

ЛИТЕРАТУРА

- Благоволин Н. С. и Цветков Д. Г. Изучение динамики склонов методом повторной фототеодолитной съемки. В сб.: Геоморфология, вып. 1. Материалы Моск. фил. Геогр. о-ва СССР. М., 1967.
- Блохин Н. А. Стереофотограмметрическая наземная съемка. М.—Л., ОНТИ НКТП СССР, 1937.
- Валуев А. С. О расчете отстояний и базисов фотографирования при фототеодолитных съемках. Геодезия и картография, 1962, № 7.
- Лобанов А. Н. Фототопография. Наземная стереофотограмметрическая съемка. М., «Недра», 1968.
- Попов И. И., Горячун Ю. Г. Горный обвал в Крыму. Природа, 1968, № 3.
- Рапасов П. Н. Составление карт методом комбинированной наземной и воздушной стереофотограмметрической съемки. М., Геодиздат, 1958.
- Современные экзогенные процессы рельефообразования. М., «Наука», 1970.
- Цветков Д. Г. Определение изменения объема горных ледников по материалам стереофотограмметрических съемок. В сб.: Материалы гляциологических исследований. Хроника, обсуждения, № 15, М., 1969.

Институт географии
АН СССР

Поступила в редакцию
15.IX.1970

THE USE OF A REPEATED LAND PHOTOGRAPHIC SURVEYING FOR THE STUDY OF THE RELIEF'S DYNAMICS

N. S. BLAGOVOLIN AND D. G. TSVETKOV

Summary

In order to make a quantitative evaluation of the velocity of present-day exogenic geomorphic processes and the surface dynamics in the Mountain Crimea there was carried out a three-stage (with a two-year interval) land stereoscopic photographic survey of 12 objects under different geological and geomorphological conditions. The article presents methods and the first results of analysis of the survey materials for the following two objects: a collapsed and crumbled slope of the Demerdzha mountain near the town of Alushta and a badland plot in the East Crimea. The rate of denudation and accumulation on separate plots of slopes was defined; the volume of demolished and accumulated material calculated. The reliability of the results obtained was evaluated and their representativeness proved. This method is economical, accurate, and documentary. It is recommended for the use in other mountain areas.

УДК 528.7 : 551.462(267)

Г. В. БОГОРОВ, А. В. ИЛЬИН, И. Г. ИНДИЧЕНКО

ПРИМЕНЕНИЕ СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА ПРИ ИЗУЧЕНИИ МИКРОРЕЛЬЕФА ДНА ИНДИЙСКОГО ОКЕАНА

Приводятся данные по микрорельефу дна Индийского океана, полученные с помощью новой стереофотоустановки «Микроб-68». Даны результаты фотограмметрической обработки стереопар-планы микрорельефа дна. Описана методика юстировки камер, в результате которой стал возможен количественный анализ микрорельефа дна. Сделаны выводы о происхождении микрорельефа различных геоморфологических зон.

Изучение микрорельефа дна океана проводится, главным образом, методами глубоководного фотографирования. Наиболее широкое распространение в практике океанографических исследований получила обычная фотография. Однако для количественных оценок микрорелье-

фа дна океана применение этого метода ограничено, поскольку по одиночным снимкам невозможно определить вертикальные размеры неровностей.

В Акустическом институте была разработана и изготовлена стереофотоустановка «Микроб-68» (Богоров, Ильин, Архипкин, 1970), позволявшая применить стереофотограмметрический метод изучения микро-рельефа дна океана на глубинах до 10 000 м.

Вся установка (весом около 300 кг) с помощью стального троса опускается на дно океана. Конструкция представляет собой стальную ферму, которая в рабочем положении наклонена по отношению к горизонту на 40° . На верхнем конце фермы укреплены два фотобокса. На нижнем конце установлены боксы с осветительным устройством (две импульсные лампы по 120 Дж. каждая) и груз-разведчик на тросе, подающий электрический импульс на реле камер при достижении им дна. Съемка осуществлялась с высоты около 5 м над дном.

Фотобоксы двух камер смонтированы на общей стальной раме. В передней части каждого бокса имеется иллюминатор из органического стекла толщиной 70 мм, выполненный в виде усеченного конуса. Выбор оргстекла как материала для иллюминаторов вызван условиями эксплуатации установки. Основания иллюминаторов — параллельные шлифованные плоскости.

В каждом боксе помещено по фотограмметрической камере одинаковой конструкции. Расстояние между узловыми точками, соответствующее длине съемочного базиса, составляет 300 мм. Камеры снабжены широкоугольным объективом ОКС-2-28-1 с фокусным расстоянием 28 мм. Размер 40×40 мм. В плоскости изображения, даваемого объективом, установлена прикладная рамка с плоско-параллельным стеклом, на котором нанесены координатные метки, выполненные в виде креста с бисектором. В месте пересечения прямых, проведенных через противоположные координатные метки на стекле, выгравирован крестик, соответствующий главной точке снимка. Такая фиксация главной точки облегчает юстировку камеры. Съемка производится на 70-миллиметровой перфорированной пленке, которая во время экспонирования выравнивается с достаточной точностью путем прижима ее плоским столом к прикладной рамке. Специальный транспортирующий механизм перемещает пленку на один кадр после каждой экспозиции. В момент экспозиции механизм блокируется, что исключает возможность перемещения пленки. В этот момент прижимной стол находится в рабочем состоянии.

Затворы в фотокамерах отсутствуют, поскольку установка рассчитана для съемки на больших глубинах. Величина экспозиции определяется мощностью двух импульсных ламп, которые включаются при касании грузом-разведчиком дна.

Фотобоксы соединены с рамой: задняя часть бокса посредством шарнирной пяты, а передняя часть — посредством стального неподвижного кольца с четырьмя юстировочными болтами. Такое соединение позволяет заранее установить элементы взаимного ориентирования камер для нормального случая съемки.

Установка основных параметров, поверки и юстировки фотокамер были выполнены в лаборатории аэрометодов МГУ. При расчете допусков установок фокусных расстояний, положений главных точек, перпендикулярности оптических осей камер и других элементов внутреннего и взаимного ориентирования авторы исходили из формул ошибок, приведенных в работе И. А. Блохина (1937). В качестве исходных величин приняты ошибки измерения на стереокомпараторе координат точек $m_x = m_z = \pm 0,01$ мм и параллакс $m_p = \pm 0,005$ мм (Лобанов, 1968). Уравнение фокусных расстояний производилось путем сопоставления масштабов изображения в плоскости прикладной рамки контрольной рейки, установленной от камер на одном и том же расстоянии, при мак-

симальной резкости ее изображения. Результаты проверок установки фокусных расстояний, выполненные на оптической скамье, показали, что точность их определения находится в пределах $\pm 0,02$ мм, что соответствует требованиям.

С помощью автоколлимационного способа (Пер, 1950; Афанасьев, 1968) положения главных точек обеих камер были установлены с точностью $\pm 0,02$ мм в плоскости прикладной рамки. Для нормального случая съемки обе фотокамеры необходимо было установить в такое положение, при котором их оптические оси параллельны, лежат в одной плоскости и перпендикулярны базису. Установка угловых элементов взаимного ориентирования, согласно поставленным задачам и величинам допустимых ошибок, проводилась на специально смонтированном автоколлимационном устройстве с точностью около $\pm 0,5$.

После всех юстировок положение камер было зафиксировано с помощью специальных винтов, и установка «Микроб-68» была готова к проведению глубоководных съемок дна океана. В 1969 г. геологическим отрядом экспедиции на научно-исследовательском судне (НИС) «Петр Лебедев» с помощью установки «Микроб-68» было получено 200 стереопар снимков дна Индийского океана.

Для нормального случая съемки, при условии, что фотограмметрические камеры и объект находятся в однородной воздушной среде, существует известная математическая зависимость между пространственными координатами точки и плоскими координатами ее изображения на снимке. Эта зависимость выражается равенствами:

$$Y = \frac{bf_k}{p}; \quad X = \frac{bx_1}{p}; \quad Z = \frac{bz}{p}, \quad p = x_1 - x_2 \quad (1)$$

где Y, X, Z — пространственные координаты точки; x_1, x_2, z — плоские координаты изображения точки на снимке; f_k — фокусное расстояние камеры; b — базис съемки, p — параллакс.

При фотографировании в воде лучи света преломляются на границе вода-воздух, в результате чего нарушается ортоскопичность изображения. Это нарушение можно рассматривать как дополнительную дисторсию. Поэтому измеренные на снимках плоские координаты изображения точек требуют исправления при вычислении пространственных координат. Таким образом, формулы пространственных координат точек объектов, сфотографированных в воде, примут вид:

$$Y = \frac{bf_k}{p}; \quad X = \frac{bx_{w1}}{pw}; \quad Z = \frac{bz_w}{pw}, \quad (2)$$

где Y, X, Z — пространственные координаты точки; x_{w1}, x_{w2}, z_w — плоские координаты изображения точки на снимке, исправленные коэффициентом редукции; $pw = x_{w1} - z_w$ — параллакс и координаты точки на снимке, исправленные коэффициенты редукции.

Вычисление исправленных величин производят по формуле

$$x_{w1} = x_1 i_1; \quad x_{w2} = x_2 i_2; \quad z_{w1} = x_1 i_1 \quad (3)$$

В свою очередь коэффициент редукции i выражается следующей формулой (Люцилов, 1957):

$$i = \frac{f_k}{n \sqrt{\frac{n^2 - 1}{n^2} r^2 + f_k^2}}, \quad (4)$$

где r — расстояние от главной точки снимка до определяемой; n — коэффициент преломления воды.

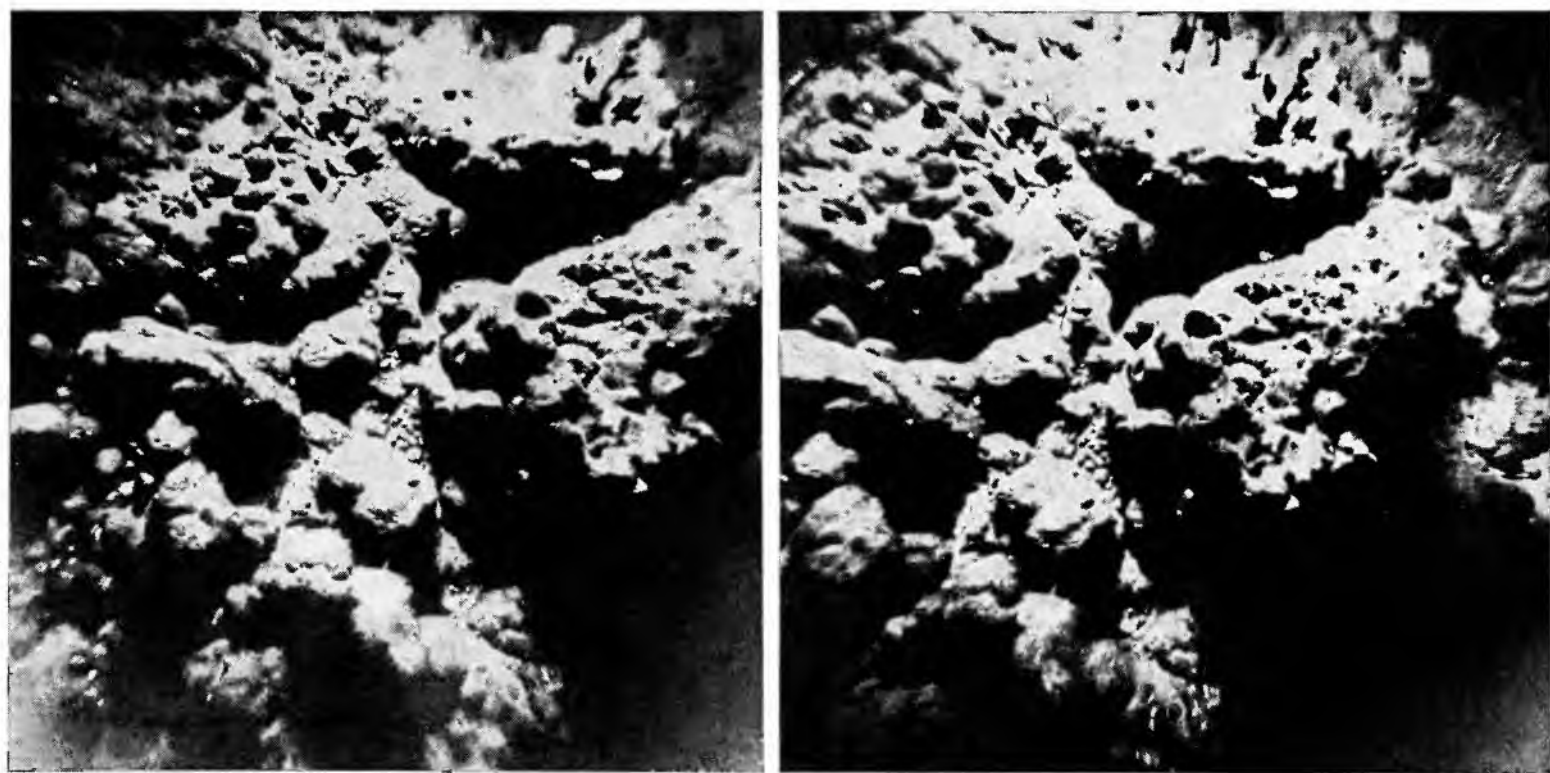


Рис. 1. А — стереопара участка дна океана на гребне Аравийско-Индийского хребта.
Ф=5°18' с. ш.; λ =62°11' в. д.; глубина — 2600 м.; площадь 19,4 м²

Из приведенных формул нетрудно заметить особенность и сложность стереофотограмметрической обработки снимков, полученных в воде. Для определения коэффициента редукции необходимо знать показатель преломления морской воды. В реальных условиях вода по своим свойствам не является оптически однородной средой, в связи с чем величина n на различных глубинах не будет постоянной. Непостоянство величины также связано с изменениями температуры и солености воды.

Как показали исследования (Бабак и др., 1969), колебания величины показателя преломления, обусловленные изменениями температуры воды, составляют:

$$\Delta n_{\max t} \approx 0,003, \quad (5)$$

а колебания n , обусловленные изменением солености воды:

$$\Delta n_{\max S} \approx 0,008. \quad (6)$$

Учитывая практическую невозможность определить с достаточной точностью показатель преломления воды в различных участках водного пространства, попадающего в поле зрения объекта в момент съемки, мы будем считать приведенные величины колебания (Δn) как ошибки определения величины n . Учитывая величины параметров камер установки Микроб-68 и величину ошибки в определении n , можно предвычислить ошибку в определении пространственных координат для точек изображения. Расчеты показывают, что ошибка в определении величин пространственных координат на краю снимка при погрешности $\Delta n = \pm 0,01$ достигает 60—80 мм, что в несколько раз больше, чем ошибки определения пространственных координат этих точек в воздухе.

В порядке опыта ряд стереопар был обработан на стереоавтографе 1318-Е1. Обработка снимков на этом приборе осуществлялась по методу преобразованных связей, поскольку не соответствовала установочным значениям фокусных расстояний стереоавтографа.

Для автоматического исключения суммарной фотограмметрической дисторсии при работе на стереоавтографе левый и правый негативы укладывались плоскими поверхностями вниз на специально изготовленные стеклянные сферические сегменты. Величина радиуса сферического сегмента была рассчитана так, что положительная дисторсия системы объектив-воздух-вода при отстоянии до объекта 5 м полностью компенсировалась отрицательной дисторсией сферического сегмента (при условии ортогонального наблюдения точек изображения сквозь сферический сегмент).

Отвесное положение оптических осей устанавливается с помощью нивелиров перед спуском прибора. Однако, следует отметить, что на большой глубине возможны незначительные отклонения от этого положения. Поэтому проекции изображаемых объектов на плане производились на плоскость перпендикулярную оптическим осям. В связи с этим вопрос внешнего ориентирования прибора в воде, в частности, на большой глубине требует дальнейшего технического решения.

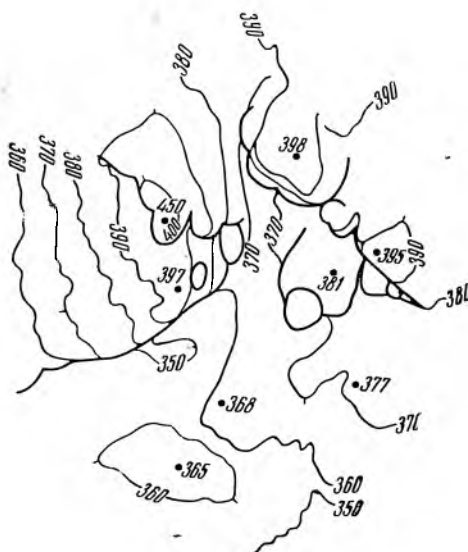


Рис. 1 Б — план микрорельефа, составленный по стереопаре 1, А.

Высота сечения—10 см, масштаб составления 1 : 20 (то же на рис. 2 и 3)

В результате стереофотограмметрической обработки снимков были получены планы микрорельефа участков дна в масштабе $1/20$ в условной системе высот, с высотой сечения рельефа 10 см. На приведенных планах микрорельефа показаны также плановые положения отдельных камней и высоты их вершин (вертикальные размеры) (рис. 1Б — 6Б).

Полученные на некоторых снимках изображения груза разведчика, размеры которого известны, позволили нам решить в какой-то мере вопрос оценки точности полученных результатов измерений.

Проведенные многократно измерения по снимкам диаметра груза-разведчика, величина которого 250 мм, дали величину его 240—260 мм, т. е. ошибку порядка ± 10 мм.

Предвычисленная ошибка в определении диаметра груза-разведчика $m_{\varnothing}$ за счет ошибки Δn равна:

$$m_{\varnothing} = \frac{Dm_x\sqrt{2}}{x} = \frac{250 \cdot 60 \cdot \sqrt{2}}{1840} \approx \pm 10 \text{ мм} \quad (7)$$

где $D=250$ мм диаметр груза-разведчика; $x=1840$ мм расстояние на местности; $m_{\varnothing}=60$ мм — ошибка измерения x за счет ошибки Δn .

Таким образом, ошибка предвычисленная и полученная путем стереофотограмметрических измерений имеют один и тот же порядок ± 10 мм.

Для анализа микрорельефа дна различных геоморфологических зон, а также для выяснения роли эндогенных и экзогенных процессов в образовании микрорельефа нами были использованы ниже приведенные результаты стереофотограмметрической обработки — планы микрорельефа.

На рис. 1 (А, Б) показаны стереопара и составленный по ней план микрорельефа одного из участков Аравийско-Индийского хребта. Все микроформы на фотографии имеют характерную округлую форму, свойственную подушечным вулканическим лавам. В правом верхнем углу снимка застывшая лава образует нависшую над ровным дном террасу, расположенную на высоте 40 см от начальной (нулевой) плоскости проекции. Терраса рассечена узким ущельем. На всей площади снимка (2,3) м² рыхлые осадки полностью отсутствуют. В центральной части снимка около главной точки видны мелкие обломки лавы и продукты жизнедеятельности донных организмов.

Другой тип микрорельефа представлен на рис. 2 (А, Б). Снимок также сделан на гребне Аравийско-Индийского хребта. На снимке видна застывшая лава, однако формы ее здесь совершенно иные. Вместо плавных, округлых очертаний шаровой или подушечной лавы, для этого участка характерна угловатость форм микрорельефа. Монолитные блоки лавы разбиты трещинами на отдельные куски. Глядя на снимок, можно прийти к выводу, что данный участок дна покрыт обломками разнообразных размеров, причем в большинстве случаев вертикальные размеры форм $h_{\max}$ в несколько раз превышают горизонтальные $l_{\max}$ (табл. 1). Такие соотношения вертикальных и горизонтальных размеров несвойственны каменным обломкам, но характерно для отдельных некоторых пород, например, столбчатых отдельностей базальтов, еще сохраняющих механическую связь с монолитным массивом породы.

Сравнение двух участков гребня хребта (рис. 1 и 2) указывает на существенные различия в их морфологии. Более того, изображения на всех других снимках, полученных в зоне гребня Аравийско-Индийского хребта, очень сильно отличаются, хотя снятые участки расположены близко друг от друга (Житковский, Ильин, 1971). Такое обилие типов микроформ вулканического рельефа свидетельствует о многообразии

процессов, сопровождающих излияние и застывание лавового материала.

Судя по фотографиям, полученным на НИС «Петр Лебедев», в микрорельефе гребня Аравийско-Индийского хребта выделяются две категории форм — шаровые, или подушечные, лавы и столбчатые отдельно-сти. Эти типы микрорельефа чередуются, сменяя друг друга на расстояниях десятков или сотен метров. Такая резкая смена микрорельефа на столь незначительных расстояниях трудно объяснима. Можно было бы отнести указанные различия за счет двух разных типов извержения

Таблица 1

Вертикальные и горизонтальные размеры каменного материала на рис. 2

$l_{\max}$, см	$d_{\max}$, см	$h_{\max}$, см	$l_{\text{ор}}$, см	$d_{\text{ср}}$, см	$h_{\text{ор}}$, см	$l_{\max}$, см	$d_{\max}$, см	$h_{\max}$, см
36	24	80				32	20	118
26	20	88				34	20	115
38	22	75	38	27	102	32	24	125
40	36	98				34	30	145

лавы (Бонатти, 1966). В первом случае лава изливается медленно, с образованием стеклянной корки на поверхности и плавных подушечных форм рельефа. Во втором случае лава вытекает быстро, активно взаимодействуя с водой, образуя раздробленные лавовые обломки-гялокластиты. К. К. Зеленов (1963) также связывает особенности различного проявления вулканизма на поверхности с вязкостью лавы.

В нашем случае трудно предположить, чтобы на столь малой площади — сотни квадратных метров — могла изливаться лава различных типов. Обычно один и тот же тип лавы характеризует более обширные районы. Так, существуют гавайский, пелейский, стромболианский и т. д. типы извержения вулканов. Каждый из них характерен для площадей в десятки и сотни квадратных километров. Кроме того, надо учитывать, что на дне глубокого океана различия в характере излияния различных типов лав должны сглаживаться. По мнению Г. Менарда (1966) гидростатическое давление замедляет скорость излияния лавы и способствует формированию подушечных форм рельефа. Не исключено, однако, что один и тот же тип лавы, в зависимости от специфики излияния, может образовывать различные формы микрорельефа. По-видимому, не последнюю роль в формировании различных типов микрорельефа играют изменения лавовых покровов на дне океана. Эти изменения могут быть вызваны тектоническими причинами и подводным выветриванием. Известно, что Аравийско-Индийский хребет является составной частью системы срединно-океанских хребтов, для рифтовых зон которых характерны процессы растяжения земной коры. Возможно, что угловатые, резкие очертания микрорельефа, отвесные обрывы и трещины являются следствием разрывной тектоники. Подводное, главным образом, химическое выветривание в сочетании с придонными течениями может приводить к формированию столбчатых отдельностей базальтов, зафиксированных на стереоснимках.

В понижениях между выступами вулканической лавы лежат рыхлые осадки — глобигериновые пески и алевроиты. Соотношение площадей обнаженного дна и участков, покрытых осадками ($5,4 \text{ м}^2$: $4,6 \text{ м}^2$) несколько больше единицы. Это свидетельствует о преобладании выходов вулканических пород. По-видимому, процесс захоронения первичного вулканического рельефа начался сравнительно недавно. Следует отметить, что для микроформ вулканического рельефа характерны большие углы наклона — 20° — 30° .

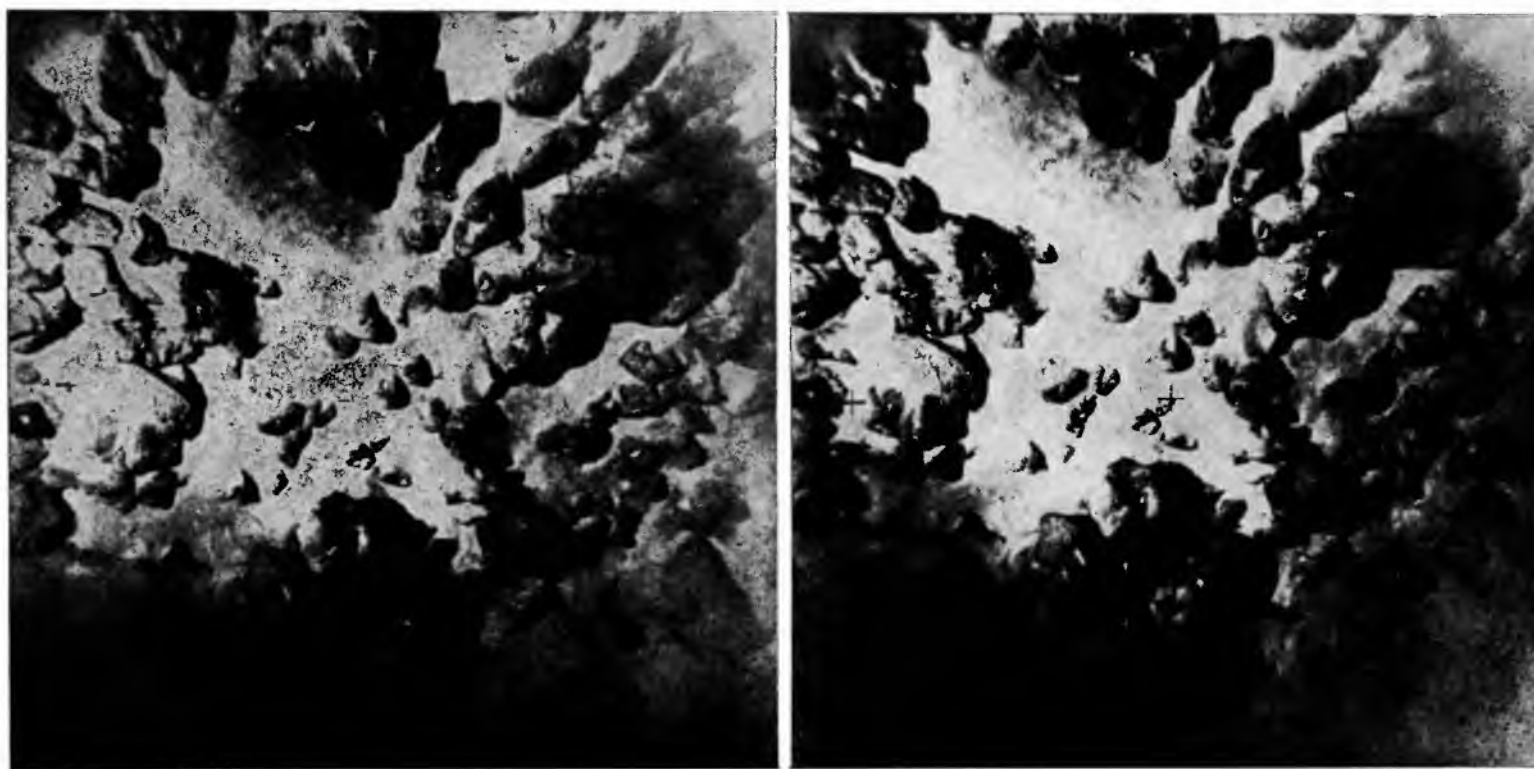


Рис. 2. А — стереопара участка дна океана на гребне Аравийско-Индийского хребта.
φ=5°23' с. ш.; λ=62°07' в. д.; глубина — 2 600 м; площадь — 25 м²

Особый тип микрорельефа возникает в результате воздействия придонных течений на песчаные отложения. При этом образуются знаки ряби (рис. 3, А, Б). Площадь снимка равна $19,4 \text{ м}^2$, закартированная часть составляет $10,5 \text{ м}^2$. Первичный лавовый микрорельеф почти полностью погребен под осадками: площадь, занятая лавой, составляет лишь около 1 м^2 .

Указанный район находится в зоне действия мощного, постоянного Сомалийского течения. Согласно Д. Брусу и Г. Волкману, ось геострофического течения находится на глубине 600 м , где скорость течения $>50\text{--}60 \text{ см/сек.}$ (Bruse, Volkman, 1969). Это течение охватывает водную толщу до глубины 2000 м , где скорость течения порядка 10 см/сек. На глубине 3000 м скорость течения уже превышает 10 см/сек. Знаки ряби на рис. 3, А являются косвенным доказательством наличия этого течения.

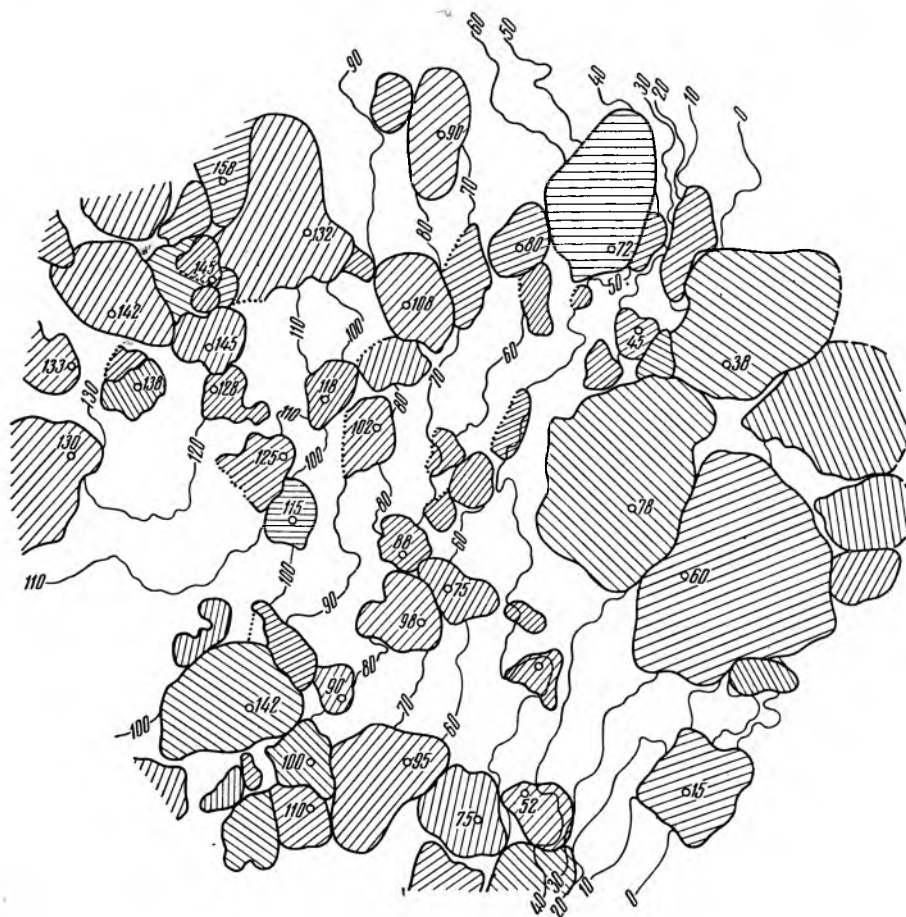


Рис. 2 Б — план микрорельефа, составленный по стереопаре 2, А.
Показано плановое положение камней и их максимальные высоты

Известно, что форма знаков ряби является характерным признаком, по которому можно судить о гидродинамических условиях в придонном слое воды. Различают рябь, созданную волнением, и рябь, образованную течением (Эванс, 1949; Рухин, 1953; Попов, Бабадаглы, 1963). В исследованном районе рифели имеют характерный асимметричный профиль — длинный наветренный склон и короткий подветренный. Подобная форма рифелей образуется при течении в одном направлении. Можно говорить о том, что в данном случае течение направлено со стороны

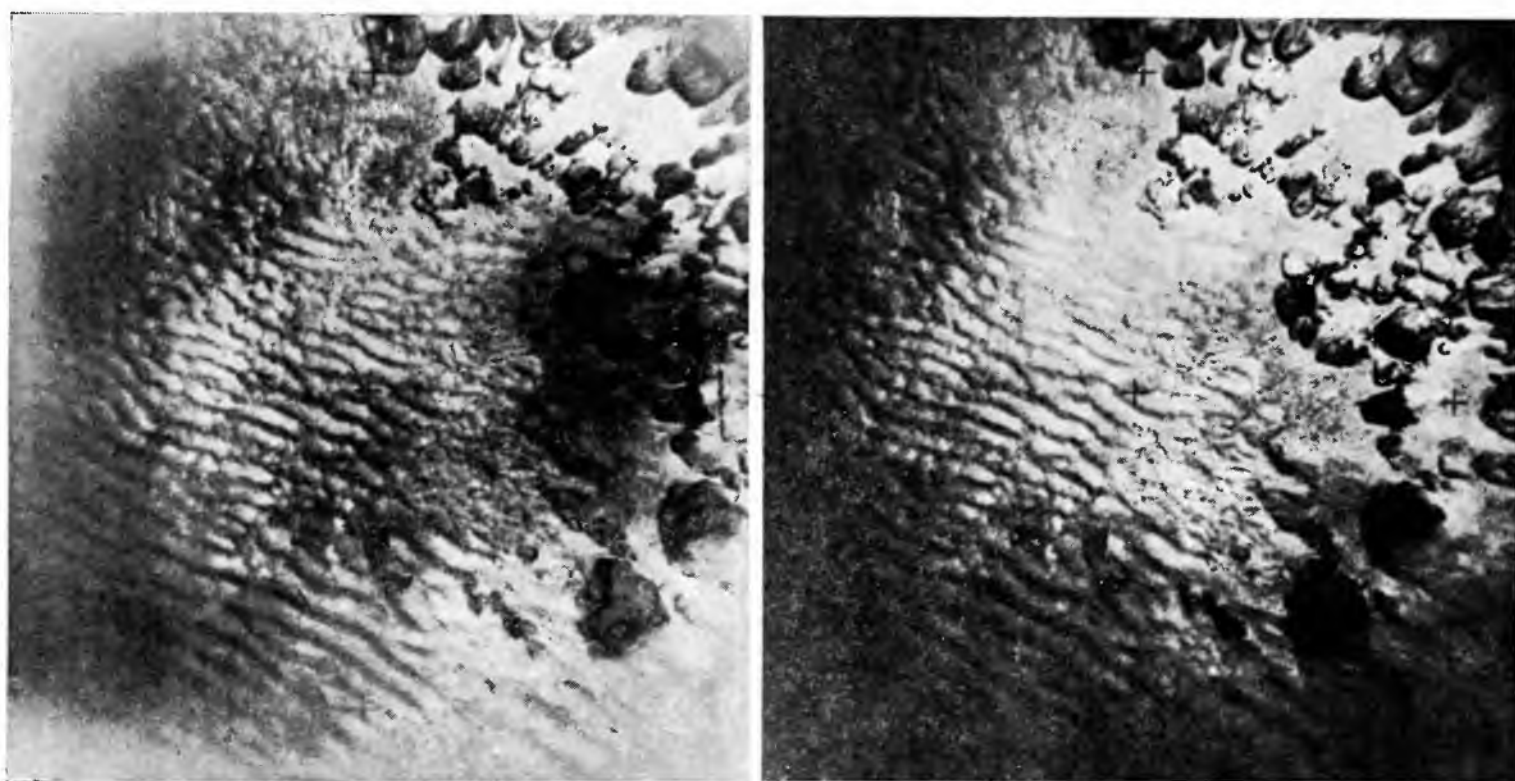


Рис. 3. А — стереопара участка дна океана на гребне Аравийско-Индийского хребта.
Ф=5°14,4' с. ш.; λ=62°14,3' в. д.; Глубина — 2,800 м, площадь 19,4 м²

выходов лавы. Здесь, в зоне тени от камней, рифели плохо развиты, а местами вообще размыты. Наиболее четкие рифели наблюдаются там, где нет выходов лавы. Высота четко выраженных рифелей 2,5—6,5 см. Степень асимметрии для некоторых рифелей определяется соотношением 2:1 при индексе знаков ряби от 1:4 до 1:10, что согласуется с характеристиками ряби, созданной течением (Киндл и Бючер, 1936).

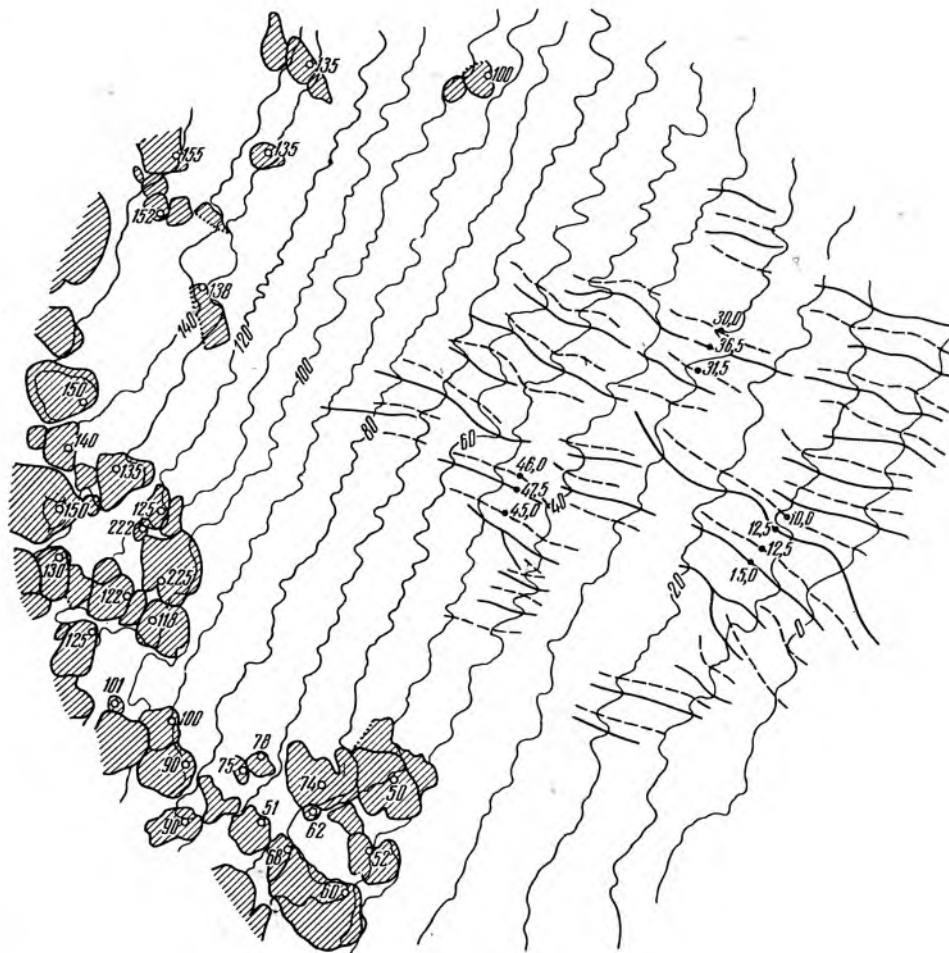


Рис. 3 Б — план микрорельефа, составленный по стереопаре 3, А.

Показано плановое положение камней и их максимальные высоты. Сплошные линии — гребни, прерывистые — впадины наиболее четко выраженных рифелей

Скорость придонного течения для района, показанного на рис. 3, не определялась. Однако известно, что знаки ряби могут образовываться только на песчаных отложениях. Пробы со дна этого района говорят о том, что осадок представлен глобигериновым песком. Знаки ряби на песчаных отложениях образуются при скоростях течений 10—40 см/сек. При повышении скорости они начинают разрушаться, а при скорости 80 см/сек исчезают совсем (Михайлова, 1952; Лонгинов, 1963). Для глобигериновых песков плотность которых порядка 1,5 г/см³ и размер частиц 0,2 мм, знаки ряби будут образовываться при скорости течений от 20 до 40 см/сек (Laughton, 1963).

Слева от центральной координатной метки среди рифелей наблюдаются отдельные вымоины. Они появляются в тех случаях, когда возникает поперечная циркуляция, но при дальнейшем росте рифелей исчеза-

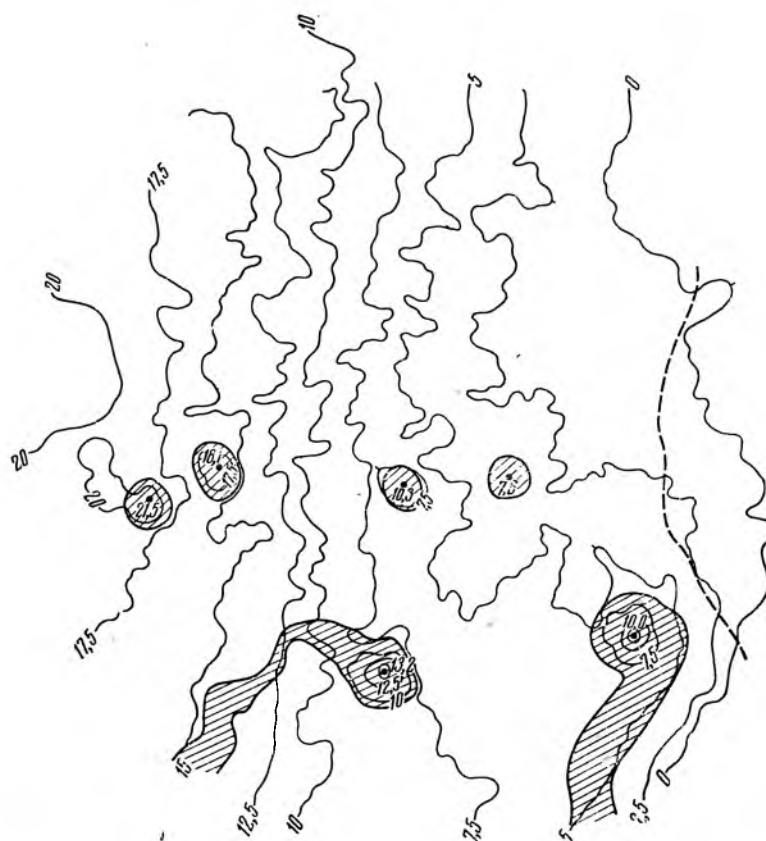


Рис. 4 Б — план микрорельефа, составленный по стереопаре 4, А.
Высота сечения — 2,5 см; пунктиром показаны в плане конусы биогенного происхождения

ют (Михайлова, 1952). Рост длины волны рифеля продолжается до тех пор, пока его средний участок не приобретает уклона, соответствующего данным гидравлическим условиям.

Таблица 2

Вертикальные и горизонтальные размеры каменного материала
на рис. 3 (А, Б)

$l_{\text{тах}}, \text{ см}$	$d_{\text{тах}}, \text{ см}$	$h_{\text{тах}}, \text{ см}$	$l_{\text{тах}}, \text{ см}$	$d_{\text{тах}}, \text{ см}$	$h_{\text{тах}}, \text{ см}$	$l_{\text{тах}}, \text{ см}$	$d_{\text{тах}}, \text{ см}$	$h_{\text{тах}}, \text{ см}$
18	10	68	36	24	74	22	12	90
18	18	51	24	18	52	12	12	78
						20	20	118

Таблица 3

Морфометрическая характеристика биогенных конусов рыхлых отложений

Диаметр основания, см	Высота, см	Угол наклона	Диаметр основания, см	Высота, см	Угол наклона
12	7,6	51°42'	20	13,2	52°51'
10	10,3	67°7'	24	10,0	39°49'
14	21,5	71°58'	14—16	18,1	50°21'

Каменный материал на рис. 3 (А, Б) почти полностью погребен под глобигериновым песком. Та его часть, которая еще не погребена, тоже припудрена осадками. Для камней характерна угловатость форм. Вер-

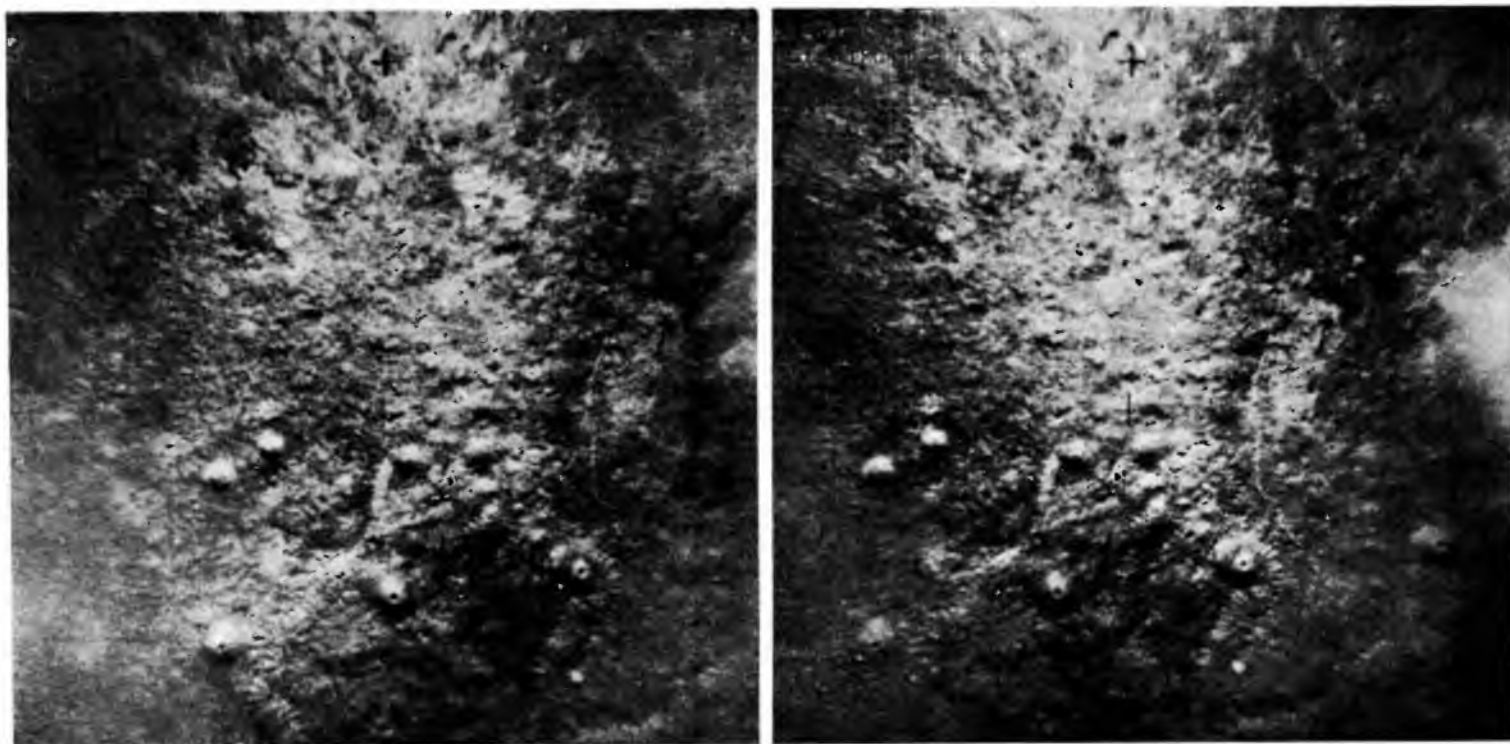


Рис. 4. А — стереопара участка дна океана на абиссальной равнине Бенгальского залива.
 $\varphi=7^{\circ}43'$ с. ш.; $\lambda=33^{\circ}$ в. д.; глубина — 3650 м; площадь — 10 м²

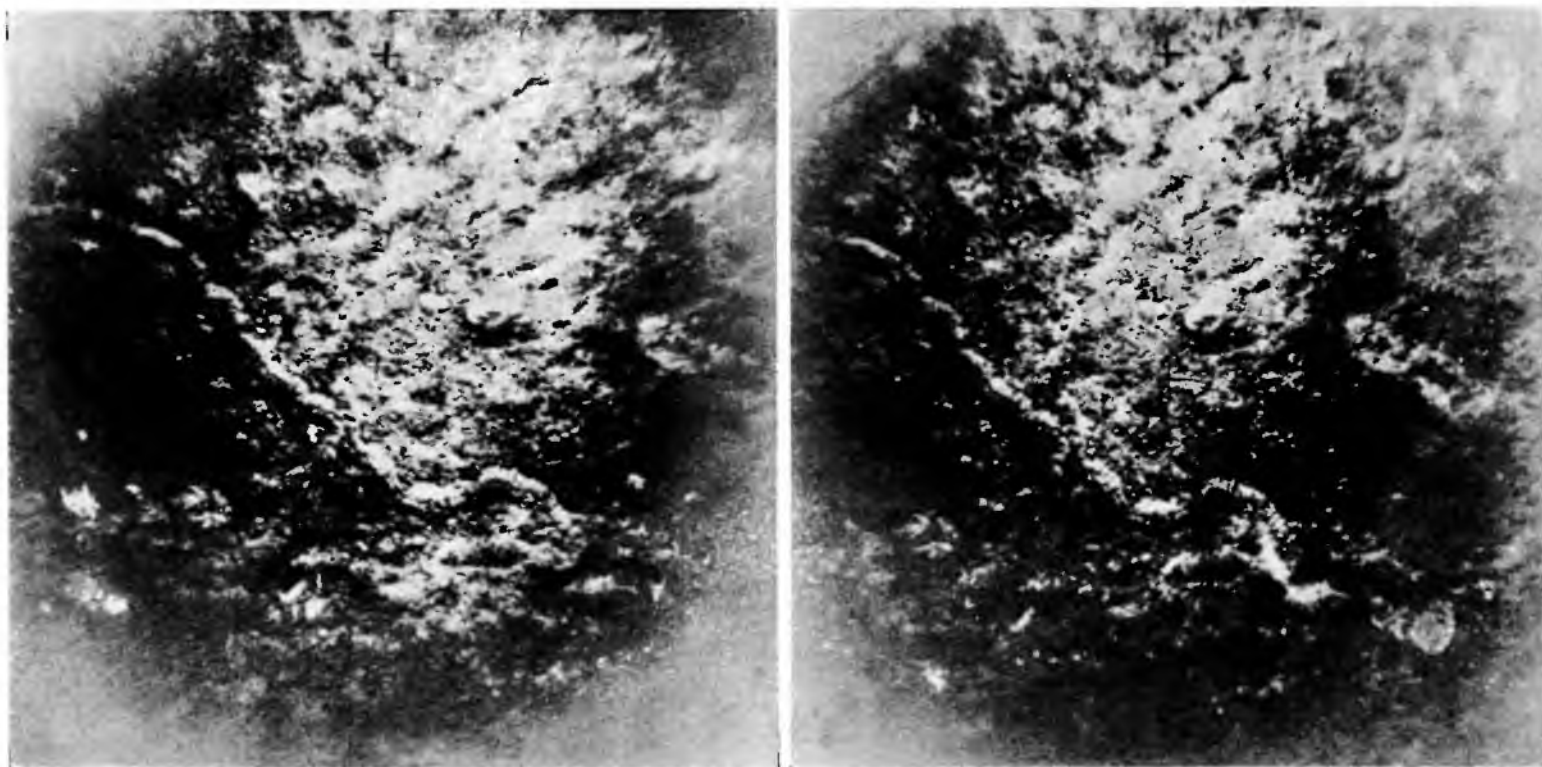


Рис. 6. А — стереопара участка дна океана на абиссальной равнине Бенгальского залива.
Ф=7°43' с. ш.; λ=88° в. д.; глубина — 3 650 м; площадь — 10 м²

тикальные размеры отдельных камней превышают их размеры по горизонтали (табл. 2).

Своеобразный микрорельеф образуется в результате жизнедеятельности донной фауны (рис. 4, А, Б; 6, А, Б)

Фотография и план микрорельефа на рис. 4 (А, Б) характеризуют участки дна Индийской абиссальной равнины.

Донные отложения представлены здесь глобигериновым илом. Неровная бугристая поверхность является типичной для участков дна, где протекает интенсивная жизнедеятельность донных организмов. Характерны расположенные в центре кадра конусы, построенные из рыхлого осадочного материала. Некоторые из них в вершинной части имеют отверстия. О морфометрии конусов можно судить по таблице 3 и рис. 5. Обращает на себя внимание большая крутизна склонов конусов.

Конусы создаются роющими организмами, подповерхностный след которых отчетливо виден на фотографиях. Ширина следа — 10—12 см. По краям он имеет характерную рубчатую форму. След прерывистый, и места прерыва соответствуют местоположению конусов.

Микрорельеф, сходный с вышеописанными, показан на рис. 6 (А, Б). Отличие заключается в том, что здесь отсутствуют биогенные конусы. Ходы придонных организмов шириной 11—16 см и высотой 2 см, представлены довольно широко.

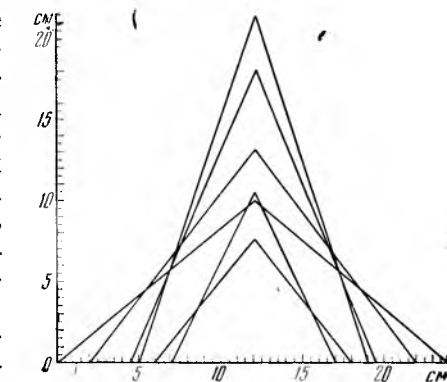


Рис. 5. Конусы биогенного происхождения по рис. 4, А.

Отношение вертикального масштаба к горизонтальному 1 : 1

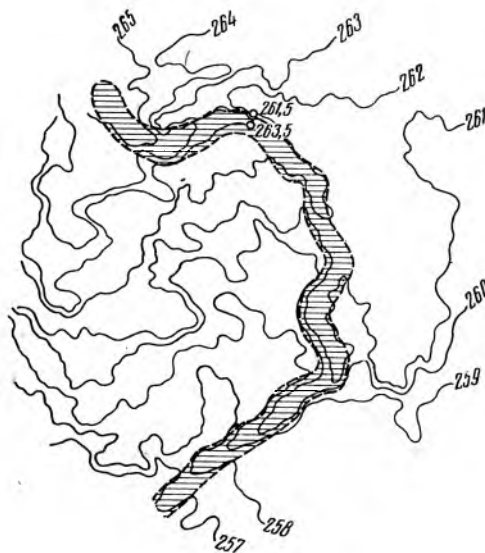


Рис. 6 Б. — план микрорельефа, составленный по стереопаре 6, А.

Высота сечения — 1 см; масштаб — 1 : 20. Пунктиром показан в плане след роющего организма

Необходимо отметить что ярко выраженные формы биогенного микрорельефа чаще всего свойственны абиссальным равнинам. Это может быть связано с повышенным содержанием органического вещества, выносимого на абиссальные равнины из мелководных районов океана. В других зонах дна, где повышенные содержания органики не характерны, микрорельеф не имеет столь контрастных форм.

Приведенные результаты являются первыми в Советском Союзе данными по изучению микрорельефа дна глубокого океана методами стереофотограмметрии. Эти результаты свидетельствуют о преимуществах измерительной фотографии в исследованиях дна океана, а также о необходимости

продолжения опытов по созданию более совершенных глубоководных стереофотокамер, дальнейшего развития методики съемки и стереофотограмметрической обработки полученных материалов.

Авторы выражают благодарность Б. М. Фаминцеву, составившему планы микрорельефа, а также О. С. Карандашову, В. Н. Крылову, И. И. Шурко и И. М. Шерстневу, при участии которых были получены фотографии дна.

ЛИТЕРАТУРА

- Афанасьев В. А. Оптические измерения. М., Геодезиздат, 1961.
 Бабак Э. В., Иванов П. Д., Котлецов Б. Н., Родионов С. А. Подводная фотография. Л., «Машиностроение», 1969.
 Блохин И. А. Стерефотограмметрическая наземная съемка ОНТИ НКТП, М.—Л., 1937.
 Богоров Г. В., Ильин А. В., Архипкин А. А. Новая стереофотоустановка для подводного фотографирования. Конструкция и результаты исследований. «Океанология», 1970, т. 10, № 5.
 Бонатти Э. Механизм глубоководного вулканизма в южной части Тихого океана. Тезисы докл. II Междунар. океанографического конгресса. М., «Наука», 1966.
 Житковский Ю. Ю., Ильин А. В. Новые данные о рельефе Аравийско-Индийского хребта. ДАН СССР, 1971, т. 196, № 3.
 Зеленков К. К. Подводный вулканизм и его роль в формировании осадочных пород.— В сб.: Вулканогенно-осадочные и терригенные формации. М., Изд-во АН СССР, 1963.
 Киндл Е. М., Бючер У. Х. Знаки ряби и их истолкование.— В кн.: Твенхофел У. Х. Учение об образовании осадков. М.—Л., «ОНТИ — НКТП — СССР», 1936.
 Лобанов А. Н. Фототопография. Наземная стереофотограмметрическая съемка. М., «Недра», 1968.
 Лонгинов В. В. Основы динамики берегов бесприливных морей. Изд-во АН СССР, 1963.
 Лошилов В. С. Метод подводной стереофотосъемки в океанографических исследованиях. Проблемы Арктики, Л., 1957, № 2.
 Менард Г. У. Геология дна Тихого океана. М., «Мир», 1966.
 Михайлова Н. А. О механизме образования и движения песчаных волн. Изв. АН СССР. Сер. геофизич., 1952, № 1.
 Пер А. Г. Производство оптико-механических приборов, М., 1959.
 Попов В. И., Бабадаглы В. А. Гармонические серии знаков песчаной ряби.— Сб.: Дельтовые и мелководные морские отложения. М., Изд-во АН СССР, 1963.
 Рухин А. Б. Основы литологии. Гостоптехиздат, 1953.
 Bruce J. G. and Volkman G. H. Some measurements of current off the Somali coast during northeast monsoon. J. Geophys. Res., 1969, vol. 74, № 8.
 Evans O. F. Ripple marks as an aid in determining depositional environment and rock sequence. J. Sediment Petrol., 1949, vol. 19, № 2.
 Laughton A. S. Microtopography. The Sea vol. 3. «Pergamon press», 1963.

Акустический институт,
 Географический факультет
 Московского госуниверситета
 им. М. В. Ломоносова

Поступила в редакцию
 18.V.1970

THE USE OF A STEREOSCOPIC PHOTOGRAMMETRIC METHOD FOR STUDYING MICRORELIEF OF THE INDIAN OCEAN'S FLOOR

G. V. BOGOROV, A. V. ILYIN, AND I. G. INDICHENKO

Summary

Presented are data on microrelief of the floor of the Indian Ocean obtained with the help of a new stereoscopic photographic device «Microb-68». The stereopar-plan of the floor's microrelief has been subjected to a photogrammetric treatment. Described are methods of the adjustment of cameras and a quantitative analysis of the microrelief. There are some conclusions on the origin of the microrelief of different geomorphological zones and an analysis of errors in the definition of spatial coordinates of objects' points for the use of the stereoscopic photogrammetric method in underwater research.