

Карта абсолютных значений поля силы тяжести территории Украины и некоторые аспекты ее возможной интерпретации

© В.А. Ентин¹, С.И. Гуськов¹, М.И. Орлюк², О.Б. Гинтов²,
Р.В. Осьмак³, 2015

¹ГП "Украинская геологическая компания", Киев, Украина

²Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

³Научно-исследовательский институт геодезии и картографии, Киев, Украина

Поступила 15 апреля 2013 г.

Представлено членом редколлегии В.И. Старостенко

Для території України вперше побудовано електронну карту абсолютних значень поля сили тяжіння (G_H) з використанням суміщених електронних матриць аномалій Буге за густини проміжного шару $2,3 \text{ г/см}^3$ і значень висотних відміток (Балтійська система). Розміри елементарної комірки матриць $1 \times 1 \text{ км}$, отримана помилка інтерполяції карти G_H для рівнинної місцевості $\pm 2,1 \text{ мГал}$. Показано, що карти G_H дають повнішу інформацію про тектонічні процеси, які беруть участь у формуванні земної кори, оскільки відображують спільний вплив густинних і рельєфоутворювальних факторів, який не враховують під час аналізу карт аномалій Буге. Наведено приклади великих лінементів тектонічної природи, чітко виражених на карті G_H і практично не помітних на карті аномалій Буге. Порівняння аномалій G_H і Буге ($2,3 \text{ г/см}^3$) у гірських районах (Крим, Карпати) дає уявлення про глибинність гравітуючих об'єктів, а великі регіональні відмінності аномалій G_H , що досягають у межах України 950 мГал , необхідно брати до уваги під час вирішення завдань геофізичної екології та складання метеорологічних прогнозів. Указано на необхідність включення до комплексу гравіметричних матеріалів, використовуваних для геолого-геофізичних інтерпретацій, і карт поля G_H . У зв'язку з цим запропоновано внести зміну в чинні положення з проведення гравіметричних робіт, увівши в них вимогу стосовно необхідності подання як звітного матеріалу карти спостереженого поля сили тяжіння.

Ключевые слова: абсолютне поле сили тяжіння, рельєф, тектоніка, навколишнє середовище.

Как известно, для решения многих геолого-геофизических задач различного предназначения и масштабности обычно составляются, а затем анализируются карты так называемых аномальных параметров поля силы тяжести Земли, которые в определенной мере могут подчеркивать одни и затушевывать другие особенности его внутренней структуры. При этом наиболее часто используются карты гравитационного поля, напряженность которого определяется в отдельных точках на земной поверхности (абсолютные значения G_H), а затем, после вычета нормального планетарного градиента и учета влияния притяжения (плотности) проме-

жуточного слоя, условно редуцируется на уровень Балтийского моря (аномалия Буге).

Карта абсолютных значений поля силы тяжести интегрально отражает характер гравитационного поля Земли как планеты Солнечной системы, а также присущие только ей локальные геолого-геофизические и морфологические особенности строения. По многим причинам до сих пор карты подобного рода не строились, по крайней мере, авторам такие публикации не известны. Настоящая работа, по-нашему мнению, должна способствовать донесению геологам и геофизикам с широким кругом производственных и научных задач, а также всем

другим интересующимся подобного рода вопросами специалистам достоверной информации об одном из важнейших геофизических полей, определяющем многие особенности окружающей среды, — поле силы тяжести. Ниже рассмотрены интерпретационные возможности этой карты для получения дополнительной информации относительно некоторых особенностей регионального строения земной коры территории Украины, а также другие аспекты ее использования в научных и хозяйственных целях.

Карта абсолютных значений поля силы тяжести территории Украины на уровне земной поверхности (рис. 1) построена на основе уже созданной по данным наземных гравиметрических съемок масштаба 1 : 200 000 сводной гравитационной карты аномалий Буге с плотностью промежуточного слоя $\sigma = 2,30 \text{ г/см}^3$ масштаба 1 : 1 000 000. Указанная сводная карта вошла в комплект геофизических карт, использованных при подготовке Геофизической основы для новой Тектонической карты Украины масштаба 1 : 1 000 000 [Ентин, 2005]. Построение карты абсолютных значений G_H непосредственно по результатам наблюдений в настоящее время практически невыполнимо ввиду отсутствия сводных каталогов таких значений.

Проблема перевода значений аномалий Буге в абсолютные значения поля силы тяжести до последнего времени заключалась в отсутствии для всей территории Украины надежной цифровой высотной основы земной поверхности в электронном виде. Последняя была создана в Институте геодезии и картографии Украины в виде таблиц значений высотных отметок (Балтийская система) в координатах точек характерных изломов горизонталей дневного рельефа, проведенных на равнинной местности через 10, а в горной местности через 20 м. Исходя из этих данных, была построена матрица с размерами элементарной ячейки $1 \times 1 \text{ км}$, затем совмещенная с такой же матрицей значений поля аномалий Буге. Далее для каждого матричного узла по общеизвестной формуле рассчитывались приведенные к земной поверхности абсолютные значения силы тяжести, которые и представлены в виде карты масштаба 1 : 1 000 000 с сечением изоаномал 2 мГал в равнинной местности и 10 мГал — в горной (см. рис. 1). Точность составленной карты оценена путем расчета ошибки интерполяции. В качестве базы сравнения использован массив, включающий равномерно размещенные на всей территории Украины 140 точек каркасной гра-

виметрической сети 4-го класса, на которых имеются абсолютные (наблюденные) значения поля силы тяжести. Ошибка интерполяции составила $\pm 2,1 \text{ мГал}$ для равнинной местности. Гистограмма распределения ошибок интерполяции показана на рис. 2.

Как видно из представленной карты (см. рис. 1), напряженность поля G_H в пределах Украины, в соответствии с планетарным характером поля силы тяжести Земли, закономерно возрастает в северном направлении со средним градиентом 0,8 мГал/км или примерно на 700 мГал от южного побережья Крыма до северной государственной границы с Россией (850 км). На этом фоне резко выделяются области Карпатских и Крымских гор, которые при высотных отметках до 1500—2000 м характеризуются понижением напряженности гравитационного поля на 300—400 мГал. В целом же с учетом факторов внутренних плотностных неоднородностей земной коры максимальная амплитуда вариаций напряженности поля G_H Украины (без территории морских акваторий) составляет около 800 мГал.

Возможность получения дополнительной геолого-геофизической информации на основе анализа особенностей карты абсолютных значений силы тяжести, как уже отмечалось, базируется на ее интегральном гравитационном содержании. Традиционно используемые при решении большинства геолого-геофизических задач карты аномалий Буге или Фая по существу уже являются трансформациями поля силы тяжести, наблюдаемого на поверхности Земли. Из него изъяты эффекты влияния разной высоты поверхности точек наблюдения, притяжения промежуточного слоя, хотя во многих случаях эти факторы сами по себе представляют собой производные геологических процессов различной природы. Например, при составлении региональных карт аномалий Буге с единой для всей территории плотностью промежуточного слоя априори нивелируется такой существенный геологический признак, как неоднородность фациального состава образований верхней части геологического разреза. Исключаются из рассмотрения и процессы современного формирования рельефа. Все это — дополнительная геолого-геофизическая информация регионального и локального характера, определенные факторы верификации тех или иных представлений об истории геологического развития отдельных структурно-тектонических элементов земной коры. Предваряя краткий анализ полученной картины поля G_H (его более полное осмысление с привлечением данных широкого комп-

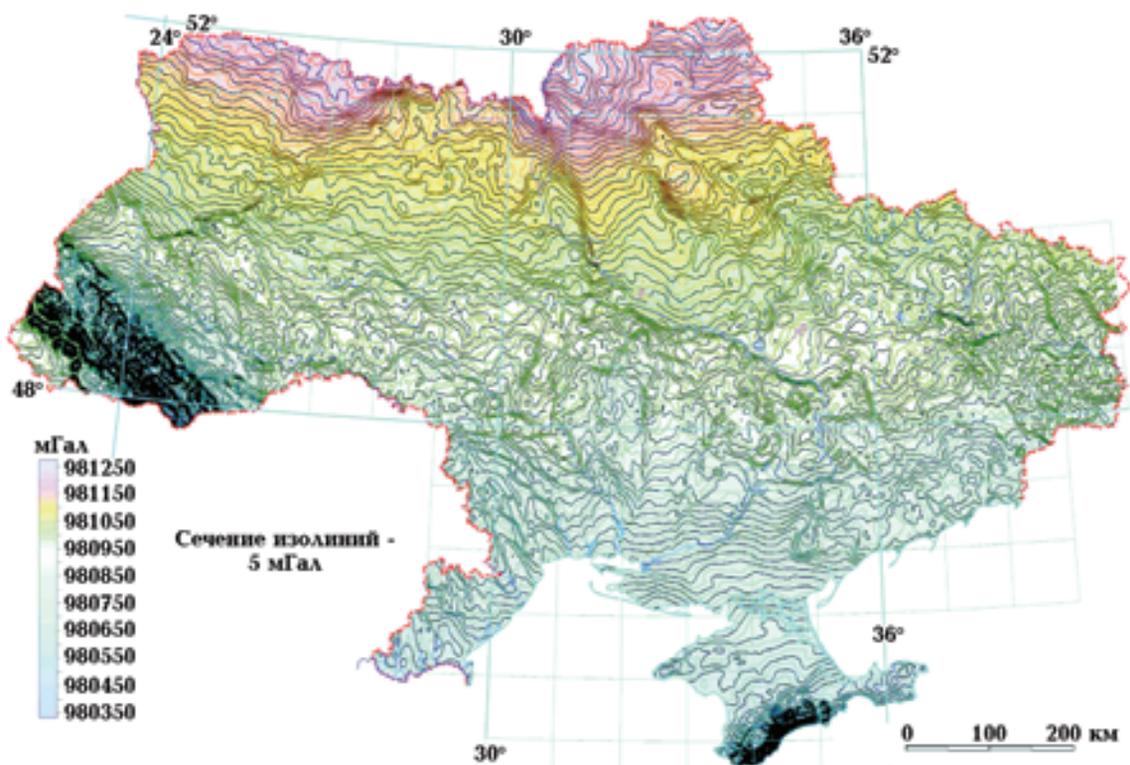


Рис. 1. Карта абсолютных значений силы тяжести G_H территории Украины на уровне земной поверхности.

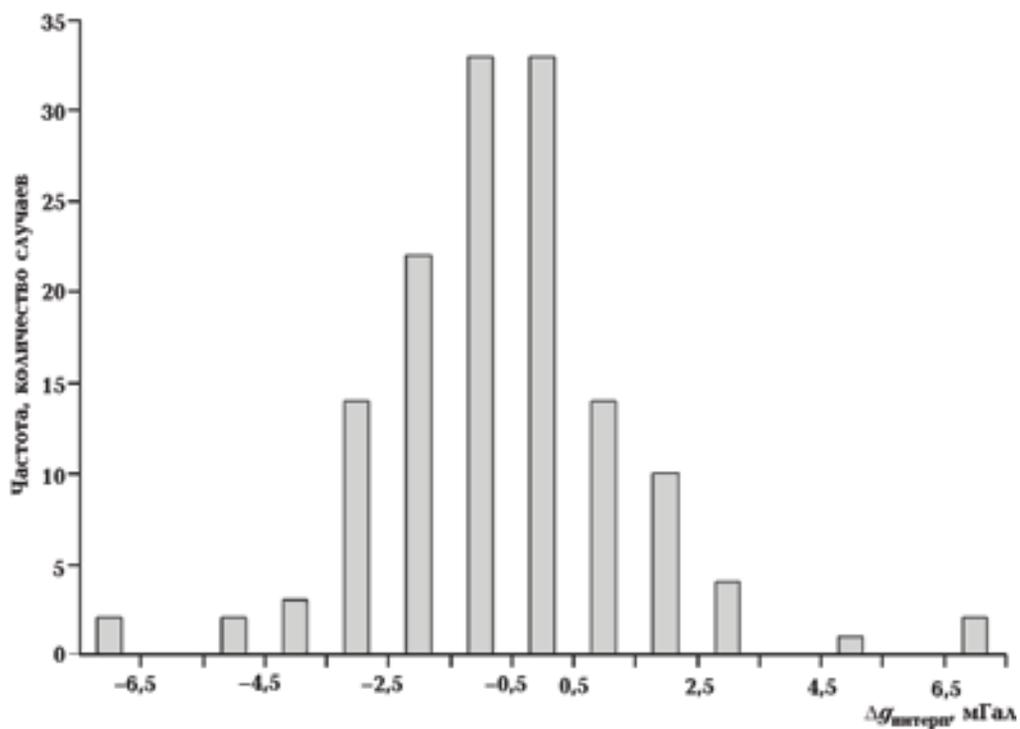


Рис. 2. Гистограмма распределения ошибок интерполяции.

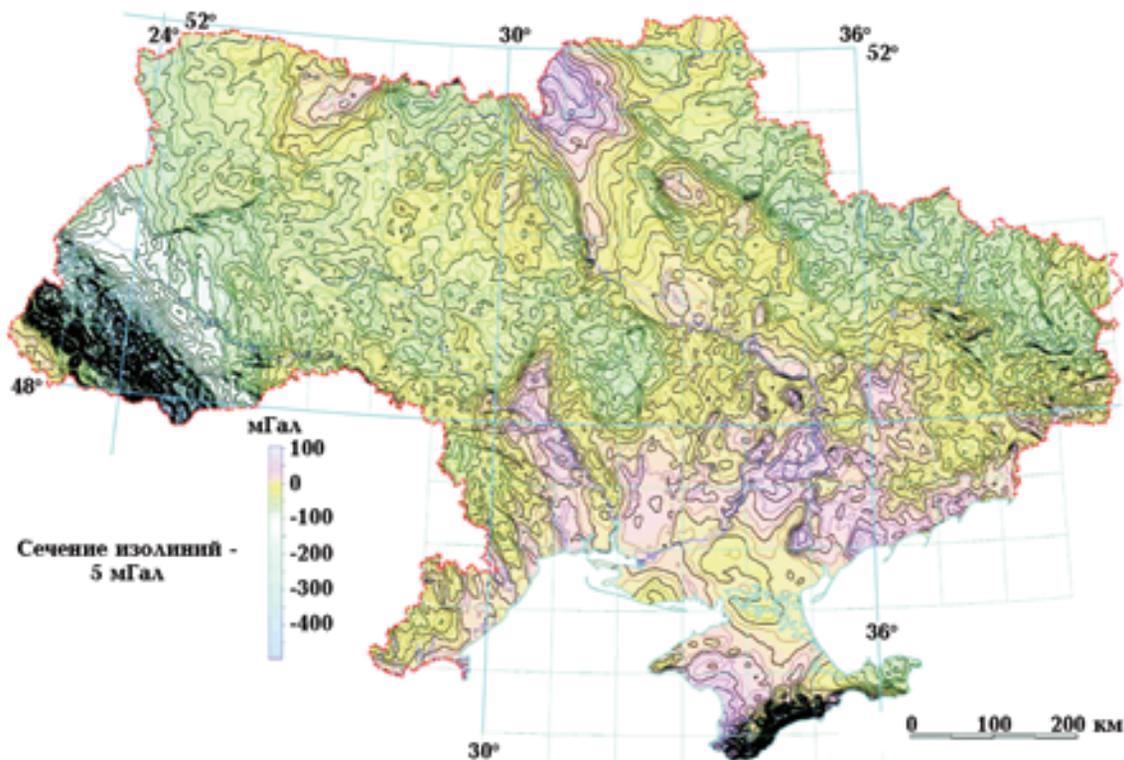


Рис. 3. Карта абсолютных значений напряженности поля силы тяжести со снятым планетарным гравитационным полем территории Украины.

лекса других геофизических методов еще предстоит сделать), отметим несколько важных обстоятельств.

В первую очередь обратим внимание на яркие особенности структуры этого поля, которые, по нашему мнению, не нашли объяснения или недостаточно полно истолкованы в процессе геологической интерпретации поля аномалий Буге. В качестве дополнительных материалов использованы (построенные с применением программы Surfer на основе тех же размеров элементарной ячейки 1×1 км) карты: абсолютных значений напряженности поля силы тяжести со снятым планетарным гравитационным фоном (рис. 3), модуля полного горизонтального градиента силы тяжести (рис. 4), рельефа земной поверхности Украины, а также уже упомянутая выше структурно-тектоническая схема Украины масштаба $1 : 1\,000\,000$ (рис. 5).

Характер структуры поля G_H со снятым региональным фоном во многих чертах совпадает с привычной для многих геофизиков картиной поля аномалий Буге. Даже если исключить из рассмотрения горные регионы Украины, на структуру поля местами весьма существенно

влияет фактор изрезанности дневного рельефа. Так, характерными линейными зонами повышенной напряженности поля G_H проявлена сеть приморских лиманов в Одесской области, глубоких врезов речных долин Донбасса, Приднестровья и других регионов. Этот эффект, хотя и в меньшей степени, наблюдается и на картах аномалий Буге. Однако не всегда влияние дневного рельефа на характер поля силы тяжести сводится к столь прямой внешней зависимости, не связанной с внутренними геологическими факторами. Например, противоположным образом проявлена в этих полях область Крымских гор: на карте аномалий Буге — в виде самого интенсивного на территории Украины максимума амплитудой 100 мГал, а в поле G_H — относительным снижением напряженности на сотни миллигал, что подчеркивает глубинную геологическую природу этой аномалии [Ентин и др., 2010].

Большая впадина (астроблема) [Ентин, 2012], которая в поле аномалий Буге обуславливает весьма четкой формы интенсивный изометричный минимум, в поле G_H в силу общей ее приуроченности к области пониженных отметок дневного рельефа становится менее контрастной.



Рис. 4. Модуль полного горизонтального градиента поля силы тяжести для территории Украины.

Характер проявления в поле G_H Бандуровской структуры, расположенной вблизи западной границы Голованевской шовной зоны и также приуроченной к пониженной области земной поверхности (пойма и долина с притоками р. Южный Буг), но в поле аномалий Буге отмечается максимумом силы тяжести, в противоположность Болтышской впадине, только усиливается, что подчеркивает обособленность ее геологической природы от природы Голованевского максимума силы тяжести и придает ей внешние черты древней палеовулканической постройки.

Некоторые массивы основных пород Ингульского, Среднеприднепровского, Приазовского мегаблоков Украинского щита, приуроченные к положительным формам рельефа, по сравнению с полем аномалий Буге также несколько утрачивают контрастность своего проявления в поле G_H .

Линейные структурно-тектонические линейменты любого ранга масштабности, как и в поле аномалий Буге, в основном, прослеживаются в виде фрагментарно выраженных зон повышенных значений модуля горизонтального градиента ("гравитационных ступеней"). При

этом наиболее выраженными аномалиями такого рода проявлены региональные дизъюнктивные элементы диагональной системы: Сущано-Пержанский, северная ветвь Горынского, Чернобыльский, Дерезоватский северо-восточного простирания, Северный прибортовой разлом Днепровско-Донецкой впадины северо-западной направленности и др. Вместе с тем подтверждается давно замеченное обстоятельство, что даже крупные широтные тектонические нарушения, такие как Конкская, Субботско-Мошоринская, Андрушевская зоны разломов, совсем не проявляются в поле силы тяжести либо отражаются лишь фрагментарно.

Среди многочисленных небольшой протяженности зон больших значений модуля горизонтального градиента поля G_H особо выделяется линеймент, прослеженный в направлении 290° от г. Днепропетровск на востоке до г. Белая Церковь на западе на расстоянии 450 км. Ранее на картах аномалий Буге эта "гравитационная ступень" как единый элемент поля силы тяжести не отмечалась и ее возможная геолого-геофизическая природа не рассматривалась. На карте рельефа Украины на отдельных отрезках становится заметной явная приуро-

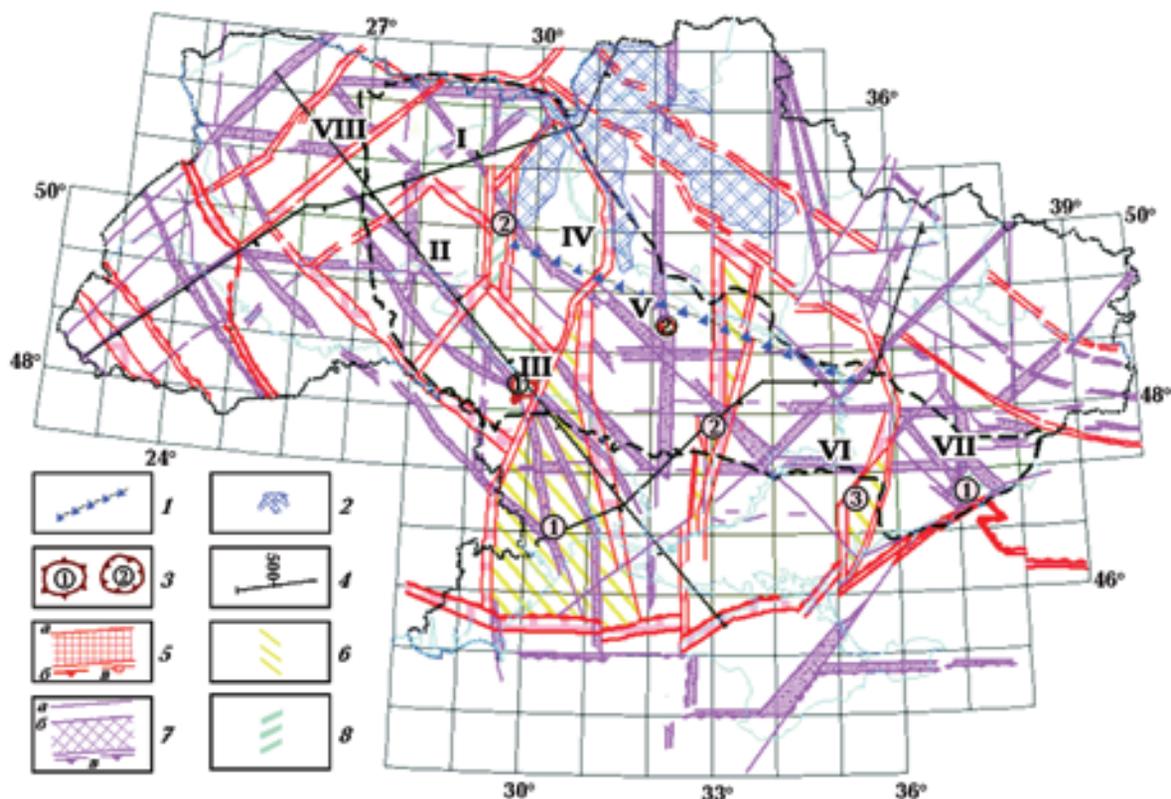


Рис. 5. Схема структурно-тектонического районирования Украины по [Ентин, 2005]: 1 — зоны высоких значений модуля горизонтальных градиентов поля G_H (Днепропетровск—Белая Церковь); 2 — контур Черниговского максимума поля G_H ; 3 — локализованные субизометричные аномалии силы тяжести: Бандуровская (1), Болышская (2); 4 — геотранверсы. Мегаблоки Украинского щита: I — Волынский, II — Подольский, III — Бугский, IV — Росинский, V — Кировоградский, VI — Приднепровский, VII — Приазовский, VIII — Воыно-Полесский пояс; 5 — глубинные межблоковые зоны разломов I ранга (а), в том числе сопровождающие границы Восточно-Европейской (б) и Западно-Европейской (в) платформ; 6 — межблоковые складчатые шовные зоны I ранга: Голованивская (1), Западно-Ингулецкая (2), Орехово-Павлоградская (3); 7 — глубинные мантийно-коровые внутриблоковые (в границах ВЕП) разломы (а) и зоны разломов (б) II ранга, в том числе сопровождающие границы континентальной и океанической типов земной коры (в); 8 — межблоковые складчатые шовные зоны II ранга: Центрально-Приазовская (1), Брусиловская (2).

ченность линеамента к долинам рек Днепр, Россава, Рось, протекающих здесь в нижнем ложе дневного рельефа уступообразной формы. Этого наблюдения, возможно, было бы достаточно для формального объяснения физической природы линеамента. Однако положение данной градиентной зоны на Геофизической основе к Тектонической карте Украины [Ентин, 2005] указывает на признаки, присущие крупным геологическим структурам разломно-блокового характера. Так, пересечение градиентной зоной субмеридиональных межмегаблоковых зон разломов (Ингуло-Ингулецкой, Кировоградской и Ядлово-Трактемировско-Тальновской) привело к их значительным тангенциальным деформациям, разрывам и боковым смещениям. Отмечается и тектонический характер ограничения

западной и восточной торцевых частей этой протяженной "гравиметрической ступени" соответственно Брусиловской и Дерезоватской зонами глубинных разломов. Весь комплекс отмеченных тектономорфологических признаков, сопровождающих на всем своем протяжении эту градиентную зону больших значений модуля горизонтального градиента поля G_H , может свидетельствовать о ее природе, связанной с современным этапом активизации не известной здесь ранее сквозной дизъюнктивной структуры глубинного заложения.

Другим примечательным элементом глубинной геологической природы является Черниговский максимум, северная часть которого находится в Беларуси. Его южная часть имеет ярко выраженный четырехлучевой характер. Один

из таких "лучей" протягивается в субмеридиональном направлении на расстоянии 250 км от г. Чернигов до широты г. Черкассы, где через описанную выше протяженную зону больших значений модуля горизонтального градиента поля G_H он граничит с региональным Кировоградским минимумом силы тяжести. Продолжением этого луча повышенной напряженности далее на юг можно рассматривать область второго по абсолютной величине в Украине Голованевского максимума силы тяжести, северный край которого смещен в западном направлении на 40 км вдоль той же субширотной зоны больших значений модуля горизонтального градиента. Черниговский, Голованевский максимумы и Кировоградский минимум силы тяжести образуют в поле G_H крупнейший и практически единственный в Украине субмеридиональный аномальный гравитационный пояс протяженностью около 450 км.

Обобщив краткие результаты анализа структуры поля G_H со снятым региональным фоном (см. рис. 3), отметим, что оно сохраняет основные характерные черты поля аномалий Буге. Однако иногда под влиянием гравитационных эффектов от характерных форм дневного рельефа контрастность и формы отражения геологических объектов могут определенным образом и довольно значительно изменяться, что, по-видимому, является следствием связи их с современными процессами развития дневного рельефа. Учет последнего обстоятельства становится особо значимым при проведении работ по геологическому дешифрированию аэро и космоснимков различной масштабности.

Графики значений поля G_H вдоль линий региональных сейсмических трансектов при наличии соответствующего программного обеспечения, по нашему мнению, с большим успехом могут быть использованы при построении глубинных сейсмоплотностных моделей геологического разреза.

Приведенные данные и соображения, на наш взгляд, вполне объективно свидетельствуют о необходимости включения в комплект гравиметрических материалов, традиционно используемых в процессе их всесторонней геолого-геофизических интерпретации, также карт поля G_H . В связи с последним следовало бы несколько изменить действующие положения по проведению гравиметрических работ [Инструкция ..., 1980], введя в них требование о необходимости представления в качестве отчетных материалов карты наблюденного поля силы тяжести.

Рассмотрим использование представленной карты (см. рис. 1) с позиций экологии. Гравитационное поле Земли наряду с другими факторами внешней среды (магнитное поле, температура, воздух, влажность и др.) является, по-видимому, необходимой составляющей существования биосферы в общем и человеческой жизни в частности. При этом экологический аспект гравитационного поля сводится к анализу такого важного обстоятельства, как наличие постоянной (фоновой) компоненты, обусловленной формой и внутренним строением Земли, и переменной, связанной с вращением Земли, гравитационными полями Луны, Солнца и планет, весом воздушного столба и т. п. Постоянная компонента поля определяет своего рода гравитационный фон, на котором происходят многообразные физические и биологические процессы на поверхности Земли, в атмосфере и ближнем космосе, а переменная компонента — ритмику и динамику этих процессов. В связи со сложившейся традицией большее внимание в экологическом аспекте уделялось исследованию переменной компоненты и гравитационного, и магнитного полей (человек, как и лягушка, реагирует только на движущиеся или быстро изменяющиеся объекты и природные факторы, поэтому такой большой интерес вызывают именно магнитные бури, ураганы и т. п.). В случае же использования для этих целей пространственных особенностей гравитационного и магнитного полей исследовалась только их аномальная часть, связанная в большинстве случаев с земной корой [Старостенко и др., 2012]. Однако, по-видимому, не требует доказательств тот факт, что на биосферу и человека воздействуют суммарные (абсолютные) поля.

Рассмотрим, по аналогии с геомагнитным полем [Орлюк, 2001; Орлюк, Роменец, 2005], пространственную характеристику и возмущенность гравитационного поля территории Украины.

В соответствии с формулой Гельмерта, нормальное гравитационное поле на поверхности планеты закономерно изменяется от экватора ($G_H = 978\ 050$ мГал) до полюсов ($G_H = 983\ 250$ мГал). Среднее значение поля относится к широте $45,5^\circ$ ($G_H = 980\ 665$ мГал), а максимальные горизонтальные градиенты наблюдаются в полосе широт 25° — 65° . Таким образом, в целом на планете данная составляющая поля отличается на довольно существенную величину $G_H = 5200$ мГал. Дальнейшее усложнение этого фонового поля происходит за счет рельефа земной поверхности и плотностной неоднородности литосферы.

В пределах Украины наблюдаются значительные изменения данной величины (около 900 мГал), что должно влиять на все живые организмы в случае их перемещения в меридиональном направлении или при пересечении границ интенсивных аномалий регионального и локального классов. Для возможности сравнения "избыточного" гравитационного поля в разных частях территории Украины нами выполнено вычитание из наблюдаемого поля среднего значения силы тяжести на поверхности планеты: $G_H = G_H - 980\ 665$ мГал. В соответствии с расче-

тами, полученный параметр изменяется в пределах 950 мГал: от – 250 мГал на юго-западе и юге Украины до 700 мГал на севере, сохраняя пространственные особенности наблюдаемого поля (см. рис. 1).

Столь большая региональная разница в значениях силы тяжести на территории Украины, а также наличие относительно локальных интенсивных аномалий и градиентных зон должны приниматься во внимание при решении задач геофизической экологии и учитываться при составлении метеорологических прогнозов.

Список литературы

- Ентин В. А. Геофизическая основа тектонической карты Украины масштаба 1 : 1 000 000. *Геофиз. журн.* 2005. Т. 27. № 1. С. 74—85.
- Ентин В. А. Природные геофизические феномены Украины. Атлас-справочник. Киев: Изд. УкрГГРИ, 2012. 75 с.
- Ентин В. А., Гинтов О. Б., Гуськов С. И. Еще раз о природе Крымской гравитационной аномалии. *Геофиз. журн.* 2010. Т. 32. № 6. С. 119—134.
- Инструкция по гравиразведке. Москва: Недра, 1980. 80 с.
- Орлюк М. И. Геофізична екологія — основні задачі та шляхи їх розв'язку. *Геофиз. журн.* 2001. Т. 23. № 1. С. 49—59.
- Орлюк М. И., Роменец А. А. Новый критерий оценки пространственно-временной возмущенности магнитного поля Земли и некоторые аспекты его использования. *Геофиз. журн.* 2005. Т. 27. № 6. С. 1012—1023.
- Старостенко В. И., Каневский В. А., Ентин В. А., Гинтов О. Б., Гуськов С. И., Моренков Э. Д., Блазер Н., Мескенайт В., Липп Г.-П. Навигационные особенности полетов голубей в гравитационном поле Украины. *Геофиз. журн.* 2012. Т. 34. № 2. С. 20—35.

Map of absolute gravity fields values in Ukraine and some aspects of its possible interpretation

© V. A. Entin, S. I. Guskov, M. I. Orlyuk, O. B. Gintov, R. V. Osmak, 2015

An electronic map of absolute values of gravity field (G_H) has been plotted for the territory of Ukraine for the first time with application of combined electronic matrices of Buge anomalies in case of the density of intermediate layer $2,3\text{ g/cm}^3$ and the values of altitude marks (the Baltic system). The size of unit cell of the matrix is 1×1 km, the error obtained for the map interpolation G_H for flat country is $\pm 2,1$ mGal. It has been shown that the maps of G_H give more complete information on tectonic processes, taking part in the Earth's crust formation because they reflect combined effects of density and relief-producing factors, which are not taken into account while maps of Buge anomalies are being analyzed. Examples have been given of large lineaments of tectonic origin, clearly visible on G_H map and practically unnoticeable on the map of Buge anomalies. Comparison of anomalies of G_H and Buge ($2,3\text{ g/cm}^3$) in mountain areas (Crimea, Carpathians) gives an idea of hypogenous nature of gravity objects, and large regional differences of anomalies G_H , which are as big as 950 mGal within the limits of Ukraine must be taken into account while problems of geophysical ecology and compiling meteorology forecasts are being solved. A necessity is being indicated to introduce maps of G_H field to a set of gravimetric materials used for geological-geophysical interpretation. In this connection we propose to introduce in the running regulations for gravity works, and a demand on presenting a map of observed gravity field as a report.

Key words: absolute gravity field, relief, tectonics, environment.

References

- Entin V.A., 2005. Geophysical basis tectonic maps of Ukraine, scale 1 : 1 000 000. *Geofizicheskiy zhurnal* 27 (1), 74—85 (in Russian).
- Entin V.A., 2012. Natural geophysical phenomena of Ukraine. Guidebook. Kiev: UkrDGRI, 75 p. (in Russian).
- Entin V. A., Gintov O. B., Guskov S. I., 2010. Again about the nature of the Crimean gravity anomaly. *Geofizicheskiy zhurnal* 32 (6), 119—134 (in Russian).
- Instructions gravity. Moscow: Nedra, 1980. 80 p. (in Russian).
- Orlyuk M.I., 2001. Geophysical environment — the main challenges and solutions. *Geofizicheskiy zhurnal* 23 (1), 49—59 (in Ukrainian).
- Orlyuk M.I., Romenets A.A., 2005. New criterion for evaluating spatial and temporal disturbance of the magnetic field of the Earth, and some aspects of its use. *Geofizicheskiy zhurnal* 27 (6), 1012—1023 (in Russian).
- Starostenko V. I., Kanevskiy V. A., Entin V. A., Gintov O. B., Guskov S. I., Morenkov E. D., Blazer N., Meskenayt V., Lipp H.-P., 2012. Navigation features of pigeons flying in the gravitational field of Ukraine. *Geofizicheskiy zhurnal* 34 (2), 20—35 (in Russian).