

V. V. КИРИЧУК, Э. М. ЕВСЕЕВА

## СТРУКТУРА ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ ВОСТОЧНОЙ ЕВРОПЫ И НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РЕГИОНАЛЬНОЙ ГЕОДИНАМИКИ

На основании исследований, выполненных ранее [2, 3, 5], а также задач, решаемых региональной геодинамикой [4], предлагаем комбинированный метод изучения последней — метод обработки накопленной информации о физических полях конкретных регионов, адекватный природе изучаемых процессов. Основные положения метода: 1) статистический анализ доступной информации о различных физических полях данного региона с конечной целью установления иерархической последовательности трендов для каждого поля; 2) детерминированный анализ трендовых составляющих изучаемых полей; 3) геолого-геофизическое осмысление полученных по пунктам 1) и 2) результатов с привлечением всей доступной неформализуе-

мой для численной обработки информации (геоморфологической, тектонической) и выводы о геодинамическом режиме и тенденциях развития данного региона.

Следует заметить, что детерминированный анализ необходимо проводить лишь для тех физических полей, которые являются непрерывными, гармоническими и регулярными на бесконечности в соответствии с физикой порождающих их реальных процессов. Это замечание об ограниченности применения детерминированного метода к различным физическим полям планеты — результат объективно существующей разности положений, занимаемых этими полями на лестнице (спирали) эволюции планеты как единой системы. Поэтому прежде, чем изложить результаты апробации предложенного метода изучения региональной геодинамики, мы остановимся на вопросе иерархии физических полей Земли, который, на наш взгляд, недостаточно освещен в современной литературе. А ведь от точного знания положения конкретного физического поля в некоей иерархической последовательности зависит корректность использования информации о нем при комплексном анализе какой-либо системы полей.

Авторами осуществлена попытка наметить иерархию физических полей территории Восточной Европы, исходя из их роли в изучении современных движений земной коры (СДЗК) [2]. Хорошо известно, что СДЗК, а в особенности их вертикальная составляющая, представляют собой важное геодинамическое явление на всех уровнях: от глобального до локального. Их генезис непосредственно связан с перераспределением вещества и энергии в недрах Земли на разных «этажах». Считая этот процесс (СВДЗК) верхним «этажом», естественно тогда признать существование нижних «этажей», т. е. процессов, происходящих в более глубоких недрах Земли вплоть до верхней мантии (например, «I этаж»). Тогда движения «на II этаже» будут вызывать процессы, которые условно можно отнести к перераспределению вещества и энергии в астеносфере и нижней части земной коры, а к движениям «на III этаже» — процессы, протекающие в первых 5...10 км земной коры. Эти движения часто рассматриваются как современные вертикальные движения земной поверхности (СВДЗП).

Некоторую количественную характеристику СВДЗК дают изменяющиеся во времени характеристики гравитационного поля и поля рельефа Земли. Важную информацию о СВДЗК несут и поля тектонических и геолого-геоморфологических структур. Наиболее выражены СВДЗК в сейсмически активных зонах планеты а, следовательно, при изучении их необходимо учитывать информацию, содержащуюся в поле сейсмических событий и в тесно связанных с этим полем — геомагнитном, электрическом, тепловом.

Мы попытались все изложенное подытожить в виде обобщенной классификационной схемы (рис. 1). Естественно, что любая классификация зависит от системы приоритетов, устанавливаемых

исследователями при решении конкретной задачи, а, следовательно, неизбежно несет в себе печать субъективизма. Однако, если помнить о некоторой изначальной последовательности процессов, создававших Землю как единую систему полей, можно в значительной степени избавиться от субъективного трактования их иерархии.

При решении задач геодинамики вообще, а региональной в частности, обе группы полей Земли нужно рассматривать в

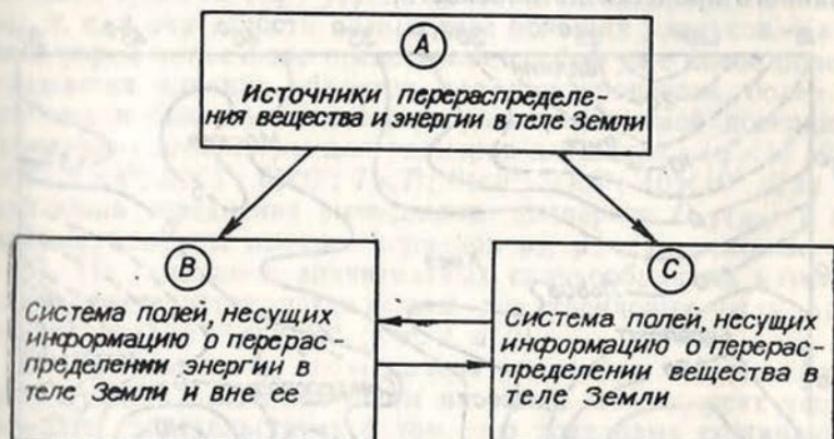


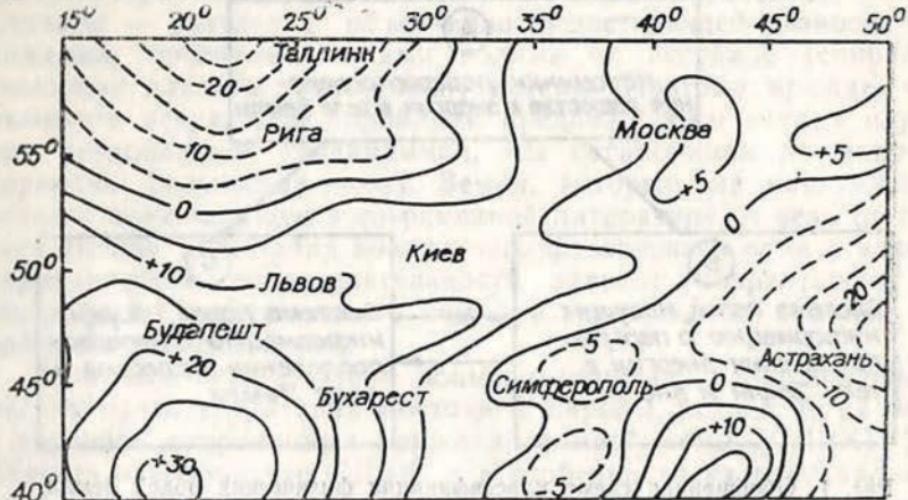
Рис. 1. Обобщенная схема классификации физических полей Земли.

комплексе. Но в то же время математические методы обработки полей этих групп должны учитывать реальную природу физических процессов, их породивших. Опись развития всего комплекса наук о Земле убедительно свидетельствует об успешном применении методов математического моделирования при изучении полей группы В (гравитационного, геомагнитного и др.), однако использование этих методов при изучении полей группы С, таких как поля морфоструктур, СДЗК, приводит из-за многочисленных взаимонакладывающихся факторов к столь многопараметрическим моделям, что их практическая ценность снижается до нуля. В то же время существенного прогресса в изучении полей группы С достигли исследователи, применяющие статистические методы [1—3, 5].

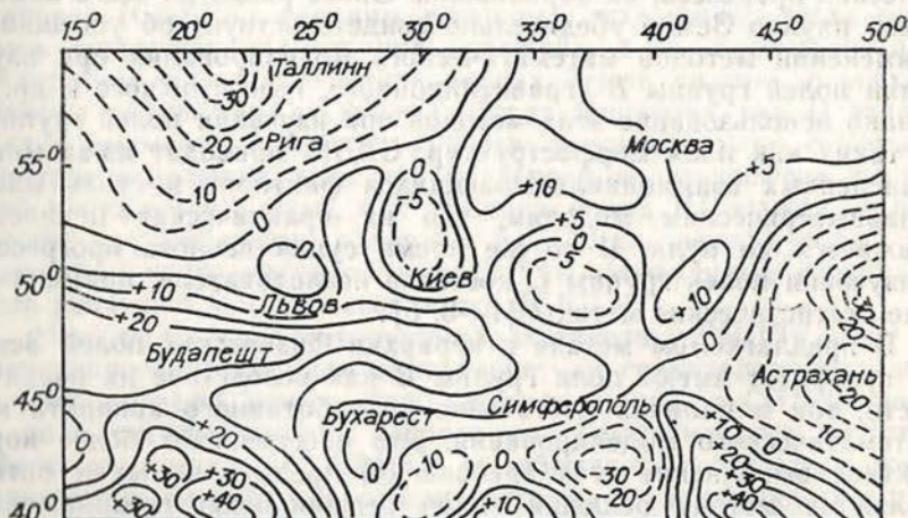
В предлагаемом методе в иерархии физических полей Земли приоритет имеют поля группы В как вследствие их первичности, так и наличия достаточно разработанного аппарата их математического моделирования. Это обеспечивает более корректное выполнение всех требований, предъявляемых к оптимальному методу решения задач региональной геодинамики, сформулированных выше.

Метод апробирован на трех физических полях европейской части территории нашей страны: гравитационном, поле скоростей СВДЗК и поле рельефа. Исходная информация представлена дискретными численными значениями их характеристик, усредненных по площадкам  $1 \times 1^\circ$ .

Более подробно остановимся на статистическом анализе гравитационного поля, информация о котором позаимствована из каталога [7] в виде одноградусных аномалий с редукцией в свободном воздухе ( $\Delta g$ ). Указанный анализ выполнялся на основании двух предпосылок: 1) аномалии силы тяжести суть отражение суммарного действия гравитирующих тел в недрах Земли, расположенных на разных уровнях; 2) поле аномалий силы тяжести можно рассматривать как реализацию двумерного случайного процесса на плоскости.



*a*



*b*

Рис. 2. Трендовые составляющие поля аномалий силы тяжести территории Восточной Европы:

а) усредненное поле  $\Delta g$  по площадкам  $8 \times 8^\circ$ ; б) усредненное поле  $\Delta g$  по площадкам  $4 \times 4^\circ$ . — Изолинии положительных аномалий; - - - то же отрицательных.

В геологии выработано эмпирическое правило, более или менее интуитивное: чем больше протяженность и ширина структуры на поверхности, тем более глубоки ее корни, и глубина их соизмерима с размерами структуры. В гравиметрической разведке это правило с успехом используется для интерпретации аномального гравитационного поля с целью установления глубин источников аномалий и решения других задач.

Основываясь на таком представлении, исходное поле аномалий силы тяжести ( $\Delta g$ ) усреднялось по более крупным площадкам, т. е. в окрестности разных, все больших радиусов. Каждое такое усредненное поле представляет собой уже новое поле, где отражается влияние объектов, тел или процессов, более масштабных и более удаленных от рассматриваемой поверхности. Усреднения выполнены для размеров площадок ( $\phi \times \lambda$ ):  $2 \times 2^\circ$ ;  $3 \times 3^\circ$ ;  $4 \times 4^\circ$ ;  $5 \times 5^\circ$ ;  $6 \times 6^\circ$ ;  $7 \times 7^\circ$ ;  $8 \times 8^\circ$ ;  $9 \times 9^\circ$ ;  $10 \times 10^\circ$ . Для каждого этапа усреднения вычислялись дисперсия  $D_{\Delta g}(\mu_2)$  и центральные моменты высших порядков  $\mu_3$ ;  $\mu_4$ , как рекомендовано в [3]. На основании значительных скачкообразных изменений этих характеристик установлены два трендовых поля  $\Delta g$ , на усреднениях  $4 \times 4^\circ$  и  $8 \times 8^\circ$  (рис. 2, а, б).

Следует заметить, что «скакки» на кривых тех же характеристик поля СВДЗК получены на таких же радиусах усреднения. Это свидетельствует о том, что трендовые составляющие обоих полей — следствие одних и тех же причин. Коэффициенты парной корреляции (0,8; 0,6 соответственно отмеченным выше размерам усредняемых площадок для трендовых полей) подтверждают такой вывод.

В соответствии со вторым этапом исследований мы воспользовались методом предварительного мультипольного анализа гравитационного поля [6]. В этом методе успешно сочетаются детерминированный и «псевдостатистический» подходы, свойственные современной тенденции решения задач физической геодезии. Не останавливаясь на деталях, отметим, что метод позволяет вычислить значения глубины  $z$  (км), которая отождествляется с нижней границей аномальной гравитирующей массы, и длины корреляции  $\xi$  (км), соответствующей размерам аномалии на поверхности (радиус от эпицентра аномалии до ее периферии). Значения  $z$  и  $\xi$  получены для наиболее крупных аномалий трендовых полей  $\Delta g$ , представленных на рис. 2, а, б. Далее эти аномалии в соответствии с третьим этапом предложенного метода отождествлялись с геоморфоструктурами изучаемого региона. Результаты приведены в таблице.

Величины  $z$  и  $\xi$  близки к существенным параметрам ковариационных функций в методе средней квадратической коллокации, что еще более подчеркивает необходимость композиции статистического и детерминированного подходов. На этапе детерминированного подхода достигается уточнение и согласование глубин залегания и границ простирации геоморфоструктур для всей совокупности полей и полного спектра их трендовых составляющих.

В этой связи несколько слов о рельефе изучаемой территории (третье физическое поле). «Скачки» упомянутых выше статистик усредненных вариантов этого поля также выделяют усреднения  $8 \times 8^\circ$  и  $4 \times 4^\circ$  [2]. Однако выделенные по гравитационному полю структуры здесь проявляются в более обобщенном виде. Этого и следует ожидать, так как рельеф — последний этап той дифференциации материала в недрах Земли, которая обусловила сложившуюся к настоящему времени

Глубины источников ( $z$ ), размеры ( $\xi$ ) основных аномалий и геоморфоструктуры трендовых полей  $\Delta g$

Площадка усреднения	Значение аномалии в эпицентре, $10^{-5} \text{ м/с}^2$	Глубина источника $z$ , км	Размер аномалии $\xi$ , км	Название геоморфоструктуры
$R^* = 501 \text{ км}$				
$8 \times 8^\circ$	+30	959	694	Карпато-Балкано-Динарский регион
	-26	500	488	Балтийская синеклиза
	-25	334	257	Прикаспийская синеклиза
$R = 251 \text{ км}$				
$4 \times 4^\circ$	-38	330	252	Балтийская синеклиза
	-30	247	194	Терско-Каспийская впадина
	-31	178	148	Черноморская впадина
	+59	234	183	Кавказ
	+49	283	226	Балканы-Динариды

\* Радиусы равновеликих зон усреднения.

картину гравитационного, магнитного, теплового и других полей.

Приведем некоторые результаты тектонического анализа в рамках апробации метода. На усредненном поле  $\Delta g$   $8 \times 8^\circ$  (см. рис. 2, а) выделяются две интенсивные «отрицательные» аномальные области, приуроченные к Балтийской и Прикаспийской синеклизам (см. таблицу), и две «положительные» — складчатым сооружениям Кавказа и Карпато-Балкано-Динарского региона. Возраст заложения этих синеклиз относят к позднему докембрию ( $\sim 800 \dots 1000$  млн. лет). Средиземноморский складчатый пояс, часть которого представляют упомянутые выше регионы, начал свое формирование еще в позднерифейское время ( $\sim 800 \dots 900$  млн. лет). Таким образом, рассматриваемое усредненное поле аномалий  $\Delta g$  отразило такое распределение аномальных масс в недрах Земли, которое, вероятно, привело к формированию структур примерно одного возраста. При этом и глубины залегания аномальных масс соответствующих синеклизам примерно одинаковы, как следует из таблицы. В поле СВДЗК [2] эти области характеризуются обратным соотношением скоростей  $v$  (мм/год) СВДЗК и аномалий  $\Delta g$ : областям поднятий ( $v > 0$ ) соответствуют области отрицательных

аномалий и наоборот. Такое же соотношение  $\Delta g$  и  $v$  отмечается и на усредненном (трендовом) поле  $4 \times 4^\circ$  (см. рис. 2, б) и [2], только последнее лучше детализировано и отражает результат тектонических процессов более поздней геологической эпохи, скорее всего четвертичной, с которой связаны новейшие движения земной коры.

Привлечение дополнительной информации о других физических полях существенно уточнило бы выводы о геодинамической обстановке и тенденциях современного развития изучаемой территории. Тем не менее приведенные результаты предлагаемого метода региональных геодинамических исследований позволяет заключить, что метод обеспечивает объективное решение некоторых вопросов региональной геодинамики, а именно: выполнение оценок глубин залегания и простирации аномальных областей (структур), обуславливающих особенности исследуемых физических полей; определение существования корреляционных связей между различными физическими полями; надежное определение иерархической последовательности трендов различных физических полей с приоритетом для трендовых составляющих гравитационного поля. Для эффективного применения предложенного метода к изучению более широкого круга вопросов региональной геодинамики необходима более детальная информация о возможно большем числе физических полей для данного региона.

1. Бронгулеев В. В., Грачев А. Ф., Калашникова И. В., Магницкий В. А. Современные движения земной коры, новейшая тектоника и физические поля Карпато-Балканского региона. Корреляционный анализ // Физика Земли. 1984. № 7. С. 11—15. 2. Евсеева Э. М., Киричук В. В. Комплексный анализ некоторых физических полей территории Восточной Европы. К., 1986. С. 29. Рукопись. деп. в УкрНИИНТИ, № 2412—1к 86. 3. Евсеева Э. М., Киричук В. В., Палищук Т. И. Статистические критерии выделения трендовых составляющих поля скоростей СВДЗК Карпато-Балканского региона // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. 1989. Вып. 49. С. 17—23. 4. Зоненшайн Л. П., Савостин Л. А. Введение в геодинамику. М., 1979. 5. Киричук В. В., Скрыль В. А. Аномальное гравитационное поле и современные вертикальные движения земной коры Восточной Европы // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. 1985. Вып. 41. С. 30—36. 6. Марченко А. Н. О представлении гравитационного потенциала системой потенциалов нецентральных моментов. К., 1986. С. 35. Рукопись деп. в УкрНИИНТИ, № 28—Ук 86. 7. Rapp R. The Earth's gravity field to degree and order 180 using SEASAT altimeter data and other data, Report of the Department of Geodetic Science and Surveying, Report № 2 32, Ohio State University, Columbus, Ohio, 1981.

Статья поступила в редакцию 10.12.89