех типов пород с глубиной.

Породы **скв. Борзнянская** представлены надсолевыми и межсолевыми породами верхнего девона — аргиллитами, песчаниками, алевролитами, мергелями, туфопесчаниками и каменной солью. Плотности пород в основном в пределах 2,5—2,7 г/см³. Среднее значение плотности аргиллитов — 2,61 г/см³, песчаников — 2,45 г/см³, алевролитов — 2,61 г/см³, мергелей — 2,63 г/см³, туфопесчаников — 2,59 г/см³. До глубины 3400 м наблюдается

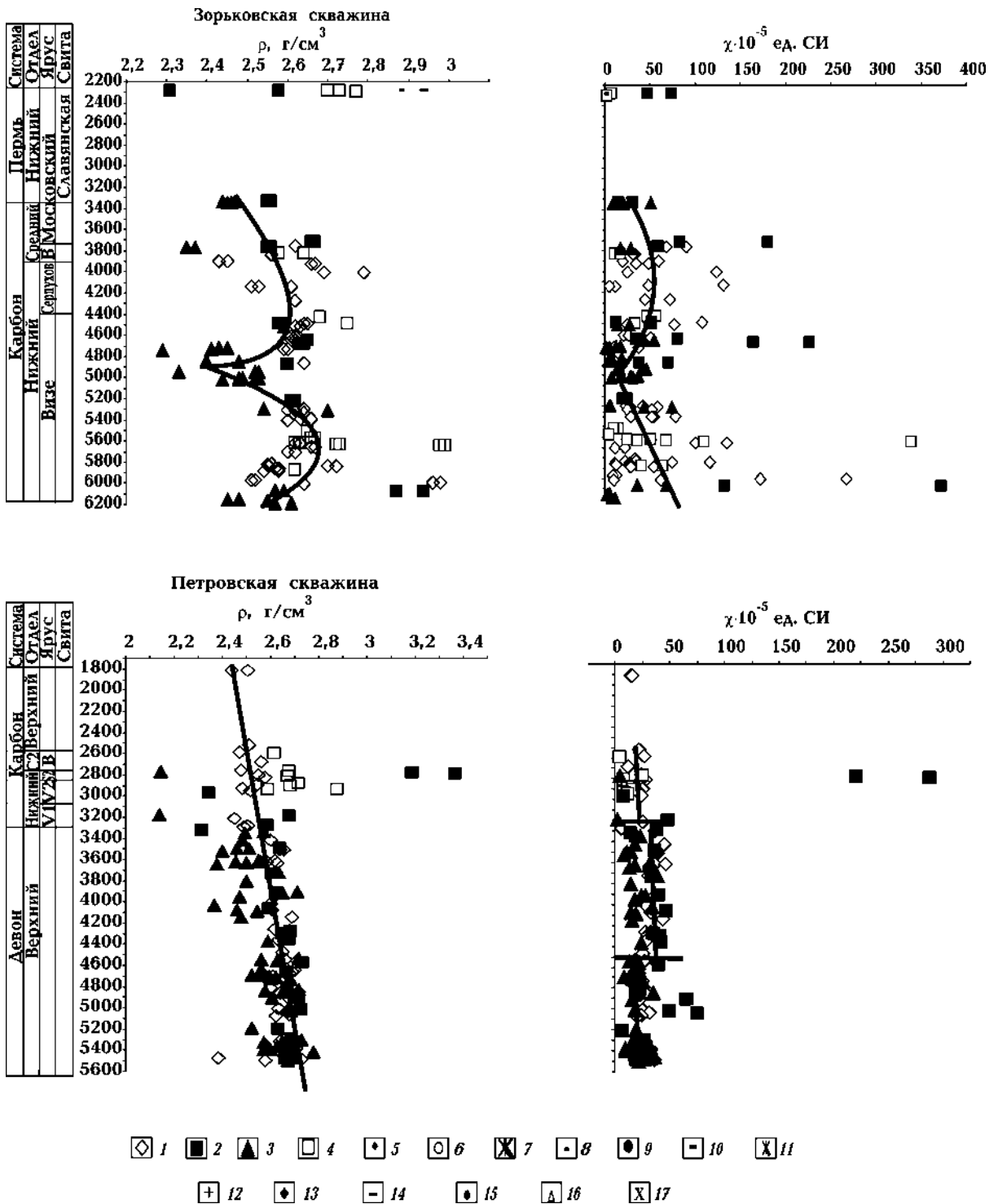


Рис. 2. Плотность и магнитная восприимчивость пород по скважинам: 1 — аргиллиты, 2 — алевролиты, 3 — песчаники, 4 — известняки, 5 — мергели, 6 — гранитогнейсы, 7 — доломиты, 8 — ангидриты, 9 — гнейсы, 10 — конкреции, 11 — каменная соль, 12 — эффузивные породы, 13 — туфоаргиллиты, 14 — туфопесчаники, 15 — туфобрекчии, 16 — базальты, 17 — доломитизированные известняки.

большой разброс в значениях плотности и незначительный — магнитной восприимчивости. На этом фоне видно увеличение плот-

ности песчаников и аргиллитов с глубиной (от 2,15 до 2,60 г/см³), а также менее видимое уменьшение магнитной восприимчивости.

Глубже 3400 м плотность аргиллитов незначительно увеличивается с глубиной при некотором уменьшении магнитной восприимчивости. Обращают на себя внимание повышенные значения магнитной восприимчивости пород низов (3400—3650 м) верхнего надсолевого отдела девона. В целом для скважины отмечается некоторое увеличение плотности пород с глубиной (коэффициент корреляции $r=0,54$). Однако отметим, что на глубине 3350—3400 м характер поведения этой зависимости изменяется как для плотности пород, так и для их магнитной восприимчивости.

Породы **скв. Нежинская** представлены аргиллитами, алевролитами, песчаниками, известняками верхнего девона, нижнего и среднего карбона. Наблюдается довольно монотонное увеличение плотности и магнитной восприимчивости аргиллитов и песчаников с глубиной при большем разбросе значений плотности у песчаников. Среднее значение плотности аргиллитов — $2,61 \text{ г/см}^3$, песчаников — $2,48 \text{ г/см}^3$, известняков — $2,63 \text{ г/см}^3$, алевролитов — $2,69 \text{ г/см}^3$. Отметим наличие уплотненных известняков в пределах нижнего карбона, а также высокомагнитных и немного уплотненных аргиллитов в пределах верхнего надсолевого девона на глубине 3700—4300 м.

Разрез **скв. Гужевская** (3000—5700 м) представлен аргиллитами, алевролитами, песчаниками и известняками среднего и нижнего карбона, а также верхнего девона. Средняя плотность аргиллитов составляет $2,61 \text{ г/см}^3$, песчаников — $2,46 \text{ г/см}^3$, известняков — $2,67 \text{ г/см}^3$ (всего три образца), алевролитов — $2,61 \text{ г/см}^3$. Для пород визейского яруса нижнего карбона плотность и магнитная восприимчивость изменяются в широких пределах без явно видимой зависимости от глубины. Глубже 3700 м плотность аргиллитов увеличивается с глубиной от $2,55$ до $2,7 \text{ г/см}^3$, а песчаников несколько уменьшается от $2,5$ до $2,4 \text{ г/см}^3$. Это вызывает определенный интерес в связи с тем, что магнитная восприимчивость возрастает для обоих типов пород. Обратим внимание и на относительное повышение магнитной восприимчивости аргиллитов в интервале глубин 4200—4700 м.

Скв. Савинковская вскрыла породы нижнего карбона (4600—6000 м) — аргиллиты, алевролиты, песчаники, известняки и конкреции. Среднее значение плотности аргиллитов составляет $2,58 \text{ г/см}^3$, песчаников — $2,52 \text{ г/см}^3$, известняков — $2,71 \text{ г/см}^3$, алевролитов — $2,59 \text{ г/см}^3$ (всего четыре образца). Наблюда-

ется разуплотнение аргиллитов с глубиной. Выделяются образцы песчаника с пониженной плотностью на общем фоне в интервалах 5100—5200 м и 5500—5600 м. Конкреции обладают высокой плотностью. Магнитная восприимчивость пород данной скважины имеет такой же характер распределения с глубиной. Особо следует отметить специфический характер поведения плотности и магнитной восприимчивости песчаников и аргиллитов — на глубине 5450 м оба параметра возрастают, затем резко уменьшаются (5500—5550 м), глубже снова возрастают до нормальных значений.

Керн **скв. Зорьковская** с глубины 2200—6200 м представлен аргиллитами, алевролитами, песчаниками, известняками и ангидритами нижней перми, среднего и нижнего карбона. Средняя плотность аргиллитов составляет $2,62 \text{ г/см}^3$, песчаников — $2,49 \text{ г/см}^3$, алевролитов — $2,62 \text{ г/см}^3$, известняков — $2,71 \text{ г/см}^3$. Плотность и магнитная восприимчивость всех типов пород не отличаются какими-либо закономерностями в распределении. Можно лишь отметить несколько пониженные значения этих параметров песчаников по сравнению с аргиллитами и известняками в интервале 4700—5200 м, а также некоторое уменьшение плотности и увеличение магнитной восприимчивости глубже 5500 м. Несколько образцов аргиллита, известняка и алевролита отличаются повышенной плотностью в интервале глубин 5600—6100 м.

Породы карбона и девона **скв. Петровская** с глубины 1800—5600 м характеризуются следующими средними значениями плотности: аргиллиты — $2,61 \text{ г/см}^3$, песчаники — $2,58 \text{ г/см}^3$, известняки — $2,69 \text{ г/см}^3$, алевролиты — $2,68 \text{ г/см}^3$. Плотность всех типов пород по разрезу скважины монотонно увеличивается с глубиной от $2,45$ до $2,65 \text{ г/см}^3$. На границе карбона и девона наблюдается некоторое отклонение от этой закономерности. Образцы пород визейского яруса нижнего карбона имеют аномальные значения σ . В частности, здесь имеются два образца алевролита с повышенными значениями плотности ($\sigma > 3,2 \text{ г/см}^3$) и магнитной восприимчивости. В интервале глубин 3250—4550 м магнитная восприимчивость пород увеличивается скачкообразно, а плотность — монотонно.

Обобщение результатов исследования и выводы. Для поиска некоторых общих закономерностей пространственного изменения плотности и магнитной восприимчивости по-

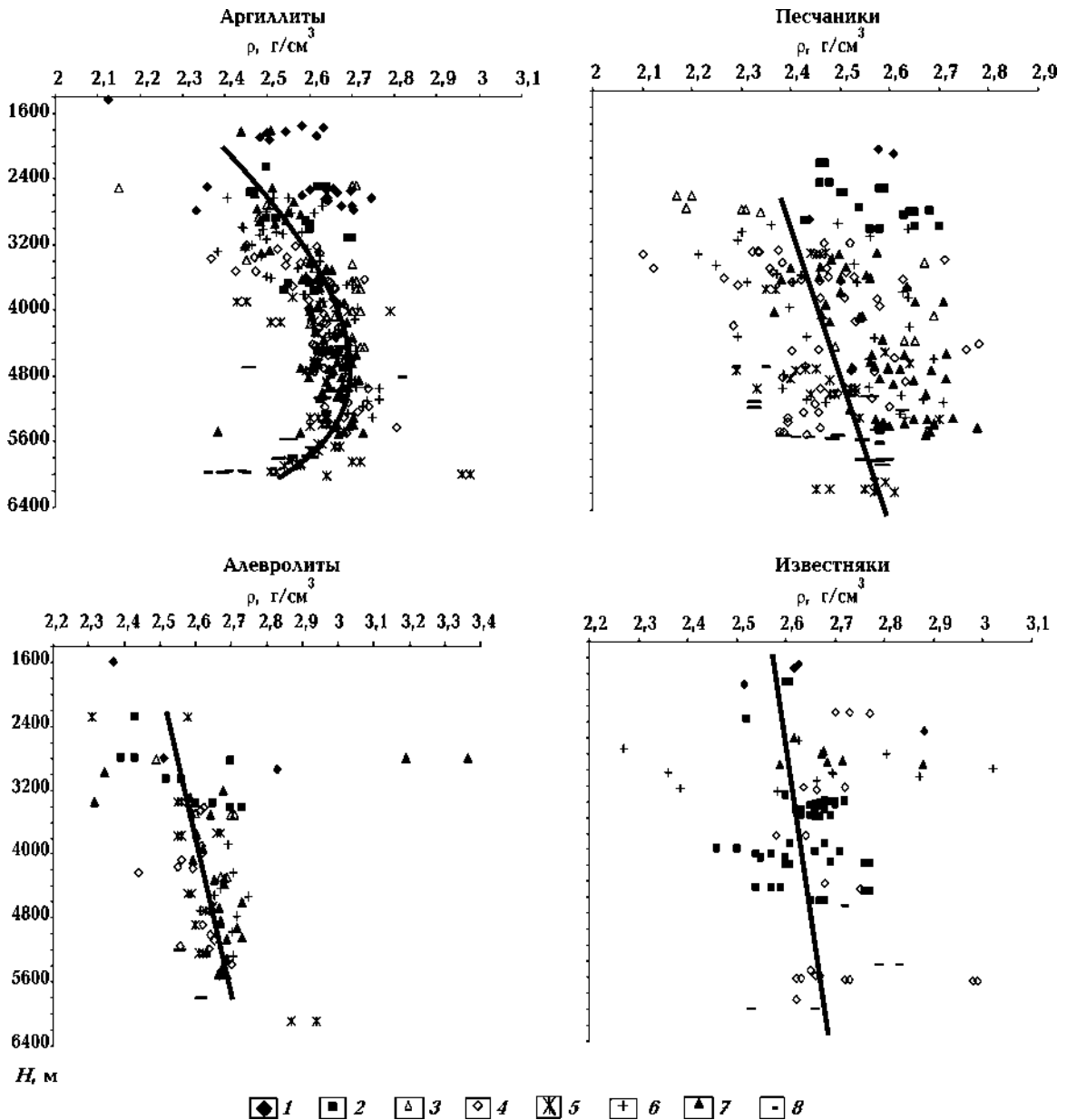


Рис. 3. Общая плотность основных типов пород: 1—8 — скважины (1 — Строевская, 2 — Борковская, 3 — Борзнянская, 4 — Гужевская, 5 — Зорьковская, 6 — Нежинская, 7 — Петровская, 8 — Савинковская).

род выполнено построение некоего сводного разреза коры от 1400 до 6400 м по всем скважинам для аргиллитов, алевролитов, песчаников и известняков (рис. 3, 4).

Прежде всего отметим, что плотность и магнитная восприимчивость пород изменяются в широких пределах, но, если исключить из рассмотрения песчаники и известняки Борковской скважины и немногочисленные плотные и магнитные образцы пород из других скважин, то можно обнаружить следующие закономерности.

Плотность большей части образцов аргиллитов — 2,45—2,7 г/см³, а магнитная восприимчивость — (8—120)·10⁻⁵ ед. СИ. Очень интересен характер изменения этих параметров с глубиной. До глубины 4500 м магнитная восприимчивость аргиллитов увеличивается постепенно, плотность — резко, при этом последняя с 5000 м уменьшается (см. рис. 3, 4). Плотность и магнитная восприимчивость большинства образцов песчаника находятся в пределах 2,3—2,7 г/см³ и (8—100)·10⁻⁵ ед. СИ. Для обоих параметров характерно их незна-

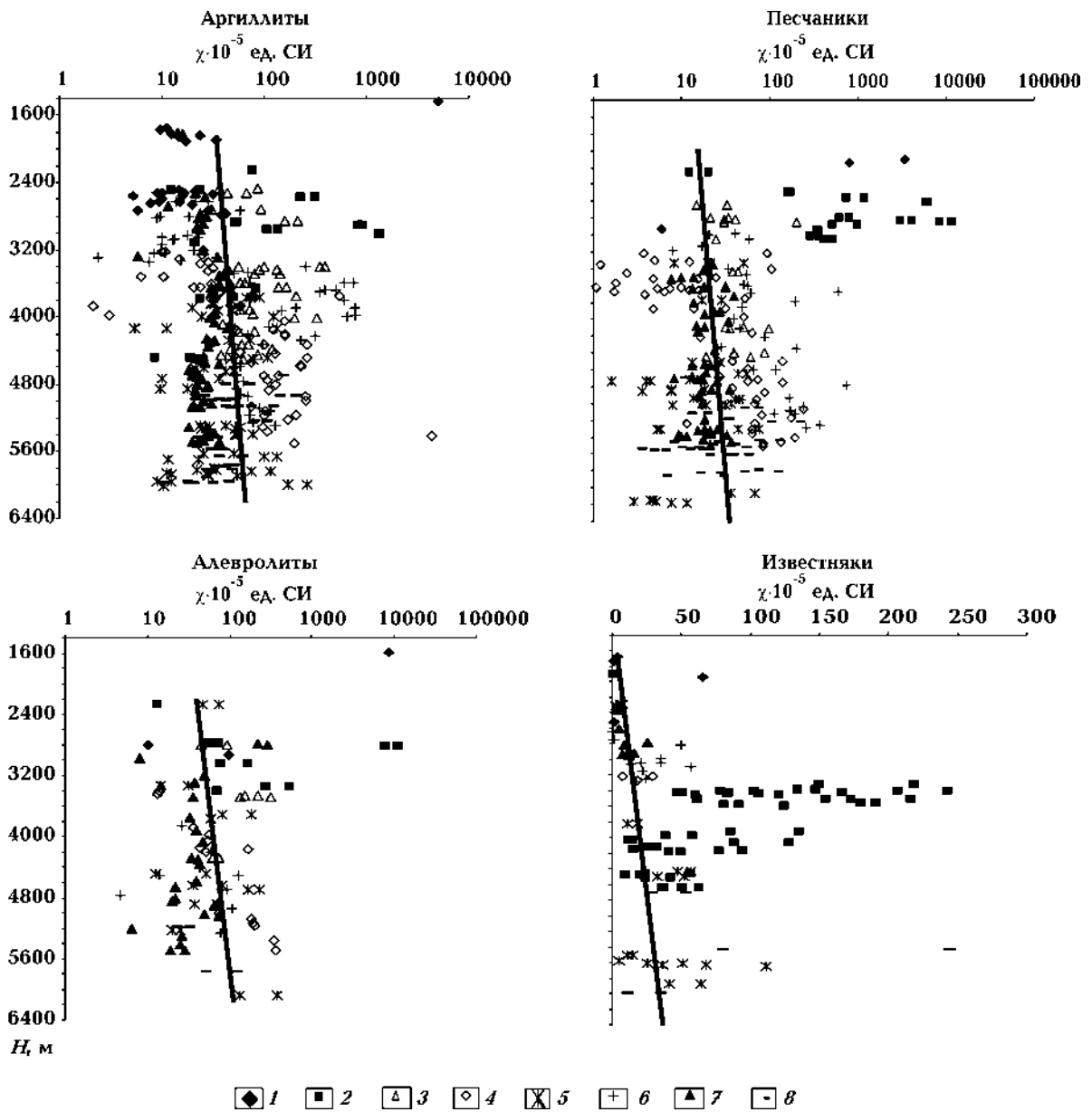


Рис. 4. Общая магнитная восприимчивость основных типов пород. Условные обозначения см. на рис. 3.

чительное возрастание с глубиной. Плотность и магнитная восприимчивость алевролитов также закономерно увеличиваются с глубиной. Большая часть образцов имеет плотность $2,4-2,72 \text{ г/см}^3$ и магнитную восприимчивость $(12-120) \cdot 10^{-5}$ ед. СИ. Такая же зависимость характерна и для известняков, плотность которых находится в пределах $2,5-2,75 \text{ г/см}^3$, а магнитная восприимчивость — в пределах $(5-50) \cdot 10^{-5}$ ед. СИ (см. рис. 3, 4).

На фоне этих общих закономерностей изменения плотности и намагнитченности пород с глубиной повышенный интерес вызывают случаи отклонения в ту или иную сторону.

Во-первых, повышенные значения плотности и магнитной восприимчивости многих образцов скв. Борковская, а также некоторых пород из других скважин можно объяснить их насыщенностью железистыми минералами, в частности магнетитом [Орлюк, Друкаренко, 2010; Курников, Орлюк, 2011]. Если учесть наличие в кристаллическом фундаменте региона довольно плотных и магнитных образований, то выглядит естественным образование в результате их разрушения аналогичных осадочных пород. Кроме того, обогащение магнитными и плотными минералами может быть связано с магматической и вулканиче-

ской деятельностью, широко развитой в этом регионе [Ляшкевич, Завьялова, 1977].

Во-вторых, в результате выполненных исследований обнаружены области разуплотнения аргиллитов глубже 5000 м, вплоть до кристаллического фундамента, на фоне слегка повышенной магнитной восприимчивости. Это создает предпосылки для образования на этих глубинах, а также, вероятно, в кристаллическом фундаменте условий для скопления углеводородов.

В-третьих, в отдельных скважинах обнаружены интервалы с разуплотненными породами с повышенными значениями магнитной восприимчивости. Такие интервалы (см.

рис. 2) выделяются на разных глубинах в скв. Борзнянская, Нежинская, Зорьковская, Петровская, Гужевская и Савинковская. В соответствии с работами [Орлюк, 1994; Слепак, 1985], такие участки могут быть потенциально нефтегазоносным.

Благодарность. Авторы признательны ведущему научному сотруднику ЧО УкрНИГРИ, д-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

- Доленко Г. Н., Ляшкевич З. М., Алехина М. А., Шнюков Е. Ф. Геология и нефтегазоносность Днепровско-Донецкой впадины // Эндогенные процессы и нефтегазоносность. — Киев: Наук. думка, 1991. — С. 67—82.
- Дортман Н. Б. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых. — Москва: Недра, 1984. — 452 с.
- Куприенко П. Я., Макаренко И. Б., Старостенко В. И., Легостаева О. В., Савченко А. С. Трехмерная плотностная модель земной коры и верхней мантии Днепровско-Донецкой впадины и Донбасса // Геофиз. журн. — 2010. — 32, № 6. — С. 175—214.
- Курников Ю. А., Орлюк М. И. Магнитно-минералогическая характеристика, классификация и использование природных магнитных песков // Геофиз. журн. — 2011. — 33, № 1. — С. 39—53.
- Ляшкевич З. М., Завьялова Т. В. Вулканизм Днепровско-Донецкой впадины. — Киев: Наук. думка, 1977. — 178 с.
- Максимчук В. Ю., Кугеравец Р. С. Перспективы застосування магнітометрії при пошуках родовищ нафти і газу // Зб. тез та доп. наук.-практ. конф. «Нафтогазова геофізика — стан та перспективи», 25—29 травня 2009 р., Івано-Франківськ. — Івано-Франківськ, 2009. — С. 178—181.
- Орлюк М. И. Генетичні та структурно-генетичні зв'язки аномального магнітного поля Землі з її нафтогазоносністю // Геодинаміка, тектоніка і флюїдодинаміка нефтегазоносних регіонів України: Тез. докл. VII междунар. конф. України «Крым-2007». — Симферополь: Изд-во ассоциация геологов г. Симферополь, 2007. — С. 105—107.
- Орлюк М. И. Магнітна модель земної кори південного заходу Східноєвропейської платформи: Дис. ... д-ра геол. наук / НАНУ. Ін-т геофізики. — Київ, 1999. — 404 с.
- Орлюк М. И. Нафтогазоносність земної кори України у зв'язку з її намагніченістю // Нафтова і газова промисловість. — 1994. — № 3. — С. 16—19.
- Орлюк М. И., Друкаренко В. В. Магнитная восприимчивость пород северо-западной части Днепровско-Донецкой впадины // Геофиз. журн. — 2010. — 32, № 1. — С. 78—91.
- Орлюк М. И., Кравченко С. М., Єнтіні В. А. Магнітна характеристика порід осадового чохла Центральної депресії Дніпровсько-Донецького авлакогена // Нафта і газ України. Зб. наук. праць: Матер. 6-ї міжнар. наук.-практ. конф. — Івано-Франківськ, 2000. — Т. 1. — С. 303.
- Слепак З. М. Гравитационное моделирование гетерогенных структур при поисках нефти и газа: Афтореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук / Ин-т геофиз. АН УССР. — Киев, 1985. — 35 с.
- 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, magnetic, and remote sensing // AAPG Studies in Geology. — 2002. — № 48 and SEG Geophys. Ref. Series. № 11. — P. 67—156.
- Orliuk M., Drukarenko V. Magnetic susceptibility and density of the rocks from north-western part of Dnieper-Donets Depression // Travaux Geophysiques XXXIX: Abstracts of the 12th «Castle Meeting» New Trends in Geomagnetism Paleo, Rock and Environmental Magnetism. — Institute of Geophysucs, Acad. Sci. Czech Republic, 2010. — P. 56—57.