

В. Н. КОСМЫНИН

## О МЕХАНИЗМЕ НАРАСТАНИЯ ВНЕШНИХ СКЛОНОВ КОРАЛЛОВЫХ РИФОВ

Многочисленные работы последних лет, посвященные коралловым рифам, значительно расширили познания в области их геологии и геоморфологии, выдвинули ряд новых представлений относительно основных форм рельефа рифов. Этому немало способствовало развитие аэрофотосъемки и водолазной техники. Однако внешние склоны рифов все еще остаются малоизученными. В первую очередь это относится к малодоступным наветренным частям рифов. В то же время верхняя часть внешнего склона рифа является главным местом строительства собственно рифа, а также и основным поставщиком обломочного материала в береговую зону. Внешний склон рифа представляет «прекрасный природный пример единства противоположностей — это одновременно зона разрушения и созидания» (Леонтьев, 1970, стр. 73). Нередко кораллы как организмы являются доминантом лишь в этой части кораллового рифа, что, например, нами наблюдалось на рифах Сейшельских островов. Поэтому изучение процессов, формирующих рельеф внешнего склона рифа, имеет наиболее важное значение в понимании формирования рифа в целом.

Несмотря на все разнообразие форм рельефа на внешних склонах рифов, как наиболее характерные для них можно выделить так называемые шпоры и каналы («spurs and grooves» или «buttresses and valleys»). Они представляют собой «гребенку» чередующихся узких каналов и более широких уплощенных гребней (рис. 1). Размеры их довольно разнообразны. Глубина каналов (относительно гребней шпор) иногда достигает 10 м, но обычно не более 3—5 м; ширина каналов — первые метры, шпор — до 10—30 м. Стенки каналов крутые, часто нависающие, дно чаще всего уплощенное, лишенное осадков, или с прерывистым маломощным покровом из обломков кораллов. В плане каналы извилисты, иногда испытывают бифуркацию, но в общем, как и шпоры, приблизительно перпендикулярны краю рифа. Длина шпор и каналов сильно варьирует — от десятков до сотен метров. В некоторых местах система шпор и каналов имеет двухъярусное строение (рис. 1). В верхних окончаниях каналы либо довольно круто обрываются, либо имеют продолжения в виде приборной ложбин, пересекающих внешнюю зону риффлета, а иногда и водорослевый вал. Такова в общих чертах морфология системы шпор и каналов внешнего склона рифа. Имеется еще много более мелких общих черт и бесконечное множество индивидуальных, остановиться на которых не позволяет объем статьи.

Еще в сравнительно ранних работах (Kuene, 1933; Gardiner, 1931; и др.) отмечалось, что система шпор и каналов играет роль естественного волнолома. Прямая связь системы шпор и каналов с направлением господствующих волнений была доказана Мунком и Сарджентом (Munk, Sargent, 1948) на примере атолла Бикини. Ими было отмечено, что густота и величина шпор и каналов находятся в зависимости от параметров волн и экспозиции рифа по отношению к наиболее частым волнениям.

Связанные с прибором сильные течения внутри каналов наводили многих исследователей на мысль об эрозионном происхождении каналов; при этом шпоры фактически считались эрозионными останцами (Cloud, 1954, 1959; Wiens, 1962, и др.). Эрозия дна каналов предполагает довольно большой поток обломочного материала, в то же время очень

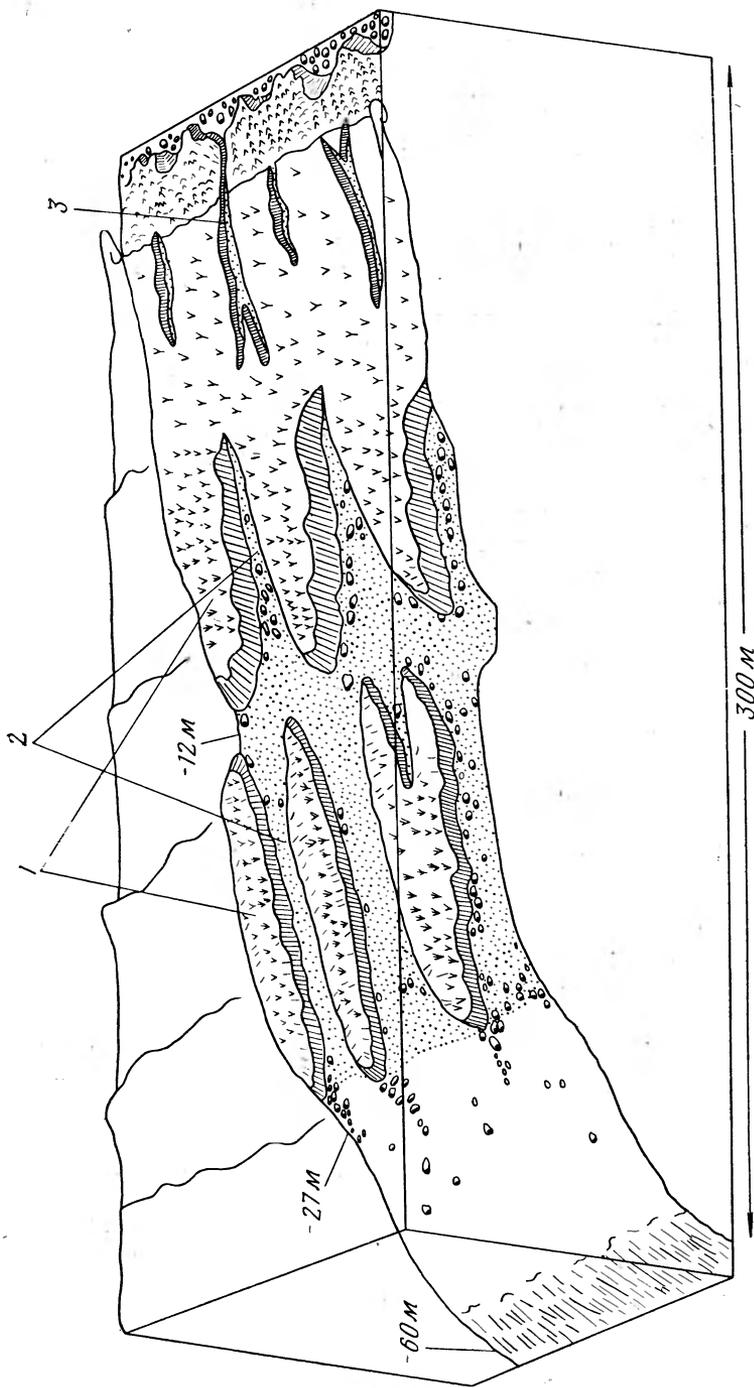


Рис. 1. Блок-диаграмма внешнего склона рифа с системой шпор и каналов. Моореа, острова Общества (Battistini et al., 1975)

1 — шпory, 2 — каналы; 3 — прибойные ложбины

часто обломочный материал на дне каналов отсутствует, нередко даже небольшие молодые колонии кораллов, а в случае некоторой аккумуляции обломков в канале их перемещение связывается лишь со штормовыми волнениями. С другой стороны, рост коралловых колоний — явление постоянное, и скорость этого процесса на внешнем крае рифа велика. Это дает основание для альтернативной гипотезы *формирования шпор растущими колониями кораллов*. В таком случае каналы остаются как проходы, в которых концентрируется периодическое перемещение обломочного материала, препятствующее поселению здесь кораллов. Горо (Goreau, 1959), исследуя коралловые рифы Ямайки, пришел к выводу об образовании шпор ростом и слиянием колоний кораллов. Исследования Шинна (Shinn, 1963) на рифах Флориды дали убедительные доказательства в пользу этой гипотезы. С помощью подводных взрывов им были созданы искусственные обнажения, вскрывающие внутреннее строение шпор, ясно указывавшее на образование их ориентированным ростом *Acropora palmata*, при котором массивные ветви колоний создают устойчивую по отношению к действию волн чешуйчатую структуру.

Коралловые рифы Карибского региона, а также некоторых районов Индо-Тихоокеанского региона подвержены воздействию ураганов, эпизодически уничтожающих частично или полностью коралловые колонии внешних склонов рифов. Стодарт (Stoddart, 1969), изучая последствия одного из таких ураганов, обнаружил, что на внешнем крае рифа шпоры были полностью уничтожены, осталась лишь выровненная поверхность, соответствующая уровню днищ бывших каналов. Имея в виду повторяемость таких ураганов, трудно предположить эрозионное происхождение имеющейся практически на всех рифах системы шпор и каналов: последовательное срезание каждой новой серии шпор новым ураганом уничтожило бы риф полностью.

Весьма важно определить, насколько распространены подобные формы рельефа на подводных склонах, формирующихся без участия рифостроящих организмов. При этом, естественно, склоны, сложенные рыхлыми отложениями, в счет идти не могут, так как возможность образования эрозионных каналов на них общеизвестна. Распространение же систем, сходных со шпорами и каналами, на некоралловых подводных склонах, сложенных плотными породами, по-видимому, крайне невелико. Есть указания на существование подобных образований, вырезанных в багамских оолитах (Newell et al., 1951), гавайских базальтах (!) (Newell, 1961) и конгломератах (Cloud, 1959). Эти примеры крайне редки, единичны, в то время как «зубчатый» край, образующий шпоры и каналы, — характерная черта подавляющего большинства подводных склонов на «живых» рифах.

Свидетельством в пользу гипотезы образования шпор как форм роста колоний кораллов было нахождение в одном месте ряда последовательных стадий их развития. Однако учитывая сравнительно длительное стояние уровня Мирового океана на отметках, близких к современному, следовало бы предполагать такие шпоры давно сформировавшимися, за исключением: 1) районов, где происходит периодическое разрушение шпор штормовыми волнами; 2) мест с замедленным развитием этих форм.

Шинн (Shinn, 1963) обнаружил такой последовательный ряд стадий развития шпор у восточного побережья о. Андрос (Багамские острова). Так как этот район подвержен действию ураганов, этот случай, по-видимому, может быть отнесен к первому исключению. В качестве примера исключения второго типа можно привести рифы Сейшельских островов, где нам также удалось наблюдать ряд последовательных стадий формирования шпор.

В целом система шпор и каналов на внешних склонах рифов Сейшельских островов развита слабо, что соответствует закономерности,

выявленной Мунком и Сарджентом (Munk, Sargent, 1948), согласно которой развитие шпор и каналов прямо зависит от энергии волн. Даже на наветренных частях рифов, подверженных наиболее частым волнениям, связанным с юго-восточным пассатом, по амплитуде рельефа (1,0—1,5 м) шпору и каналы значительно уступают своим аналогам большинства рифов других районов. Это объясняется небольшими параметрами волн в течение всего года и практически отсутствием штормовых волнений. Во многих случаях шпору здесь не представляют собой обычные массивные формы рельефа (сложенные риф-роком (рифовым известняком) и «облицованные» живыми колониями кораллов и известковых водорослей; это удлиненные в плане участки кораллового «буша» — густо переплетающихся ветвистых колоний кораллов, среди которых преобладают *Acropora pharaonis*, *Acropora divaricata*, *Acropora irregularis*, *Acropora palifera* и др. Такие шпору находятся на первой стадии своего развития (рис. 2, I).

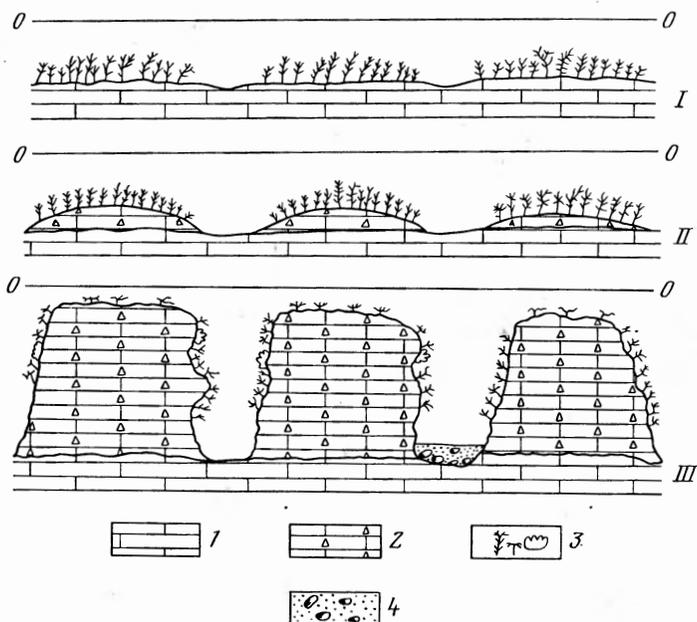


Рис. 2. Стадии формирования шпор и каналов в результате роста и слияния колоний кораллов

1 — риф-рок исходной поверхности; 2 — риф-рок, сформированный ростом колоний кораллов при образовании шпору; 3 — колонии кораллов; 4 — обломочный материал

Вторая стадия (рис. 2, II), которую также можно наблюдать в рифах Сейшельских островов, характеризуется наличием небольшого цоколя под коралловым «бушем», вероятнее всего, образующегося за счет консолидации обломочного материала. Каналы при этом остаются как узкие проходы, которые концентрируют периодический поток обломочного материала, препятствующий зарастанию их дна колониями кораллов. Лишь изредка можно было отметить некоторое углубление канала в риф-рок, которое можно было трактовать как эрозию. Но такой «врез» не превышал, по нашим наблюдениям, 10—15 см.

Слабость процессов, формирующих внешний склон на Сейшельских рифах, объясняется и слабая ориентированность ветвей кораллов, слагающих шпору, в отличие от районов с более сильными волнениями. Как уже отмечалось выше, на рифах Флориды ориентированные по направлению действия волн ветви *Acropora palmata* создают особо устойчивую структуру (Shinn, 1963).

Большинство исследователей отмечает, что нижняя граница распространения шпор и каналов располагается на глубинах 15—25 м. На Сейшелах же, по нашим наблюдениям, эта глубина составляет всего 7—8, редко 10 м. Отметим, что и массовое распространение герматипных кораллов ограничивается той же глубиной 7—8 м, что совершенно необычно для большинства рифов других районов. Такое необычное ограничение в глубину, вероятно, объясняется опять-таки малыми параметрами волн. Для массового роста основных герматипных быстрорастущих ветвистых видов кораллов, таких, как *Acropora palmata*, *Acropora phaeoapis*, *Acropora divaricata* и др., характерных для внешних склонов рифов, необходима высокоэнергетическая обстановка. При больших параметрах волн нижняя граница распространения таких видов располагается глубже, например на открытоокеанических атоллах она достигает 20—25 м. Так как указанные виды являются и главными «строителями» шпор, на той же глубине находятся и нижние окончания последних.

Отдельные штормовые волнения с большими параметрами волн не могут повлиять на нижнюю границу распространения рифостроителей, однако, вероятно, способны «продлить» каналы вниз по склону путем эрозии и за пределы этой границы. Развитая система шпор и каналов, располагающихся ниже указанной границы, может быть реликтом; возможно, в некоторых случаях двухъярусного строения системы шпор и каналов нижний ярус представляет собой такой реликт, связанный с более низким положением уровня океана.

Хорошо прослеживается на о. Маэ и прилежащих островах зависимость развития системы шпор и каналов от экспозиции к господствующим юго-восточным волнениям. На наветренных юго-восточных и восточных частях рифов о. Маэ и островов группы Сёрф система шпор и каналов, хотя и невелика по амплитуде рельефа, но хорошо выражена, имеет равномерное распределение. На западном побережье о. Маэ, где рифы развиваются под действием второстепенной системы волнений, шпору и каналы распределены неравномерно, и амплитуда их счень невелика — 0,5—0,7 м. В бухте Виктория и проливе Сёрф-чернел, очень напоминающих по своим условиям лагуны атоллов, система шпор и каналов на склонах рифов отсутствует.

Необычна по своей морфологии система шпор и каналов на внешнем склоне рифа у юго-восточного побережья о. Маэ. Обследуя риф в районе залива Парнель, к северу от мыса Ласкар, кроме обычных здесь мелких шпор и каналов мы обнаружили отдельные крупные далеко отстоящие друг от друга шпору. Высота шпор над окружающим дном достигала 3—6 м, а длина свыше 100 м. Боковые склоны характеризовались большим проективным покрытием живыми колониями ветвистых кораллов — более 50%, в то время как на уплощенной вершине — лишь 5—10%. Ширина такой шпору у вершины была приблизительно 15—20 м, а расстояние между соседними шпорами — около 200 м. В одном случае по соседству со шпорой была обнаружена как бы зачаточная ее форма — параллельная ей прерывистая полоса коралловых колоний, поднимавшихся до 1,5 м над окружающим дном. Это дало основание связать происхождение шпор такого рода с ростом и слиянием колоний кораллов. Фактически такие шпору можно отнести к третьей стадии формирования шпор, изображенной на рис. 2, III. Необычным является здесь отсутствие каналов — шпору располагаются слишком далеко друг от друга, чтобы пространство между ними можно было назвать каналами. Образованию этих длинных редких шпор безусловно способствует пологий уклон внешнего склона рифа, при котором 10-метровая изобата расположена довольно далеко от берега. Однако трудно объяснить разреженность шпор. Скорее всего начальный рост колоний (зарождение шпору) происходил на более высоких местах исходного рельефа, что связывается с высоким положением нижней границы массового роста

кораллов. Эти шпоры «росли» гораздо быстрее тех, что располагались ниже, и последние значительно отстали от них в развитии, являя нам сейчас начальную стадию формирования.

По-видимому, образование описанных выше отдельных крупных шпор, так же как и обычных, следует считать одной из форм расширения рифа в пространстве, выдвигания его внешнего края. Интересно, что подобное расширение рифа в защищенной обстановке бухты Виктория происходит путем приращения форм, сходных с описанными шпорами, но ориентированных не по нормали к краю рифа, а параллельно ему. Такая ориентировка напоминает расположение рифов в проходах на океанических атоллах и, вероятно, также связана с направлением действия течений и волн.

На основании изложенного выше материала можно сделать некоторые выводы.

1. В большинстве случаев система шпор и каналов формируется за счет роста коралловых колоний, которые создают при этом «наиболее эффективную конструкцию, обеспечивающую диссипацию деструктивной энергии волн и в то же время постоянное снабжение свежей водой... на максимальной площади поверхности» (Emery et al., 1954).

2. Эрозия в каналах возможна, но обычно в формировании систем шпор и каналов она вторична и второстепенна по отношению к росту колоний кораллов. Эрозия имеет место, по-видимому, лишь при крупных штормовых волнениях.

3. Параметры и густота шпор и каналов зависят от параметров и повторяемости основных волнений. Действие волн определяет нижнюю границу распространения шпор и каналов.

4. Формирование рельефа внешнего склона рифа с современным покрытием колониями живых кораллов не представляет простую систему взаимодействия «горная порода — волны», как на подводных склонах внерифовых районов. Такое взаимодействие имеет место только при экстремальных действиях волн во время штормов, т. е. в очень короткий промежуток времени. В этих случаях на склоне рифа может формироваться поверхность, соответствующая днищам каналов. При обычных же и наиболее часто повторяющихся по силе и направлению волнениях в формировании рельефа начинает играть роль фактор времени, и в систему взаимодействия «горная порода — волны» добавляется третий член — закономерности роста колоний кораллов.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Леонтьев О. К. Некоторые геоморфологические особенности коралловых побережий островов Индийского океана. В кн. «Комплексные исследования природы океана», вып. 1. Изд-во МГУ, 1970.
- Battistini R. et al. Elements de terminologie recifale indopacifique. *Thetys*, 7(1), 1975.
- Cloud P. Superficial aspects of modern organic reefs. «*The Scientific Monthly*». New York, v. 79, 1954.
- Cloud P. Geology of Saipan, Mariana Islands. 4. Submarine topography and shoal-water ecology. «U. S. geol. Surv. Prof. Pap.», v. 280-K, 1959.
- Emery K., Tracey I. J., Ladd H. S. Geology of Bikini and nearby atolls. «U. S. geol. Surv. Prof. Pap.», v. 260-A, 1954.
- Gardiner J. Coral reefs and atolls. London, Macmillan, 1931.
- Goreau T. The Ecology of Jamaican coral reefs. «*Ecology*», v. 40, 1959.
- Kuenen P. Geology of coral reefs. «Snellius expedition in the Easternpart of the Netherland East Indies 1929—1930», v. 5, part 2, 1933.
- Munk W., Sargent M. Adjustment of Bikini Atoll to Ocean Waves. «*Trans. Amer. Geophys. Union*», v. 26, No. 6, 1948.
- Newell N., Rigby T. K., Whiteman A. I., Bradley I. S. Shoal water geology and environments, eastern Andros Island, Bahamas. «*Bull. Amer. Mus. nat. Hist.*», v. 97, 1951.
- Newell N. Resent terraces of tropical limestone shores. «*Zeitschrift für geomorphol N. F., Supplbd*», v. 3, 1961.
- Shinn E. Spur and groove formation on the Florida reef tract. «*J. Sedim. Petrology*», v. 33, No. 2, 1963.

Stoddart D. Ecology and morphology of Recent coral reefs. «Biol. Rev. Cambridge Philosoph. Soc.», v. 44, No. 4, 1969.

Wiens H. Atoll Environment and Ecology. New Haven and London, Yale University Press, 1962.

Московский государственный  
университет  
Географический факультет

Поступила в редакцию  
24.X.1978

---

## ON MECHANISM OF CORAL REEFS OUTER SLOPE BUILDING-UP

V. N. KOSMYNIN

### Summary

Spurs and channels at reef's outer slope make a natural breakwater which ensures both wave energy dissipation and water exchange at the reef's surface. Successive stages of the spurs formation can be observed at the same locality (as it has been found at Seychelles), which gives evidence on the spurs formation by growth and merging of coral colonies due to prevailing waves. The relief and lower limit of spurs and channels depend on prevailing waves parameters. The spurs formation from the coral colonies growth result in the reef's expansion.

---

УДК 553.068.5

С. С. ОСАДЧИЙ

## ЛИНИЯ СНИЖЕНИЯ НИЖНЕГО КРАЯ ЗОЛОТОНОСНЫХ РОССЫПЕЙ И ЕЕ ЗНАЧЕНИЕ

Как известно, транспортировка полезных ископаемых в россыпях является узловой проблемой в образовании россыпей и в разработке методики поисков россыпных и коренных месторождений — проблемой настолько важной, что она постоянно находится в сфере внимания не только отдельных исследователей, но и целых исследовательских коллективов. Излагаемый в настоящей статье материал представляет собой попытку с помощью геолого-геоморфологических методов способствовать решению этой проблемы. Автором выдвигается понятие «линия снижения нижнего края золотоносных россыпей». Генетическая сущность линии снижения логически вытекает из широко известных представлений о способности свободного золота в россыпях к слабому продольному смещению в процессе трансформации россыпей в масштабах геологического времени. Такая способность золота проявляется прежде всего в россыпях с длительной историей развития в условиях циклически-постоянного (дискретного) врезания рек и подпитки золотом из коренных источников и промежуточных коллекторов.

В условиях длительных неотектонических поднятий либо на поднятых сооружениях типа сводов происходит врезание рек и при благоприятной металлогенической обстановке образование россыпей. Россыпи первого этапа врезания имеют минимальную протяженность и располагаются в непосредственной близости от коренных источников. На следующем этапе врезания речной долины (сети) эти россыпи переотлагаются, частично превращаются в террасовые. Вновь образуемые за счет