

## Плотностная неоднородность земной коры Ингульского мегаблока Украинского щита по данным трехмерного гравитационного моделирования

© *В. И. Старостенко, П. Я. Куприенко, И. Б. Макаренко,  
А. С. Савченко, О. В. Легостаева, 2015*

Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

Поступила 30 января 2015 г.

*Представлено членом редколлегии О. Б. Гинтовым*

За даними тривимірного густинного моделювання в масштабі 1 : 200 000 встановлено особливості будови земної кори Корсунь-Новомиргородського плутону і Новоукраїнського масиву, а також деталізовано розподіл густини за глибиною і по латералі в масивах гранітоїдів і габро-анортозитів Інгульського мегаблока. Простежено зміну густини в межах шовних зон і зон розломів, наведено їх порівняльну характеристику.

**Ключові слова:** Інгульський мегаблок, густина, земна кора, плутон, розломні зони, шовні зони.

**Введение.** Ранее была рассчитана трехмерная плотностная модель Ингульского мегаблока [Куприенко и др., 2007 а], в которой достаточно детально учитывались особенности глубинного строения основных структур. Однако масштаб исследований (1 : 500 000) определил более генерализованный учет гравитационного эффекта от структур небольшого размера. Масштаб 1 : 200 000, наоборот, позволил не только рассчитать гравитационный эффект от этих структур, но и детализировать распределение плотности в земной коре по глубине и латерали, а также получить дополнительную информацию о строении Шполянського и Корсунь-Шевченківського масивів рапаківидних гранітів (Корсунь-Новомиргородський плутон) і Новоукраїнського масива трахитоїдних гранітів.

В настоящей статье детально представлено распределение плотности в массивах гранитоидов (Богуславском, Уманском, Шевченковском, Лишняжском, Вознесенском, Чигиринском, Кировоградско-Бобринецком и Долинском), а также в массивах габро-анортозитов (Межиричанском, Городищенском, Смелянском, Русскополянском и Новомиргородском) (рис. 1). При

расчетах учтены скачкообразные изменения физических параметров на определенных глубинах, полученные по данным сейсмометрии и петрофизики [Трипольский и др., 1984; Лебедев и др., 1995 а—в] в Корсунь-Новомиргородском плутоне и Новоукраїнському масиві, а также на площади развития биотитовых гнейсов, расположенной между Кировоградской и Кировоградско-Кременчугской зонами разломов, которая ранее называлась Ингульський синклінорій [Щербаков, 2005]. О. Б. Гинтов и В. М. Исай определяют ее в целом как разломную зону, осложненную системой сколово-сдвиговых нарушений [Гинтов, Исай, 1988].

**Исходные материалы.** При создании плотностной модели были использованы: 1) данные сейсмометрии по профилям ГСЗ (XXIV, XXV, XXX, XXXIV) и геотраверсам (IV, VI, VIII) [Соллогуб и др., 1974; Трипольский и др., 1984; Соллогуб, 1986; Литосфера ..., 1988; Ильченко, 2003а, б; Трипільський та ін., 2012, 2013]; 2) схема залегания поверхности Мохо [Куприенко и др., 2007 б]; 3) геологические данные [Геологическая ..., 1983, 1984]; 4) структурно-тектоническая карта Ингульского мегаблока [Гинтов, Мычак, 2011; Кировоградский ..., 2013]; 5) схемы распределения

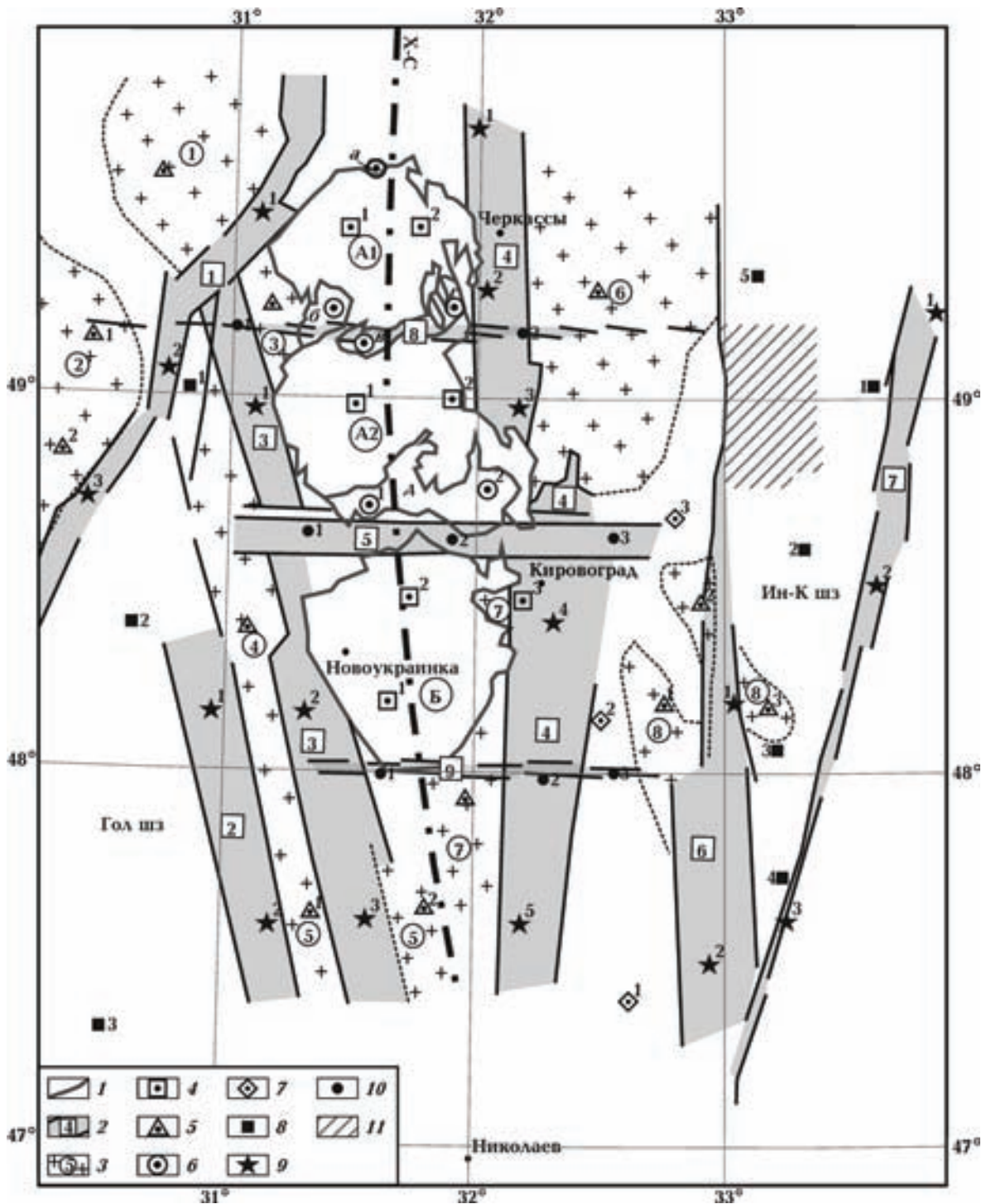


Рис. 1. Структурно-тектоническая схема Ингульского мегаблока [Гинтов, Мычак, 2011; Кировоградский ..., 2013] с упрощениями: 1 — контур Корсунь-Новомиргородского плутона и Новоукраинского массива; 2 — зоны разломов (цифры в квадратах): 1 — Тальновская, 2 — Первомайская, 3 — Звенигородско-Братская, 4 — Кировоградская, 5 — Субботско-Мошоринская, 6 — Западно-Ингулецкая, 7 — Криворожско-Кременчугская, 8 — Смелянская, 9 — Бобринецкая; 3 — массивы гранитоидов (цифры в кружках): 1 — Богуславский, 2 — Уманский, 3 — Шевченковский, 4 — Липнянский, 5 — Вознесенский, 6 — Чигиринский, 7 — Кировоградско-Бобринецкий, 8 — Долинский; 4 — точки, в которых построены графики распределения плотности с глубиной в массивах рапакивидных гранитов: Корсунь-Шевченковском (А<sub>1</sub>, западная (1) и восточная (2) части), Шполянском

плотности на поверхности фундамента (карты плотности А. О. Шмидта и М. Г. Распоповой) [Шмидт и др., 1976]; 6) гравитационное поле в редукции Буге (масштаб 1 : 200 000); 7) петрофизические данные о распределении плотности в точках пересечения геотраверса IV и профиля ГСЗ XXV с профилями Николаев—Канев (XXIV) и Черкассы—Новый Буг (XXXIV) [Лебедев и др., 1995 а—в].

В гравитационном наблюдаемом поле отдельные массивы гранитоидов проявляются поразному (рис. 2). Богуславский массив гранитоидов характеризуется ростом значений поля в северо-западном направлении от 0 до 20 мГал. Уманский гранитоидный массив находится в положительном поле (0—10 мГал). На границе с Тальновской зоной разломов присутствуют две замкнутые аномалии, в которых поле отрицательное (от 0 до -4). Шевченковский гранитоидный массив характеризуется также слабым полем (от -6 до +2 мГал). Липняжский и Вознесенский массивы находятся в градиентной зоне положительного знака, которая имеет северо-западное простирание. Значения поля в западной его части 14—36 и 26—42 мГал, в восточной 8—30 мГал. В пределах Чигиринского массива поле растет в северо-восточном направлении от 0 до 33 мГал. На юго-западе массива расположена Болтышская впадина, в пределах которой поле снижается до -36 мГал. В южном направлении поле растет в Кировоградско-Бобринецком массиве от -28 до 32 мГал. В Долинском гранитоидном массиве, который представлен тремя телами, наблюдаемое поле растет в южном направлении от 14 до 30 мГал, а его восточное ответвление характеризуется спокойным полем интенсивностью 14—18 мГал.

Зоны разломов также проявляются в наблюдаемом поле силы тяжести индивидуально. Тальновская зона разломов находится в положительном поле, интенсивность которого растет в северо-восточном направлении от 0 до 30 мГал. Первомайская зона разломов характеризуется положительным полем со значением 28—

54 мГал и растет к юго-западу. Звенигородско-Братская зона в северной части находится в поле, значения которого колеблются в пределах от -8 до +20 мГал, а южная часть — в положительном поле, интенсивность которого растет в северо-западном направлении от 8 до 30 мГал. Кировоградская зона разломов характеризуется своеобразно: в южной части зоны поле изменяется от отрицательных значений к положительным в южном направлении (от -0 до +32 мГал), в центральной части значения поля возрастают в восточном направлении от -28 до +5 мГал, а в его северной части поле растет в северном направлении от отрицательных значений (-35 мГал) до положительных (15 мГал). Западно-Ингулецкая зона разломов характеризуется значением поля 8—28 мГал в центральной и южной частях и 24—32 мГал в северной. Криворожско-Кременчугская зона разломов, наоборот, наибольшим значением поля характеризуется на юге (30 мГал), а в северной части поле спокойное и значения колеблются в пределах 10—17 мГал. Центральная часть имеет несколько аномалий, интенсивность которых к центру увеличивается от 30 до 40 и уменьшается от 20 до 16, и от 18 до 10 мГал.

Субботско-Мошоринская широтная зона разломов характеризуется отрицательным полем интенсивностью до -25 мГал в центральной части, а в западной и восточной частях поле положительное, его значение возрастает до 14 мГал в западном и до 20 мГал в восточном направлении.

Голованевская шовная зона выделяется максимальными значениями, которые достигают в осевой части 50—64 мГал. Соединения с соседними структурами характеризуются большими градиентами. Интенсивность поля снижается к юго-западу до значений 14—20 мГал, а к северу — до 12—14 мГал.

В Ингулецко-Кременчугской зоне разломов значение поля колеблется в интервале 14—28 мГал. На севере наблюдаются две положительные аномалии, вытянутые в северном направлении. Одна из них, которая расположена южнее, фик-

(А<sub>2</sub>, западная (1) и восточная (2) части) и Новоукраинском массивах трахитоидных гранитов (Б, южная (1) и северная (2) части); точки, в которых построены графики распределения плотности с глубиной в: 5 — массивах гранитоидов; 6 — массивах габбро-анортозитов: Межиричанском (а), Городищенском (б), Смелянском (в), Русскополянском (г), Новомиргородском (д, западная (1) и восточная (2) части); 7 — на площади развития биотитовых гнейсов (южная (1), центральная (2), северная (3) части); 8 — Голованевской (Гол шз) и Ингулецко-Криворожской (Ин-К шз) шовных зонах; 9 — зонах разломов; 10 — широтных зонах; 11 — область, подобная по распределению плотности с глубиной площади развития биотитовых гнейсов. X—С — трансрегиональный тектонический шов Херсон—Смоленск.

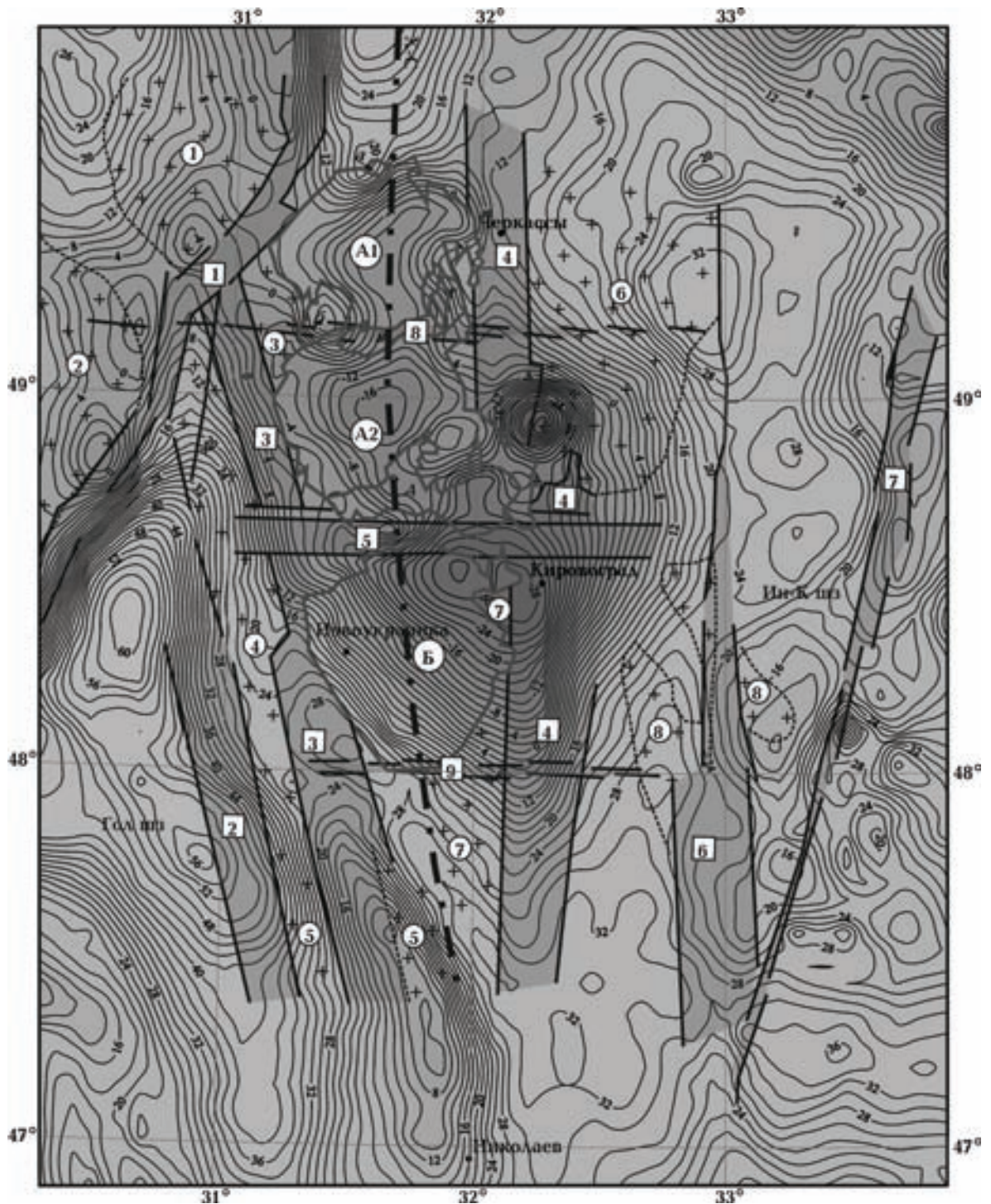


Рис. 2. Наблюдаемое гравитационное поле участка исследований (масштаб 1 : 200 000).  
Изолинии в мГал. Условные обозначения см. на рис. 1.

сирует по максимальным значениям поля (до 28 мГал) в центральной ее части, во второй поле растет в западном направлении до 30 мГал. На юге поле представлено цепочкой небольших локальных аномалий, интенсивность кото-

рых изменяется от 14—18 мГал (в центре) до 24 мГал (в периферийной части). Севернее Субботско-Мошоринской зоны разломов в западной части наблюдаются мозаичные аномалии положительного знака (до 30 мГал), а в восточ-

ной аномалии вытянуты вдоль Криворожско-Кременчугской зоны разломов с пониженным полем силы тяжести в сторону разлома до значений 12 мГал.

Основные положения примененной методики для построения трехмерной плотностной модели, а также структура и параметризация модели подробно описаны в работах [Куприенко и др., 2007 а, б]. Для ввода информации о распределении плотности в компьютер была использована специально разработанная для работы на щитах новая программа Sрасетар [Старостенко и др., 2011], поскольку основным содержанием карт, которые вводились, были не изолинии, а тела (области).

**Исходные данные.** Результаты трехмерной плотностной модели представлены в виде схем распределения плотности на поверхности фундамента, глубинах 5, 10, 20, 30 км и поверхности Мохо (рис. 3—8), что позволило выявить и проследить изменение структурных планов на разных глубинах земной коры.

Сопоставление графиков распределения плотности с глубиной позволило выявить общие закономерности и различия для структур мегаблока.

Особенности распределения плотности с глубиной в структурах Ингульского мегаблока следующие.

**Корсунь-Новомиргородский плутон и Новоукраинский массив.** Основные структуры Корсунь-Новомиргородского плутона — *Корсунь-Шевченковский* и *Шполянский* массивы рапакививидных гранитов, а также *Новоукраинский массив* трахитоидных гранитов на поверхности фундамента — имеют плотности 2,62 г/см<sup>3</sup>, за исключением западных, а в последней структуре юго-западных участков, где плотности повышены до 2,64—2,66 г/см<sup>3</sup> (см. рис. 3).

В пределах первых двух структур по всей глубине земной коры присутствуют скачкообразные изменения плотности, причем количество их разное для западной (кривая 1) и восточной (кривая 2) частей (см. рис. 3—8, 9). Границей такого раздела является трансконтинентальный шов Херсон—Смоленск. С глубиной плотность нарастает незначительно до глубины 12 км в Корсунь-Шевченковском и Шполянском массивах и до 17 км в Новоукраинском массиве при наличии зоны инверсии или нулевого градиента. На этих глубинах присутствует значительный скачок плотности ( $\Delta\rho = 0,12 \div 0,21$  г/см<sup>3</sup>), а затем плотность нарастает линейно до поверхности Мохо (рис. 9).

*Межиричанский, Русскополянский массивы* габбро-анортозитов на поверхности фундамента характеризуются плотностью 2,70 г/см<sup>3</sup> (см. рис. 3). *Городищенский, Смелянский* представлены породами с плотностью 2,64, 2,62 и 2,63—2,65 г/см<sup>3</sup> соответственно. *Новомиргородский массив* трансрегиональным тектоническим швом Херсон—Смоленск на поверхности фундамента делится на западную, менее плотную (2,63—2,65 г/см<sup>3</sup>), и восточную, более плотную (2,70 г/см<sup>3</sup>) части (см. рис. 3, 10). Анализ распределения плотности с глубиной по срезам показывает, что только в Межиричанском и в западной части Новомиргородского массивов наблюдаются повышенные значения плотности до глубины 10 км, а в остальных массивах уже к глубине 5 км ее значения приближаются к плотности окружающих структур (см. рис. 3—8, 10).

**Массивы гранитоидов.** *Богуславский массив* гранитоидов в плотностной модели представлен на поверхности фундамента породами с плотностью 2,63—2,64 г/см<sup>3</sup> (см. рис. 3). С 10 км и до поверхности Мохо (см. рис. 4—8) изолинии плотности вытянуты субмеридионально с увеличением значений к западу. На глубине 5 км (см. рис. 4) они имеют северо-западное направление, а на юго-западе структуры присутствует округлая аномалия интенсивностью 2,75 г/см<sup>3</sup>.

*Уманский массив* гранитоидов характеризуется плотностью на поверхности фундамента 2,62—2,66 г/см<sup>3</sup>, причем уплотнение пород нарастает от центральной части в северном и южном направлениях (см. рис. 3). На глубине 5 км на фоне плотности 2,70 г/см<sup>3</sup> появляются две замкнутые округлые аномалии, интенсивность которых увеличивается к центру до 2,74 г/см<sup>3</sup> (см. рис. 4). Характер распределения плотности на глубине 10 км аналогичен верхнему слою, здесь плотности в аномалиях возрастают до 2,80 г/см<sup>3</sup>. В сторону Тальновской зоны разломов плотность в этой структуре понижается до 2,68—2,70 г/см<sup>3</sup> (см. рис. 5). Глубже (на 20 км) аномалии повышенной плотности не прослеживаются, плотность пород массива возрастает в соответствии с общей зависимостью  $\rho = f(V_p)$ , увеличиваясь к югу от 2,84 до 2,90 г/см<sup>3</sup> (см. рис. 6). На 30 км массив однороден в плотностном отношении (плотности 2,96 г/см<sup>3</sup>) на большей части, незначительное уменьшение плотности наблюдается в сторону Тальновской зоны разломов (см. рис. 7). Особенностью этого массива является чередование через каждые 10 км направления возрастания плотности к югу и западу.

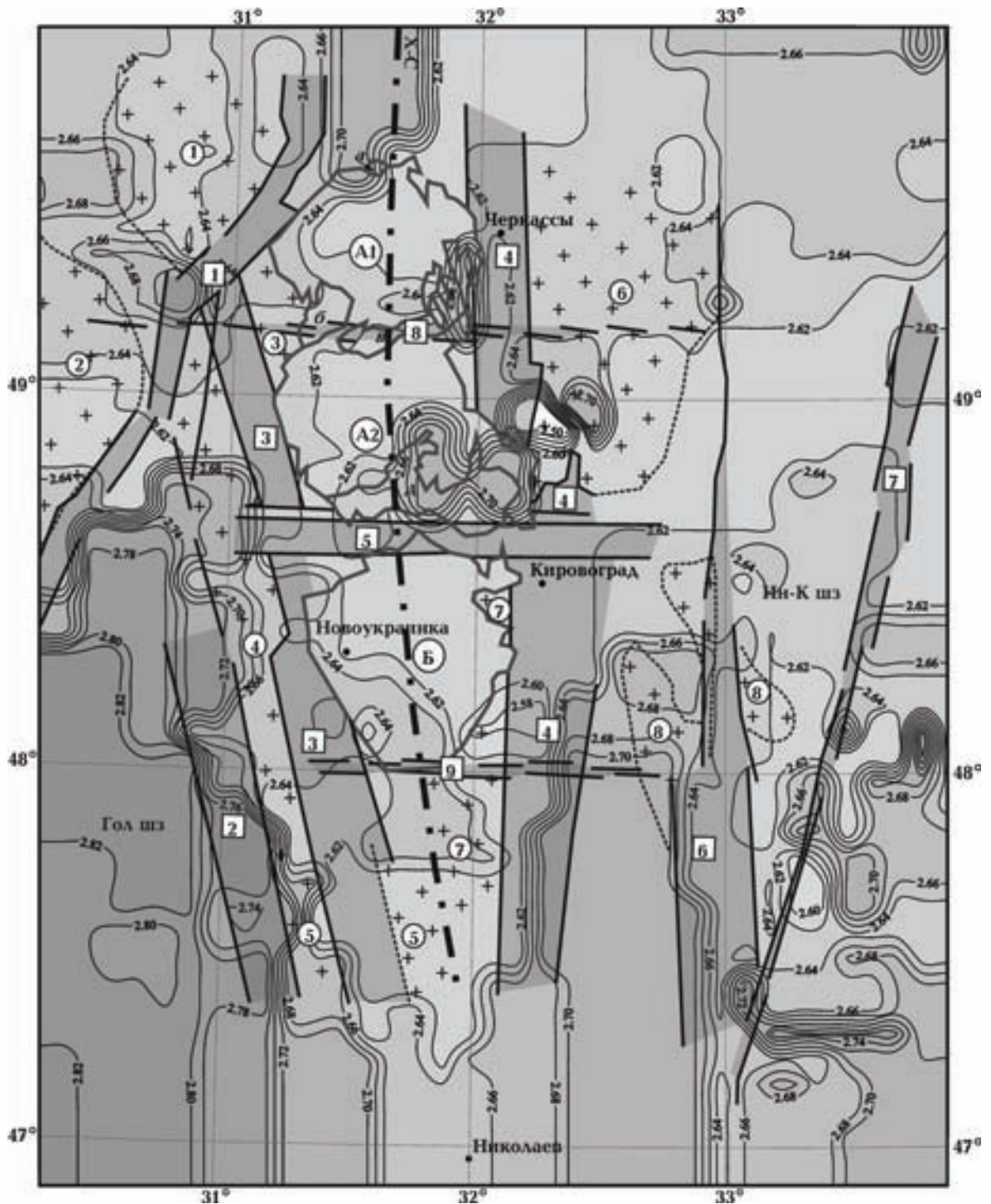


Рис. 3. Схема распределения плотности ( $\text{г/см}^3$ ) на поверхности кристаллического фундамента. Условные обозначения см. на рис. 1.

В пределах *Шевченковского массива* гранитоидов (см. рис. 1, 3) наблюдается стабильность значений плотности по латерали на всех глубинах (см. рис. 3, 5—8), за исключением среза 5 км, на котором плотности возрастают в

северном направлении от 2,64 до 2,70  $\text{г/см}^3$  (см. рис. 4).

На плотностную характеристику *Липняжского массива* гранитоидов, очевидно, имеет влияние его расположение между двумя зонами

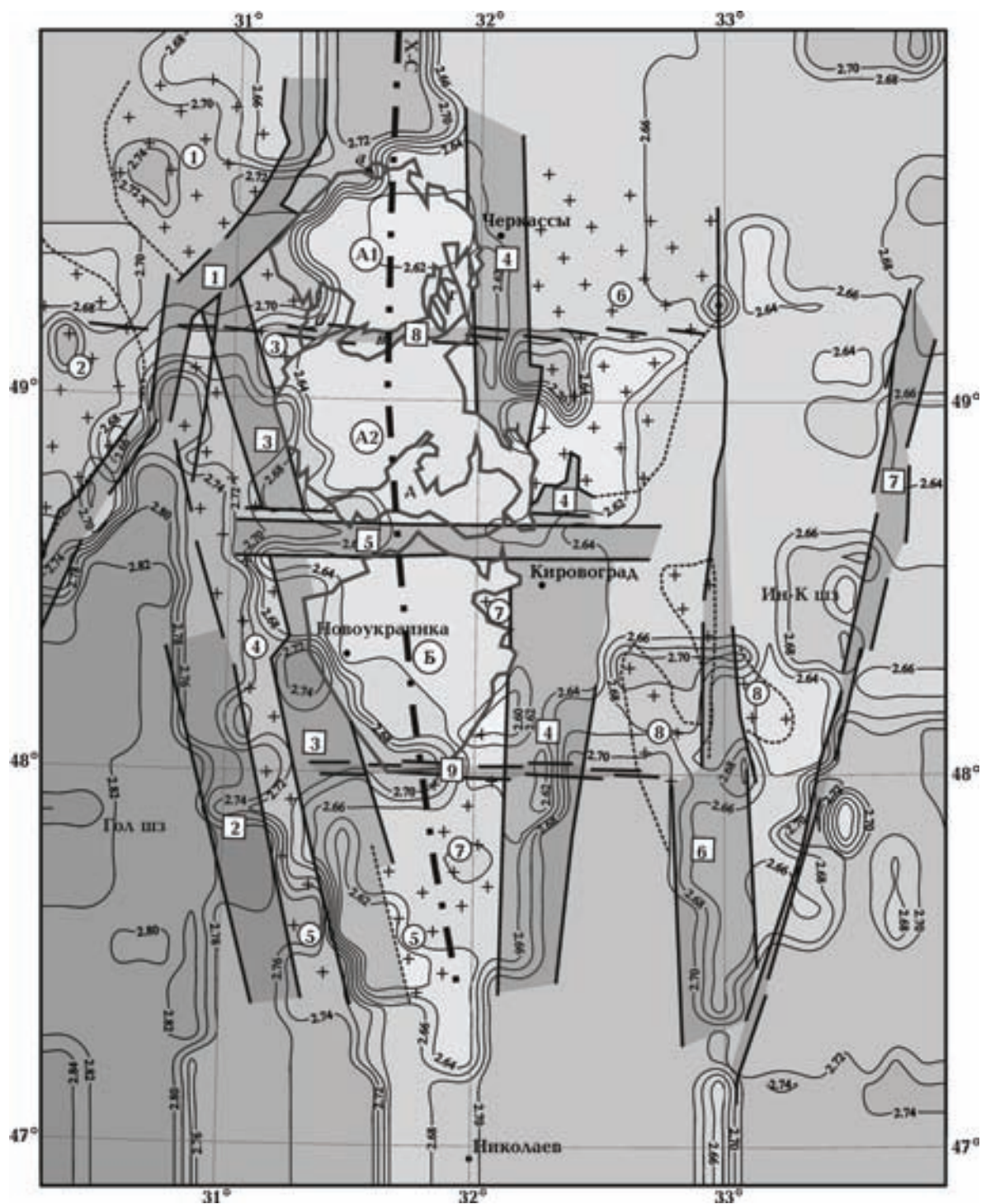


Рис. 4. Схема распределения плотности ( $\text{г/см}^3$ ) на глубине 5 км. Условные обозначения см. на рис. 1.

разломов — Первомайской и Звенигородско-Братской (см. рис. 1). Вдоль всего массива наблюдается чередование разуплотненных и уплотненных участков (от 2,63 до 2,73  $\text{г/см}^3$  на поверхности фундамента) (см. рис. 3). Такое рас-

пределение плотности характерно для всей толщи массива, в пределах которой плотности возрастают с глубиной по нормальной зависимости, сохраняя мозаичность. На глубине 30 км массив представлен породами с плотностью



Рис. 5. Схема распределения плотности ( $\text{г/см}^3$ ) на глубине 10 км. Условные обозначения см. на рис. 1.

$2,96 \text{ г/см}^3$  по всей площади, за исключением крайнего участка на северо-западе, где фиксируется незначительное понижение плотности (см. рис. 7). На поверхности Мохо в пределах массива уплотнение до  $3,07 \text{ г/см}^3$  имеет место

южнее Субботско-Мошоринской зоны разломов (см. рис. 8).

*Вознесенский массив* гранитоидов, разделенный Звенигородско-Братской зоной разломов (см. рис. 1), четко делится в плотностной



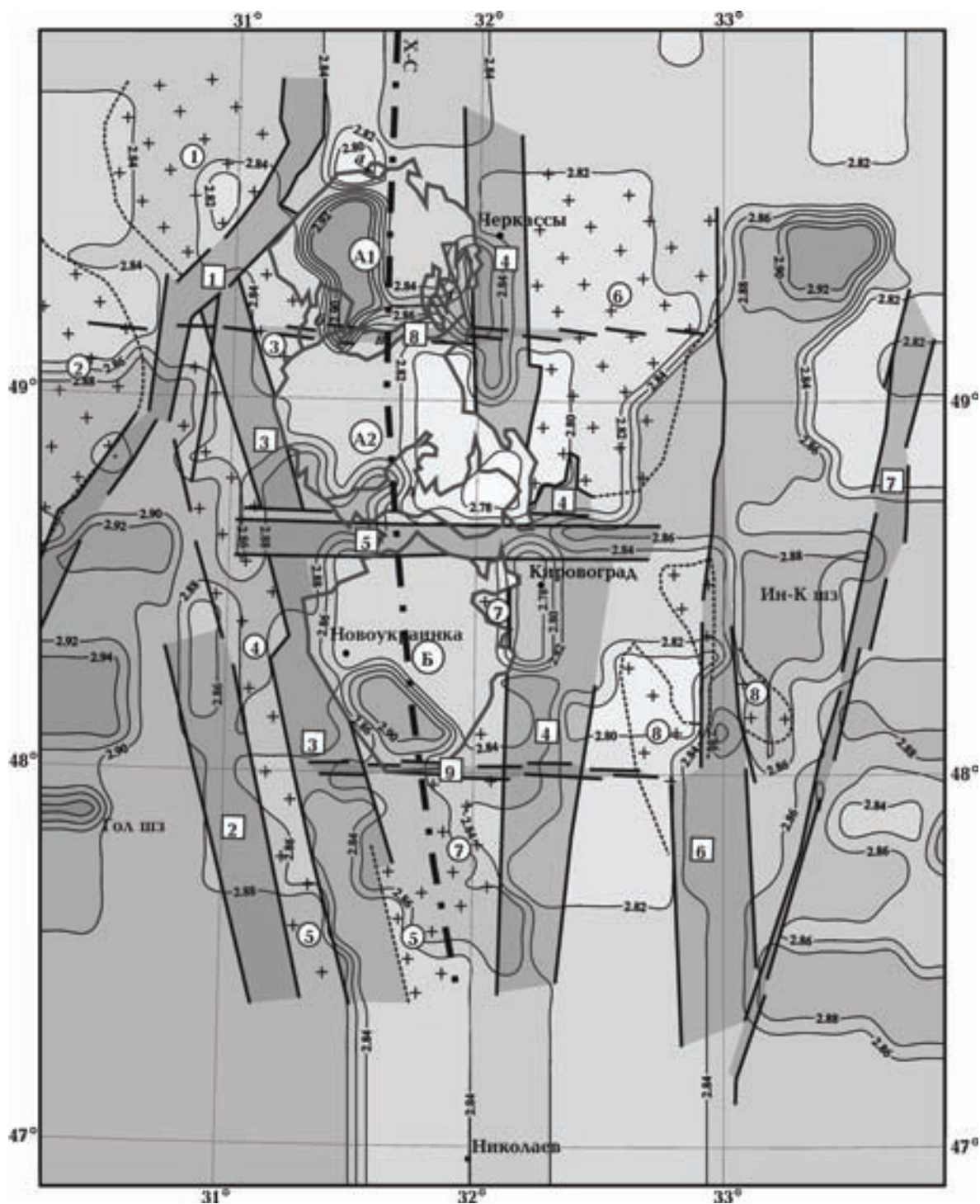


Рис. 6. Схема распределения плотности ( $\text{г/см}^3$ ) на глубине 20 км. Условные обозначения см. на рис. 1.

модели на уплотненную западную и разуплотненную восточную части. Разность в значении плотности на поверхности фундамента составляет  $0,14 \text{ г/см}^3$  (см. рис. 3), на поверхности Мохо —  $0,02 \text{ г/см}^3$  (см. рис. 8). В западной части

уплотнение фиксируется с востока на запад, причем изолинии плотности ориентированы вдоль оси юго-восток—северо-запад. Восточная часть массива представлена на поверхности фундамента с постоянной плотностью ( $2,62 \text{ г/см}^3$ ).

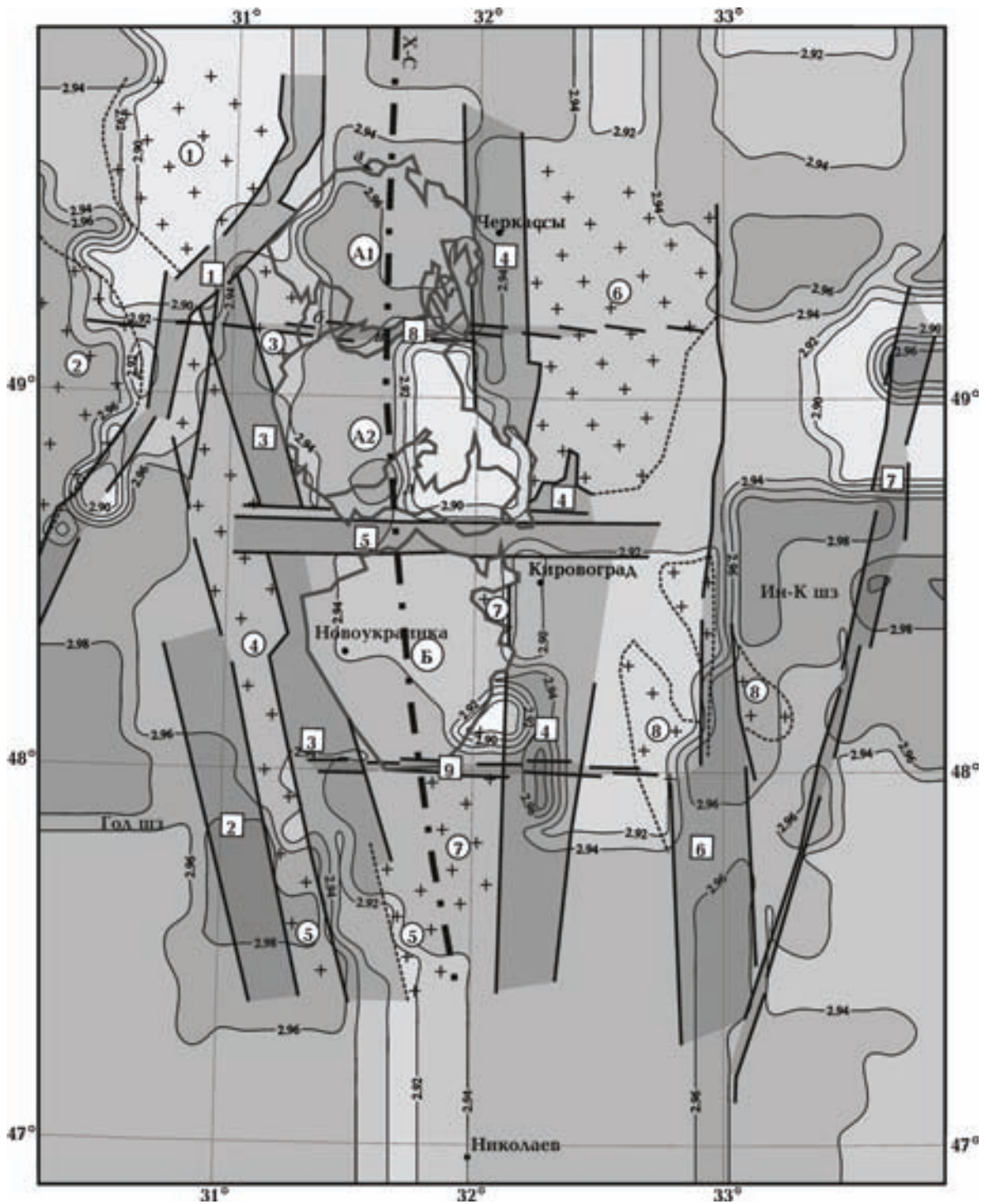


Рис. 7. Схема распределения плотности ( $\text{г/см}^3$ ) на глубине 30 км. Условные обозначения см. на рис. 1.

Ниже плотность, нарастая с глубиной по всей мощности земной коры, имеет значения, большие на северо-востоке. Западная часть массива уплотнена в северо-западной части до глубины 20 км, а глубже, вплоть до поверхности

Мохо, более плотные породы занимают юго-восточную ее часть.

В пределах *Чигиринского массива* гранитоидов представлены породы на поверхности фундамента с плотностью 2,60—2,62  $\text{г/см}^3$  в юж-

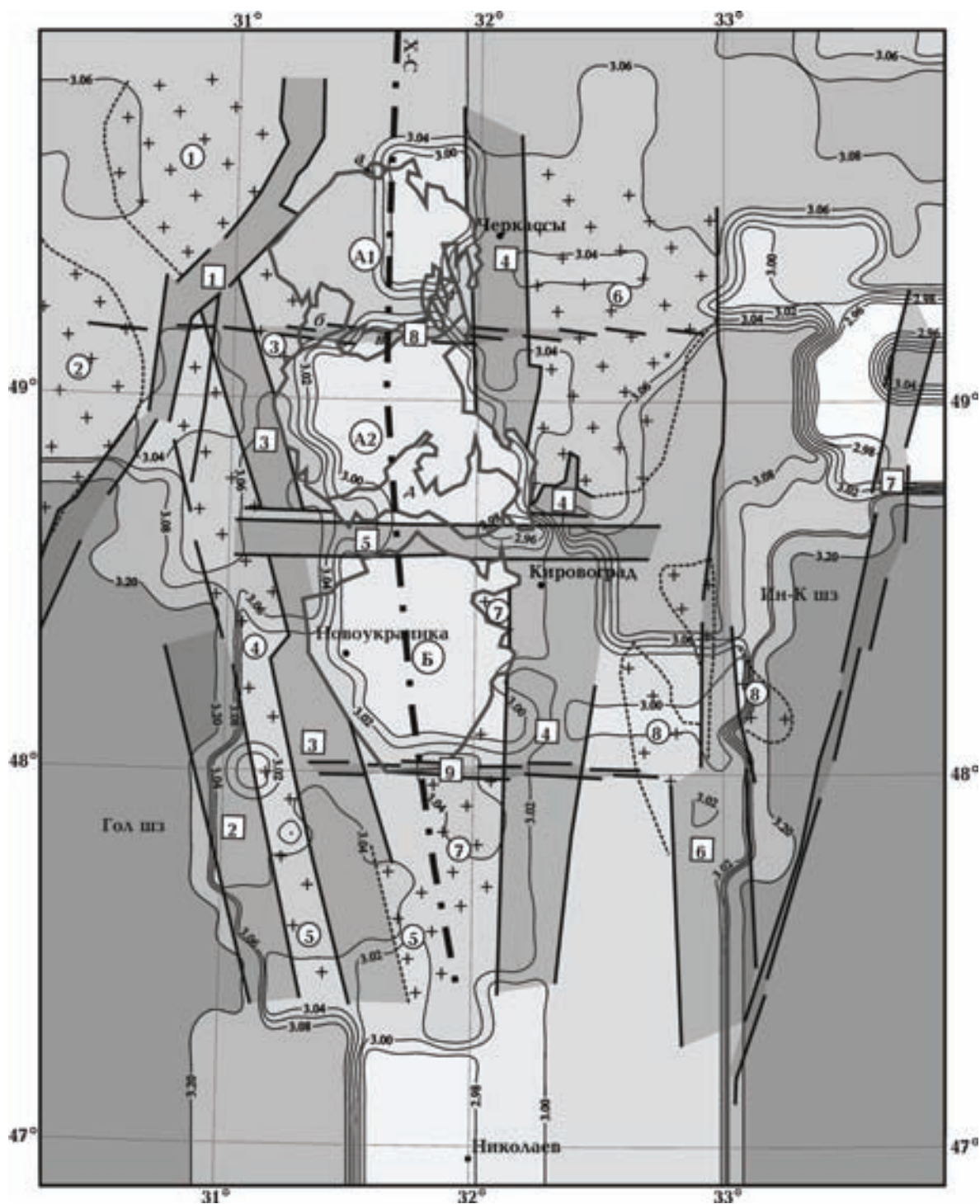


Рис. 8. Схема распределения плотности ( $\text{г/см}^3$ ) на поверхности Мохо. Условные обозначения см. на рис. 1.

ной части и  $2,63\text{—}2,64 \text{ г/см}^3$  в северной (см. рис. 3). К северу от Болтышской впадины присутствует аномалия повышенной плотности до  $2,70 \text{ г/см}^3$ , которая повышенной плотностью проявляется до глубины 10 км (см. рис. 5). С

глубиной разность в значениях плотности нивелируется, и на глубинах 20 км массив представлен породами с одинаковой плотностью по всей площади  $2,82 \text{ г/см}^3$  (см. рис. 6), на 30 км —  $2,94 \text{ г/см}^3$  (см. рис. 7). На поверхности Мо-

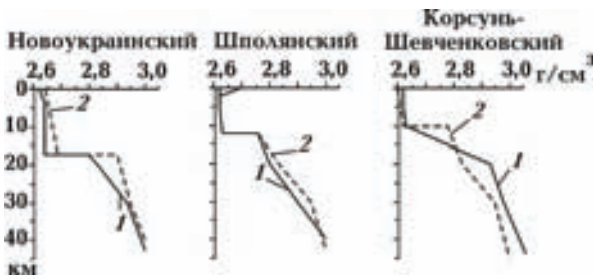


Рис. 9. Изменение плотности с глубиной в массивах рапакививидных гранитов Корсунь-Новомиргородского плутона и Новоукраинском массиве трахитоидных гранитов. Расположение точек см. на рис. 1.

хо на фоне плотности  $3,06 \text{ г/см}^3$  присутствуют две небольшие области с пониженной плотностью ( $3,04 \text{ г/см}^3$ ) (см. рис. 8).

Плотность в Кировоградско-Бобринецком массиве гранитоидов варьирует от  $2,58$  до  $2,64 \text{ г/см}^3$  на поверхности фундамента (см. рис. 3). Аномалия пониженной плотности ( $2,58 \text{ г/см}^3$ ), расположенная в центральной части массива, прослеживается в модели до поверхности Мохо с разной степенью выразительности (см. рис. 4—8). Породы на поверхности фундамента с плотностью  $2,64 \text{ г/см}^3$  расположены на юго-западе структуры, на остальной территории — преимущественно с  $2,61—2,62 \text{ г/см}^3$ . С глубиной область более плотных пород расширяется, занимая весь юг массива, и такое распределение сохраняется до поверхности Мохо по

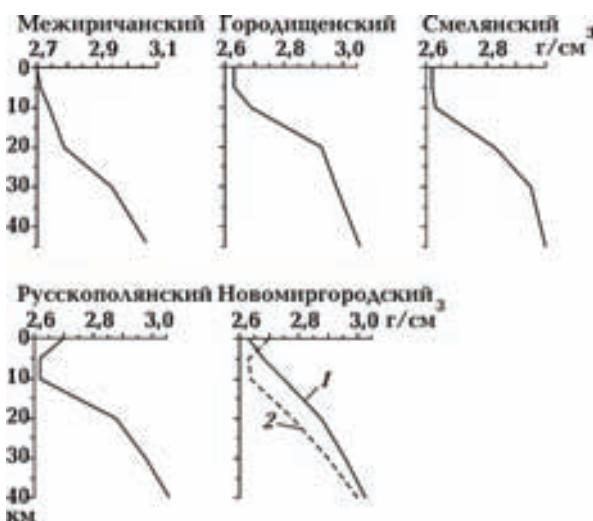


Рис. 10. Изменение плотности с глубиной в массивах габро-анортозитов. Расположение точек см. на рис. 1.

всему разрезу земной коры. Северная часть массива представлена более низкими плотностями пород.

Долинский массив гранитоидов по значениям плотности на поверхности фундамента можно разделить на западную ( $2,68—2,70 \text{ г/см}^3$ ), северную и восточную части ( $2,62—2,64 \text{ г/см}^3$ ) (см. рис. 3). Такое распределение наблюдается до глубин  $10 \text{ км}$  (см. рис. 5). Затем по всей мощности земной коры до поверхности Мохо участки меняются ролью: уплотненные участки переходят в относительно разуплотненные, и наоборот (см. рис. 6—8).

Как видно из графиков (рис. 11), изменение плотности с глубиной в массивах гранитоидов индивидуально, за исключением Кировоградско-Бобринецкого и северной и восточной частей Долинского массивов, где наблюдается схожесть изменения плотности с глубиной: с поверхности фундамента и до  $5 \text{ км}$  нарастание плотности отсутствует (т. е. фиксируется нулевой градиент). Глубже плотность нарастает по нормальному закону  $\rho = f(V_p)$ . Под нормальным понимается распределение, соответствующее общей корреляционной зависимости  $\rho = f(V_p)$  для кристаллических пород, и при этом для удовлетворения модельного поля наблюдаемому не требуется введение поправок. Плотности массивов с поверхности хорошо коррелируют с данными о плотностях по геологическим данным (карты плотности А. О. Шмидта и М. Г. Распоповой) [Шмидт и др., 1976].

**Площадь развития биотитовых гнейсов**, расположенная между Кировоградской и Кировоужско-Кременчугской зонами разломов, характеризуется повышенной плотностью пород на поверхности фундамента в южной части ( $2,70 \text{ г/см}^3$ ) (см. рис. 3). При приближении к Субботско-Мошоринской зоне разломов плотности уменьшаются до  $2,69—2,67 \text{ г/см}^3$ . К северу от нее породы разуплотнены ( $2,61—2,63 \text{ г/см}^3$ ). Для пород южной части характерно скачкообразное изменение плотности на глубинах  $6, 16, 20, 30 \text{ км}$  с индивидуальным градиентом для каждого тела и глубинного интервала, а также наличие зон с нулевым градиентом нарастания плотности с глубиной (рис. 12). В северной части структуры (севернее Субботско-Мошоринской зоны разломов) также учтены в модели скачкообразные изменения плотности с глубиной, но на других глубинах —  $5, 10, 18, 30 \text{ км}$  (см. рис. 12). В интервале глубин от поверхности фундамента до  $10 \text{ км}$  породы в южной части площади уплотнены по сравнению с северной, а в интервале  $10—20 \text{ км}$ , наоборот, уплотнение наблю-

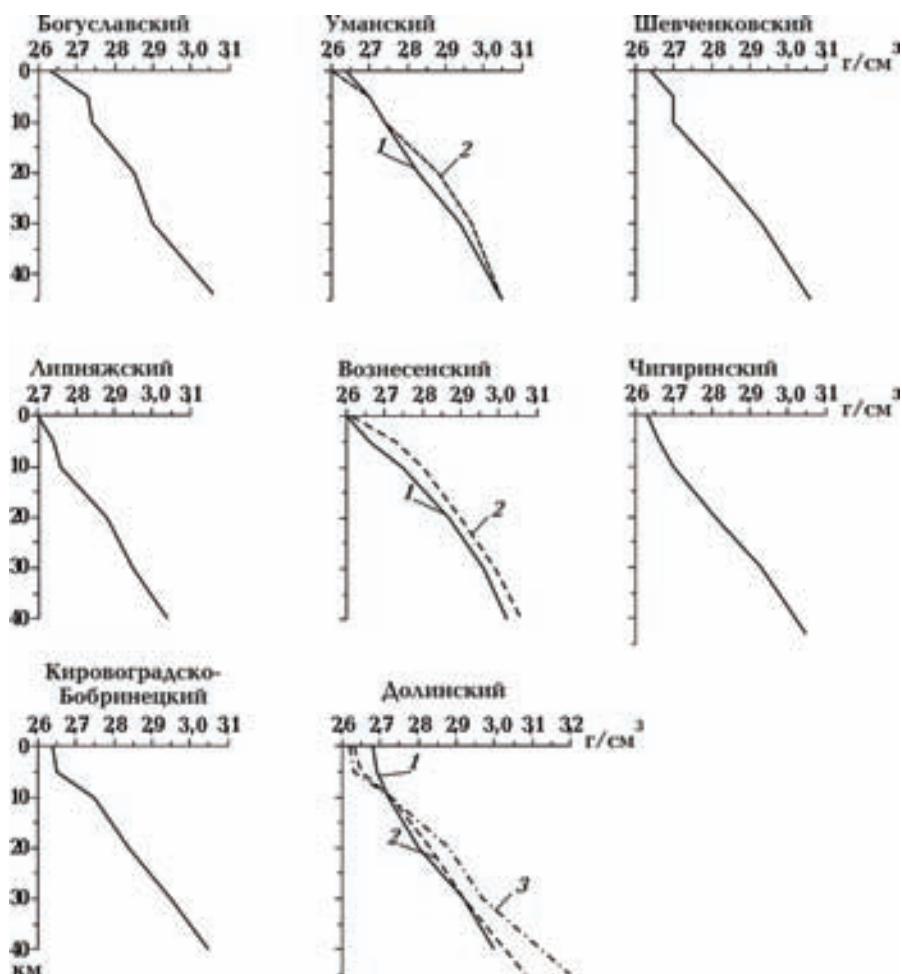


Рис. 11. Изменение плотности с глубиной в массивах гранитоидов. Расположение точек см. на рис. 1.

дается на севере (см. рис. 3—6). На глубине 30 км (см. рис. 7) плотность постепенно уменьшается с юга на север (от 2,96 до 2,92 г/см<sup>3</sup>), а на поверхности Мохо (см. рис. 8), наоборот, увеличивается в том же направлении (от 3,00 до 3,08 г/см<sup>3</sup>).

**Шовные зоны.** Голованевская шовная зона с поверхности фундамента представлена основными породами с плотностью 2,80—2,83 г/см<sup>3</sup>, что значительно превышает плотность окружающих ее структур, и эта разница сохраняется по всему разрезу земной коры (от поверхности фундамента до поверхности Мохо) (см. рис. 3—8).

Плотность пород, слагающих осевую часть зоны, с глубиной увеличивается от 2,65 и 2,80—2,82 г/см<sup>3</sup> на поверхности фундамента (см. рис. 3) до 2,90—2,94 г/см<sup>3</sup> на 20 км (см. рис. 6). Интенсивнее всего плотность увеличивается в приповерхностном слое — от 0 до 10 км (см. рис. 3—5). С глу-

биной градиент плотности уменьшается, однако зона отличается от соседних структур вплоть до поверхности Мохо. В глубинной части зоны распространен слой повышенной плотности (коромантийная смесь) со значением ее на кровле

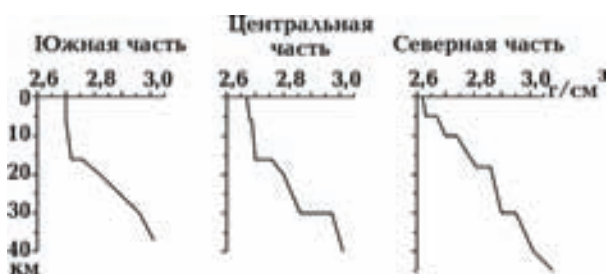


Рис. 12. Изменение плотности с глубиной на площади развития биотитовых гнейсов. Расположение точек см. на рис. 1.

3,04 и 3,20 г/см<sup>3</sup> на подошве. Как видно на графике, в северной части зоны (рис. 13, кривая 1), между Тальновской и Звенигородско-Братской зонами разломов плотности понижены по сравнению с центральной и южной ее частями (см. рис. 13).

Породы *Ингулецко-Криворожской шовной зоны* имеют плотность на поверхности фундамента 2,62—2,64 г/см<sup>3</sup> с отдельными телами повышенной плотности (2,68—2,71 г/см<sup>3</sup>) на юге и в центре зоны (см. рис. 3). С глубиной плотность изменяется градиентно, достигая на глубине 20 км значений 2,86—2,88 г/см<sup>3</sup> в южной и центральной частях и 2,84—2,98 г/см<sup>3</sup> на севере (см. рис. 6). Севернее Субботско-Мошоринской зоны разломов до Смелянской широтной зоны с глубины 16 км площадь делится на две части — западную, более плотную, и восточную, менее плотную. Разность в значениях плотности сохраняется до поверхности Мохо (см. рис. 8). Как видно на графике распределения плотности с глубиной, западная часть по характеру распределения плотности подобна северной части области распространения биотитовых гнейсов (см. рис. 13). К северу от Смелянской зоны разломов от 10 до 30 км присутствует область повышенной плотности, которая на поверхности Мохо не фиксируется (см. рис. 8). В этой части Ингулецко-Криворожской шовной зоны наблюдаются скачки плотности в одних телах на глубинах 0, 6, 10 и 20 км, в других — на 5, 10 и 20 км.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что Голованевская шовная зона более однородна в плотностном отношении, а Ингулецко-Криворожская Бобринецкой, Субботско-Мошоринской и Смелянской широтными зонами разломов разделена на несколько частей, в которых плотность изменяется как по площади, так и с глубиной.



Рис. 13. Изменение плотности с глубиной в шовных зонах. Расположение точек см. на рис. 1.

**Зоны разломов.** Все зоны разломов — Тальновская, Звенигородско-Братская, Кировоградская, Западно-Ингулецкая и Криворожско-Кременчугская (кроме Первомайской) в плотностной модели на поверхности фундамента представлены разуплотненными породами (2,60—2,63 г/см<sup>3</sup>) по сравнению с плотностью соседних структур (см. рис. 3). С глубиной плотности в разрывных нарушениях ведут себя по-разному (рис. 14).

*Тальновская* зона разломов на поверхности фундамента характеризуется перемежающимися участками повышенной и пониженной плотности, которая изменяется в пределах 2,60—2,68 г/см<sup>3</sup> (см. рис. 3). На относительно спокойном фоне 2,64 г/см<sup>3</sup> выделяются два участка, в которых плотности повышаются до 2,68 г/см<sup>3</sup> на юго-западе зоны в районе контакта с северной частью Голованевской шовной зоны и до 2,70 г/см<sup>3</sup> в месте сочленения с Звенигородско-Братской зоной разломов. С глубиной плотностные характеристики изменяются (см. рис. 14). В замкнутых локальных аномалиях, расположенных на юго-западе на глубине 5 км, плотности уменьшаются от 2,78 до 2,68 г/см<sup>3</sup> в северо-восточном направлении до пересечения с Первомайской зоной разломов (см. рис. 1, 14). После пересечения плотность снова возрастает до 2,72 г/см<sup>3</sup>. Такое же распределение плотности сохраняется и на 10 км (см. рис. 5). Однако с глубины 20 км (см. рис. 6) локальные аномалии на юго-западе отсутствуют, а значение плотности сохраняется на этом промежутке зоны выше чем 2,90—2,92 г/см<sup>3</sup>. На этом же срезе к северо-востоку плотности уменьшаются до 2,84—2,82 г/см<sup>3</sup>. На 30 км (см. рис. 7) зона характеризуется плотностью (2,92 г/см<sup>3</sup>), которая осложняется участками разуплотнения до 2,90 г/см<sup>3</sup>.

На графике (см. рис. 14) видно, что плотность в северной части зоны (кривая 1) до глубины 5 км больше, чем в центральной и южной частях (кривые 2 и 3, соответственно), глубже наблюдается обратная зависимость.

*Первомайская* зона разломов на поверхности фундамента представлена пестрой мозаикой плотности, значение которой колеблется от 2,66 г/см<sup>3</sup> в районе контакта с Бобринецкой зоной разломов до 2,78 г/см<sup>3</sup> на ее юго-восточной окраине (см. рис. 3). До глубины 20 км характер распределения плотности вдоль зоны не изменяется (см. рис. 6). Глубже вдоль зоны плотности изменяются незначительно в интервале 2,88—2,86 г/см<sup>3</sup>. На глубине 30 км сохраняется уплотнение на юго-востоке (2,98 г/см<sup>3</sup>) с плавным

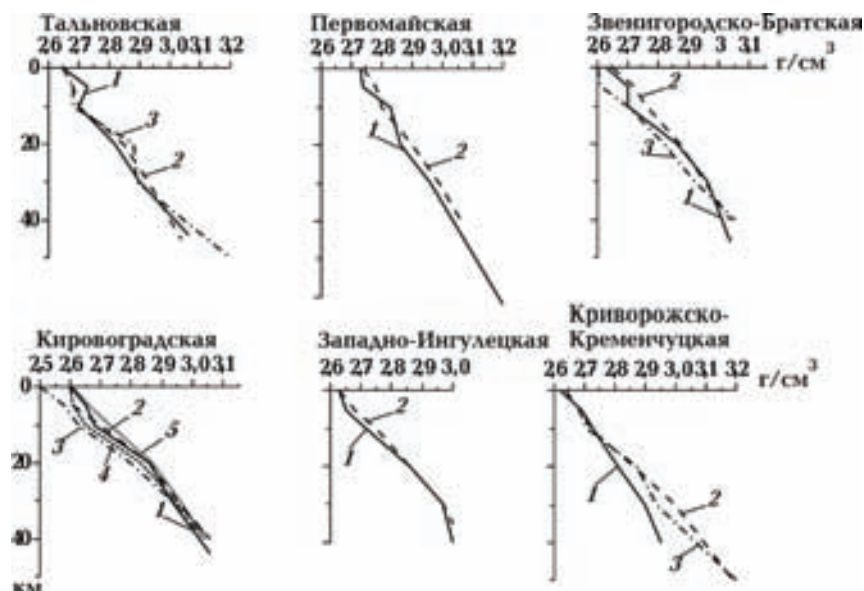


Рис. 14. Изменение плотности с глубиной в зонах разломов. Расположение точек см. на рис. 1.

уменьшением в северо-западном направлении до  $2,96 \text{ г/см}^3$  (см. рис. 7). На Мохо в Тальновской и Первомайской зонах разломов плотности высокие и соответствуют значениям коромантийной смеси (см. рис. 8, 14).

Для *Звенигородско-Братской* зоны разломов на фундаменте характерно уменьшение плотности до  $2,62 \text{ г/см}^3$  на трех участках: южнее Бобринецкой широтной зоны, в районе пересечения с Субботско-Мошоринской широтной зоной и Тальновской зоной разломов (см. рис. 1, 3, 14). В промежутках между пониженными участками плотность возрастает до  $2,64$ — $2,65 \text{ г/см}^3$ . Такой характер распределения плотности сохраняется до глубины 20 км (см. рис. 6). На этом срезе максимальная плотность ( $2,88 \text{ г/см}^3$ ) фиксируется в узле пересечения с Субботско-Мошоринской широтной зоной (см. рис. 1, 6). К северо-западу и юго-востоку от пересечения в пределах зоны плотность плавно понижается до  $2,84 \text{ г/см}^3$ . Глубже такой характер распределения плотности сохраняется (см. рис. 7). На поверхности Мохо в узле пересечения с Субботско-Мошоринской зоной разломов плотности максимальны ( $3,06 \text{ г/см}^3$ ), а к периферии снижаются до  $3,04$  на северо-западе и  $3,02 \text{ г/см}^3$  на юго-востоке (см. рис. 8).

*Кировоградская* зона разломов на поверхности фундамента характеризуется субмеридиональным направлением изолиний плотности (см. рис. 3). Для южной ее части (до Бобринецкой широтной зоны) на узком пространстве фик-

сируется значительный градиент нарастания плотности в восточном направлении от  $2,62$  до  $2,68 \text{ г/см}^3$ . Севернее Бобринецкой широтной зоны имеет место аномалия с низкой плотностью (до  $2,58 \text{ г/см}^3$ ), которая наблюдается до глубины 15 км (см. рис. 14). Севернее этой аномалии зона характеризуется постоянной плотностью ( $2,62 \text{ г/см}^3$ ). Севернее Субботско-Мошоринской широтной зоны присутствует замкнутая аномалия повышенной плотности (до  $2,68 \text{ г/см}^3$ ) и дальше на север — аномалия пониженной плотности, приуроченная к Болтышской впадине, в которой плотность с поверхности в модели  $2,45 \text{ г/см}^3$  (см. рис. 3). С глубиной направление изолиний плотности изменяется. Так, на глубине 5 км появляется субмеридионально вытянутая аномалия пониженной плотности ( $2,62 \text{ г/см}^3$ ) в районе Бобринецкой широтной зоны (см. рис. 4). Севернее Болтышской впадины на этой глубине наблюдается аномалия повышенной плотности (в центре плотность достигает значения  $2,70 \text{ г/см}^3$ ), которая прослеживается с поверхности (см. рис. 3) и расширяется к 5 км (см. рис. 4). При приближении к границе с ДДВ зона характеризуется субмеридиональным расположением изолиний плотности с уплотнением к востоку. Участок пересечения с Субботско-Мошоринской широтной зоной характеризуется низкой плотностью ( $2,62 \text{ г/см}^3$ ) (см. рис. 4). На глубине 10 км плотность возрастает в северном и южном направлениях от Субботско-Мошоринской широтной зоны, а в месте пересечения этих двух

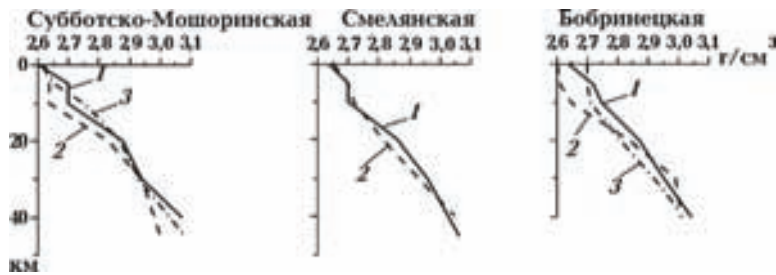


Рис. 15. Изменение плотности с глубиной в широтных зонах разломов. Расположение точек см. на рис. 1.

зон фиксируется узкая полоса, в которой плотности увеличиваются до  $2,70 \text{ г/см}^3$  (см. рис. 5). На глубине 20 км выделяются три участка изменения плотности вдоль зоны: южный и северный характеризуются разуплотнением в направлении Субботско-Мошоринской широтной зоны от  $2,86$  до  $2,82 \text{ г/см}^3$ , а в узле пересечения — снижением до  $2,78 \text{ г/см}^3$  (см. рис. 6). Такое распределение плотности в пределах разломной зоны сохраняется до поверхности Мохо (см. рис. 8).

В *Западно-Ингулецкой* зоне разломов (см. рис. 1) точки, в которых построены графики распределения плотности с глубиной, расположены южнее Субботско-Мошоринской зоны разломов. Распределение плотности в них одинаковое (см. рис. 14), что свидетельствует об однородности Западно-Ингулецкой зоны разломов.

*Криворожско-Кременчугская* зона разломов характеризуется до глубины 12–15 км идентичным распределением плотности с глубиной по всей площади зоны. Глубже в точках, расположенных южнее широтной Субботско-Мошоринской зоны разломов (кривые 2 и 3), распределение плотности одинаково, ее значения здесь больше. Севернее (кривая 1) наблюдается уменьшение плотности, в этой части зона разуплотнена (см. рис. 14).

*Субботско-Мошоринская* широтная зона разломов в пределах Ингульского мегаблока характеризуется общим увеличением плотности пород в западном направлении, за исключением Корсунь-Новомиргородского плутона, в пределах которого плотность пород понижена по всему разрезу земной коры. На территории Ингулецко-Криворожской шовной зоны породы вдоль широтной зоны разломов по всему разрезу уплотнены.

В *Бобринецкой* широтной зоне разломов в приповерхностных слоях на западе и востоке плотность пород возрастает, а в глубинной части, наоборот, понижается.

В *Смелянской* широтной зоне максимальное уплотнение по всему разрезу наблюдается в западной части Ингулецко-Криворожской шовной зоны. К западу с глубины 10 км и к востоку от нее плотности пород понижены (см. рис. 3–8).

Как видно из графиков (рис. 15), распределение плотности с глубиной в Субботско-Мошоринской и Бобринецкой широтных зонах разломов разное по обе стороны от трансрегионального тектонического шва Херсон—Смоленск: к западу (кривая 1) плотность выше, к востоку (кривая 3) — ниже. Точки, которые находятся на площади распространения биотитовых гнейсов, по распределению плотности с глубиной занимают положение между ними. В Смелянской широтной зоне точки графиков, расположенные по обе стороны от трансрегионального тектонического шва Херсон—Смоленск, попадают в пересечение с зонами разломов (см. рис. 1) и графики распределения плотности с глубиной подобны (см. рис. 15).

Более детально строение широтных зон разломов рассмотрено в работе [Старостенко и др., 2012].

**Выводы.** 1. Ингульский мегаблок по результатам плотностного моделирования четко делится на западную и восточную части по шву Херсон—Смоленск: западная часть представлена плотными породами по всему разрезу земной коры, а восточная — более легкими.

2. Земная кора гранитоидных структур Ингульского мегаблока (Корсунь-Шевченковского, Шполянского массивов рапакививидных гранитов и Новоукраинского массива трахитоидных гранитов) разделена на два слоя со скачком плотности на глубине 12 и 17 км: в верхнем слое залегают слабоплотные породы  $2,62$  ( $2,65$ )  $\text{г/см}^3$ , а в нижнем — уплотненные до  $2,88$  ( $2,90$ )  $\text{г/см}^3$  уже под линией раздела.

3. Земная кора Корсунь-Новомиргородского плутона разделена по латерали на две час-



ти: западную и восточную. Изменение плотности пород в обеих частях до глубины 12 км имеет различный характер: в восточной части присутствуют три скачка на глубинах 2, 5 и 12 км, а в западной — только на глубине 12 км.

4. Изменение плотности с глубиной в массивах гранитоидов (Богуславском, Уманском, Шевченковском, Липняжском, Вознесенском, Чигиринском, Кировоградско-Бобринецком и Долинском) имеет индивидуальный характер. Однако до глубины 20 км можно определить общие закономерности в Богуславском и Шевченковском, Кировоградско-Бобринецком и восточной части Долинского, южной части Уманского и западной части Воскресенского массивов.

5. Межиричанский массив габбро-анортозитов прослеживается до глубины 10 км повышенной плотностью, а плотности остальных массивов габбро-анортозитов уже к глубине 5 км

сравниваются с плотностью вмещающих пород.

6. Голованевская шовная зона по сравнению с Ингулецко-Криворожской более однородна и характеризуется повышенной плотностью по всему разрезу земной коры. В пределах Ингулецко-Криворожской шовной зоны плотность также повышенная по всему разрезу, хотя несколько ниже плотности Голованевской шовной зоны. Бобринецкой, Субботско-Мошоринской и Смелянской широтными зонами разломов эта шовная зона разделена на несколько участков, в которых плотность изменяется индивидуально как по площади, так и с глубиной.

7. Площадь развития биотитовых гнейсов по плотности делится на три части: южную, центральную и северную, которые различаются по характеру распределения плотности с глубиной. Границами деления являются Бобринецкая и Субботско-Мошоринская широтные зоны разломов.

### Список литературы

- Геологическая карта докембрийских образований Украинского щита. Комплект карт "Геология и металлогения Украинского щита". 1 : 1 000 000. Под ред. Н. П. Щербака, Д. Ф. Володина. Киев: Мингео УССР, 1984.*
- Геологическая карта кристаллического основания Украинского щита. 1 : 500 000. Под ред. Н. П. Щербака. Киев: Мингео УССР, 1983.*
- Гинтов О. Б., Исая В. М. Тектонофизические исследования разломов консолидированной коры. Киев: Наук. думка. 1988. 230 с.*
- Гинтов О. Б., Мычак С. В. Геодинамическое развитие Ингульского мегаблока Украинского щита по геолого-геофизическим и тектонофизическим данным. Геофиз. журн. 2011. Т. 33. № 3. С. 102—118.*
- Ильченко Т. В. Скоростная модель земной коры и верхов мантии Кировоградского блока Украинского щита по данным ГСЗ (профили Бабанка—Пятихатки и Черкасы—Новый Буг). Геофиз. журн. 2003а. Т. 25. № 6. С. 30—43.*
- Ильченко Т. В. Строение земной коры и верхов мантии Кировоградского блока Украинского щита по данным ГСЗ (модель Бабанка—Пятихатки). Доп. НАН України. 2003б. № 7. С. 100—106.*
- Кировоградский рудный район. Глубинное строение. Тектонофизический анализ. Месторождения рудных полезных ископаемых. Под ред. В. И. Старостенко, О. Б. Гинтова. Киев: Прастьи луды, 2013. 500 с.*
- Куприенко П. Я., Макаренко И. Б., Старостенко В. И., Легостаева О. В. Трехмерная плотностная модель земной коры и верхней мантии Ингульского мегаблока Украинского щита. Геофиз. журн. 2007а. Т. 29. № 2. С. 17—41.*
- Куприенко П. Я., Макаренко И. Б., Старостенко В. И., Легостаева О. В. Трехмерная плотностная модель земной коры и верхней мантии Украинского щита. Геофиз. журн. 2007б. Т. 29. № 5. С. 3—27.*
- Лебедев Т. С., Корчин В. А., Буртный П. А., Корнейчик Г. Н., Панкратов И. Н., Николенко К. И. Петроскоростные модели земной коры центральной части Украинского щита. 1. Геофиз. журн. 1995а. Т. 17. № 4. С. 13—22.*
- Лебедев Т. С., Корчин В. А., Буртный П. А., Корнейчик Г. Н., Панкратов И. Н., Николенко К. И. Петроскоростные модели земной коры центральной части Украинского щита. 2. Геофиз. журн. 1995б. Т. 17. № 5. С. 30—37.*
- Лебедев Т. С., Корчин В. А., Буртный П. А., Корнейчик Г. Н., Панкратов И. Н., Николенко К. И. Петроскоростные модели земной коры центральной части Украинского щита. 3. Геофиз. журн. 1995в. Т. 17. № 6. С. 14—22.*
- Литосфера Центральной и Восточной Европы. Геотраверсы IV, VI, VIII. Гл. ред. А. В. Чекунов. Киев: Наук. думка, 1988. 172 с.*
- Соллогуб В. Б. Литосфера Украины. Киев: Наук. думка, 1986. 183 с.*

- Соллогуб В. Б., Чекунов А. В., Трипольский А. А., Калюжная Л. Т., Гонтовая Л. И. Глубинное строение Украинского щита по сейсмическим данным. В кн.: *Строение земной коры и верхней мантии по данным сейсмических исследований*. Киев: Наук. думка, 1974. С. 42—52.
- Старостенко В. И., Куприенко П. Я., Макаренко И. Б., Легостаева О. В., Савченко А. С. Плотностная неоднородность коры вдоль широтных зон разломов Украинского щита и Днепровско-Донецкой впадины. *Геофиз. журн.* 2012. Т. 34. № 6. С. 113—132.
- Старостенко В. И., Шарыпанов В. М., Савченко А. С., Легостаева О. В., Макаренко И. Б., Куприенко П. Я. Об автоматизированной интерактивной обработке геофизических изображений геологических и геофизических объектов. *Геофиз. журн.* 2011. Т. 33. № 1. С. 54—61.
- Трипольский А. А., Квачук Л. А., Трипольская В. А. Особенности сейсмической расслоенности земной коры Кировоградского блока. *Геофиз. журн.* 1984. Т. 6. № 3. С. 88—94.
- Трипольський О. А., Тополюк О. В., Трипольська В. О. Особливості розподілу сейсмічних швидкостей у земній корі Кировоградського рудного району Інгульського мегаблока Українського щита. 1. *Геофиз. журн.* 2012. Т. 34. № 6. С. 68—78.
- Трипольський О. А., Тополюк О. В., Трипольська В. О. Особливості розподілу сейсмічних швидкостей у земній корі Кировоградського рудного району Інгульського мегаблока Українського щита. 2. *Геофиз. журн.* 2013. Т. 35. № 4. С. 161—169.
- Шмигд А. О., Титов Б. К., Бурьянов В. Б., Топоркова Н. Г. Глубинное строение Украинского щита и некоторые особенности его металлогении. Металлогения докембрия: Труды 1 Всесоз. совещания по металлогении докембрия. Ленинград: Недра, 1976. Т. 2. С. 108—110.
- Щербатов И. Б. Петрология Украинского щита. Львов: ЗУКЦ, 2005. 366 с.

## Density heterogeneity of the Earth's crust of the Ingul megablock of the Ukrainian Shield according to the data of three-dimensional gravity modeling

© V. I. Starostenko, P. Ya. Kuprienko, I. B. Makarenko, A. S. Savchenko, O. V. Legostayeva, 2015

According to the data of three-dimensional density modeling at the scale 1 : 200 000 the peculiarity of the Earth's crust structure of the Korsun-Novomirgorod pluton and Novoukrainka massif has been found as well as density distribution by depth and lateral in granitoid massifs of gabbro-anorthosites of the Ingul megablock were given in detail. Density change within the limits of suture and fault zones has been traced, their comparative characteristics has been given.

**Key words:** Ingul megablock, density, the Earth's crust, pluto, fault zones, suture zones.

### References

- Geological map of the Precambrian rocks of the Ukrainian shield. Set of cards "Geology and Metallogeny of the Ukrainian Shield". 1 : 1 000 000. Eds N.P. Shcherbak, D.F. Volodin. Kiev: Ministry of Geology of the USSR, 1984 (in Russian).
- Geological map of the crystalline basement of the Ukrainian shield. 1:500 000. Under. Ed. N.P. Shcherbak. Kiev: Ministry of Geology of the USSR, 1983 (in Russian).
- Gintov O. B., Isay V. M., 1988. Tectonophysical study faults crust. Kiev: Naukova Dumka, 230 p. (in Russian).
- Gintov O. B., Mychak S. V., 2011. Geodynamic de-

- velopment of the Ingul mega-block of the Ukrainian Shield according to geological-geophysical and tectonophysical data. *Geofizicheskii zhurnal* 33 (3), 102—118 (in Russian).
- Ichenko T. V.*, 2003 a. The velocity model of the Earth's crust and the upper mantle of the Kirovograd Block of the Ukrainian Shield by DSS data (Babanka—Pyatikhatki and Cherkassy—Nowiy Bug profiles). *Geofizicheskii zhurnal* 25 (6), 30—43 (in Russian).
- Ichenko T. V.*, 2003 b. The structure of the crust and upper mantle of the Kirovograd Block of the Ukrainian Shield according to the DSS (model Babanka—Pyatikhatki). *Dopovidi NAN Ukrainy* (7), 100—106 (in Russian).
- The Kirovograd ore area. Deep structure. Tectonophysical analysis ore deposits, 2013. Eds V. I. Starostenko, O. B. Gintov. Kiev: Prastyi ludy, 500 p. (in Russian).
- Kuprienko P. Ya., Makarenko I. B., Starostenko V. I., Legostaeva O. V.*, 2007 a. Three-dimensional density model of the Earth's crust and upper mantle Ingul megablock Ukrainian Shield. *Geofizicheskii zhurnal* 29 (2), 17—41 (in Russian).
- Kuprienko P. Ya., Makarenko I. B., Starostenko V. I., Legostaeva O. V.*, 2007 b. Three-dimensional density model of the Earth's crust and upper mantle of the Ukrainian Shield. *Geofizicheskii zhurnal* 29 (5), 3—27 (in Russian).
- Lebedev T. S., Korchin V. A., Burtnyy P. A., Korneychik G. N., Pankratov I. N., Nikolenko K. I.*, 1995 a. Petrovelocity models of the Earth's crust of the central part of the Ukrainian Shield. 1. *Geofizicheskii zhurnal* 17 (4), 13—22 (in Russian).
- Lebedev T. S., Korchin V. A., Burtnyy P. A., Korneychik G. N., Pankratov I. N., Nikolenko K. I.*, 1995 b. Petrovelocity models of the Earth's crust of the central part of the Ukrainian Shield. 2. *Geofizicheskii zhurnal* 17 (5), 30—37 (in Russian).
- Lebedev T. S., Korchin V. A., Burtnyy P. A., Korneychik G. N., Pankratov I. N., Nikolenko K. I.*, 1995 c. Petrovelocity models of the Earth's crust of the central part of the Ukrainian Shield. 3. *Geofizicheskii zhurnal* 17 (6), 14—22 (in Russian).
- Lithosphere of Central and Eastern Europe. Geotraverses IV, VI, VIII, 1988. Ed. A. V. Chekunov. Kiev: Naukova Dumka, 172 p. (in Russian).
- Sollogub V. B.*, 1986. Lithosphere Ukraine. Kiev: Naukova Dumka, 183 p. (in Russian).
- Sollogub V. B., Chekunov A. V., Tripolskiy A. A., Kalyuzhnaya L. T., Gontovaya L. I.*, 1974. Deep structure of the Ukrainian shield from seismic data. In: *The structure of the crust and upper mantle seismic survey data*. Kiev: Naukova Dumka, 42—52 (in Russian).
- Starostenko V. I., Kuprienko P. Ya., Makarenko I. B., Legostaeva O. V., Savchenko A. S.*, 2012. Density heterogeneity of the Earth's crust along latitudinal fault zones of the Ukrainian Shield and the Dnieper-Donets depression. *Geofizicheskii zhurnal* 34 (6), 113—132 (in Russian).
- Starostenko V. I., Sharypanov V. M., Savchenko A. S., Legostaeva O. V., Makarenko I. B., Kuprienko P. Ya.*, 2011. An automated interactive processing geophysical imaging of geological and geophysical objects. *Geofizicheskii zhurnal* 33 (1), 54—61 (in Russian).
- Tripolskiy A. A., Kravchuk L. A., Tripolskaya V. A.*, 1984. Features seismic layering of the crust of the Kirovograd Block. *Geofizicheskii zhurnal* 6 (3), 88—94 (in Russian).
- Trypolsky O. A., Topolyuk O. V., Trypolska V. O.*, 2012. Peculiarities of distribution of seismic velocities in the Earth's crust of the Kirovograd ore district of the Ingul megablock Ukrainian Shield. 1. *Geofizicheskii zhurnal* 34 (6), 68—78 (in Ukrainian).
- Trypolsky O. A., Topolyuk O. V., Trypolska V. O.*, 2012. Peculiarities of distribution of seismic velocities in the Earth's crust of the Kirovograd ore district of the Ingul megablock Ukrainian Shield. 2. *Geofizicheskii zhurnal* 35 (4), 161—169 (in Ukrainian).
- Schmidt A. O., Titov B. K., Buryanov V. B., Toporkova N. G.*, 1976. Deep structure of the Ukrainian shield and some features of its metallogeny. Metallogeny of the Precambrian: Proceedings of the First All-Union Conference on the Precambrian metallogeny. Vol. 2. Leningrad: Nedra, 108—110 (in Russian).
- Shcherbakov I. B.*, 2005. Petrology of the Ukrainian Shield. Lviv: ZUKTS, 366 p. (in Russian).