

1. Берлянт А. М. Морфометрические исследования рельефа в СССР: состояние, проблемы, перспективы//Геоморфология, 1984. № 2. С. 15.
2. Falvey D. A., Mutter J. C. Regional plate tectonics and the evolution of Australia's passive continental margins//BMR J. Austral. Geol. and Geophys. 1981. № 6. P. 1.
3. Кара В. И. Геоморфология и структурная позиция желоба Оби//Геоморфология. 1985. № 3. С. 44.
4. Veevers J. J., Heirtzler J. R. Bathymetry, seismic profiles, and magnetic anomaly profiles//Initial Report of the Deep Sea Drilling Project. V. 27. Wash.: U.S. Government Printing Office, P. 399.
5. Hayes D. E., Wall R. E. Bathymetry, magnetic, and seismic reflection data//Initial Report of the Deep Sea Drilling Project. V. 28. Wash.: U.S. Government Printing Office, p. 945.
6. Roeser H. A., Rilat M., Seidel D. Identified magnetic sea-floor spreading anomalies. Hannover, 1982.
7. Геолого-геофизический атлас Индийского океана/Гл. ред. Удинцев Г. Б. М.: ГУГК СМ СССР, 1975.

НИПИОкеангеофизика

Поступила в редакцию
11.IV.1986

**VERTICAL DISSECTION OF THE OCEAN FLOOR AS RELATED
TO THE OCEAN DEPTH WITHIN THE SE SECTOR
OF THE INDIAN OCEAN
KARA V. I., SPIRIDENKO L. I.**

Summary

Analysis of digital model of the SE Indian floor topography using a specially developed software revealed the range of the ocean floor vertical dissection to be related to the ocean depth. Six topographic levels have been identified differing in the character of the relation. The paper describes the relation and try to explain it by the earthcrust evolution.

УДК 551.4625528.067.4

ЛИТВИН В. М., РУДЕНКО М. В.

**ОСНОВНЫЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
РЕЛЬЕФА ФУНДАМЕНТА ДНА МИРОВОГО ОКЕАНА**

Строение океанического фундамента, как известно, определяет морфоструктуру дна океанов. Формирование рельефа его поверхности обусловлено в основном эндогенными факторами, из которых решающую роль играют горизонтальные и вертикальные тектонические движения [1]. Следовательно, изучение этого рельефа, и в частности его морфометрических характеристик, имеет большое значение для геоморфологических и геолого-геофизических исследований. Необходимо подчеркнуть, что в качестве фундамента на дне океанов авторы рассматривают второй слой океанической земной коры, сложенный вулканогенными породами, преимущественно базальтами, практически повсеместно выявленными при глубоководном бурении [2]. Поверхность фундамента четко выделяется при сейсмическом профилировании как граница между рыхлыми осадками и твердыми вулканическими породами. Местами, однако, ниже этой границы располагаются уплотненные осадки, мощность которых, правда, невелика и не маскирует неровности поверхности подстилающих пород. Поэтому при использовании данных сеймопрофилирования правильное говорить о поверхности акустического фундамента, что, впрочем, не сказывается на репрезентативности морфометрических расчетов.

В Атлантическом отделении Института океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР уже в течение ряда лет разрабатывается и используется методика статистического анализа вычисленных с помощью ЭВМ морфометрических характеристик рельефа дна океана [3]. Достоинство ее заключается не только в широком спектре получаемых параметров подвод-

ного рельефа, но и в возможности на их основе оценивать процессы его формирования, проявляющиеся в изменчивости этих параметров. Из всего многообразия вычисленных морфометрических величин основное внимание уделялось углам наклона и значениям вертикального и горизонтального расчленения в том понимании, как это принято при геоморфологическом картографировании на суше [4]. Использовался также опыт других исследователей в этой области [5]. Были выполнены расчеты морфометрических характеристик Срединно-Атлантического хребта и его рифтовой зоны, районов абиссальных холмов, некоторых подводных поднятий и участков материковых окраин Атлантического океана [6, 7]. В последние годы начаты исследования морфометрических характеристик поверхности фундамента этого океана [8], которые были затем распространены на другие океаны с целью получить сравнительные данные и выявить общие закономерности строения и развития рельефа океанического фундамента в целом.

В качестве исходных материалов по рельефу океанического фундамента использовались профили непрерывного сейсмопрофилирования, опубликованные в томах глубоководного бурения с судна «Гломар Челленджер» и других изданиях [2, 9]. В обработку включены данные по основным морфоструктурным элементам дна океанов: срединно-океаническим хребтам, котловинам, глыбовым хребтам и поднятиям. Общая протяженность этих профилей составила более 40 тыс. миль. Однако они не охватывают, конечно, всего дна Мирового океана, сосредоточиваясь лишь в районах, где выполнено сейсмопрофилирование, поэтому результаты их анализа имеют предварительный характер и выявляют наиболее общие закономерности. Особенно мало фактического материала имеется для срединно-океанических хребтов Тихого океана. Детальность обработки определялась качеством использованных данных. Относительно мелкие масштабы профилей позволили снимать отчеты глубин поверхности фундамента через 1 милю, что предопределило фильтрацию исходного материала и исключение из расчетов форм рельефа с меньшими горизонтальными размерами. По массивам глубин, отвечающим конкретным морфоструктурам, были вычислены углы наклона между исходными точками и точками перегибов, величины вертикального и горизонтального расчленения по этим же точкам. Построены гистограммы и рассчитаны таблицы встречаемости по основным морфоструктурам различных значений морфометрических характеристик рельефа океанического фундамента. Это позволило провести сравнительный анализ расчлененности его поверхности для отдельных структур в пределах различных океанов.

Как показывают материалы сейсмического профилирования, поверхность океанического фундамента практически повсеместно имеет сложный блоково-грядовый рельеф. На срединно-океанических хребтах, где осадочный чехол прерывист или совсем отсутствует, это расчленение отчетливо проявляется в современном подводном рельефе. В зонах абиссальных холмов блоково-грядовый рельеф фундамента частично завуалирован маломощным осадочным чехлом, но достаточно хорошо прослеживается в рельефе дна океана, а на плоских абиссальных равнинах он полностью захоронен под осадками. Однако просмотр профилей и особенно анализ результатов расчета морфометрических характеристик показывает общее сходство строения и расчлененности блоково-грядового рельефа поверхности фундамента дна океанов различных морфоструктурных зон — от срединно-океанических хребтов до океанических котловин. Несомненно, это свидетельствует о их генетическом родстве, которое вполне логично объясняется с позиций формирования дна океанов в условиях раздвижения литосферных плит. В то же время заметно некоторое изменение морфометрических характеристик от срединно-океанических хребтов к котловинам, что указывает на процессы последовательной трансформации фундамента по мере удаления от осей раздвижения. Имеются также различия между отдельными океанами в целом, свидетельствующие о присущих им особенностях строения и развития их фундамента. Рассмотрим более детально результаты морфометрических расчетов.

Распределение углов наклона рельефа океанического фундамента, %

	Угол наклона						
	0—4°	5—9°	10—14°	15—19°	20—24°	25—29°	30—34°
Атлантический океан							
Срединно-океанический хребет	68,4	23,2	6,4	1,4	0,5	0,1	—
Котловины	87,5	9,9	1,8	0,5	0,2	0,1	—
Поднятия	79,7	15,5	3,3	0,9	0,3	0,2	0,1
Индийский океан							
Срединно-океанический хребет	65,5	26,0	6,1	1,7	0,5	0,2	—
Котловины	87,1	10,9	1,2	0,6	0,2	—	—
Поднятия	76,8	16,3	4,4	1,4	0,6	0,5	—
Тихий океан							
Срединно-океанический хребет	87,4	10,1	2,5	—	—	—	—
Котловины	88,7	9,5	1,4	0,4	—	—	—
Поднятия	80,3	15,2	3,2	0,8	0,5	—	—

Наиболее представительны данные об углах наклона (табл. 1). Повсеместное преобладание малых углов наклона (до 4°) свидетельствует о широком распространении субгоризонтальных участков в рельефе фундамента на вершинах блоков, дне межгрядовых ложбин и ступенях. Более значительные уклоны (5—14°) встречаются реже и приурочены к склонам блоков и гряд, занимающих в плане меньшее пространство. И еще реже встречаются уклоны более 20°, отмечающие отдельные уступы, вероятно, сбросового происхождения.

На фоне такого общего характера распределения углов наклона видны различия как между океанами, так и от одной морфоструктуры к другой. Особенно отчетливо эти различия прослеживаются на срединно-океанических хребтах. В Атлантическом и Индийском океанах наблюдается сходное распределение углов наклона со слабым увеличением малых значений в первом океане, тогда как в Тихом океане количество малых значений углов наклона заметно больше, а уклоны более 15° встречаются единично. Необходимо также подчеркнуть, что расчеты углов наклона между исходными точками и точками перегибов для фундамента Восточно-Тихоокеанского поднятия показали сходное распределение значений, что свидетельствует о совпадении шага выборки глубин (через 1 милю) с чередованием точек перегибов и обусловлено, очевидно, мелкоблочковым характером расчленения. В Атлантическом и Индийском океанах видно примерно одинаковое и достаточно заметное количество значений углов наклона более 15°, а также встречаются углы более 25°, что указывает на большую роль вертикальных тектонических движений в формировании рельефа фундамента.

В океанических котловинах отмечается та же тенденция, но разница в значениях углов наклона в рельефе фундамента различных океанов значительно меньше. Более того, наблюдается в общем сходная картина в распределении углов наклона фундамента как котловин, так и срединно-океанического хребта Тихого океана, хотя количество малых значений углов наклона на хребте несколько меньше, чем в прилегающих котловинах. В Атлантическом и Индийском океанах разница в распределении углов наклона между срединно-океаническими хребтами и океаническими котловинами заметно больше. Она указывает на четко выраженное сглаживание рельефа фундамента от хребтов к котловинам, выраженное в увеличении малых и уменьшении средних углов наклона. Впрочем,

Распределение величин горизонтального расчленения рельефа океанического фундамента, %

Горизонтальное расчленение, мили

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 и более
Атлантический океан													
Срединно-океанический хребет	49,5	26,6	12,8	5,4	3,4	1,0	0,6	0,4	0,2	0,1	—	—	—
Котловины	57,2	23,5	8,3	5,0	2,7	1,5	0,8	0,3	0,2	0,1	0,2	—	0,2
Поднятия	50,7	23,6	11,1	6,2	3,0	1,9	1,2	0,7	0,3	0,3	0,2	0,1	0,7
Индийский океан													
Срединно-океанический хребет	49,5	27,2	12,6	6,1	3,0	0,5	0,5	0,2	0,4	—	—	—	—
Котловины	58,3	27,3	4,2	5,3	2,5	1,3	0,8	0,3	—	—	—	—	—
Поднятия	52,8	24,5	10,3	6,0	3,0	1,3	1,4	—	0,7	—	—	—	—
Тихий океан													
Срединно-океанический хребет	58,9	22,8	12,5	3,9	1,9	—	—	—	—	—	—	—	—
Котловины	57,8	21,9	10,2	5,1	3,2	1,8	—	—	—	—	—	—	—
Поднятия	50,5	23,1	11,4	6,3	3,0	2,2	1,2	0,6	0,4	0,3	0,3	0,1	0,6

большие их значения почти не меняются, а в Тихом океане в котловинах даже появляются углы наклона больше 15° , практически отсутствующие на срединно-океаническом хребте.

Особое положение занимают океанические поднятия, включающие глыбовые хребты, валы, возвышенности и плато в пределах котловин. Распределение углов наклона в рельефе их фундамента занимает промежуточное положение между срединно-океаническими хребтами Атлантического и Индийского океанов и всеми океаническими котловинами. В то же время и здесь слабо выражено различие между океанами. Если говорить о малых углах наклона, то их встречаемость постепенно возрастает от Индийского океана к Атлантическому и Тихому. В пределах этих поднятий несколько увеличивается встречаемость больших углов наклона и появляются их максимальные значения, что указывает на активизацию вертикальных тектонических движений, приводящих к образованию сбросовых уступов.

Для горизонтального расчленения рельефа океанического фундамента повсеместно характерно преобладание значений 1—2 мили на фоне убывания более крупных величин (табл. 2). Анализ профилей показывает, что малые значения заложений между точками перегибов характеризуют вторичное расчленение, осложняющее блоки и гряды, которые составляют основу рельефа поверхности фундамента и имеют горизонтальные размеры 5—6 миль и более. Так как методика обработки материала включает расчеты заложений между всеми встреченными перегибами, то полученные результаты, естественно, относятся в основном к вторичному расчленению и значительно реже показывают более крупные значения, относящиеся к достаточно монолитным блокам, не имеющим заметного вторичного расчленения.

Разница между расчлененностью поверхности фундамента различных океанов проявляется в основном, как и в распределении углов наклона, на срединно-океанических хребтах. Количество значений в 1 милю на Восточно-Тихоокеанском поднятии значительно больше, чем на срединно-океанических хребтах Атлантического и Индийского океанов, и практически совпадает с их количеством в океанических котловинах. В то же время значения заложений около 3 миль на всех срединно-океанических хребтах имеют одинаковую частоту встречаемости, а в котловинах также

**Распределение величин вертикального расчленения рельефа океанического
фундамента, %**

	Вертикальное расчленение, м					
	0—50	50—100	100—500	500—1000	1000—1500	>1500
Атлантический океан						
Срединно-океанический хребет	24,5	11,2	47,5	14,1	1,8	0,9
Котловины	55,8	15,6	23,7	3,6	0,7	0,6
Поднятия	39,3	15,4	35,2	6,3	2,2	1,2
Индийский океан						
Срединно-океанический хребет	20,6	11,2	51,0	14,6	1,3	1,3
Котловины	45,6	19,2	29,7	4,2	0,6	0,6
Поднятия	31,4	15,4	40,6	8,3	3,0	1,3
Тихий океан						
Срединно-океанический хребет	50,0	15,0	30,5	4,5	—	—
Котловины	65,4	14,6	17,4	2,3	0,3	—
Поднятия	43,0	15,2	32,5	5,6	2,0	1,7

видно некоторое их преобладание в Тихом океане. Более крупные величины заложений, относящиеся к собственно блокам и грядам, достаточно хорошо зафиксированы в Атлантическом океане, меньше в Индийском океане и практически почти не отмечаются на ложе Тихого океана из-за наличия широко распространенного вторичного расчленения. Однако на океанических поднятиях повсеместно, включая и Тихий океан, большие значения величин горизонтального расчленения фиксируются отчетливо, свидетельствуя о более монолитной структуре блоков. Кстати, здесь отмечаются даже максимальные величины заложений более 13 миль.

Характер распределения величин горизонтального расчленения при переходе от срединно-океанических хребтов к котловинам показывает следующее. Количество значений в 1 милю, как отмечалось выше, в Атлантическом и Индийском океанах возрастает, а в Тихом океане сохраняется то же. Количество значений от 2 до 5 миль в первых двух океанах и до 4 миль в Тихом океане, наоборот, уменьшается. И наконец, количество более крупных значений заложений, характеризующих собственно блоково-грядовый рельеф, в котловинах по сравнению со срединно-океаническими хребтами повсеместно увеличивается. Это свидетельствует о некотором укрупнении блоков и в то же время усилении мелкого вторичного расчленения поверхности фундамента при следовании от срединно-океанических хребтов к дну океанических котловин.

Для вертикального расчленения рельефа океанического фундамента характерно наличие двух максимумов превышений, включающих 0—50 и 100—500 м (табл. 3). Первый обусловлен вторичным расчленением, осложняющим блоки и гряды, а второй относится непосредственно к этим основным формам расчленения поверхности фундамента. Более крупные превышения в значительной степени затухиваются мелким вторичным расчленением, поэтому зафиксированные их значения отмечаются реже, чем они прослеживаются на реальных профилях.

Разница в распределении величин вертикального расчленения между океанами в целом напоминает картину распределения горизонтального расчленения. Превышения 0—50 м чаще всего встречаются в Тихом океане, значительно реже в Атлантическом и еще реже в Индийском океане. Превышения 50—100 м распределены более равномерно, с небольшими отклонениями на срединно-океаническом хребте Тихого океана и в котловинах Индийского. А в распределении превышений 100—500 м наблюдается обратная картина. Они чаще всего встречаются в Индийском океане, несколько реже в Атлантическом и заметно реже в Тихом океане. Более крупные значения превышений примерно одинаково, с небольшими

частными отклонениями распределены в Атлантическом и Индийском океанах, а в Тихом океане их количество сильно сокращается, причем величины более 1000 м на срединно-океаническом хребте и более 1500 м в котловинах вообще не отмечаются, хотя на океанических поднятиях они есть.

При переходе от срединно-океанических хребтов к океаническим котловинам повсеместно наблюдается увеличение количества превышений 0—50 м и уменьшение количества превышений 100—500 м и более. Для превышений 50—100 м заметно некоторое увеличение их количества в котловинах Атлантического и Индийского океанов, тогда как в Тихом океане оно остается практически неизменным. Все это указывает на общее снижение вертикального расчленения поверхности фундамента в направлении от срединно-океанических хребтов к океаническим котловинам. Однако в некоторых районах наблюдается обратная картина, обусловленная, очевидно, местными тектоническими движениями, усиливающими вертикальное расчленение. Это отмечается, например, в Ангольской котловине Атлантического океана, в котловинах Крозе, Западно-Австралийской и Австрало-Антарктической Индийского океана, в Северо-Западной и Северо-Восточной котловинах Тихого океана.

Океанические поднятия по распределению превышений 0—50 м занимают промежуточное положение между срединно-океаническими хребтами и котловинами во всех океанах, а по превышениям 100—500 м — в Атлантическом и Индийском океанах, тогда как в Тихом океане количество этих превышений на поднятиях даже больше, чем на срединно-океаническом хребте. В распределении же превышений более 1000 м повсеместно видно преобладание их на океанических поднятиях по сравнению с другими морфоструктурами, что свидетельствует о повышенной активности вертикальных тектонических движений.

Указанные особенности распределения морфометрических характеристик рельефа фундамента в океанах и в пределах различных морфоструктур находят свое логическое объяснение с позиций тектоники литосферных плит. Формирование блоково-грядового рельефа происходило и происходит в настоящее время в рифтовых зонах срединно-океанических хребтов одновременно с раздвижением и наращиванием океанической коры [1]. При этом в зависимости от скоростей горизонтальных движений по-разному проявляются результаты вертикальных движений, ответственных за образование, относительную высоту и расчлененность форм рельефа поверхности фундамента. На Срединно-Атлантическом хребте и срединно-океанических хребтах Индийского океана с малыми скоростями раздвижения плит формируется более крупноблоковый рельеф с преобладанием превышений 100—500 м и более, с заметным количеством заложений 3—5 миль и углов наклона от 5 до 15°. Вторичное расчленение с величинами заложений 1 миля и превышениями до 100 м значительно, но не преобладает. На Восточно-Тихоокеанском поднятии, где скорость раздвижения в несколько раз больше, формируется преимущественно мелкоблоковый рельеф со сглаженными формами, с явным преобладанием малых величин заложений, углов наклона и превышений.

В процессе раздвижения литосферных плит и при переходе к океаническим котловинам происходит некоторая трансформация блоково-грядового рельефа и его расчленения. С одной стороны, блоковая структура укрупняется за счет тектонической стабилизации земной коры и частичного заполнения межблоковых швов повторными излияниями базальтов или осадочным покровом при общем снижении превышений и углов наклона. С другой стороны, в результате горизонтальных движений плит и связанных с ними вертикальных подвижек и местных излияний лав усиливается вторичное расчленение, особенно заметное по увеличению количества малых значений горизонтальных заложений и превышений. На океанических поднятиях, формирование которых обусловлено активизацией местных вертикальных тектонических движений и массовыми излияниями базальтовых лав, крупноблоковое расчленение выражено еще сильнее. Это видно по увеличению встречаемости заложений более 8—

10 миль, превышений 1000—1500 миль и углов наклона свыше 20°. Вторичное расчленение здесь ослаблено по сравнению с дном котловин, но все же значительнее, чем на срединно-океанических хребтах. Интересно, что распределение величин морфометрических характеристик на поднятиях в различных океанах в общем сходно, что может указывать на определенное единство причин их формирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Литвин В. М. Роль горизонтальных и вертикальных тектонических движений в формировании рельефа дна океана.//Тр. Ин-та океанологии АН СССР. 1985. Т. 121. С. 76—91.
2. Initial Reports of the Deep Drilling Project. Washington: US Gov. Print. Off., 1969—1984. V. 1—70. 1050 p.
3. Руденко М. В., Джумайло Н. А., Бережный Б. Д. О методике статистического анализа материалов по рельефу дна с использованием ЭВМ//Океанология. 1982. Т. 22. Вып. 5. С. 848—851.
4. Спиридонов А. И. Геоморфологическое картографирование. М.: Недра, 1975. 183 с.
5. Ильин А. В., Фроль В. В. Пространственно-спектральный анализ рельефа рифтовой зоны Атлантического океана//Океанология. 1977. Т. 17. Вып. 2, С. 263—270.
6. Руденко М. В., Литвин В. М. Морфометрические характеристики рифтовой зоны Срединно-Атлантического хребта//Океанология. 1977. Т. 17. Вып. 5. С. 844—849.
7. Руденко М. В. Морфометрические характеристики основных элементов рельефа дна Атлантического океана//Тр. Ин-та океанологии АН СССР. 1985. Т. 121. С. 141—163.
8. Литвин В. М., Руденко М. В. Морфометрические характеристики фундамента Атлантического океана//Океанология. 1979. Т. 19. Вып. 6. С. 1045—1051.
9. The Sea. 4. New Concepts of Sea Floor evolution/Ed. Maxweel A. E. New York — London: Wiley-Intersci. Publ., 1970. 790 p.

Атлантическое отделение
Института океанологии
им. П. П. Ширшова АН СССР

Поступила в редакцию
7.IV.1986

BASIC MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS OF THE BASEMENT TOPOGRAPHY OF THE WORLD OCEAN FLOOR

LITVIN V. M., RUDENKO M. V.

Summary

On the base of mass analysis of morphometric characteristics of the basement relief of the World Ocean floor similarity and difference in the oceans structure as well as in its main morphostructures are described. The characteristics revealed can be accounted for by proceeding from the plate tectonic thesis about the dependence of relief pattern on the rate of the oceanic crust generation.

УДК 551.432.8(476)

МАТВЕЕВ А. В., АЖГИРЕВИЧ Л. Ф., ВОЛЬСКАЯ Л. С.,
НЕДЕЛИН С. Л.

ПОГРЕБЕННЫЕ ЛОЖБИНЫ БЕЛОРУССИИ ПО ДАННЫМ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

Территория Белоруссии является классической областью развития антропогенных покровных оледенений. Наибольшие толщи отложений этих оледенений нередко связаны со своеобразными образованиями в ложе антропогенного чехла — ложбинами разного генезиса. Исследование таких форм позволяет решать многие важные вопросы палеогеографии кайнозоя. С появлением материалов высотной, радиолокационной и космической съемки возможность регионального изучения погребенных ложбин в комплексе с окружающими компонентами ландшафта расширилась.