

ПРИМЕНЕНИЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ РЯДОВ И МАТРИЦ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ РЕЛЬЕФА И ВНУТРЕННЕГО СТРОЕНИЯ ЗЕМЛИ

Литосфера, так же как и ее рельеф, представляет сложное и вместе с тем единое природное образование, подчиняющееся в своем развитии общим законам и находящееся в сложных взаимоотношениях с внешней средой – внешними и внутренними оболочками Земли. Более того, литосферу и ее рельеф можно в значительной мере рассматривать как результат взаимодействия процессов, развивающихся как во внешних, так и во внутренних оболочках. В литосфере и в ее рельефе фиксируются результаты взаимодействия энергии, приходящей из космоса, например от Солнца, и энергии, заключенной в недрах Земли. Одновременно следует признать, что и вся Земля, представляющая собой космическое тело, т.е. открытую природную систему, в своем развитии тесно связана с космическим пространством и подчиняется каким-то еще не полностью расшифрованным общим законам развития материи.

Влияние земных и космических факторов, отражающихся в литосфере и ее рельефе, проявляется различно, кроме того оно изменяется во времени и пространстве, может быть неодинаковым по своим масштабам и слагаться из величин разных порядков.

Размещая формы рельефа и тектонические структуры по их морфометрическим показателям, мы установили [1–3], что соотношения этих показателей (площади основания и их развития по вертикали) закономерно повторяются, и сами формы группируются в общий морфометрический ряд, состоящий из восемнадцати порядков (табл. 1). В этих порядках при неизменном соотношении между длиной, шириной и развитием по вертикали, выражающемся в отношении 1 : 3 и 1 : 10, размещаются наиболее распространенные формы рельефа и тектонические структуры Земли.

Совершенно очевидно, что часть форм по своим размерам отличается от размеров, указанных в порядках общего морфометрического ряда. Однако дальнейшая обработка собранного материала дала возможность установить пределы отклонений и выяснить, что сильно развитые в ширину (округлые в плане) формы отклоняются по линейным показателям от показателей ряда на 20–30% и сравнительно точно совпадают по площади. У форм, сильно развитых в длину, отношение длины к ширине в отдельных случаях достигло 10 : 1 (т.е. длина в 10 раз больше ширины), но площади их оказывались близкими к площадям форм данного порядка общего ряда.

В первых порядках общего морфометрического ряда размещаются мельчайшие формы рельефа типа песчаной ряби и мельчайшие складки, развитые в пластичных глинах, сланцах и т.п. В последних порядках ряда заключаются целые нагорья, материки и океанические впадины (геотектуры, по И.П. Герасимову). Переход от одного порядка к другому на протяжении всего ряда и по показателям (длине, ширине, высоте и площади) совершенно однообразен. Он выдерживается теми же соотношениями, что и в каждом отдельном порядке (1 : 3 и 1 : 10), но с небольшим допуском, заключающимся в том, что отношение 1 : 3 заменяется через порядок отношением 1 : 3,3 (10, 30, 100, 300 и т.д.). Площади форм при переходе от одного порядка к следующему закономерно увеличиваются в 10 раз. Подобные же закономерности наблюдаются и для тектонических структур.

На земной поверхности существуют "узлы", в которых сходятся многочисленные структуры, имеющие большое развитие по вертикали (поднятие или погружение). Морфоструктуры с промежуточными размерами менее распространены и, как правило, менее развиты по вертикали. В отдельных местах промежуточные структуры образуют второстепенные узлы, например, структуры длиной около 150 км. В этих узлах морфометрические показатели структур кратны основным показателям морфо-

Таблица 1

Общий морфометрический ряд

Порядок форм и структур	Длина, км	Ширина, км	Площадь S , км ²	Высота или глубина, км	Длина волны		Разность, $1/2 \cdot S$
					1, км	1/2, км	
I	0,0001	0,00003	$3 \cdot 10^{-8}$	0,000003–0,00001	0,00007	0,00003	0
II	0,0003	0,0001	$3 \cdot 10^{-7}$	0,00001–0,00003	0,00022	0,00011	0,00001
III	0,001	0,0003	$3 \cdot 10^{-6}$	0,00003–0,0001	0,0007	0,0003	0
IV	0,003	0,001	$3 \cdot 10^{-5}$	0,0001–0,0003	0,0022	0,0011	0,0001
V	0,01	0,003	0,0003	0,0003–0,001	0,0069	0,0034	0,0004
VI	0,03	0,01	0,003	0,001–0,003	0,0217	0,0108	0,0008
VII	0,1	0,03	0,03	0,003–0,01	0,0681	0,034	0,004
VIII	0,3	0,1	0,3	0,01–0,03	0,214	0,107	0,007
IX	1	0,3	3	0,03–0,1	0,6723	0,336	0,036
X	3	1	30	0,1–0,3	2,111	1,05	0,05
XI	10	3	300	0,3–1	6,65	3,32	0,32
XII	30	10	3000	1–3	20,9	10,4	0,4
XIII	100	30	30000	3–10	65,6	32,8	2,8
XIV	300	100	$3 \cdot 10^5$	10–30	206,01	103	3
XV	1000	300	$3 \cdot 10^6$	30–100	646,8	323,44	23,44
XVI	3000	1000	$3 \cdot 10^7$	100–300	2031,21	1015,6	15,6
XVII	10000	3000	$3 \cdot 10^8$	300–1000			
XVIII	30000	10000	$3 \cdot 10^9$	1000–3000			

метрического ряда. Обращает на себя внимание резкое увеличение количества морфоструктур там, где хотя бы один из их морфометрических показателей (длина или ширина) оказывается близким к 10, 30, 100 или 300 км.

Для положительных морфоструктур в общем характерна значительная (по отношению к их длине и ширине) недоразвитость по высоте поднятия по сравнению с высотой, указанной для форм этого порядка в табличке морфометрического ряда. Это явление в значительной мере можно объяснить усиленной денудацией поднимающихся структур. Кроме того, на картах отмечены высоты, относящиеся лишь к коротким отрезкам геологического времени (неоген и четвертичный период), тогда как морфоструктуры испытывали воздымание в течение значительно более продолжительного времени.

Отрицательные (прогибающиеся) морфоструктуры по глубине погружения развиты полнее, чем положительные по высоте поднятия. Это объясняется их консервацией осадочными толщами и, возможно, дополнительной нагрузкой, создаваемой накапливающимися здесь осадками. Следует учитывать, что многие морфоструктуры находятся еще в стадии формирования и не достигли своего полного развития.

Изучение разрезов осадочных толщ отрицательных морфоструктур позволяет установить проявление цикличности многих (не менее 16) порядков. Циклы низшего порядка обусловлены главным образом климатическими причинами. По мере же перехода к более крупным циклам все большее и наконец решающее значение приобретают колебательные движения, а начиная с периодов в 35–40 млн. лет – изменения скорости волновых движений [4].

Большинство исследователей, занимающихся изучением крупной цикличности, склоняются к мысли о том, что главная причина ее возникновения кроется в условиях существования Земли как космического тела, т.е. в ее взаимосвязи с Солнцем, планетами Солнечной системы и Галактики в целом [5]. Так, геологические циклы 30–45 млн. лет параллелизуются с половиной Дракониического периода, проявляющегося в колебаниях Солнечной системы относительно плоскости Галактики. Циклы длительностью 150–180 млн. лет, находящие отражение в чередовании процессов орогении, соответствуют галактическому году, т.е. совпадают со временем полного прохождения галактической орбиты Солнечной системы.

Сложные короткопериодные колебания земной коры и земной поверхности, связанные с воздействием космических тел, накладываются на медленные вековые и быстрые сейсмические движения, и их сочетания проявляются в современных поднятиях и опусканиях блоков литосферы. Переходы от областей поднятия к областям опускания во многих районах происходят резко: переходные полосы характеризуются повышенными градиентами движений и имеют (в плане) прямолинейные очертания или форму дуг большого радиуса.

Следует отметить тот факт, что прямолинейные структуры типа Большого Кавказа по своей длинной оси, проведенной на глубине 30 км под центром горного сооружения, являются как бы хордами, стягивающими дуги, описанные радиусом, близким к 6000 км, что относительно точно совпадает с радиусом Земли. Если эти структуры в какой-то мере связаны с размерами и фигурой Земли, то и остальные показатели всего морфометрического ряда могут обнаруживать такую же зависимость.

Нами произведен элементарный расчет по формуле:

$l = r/\pi$, где l – полная длина волны, равная удвоенному показателю ширины формы рельефа по морфометрическому ряду (в случае сочетания положительной формы с формой отрицательной); r – радиус Земли (в исходном расчете принят экваториальный радиус Земли, равный 6378 км); $\pi = 3,14$; величина, необходимая для перевода линейных величин на окружность (сферу). Для меньших длин волн расчет производится делением длины волны предыдущего порядка на величину π . Результаты сведены в таблицу 1.

Границы между поднятиями и опусканиями удобнее всего проследить на палео-

географических картах по очертаниям палеобассейнов, что было выполнено, в частности, И.А. Одесским [5] для Русской платформы.

Ортогональная система поднятий и погружений не является особенностью только Русской платформы. Изучение главных тектонических зон Русской платформы, Предуралья, восточного склона Урала и Закавказья позволили исследователям протянуть сквозные широтные и субширотные структуры из Европы в Азию. Аналогичные дислокации уверенно прослеживаются в современном рельефе многих других платформенных равнин (Западно-Сибирская, Скифско-Туранская плиты, Прикаспийская синеклиза), а также в областях современного геосинклинального развития. Таким образом, линейность тектонических элементов и ортогональность их систем оказывается не случайностью, а закономерностью глобального значения.

Б.В. Сенин [6] связывает образование подобных линейных зон (имеющих планетарные горизонтальные размеры) с критическими и экстремальными зонами волновых структур, наиболее подверженными изгибным деформациям в условиях переменных циклических нагрузок, в качестве которых выступают волновые воздействия на литосферу, причины которых еще не установлены. Учитывая долговременную неупругость литосферы, делается вывод об "усталостном" происхождении подобных зон [6]. Многопорядковые и, вероятно, разноглубинные системы зон усталостных дислокаций регулируют размещение линий и узлов тектонической деструкции литосферы, по которым развиваются основные зоны и очаги аккумуляции, вулcano-плутонической, гидротермальной деятельности и другие виды энергообмена между поверхностью и глубинными оболочками Земли.

Возникающие в Земле колебания разных порядков уже установлены путем точных инструментальных измерений, но их рельефообразующее значение еще нуждается в тщательном изучении. Вполне вероятно, что эти колебания, волны, являются одним из важных факторов, стимулирующих, регулирующих и направляющих развитие тектонических структур земной коры. При их изучении особое внимание следует обратить на возможное суммирование этих колебаний и явления резонанса, в результате которого при наложении волн разных порядков может резко (в несколько раз) увеличиться их амплитуда.

Выявленные закономерности дают возможность предположить, что тектонические структурные формы, образующиеся в земной коре и выраженные на ее поверхности в виде форм рельефа, развиваются в результате каких-то общих процессов, происходящих в теле Земли, они пропорциональны размерам Земли и связаны с ее физическими свойствами. Наиболее вероятно, что такими процессами можно считать периодические деформации – колебания или волны, возникающие в теле Земли под действием различных причин: силы притяжения Луны и Солнца, изменений скорости вращения Земли вокруг оси, изменений атмосферного давления и т.д. Для матема-

Таблица 2

Основная морфометрическая матрица

№ границ	Радиус		Диаметр		Окружность	
	группа I	группа II	группа I	группа II	группа I	группа II
VIII		$2R\pi^3$		$4R\pi^3$		$4R\pi^4$
VII	$R\pi^3$		$2R\pi^3$		$2R\pi^4$	
VI		$2R\pi^2$		$4R\pi^2$		$4R\pi^3$
V	$R\pi^2$		$2R\pi^2$		$2R\pi^3$	
IV		$2R\pi$		$4R\pi$		$4R\pi^2$
III	$R\pi$		$2R\pi$		$2R\pi^2$	
II		$2R$		$4R$		$4R\pi$
I	R		$2R$		$2R\pi$	

тического расчета подобных процессов весьма важно знать максимально точно закономерности расположения и соподчинения границ между внутренними оболочками Земли.

При изучении положения границ по отношению к центру Земли можно усмотреть некоторую закономерность, выражающуюся в том, что радиус внутреннего ядра в 3 раза меньше радиуса ядра и в 6 раз меньше радиуса всей Земли. Обнаружить закономерности в расположении границ других слоев возможным не представляется. Однако, опираясь на расчеты, произведенные автором настоящей статьи при выполнении работ по морфометрии, можно составить некоторую общую формулу (табл. 2).

Таблица 3

Сравнение геофизических и расчетных данных

Границы раздела	№ границы	Радиусы по геофизическим данным, км	Радиусы по табл. 1 R, км		R + x, км
			Группа I	Группа II	Группа I
Поверхность	IV	6378		6378	
Граница ядра	III	3478	3189		3476
Промежуточная	II	2000		2030	
Внутреннее ядро	I	1298	1015		1302

Приняв за исходную величину радиус внутреннего ядра, который может быть получен путем деления радиуса Земли на 2π , и приняв числовое выражение π за постоянный коэффициент, можно рассчитать положение границы раздела слоев E и F и радиус ядра. При этом наиболее точно определенное значение имеет радиус Земли и положение границы между слоями E и F . Расхождения с геофизическими данными значительны в радиусах ядра и внутреннего ядра, полученных методом таких вычислений. Сопоставление с геофизическими данными приведено в таблице 3. Изучение формул таблицы 2 и полученных по ним теоретических расчетов (таблицы 3) дает основание считать, что расположение границ в недрах Земли не случайно, а образует строгую систему сфер, основные параметры которых увязаны между собой.

Расхождение между вычисленными радиусами ядер и их радиусами, определенными геофизическими методами, приблизительно равны одной и той же величине – около 288 км. Расхождение это столь значительно, что требует дополнительных исследований и объяснений.

Аналогичным методом, но по несколько более сложным формулам был произведен расчет модели Земли, построенной по геофизическим данным, который показал, что отчетливо выступающие в теоретической модели взаимосвязи затушеваны в геофизической модели, основной причиной чего является увеличение радиусов ядра и внутреннего ядра на уже указанные выше 285–288 км.

Заслуживает внимания тот факт, что величина 285–288 км не является случайной. Она связана со всеми размерами Земли и ее оболочками и может быть вычислена с большой точностью при точных исходных данных несколькими способами. Обозначив ее x , мы получаем ее значение, например, по формулам: $x = a - 6R$, или $x = (C - P)/2\pi$ где a – экваториальный радиус Земли, C – длина окружности по экватору, P – периметр вписанного шестиугольника, R – радиус внутреннего ядра.

Геофизическими методами в недрах Земли отчетливо выявлены те границы раздела (границы ядра и внутреннего ядра), в которых величина x может быть получена по формуле:

$$x = (C - P)/(\pi(N - 1)),$$

где N – порядковый номер границы, считая от центра планеты. Это характерно для внутреннего ядра, для ядра и для поверхности Земли.

В таблице 3 приведены также данные по тем сферам, у которых величина x получается по формуле: $x = (C - P)/n$,

где n – номер границы, выделяемой нами под названием границы второго порядка. К ним относятся, например, выделяемые геофизическими методами в мантии границы между слоями C и D , $D1$ и $D2$. Наши расчеты сравнительно точно согласуются с геофизическими данными, и совпадение становится еще больше, если к приведенным в таблице размерам радиусов сфер прибавить постоянную величину x .

По мнению В.Е. Хаина [7], дальнейшее развитие и совершенствование господствующей в настоящее время плитотектонической концепции ведет к ее перерастанию в более общую теорию глобальной тектоники, основными принципами которой можно считать: 1) дифференциальную подвижность оболочек Земли, более существенную в тангенциальном, чем в радиальном, направлении; 2) проявление в отдельных оболочках автономных систем конвективных течений, обнаруживающих вместе с тем взаимосвязь по вертикали (конвекция в более глубоких оболочках индуцирует конвекцию в более внешних оболочках); 3) взаимосвязь глубинных эндогенных процессов от ядра до земной коры, поверхностных процессов, обусловленных действием солнечной энергии и силы тяжести, а также космогенных процессов, связанных с изменением ротационного режима Земли, внешних гравитационного и магнитного полей; 4) вековое охлаждение Земли, затухание ее эндогенной активности, уменьшение ее радиуса, согласованное с изменением тепловыделения, интенсивности конвективных течений и их перестройкой.

Крупным шагом в создании подобной глобальной теории В.Е. Хаин [7] считает предположения японских тектонистов о существовании в Земле трех уровней, различающихся по характеру происходящих в них конвективных процессов: верхнего (тектоносфера) с тектоникой плит, среднего (нижняя мантия) с плюмо-тектоникой и нижнего (ядро) с тектоникой роста.

Нетрудно заметить, что именно границы между этими уровнями наиболее точно рассчитываются по предложенным формулам. Анализируя всю систему расчетов, можно видеть, что всюду встречается имеющая существенное значение граница между слоями E и F , положение которой может быть установлено по нескольким формулам, из которых формула

$$R_{np} = a/\pi; \quad R_{np} = 6378/3, \quad 1415 = 2030$$

указывает на то, что эта граница, относимая к границам второго порядка, непосредственно через постоянный коэффициент π связана с размерами всей Земли, чего обычно не наблюдается у таких границ. С этими границами границу промежуточного ядра связывает другая особенность, выраженная в том, что разность, получаемая путем вычитания из длины окружности периметра вписанного шестиугольника и деленная на порядковый номер границы, дает постоянную величину 287 км. Таким образом, промежуточное ядро является как бы связующим звеном между границами раздела первого и второго порядков. Интересно отметить, что именно с этой границей японские тектонисты связывают активное развитие тектоники роста в ядре (внутреннего железного ядра за счет внешнего, пополняемого коровомантийным силикатным материалом).

Таким образом, произведенные расчеты позволяют наметить закономерности в объединении форм рельефа и тектонических структур в определенные порядки и даже сделать попытку выявления некоторых общих причин развития ведущих форм. Результаты вычислений уже более трех десятилетий успешно применяются в радиолокации для работы с отраженным лучом, а также для поисков рудных месторождений, что позволяет надеяться на универсальность предложенного подхода. Применение формул морфометрической матрицы для Земли в целом требует

дополнительных исследований, результаты которых могут быть использованы в расчете конвективных ячеек в различных оболочках Земли, законов их перестройки и многих других физико-химических изменений вещества Земли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Пиотровский В.В.* К вопросу о создании общей классификации форм рельефа литосферы // Труды МИИГАиК, М.: Геодезиздат, 1959, вып. 18. С. 27–32.
2. *Пиотровский В.В.* К вопросу о миграции радиоактивных элементов и ее значении в развитии литосферы // Труды МИИГАиК. М.: Геодезиздат, 1961. Вып. 41. С. 12–14.
3. *Пиотровский В.В.* Геоморфология с основами геологии. М.: Геодезиздат, 1961. 245 с.
4. *Хайн В.Е.* Общая геотектоника. М.: Недра, 1964. 310 с.
5. *Одесский И.А.* Волновые движения земной коры. Л.: Недра, 1972. 247 с.
6. *Сенин Б.В.* Волновая геодинамика, ее структурные проявления и роль в организации тектонического процесса // Геодинамические основы прогнозирования нефтегазоносности недр. Тез. докл. 1-й Всес. конф., Ч. 1, М., МИНГ им. Губкина, 1988. С. 17–19.
7. *Хайн В.Е., Ломизе М.Г.* Геотектоника с основами геодинамики. М.: Изд-во МГУ, 1995. 416 с.

МИИГАиК,
Московский государственный университет
Геологический факультет

Поступила в редакцию
18.03.97

AN APPLICATION OF MORPHOMETRIC SEQUENCES AND MATRIXES TO ANALYSIS OF EARTH'S LANDFORMS AND INTERIOR

V.V. PIOTROVSKY, E.V. PIOTROVSKAYA

S u m m a r y

The hierarchical system of Earth's landforms is worked out according to morphometric parameters. It consists of 18 ranks from sand ripple to global forms – geotectures. The main peculiarities of this system and of morphostructures of Earth's surface are considered as having an origin due to geophysical processes of different types and to wave deformations of our planet since morphometric sequences are multiple to the size of the Earth. Morphometric matrixes are worked out and applied to analysis of Earth's interior, to radar of the Earth, to ore prospecting, etc.