

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 551.462(262.5)

В. П. ЗЕНКОВИЧ

НЕКОТОРЫЕ ФОРМЫ МЕЗОРЕЛЬЕФА МАТЕРИКОВОГО СКЛОНА
ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

За последние годы установлено, что даже на абиссальных равнинах морское дно может иметь очень сложный мезорельеф. Это системы желобов различной величины, а также поперечные к ним асимметричные валы, или «волны», сложенные илом. Глубина желобов с крутыми боковыми откосами достигает 20 м. «Волны» высотой 20—60 м не параллельны изобатам. Длина наиболее крупных из них достигает 2 км.

Обнаруженные формы рельефа имеют интерес не только сами по себе, но и как возможный показатель характера течений и их завихрений в так называемом «бентическом» (придонном) слое океана. Первые догадки о наличии мезоформ расчленения дна были сделаны при анализе характера различий линии записей эхолота новейшего типа с углом растворения ультразвукового конуса 4°. Работа выполнялась американскими учеными в районе восточнее Флориды и Багамской банки. Различить характер форм мезорельефа по эхограммам, полученным непосредственно с корабля, оказалось невозможным. Указанный прибор на глубине 1 км дает отражение от круга диаметром 70 м, а на глубине 5 км диаметр круга возрастает до 350 м. Кроме того, промерные галсы не могут быть проложены на нужных, весьма близких расстояниях друг от друга (Макрhee, 1976).

Поэтому для выявления подлинного характера мезорельефа ученые применили весьма остроумный метод. Над дном буксировался специальный контейнер, заключающий в себе узколучевой эхолот, сканирующий локатор бокового обзора, фотокамеру и указатель расстояния между контейнером и дном. Именно таким образом и были получены указанные выше данные.

Несравненно более сложное расчленение свойственно материковому склону. Однако он более доступен для изучения, так как на глубинах в несколько сотен м возможен визуальный осмотр дна из специальных автономных подводных аппаратов, а при наличии ультразвуковых локаторов бокового обзора («сканеры») формы мезорельефа записываются на ленту.

Автором проведены наблюдения материкового склона и подводных каньонов восточной части Черного моря (Зенкович, 1976; Зенкович и др., 1975, 1976, 1978). В первые два сезона работ (1973—1974) мы были вынуждены ограничиться осмотром дна через иллюминаторы и фотографированием с расстояния не более 5 м. При этом работе сильно мешал «морской снег», из-за которого видимость иногда падала до 2—3 м.

В результате одиннадцати галсов в районах Пицунды и Адлера удалось описать лишь отдельные формы рельефа, но четкой картины их распределения на дне и взаимных связей мы не получили. Поэтому и о генезисе форм пришлось высказывать лишь более или менее правдоподобные догадки.

В 1977 г. подводный аппарат был снабжен эхолотом с малым углом конуса, а также локатором бокового обзора. В Батумском районе работать пришлось в период дождей и сильных волнений. Поэтому видимость из-за мутности была минимальной и фотографировать было практически невозможно. Но зато боковой эхолот раскрыл нам удивительные картины. Несколько типичных отрезков записей даны на рисунках. На них легко удалось распознать уже в комплексе те формы рельефа, которые раньше мы осматривали в отдельности, а также некоторые новые, о которых вообще не имели представления. Отметим, что соображения о природе большинства ранее виденных форм рельефа оказались в общем правильными.

Рельеф материкового склона восточной части Черного моря расчленен весьма интенсивно. На участках исследований дно покрыто мощной толщей ила, который под поверхностным подвижным слоем значительно уплотнен и обнаруживает слоистость. В западной части из-под илов обнажаются местами плейстоценовые дельтовые отложения, сцементированные в плотную породу (сланцы, песчаники, конгломераты). Вниз по склону протягиваются ложа многочисленных подводных каньонов, врез которых достигает первых сотен м. Их борта обычно относительно пологи и лишь вблизи уплощенного дна встречаются отвесные срезы коренных пород (Леонтьев, Сафьянов, 1973). В основные каньоны открывается целая сеть боковых «притоков», т. е. подводных «оврагов», отн. глубиной до 50 м. Вблизи берега некоторые каньоны разветвляются на несколько «отвершков». На межканьонных пространствах дна весьма часты крутые (вплоть до вертикальных) уступы (преимущественно вдоль склона) высотой от нескольких до полутора-двух сотен м. На этих откосах повсеместно развиты циркообразные и ступенчатые оползни, а также формы гравитационного стекания («крип») в виде асимметричных илестых валов и «морщинистой» поверхности склонов.

Совершенно необычны ритмические формы «кулисных» илистых гряд, расположенные на бортах каньонов и их притоков, а также протягивающиеся поперек некоторых относительно плавных уступов, как параллельных склону, так и идущих под уклон. Высота этих форм по визуальным наблюдениям варьирует от 10 до 15 м, а расстояния между смежными грядами составляют 20—40 м. Склоны гряд исключительно круты (до 45°) и почти столь же крут общий уклон венчающих их острых гребней. По форме эти гряды симметричны и, следовательно, могут быть созданы только реверсивными течениями. В каньонах последние были изучены американскими авторами (Шепард, Дилл, 1972).

В сезон 1977 г. все перечисленные достаточно крупные формы рельефа были зафиксированы на записях локатора бокового обзора. Новым для нас элементом явились потоки ила, идущие к основному ложу каньона по дну оврагов между боковыми хребтами, почти по нормали к главному. Поток локализован в узком русле. Его начало лежит в широком амфитеатре. По всей длине потока к его руслу открываются канавы-притоки так, что в целом эта система имеет перистый характер. Поток ила хорошо виден на рис. 1.

Для «чтения» записей бокового локатора необходимо представлять, что и как на них может быть отражено. Общая картина рельефа выглядит различно, в зависимости от высоты прибора над дном. Ось прибора, с которым мы работали, наклонена к горизонту. С высоты 100 м запись охватывает значительную полосу дна по обе стороны от курса. Мы пробовали работать также и с высоты 50 м. Детальность записи увеличива-

ется, но полоса видимости сокращается, а при расчлененном рельефе ближние объекты загораживают лежащие за ними.

Горизонтальный масштаб записи зависит от скорости подводного аппарата. По горизонтали участок, изображенный на рис. 1, занимает около 200 м. Ширина ленты 25 см. На одной из двух лент изображается рельеф по правую, а на другой — по левую сторону от курса. Для каждого типа прибора и каждой его высоты над дном существует оптимальная скорость хода, при которой продольный и поперечный масштабы сопоставимы. В любом положении существует достаточно широкая полоса оптимальной контрастности и наименьшего графического искажения записи.

Хорошо отражающие поверхности донных объектов в зоне оптимальной видимости на ленте получаются черными. Участки дна, затененные от ультразвуковых волн, остаются белыми. Между этими полями максимального контраста рельеф рисуется разными оттенками серого тона.



Рис. 1. Участок дна с руслом стекания ила. Длина изображенного участка около 200 м

Отражающие свойства объектов зависят от фактуры их поверхности, плотности породы, угла наклона поверхности к горизонту и от расстояния до приемника. При таком множестве факторов нужно иметь большой опыт и сопоставлять изображения по целой серии лент близкого характера, чтобы надежно дешифровать относительно мелкие формы рельефа. Для коррекции изображений существует специальная аппаратура (Flemming, 1976), но в нашем распоряжении ее не было.

Легче всего различаются объекты, выступающие на горизонтальном дне. Их высоту легко определить, измерив длину тени и зная (по положению на ленте) расстояние от прибора. Мы имели дело только с наклонными поверхностями, а о степени их наклона по эхолотным записям и существующим картам имели весьма слабое представление. Часто

аппарат шел по «косогору». Тогда в одну сторону локатор писал четкие изображения, а по другую (вниз под откос) давал «туманные картины» и разорванные неопределенные контуры каких-то отдаленных вершин. Понятно поэтому, что при сложном рельефе материкового склона невозможно на основе единичных записей построить гипсометрические планы. Однако можно надеяться, что даже качественное описание рельефа представит немалый интерес.

Прилагаемые фото с участков записей дают картину рельефа в диапазоне глубин 250—400 м вблизи одного из подводных каньонов Батумского района. Состав грунта района — уплотненные илы с мощным разжиженным верхним слоем и без выходов коренных пород. Во время записи (рис. 1) аппарат двигался слева направо, на высоте 100 м над ложем крупного каньона. К нему почти по нормали сверху подходят семь боковых хребтов (обозначены на рис. 2 буквами от А до Е), разделенных оврагами. Изображение является негативным. Белое на лен-

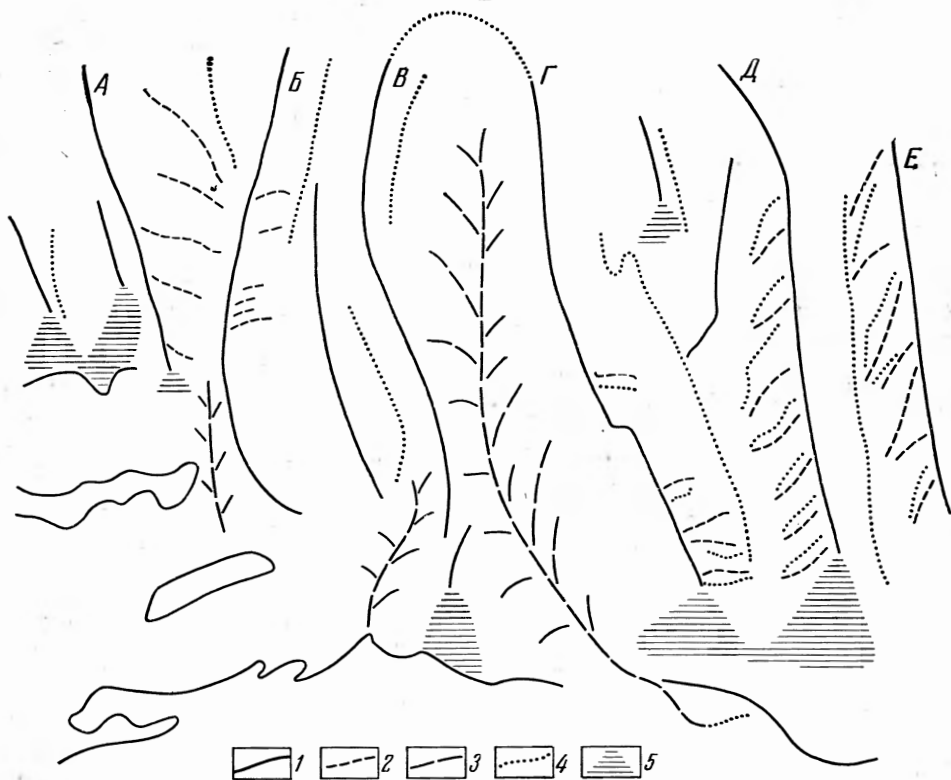


Рис. 2. Орографическая схема участка, показанного на рис. 1

1 — оси наиболее крупных боковых хребтов; 2 — гребни кулисных илистых гряд; 3 — русла стекающей илы; 4 — границы затененных участков; 5 — треугольные фасы среза

те — это затененные участки, а темное — отражающие поверхности рельефа.

Широкая ложбина между хребтами В и Г заполнена потоком стекающего ила. Оба хребта в верхней части изображения сходятся, образуя амфитеатр первичного «илосбора». По дну ложбины четко прослеживается узкое русло со множеством боковых коротких «рытвин», или борозд второго порядка. Они расчлениают прилегающие склоны, придавая всей системе перистый характер. Аналогичные короткие ложбины и русла меньшей ширины видны в нижней левой части снимка между хребтами А и Б, а также Б и В. Длина первой ложбины превышает 200 м.

На «освещенной» стороне хребтов *Б*, *Д* и *Е* контрастно выделяются (белое на черном фоне) тени ритмичных кулисных гряд, расстояние между которыми на склонах разных хребтов варьирует от 20 до 40 м при длине гряд такого же порядка. На хребте *Д* видны семь гряд. Вершины трех гряд различаются даже на теневой стороне хребта *Г*. Зная высоту аппарата над дном и измерив ширину хребтов, можно приблизительно оценить и высоту наиболее крупных из них. Она составляет 40—50 м при средней крутизне склонов более 30°. Когда аппарат опускался на дно, мы могли определить, что на отдельных участках крутизна склонов достигает (а иногда и превышает) 45°.

Вблизи ложа каньона некоторые хребты оканчиваются треугольными фасетами. Их срез можно считать признаком эродирующего действия мутьевых потоков или стоха по каньону илистых лавин. Эродировать илистые откосы могут даже течения временного характера. В одном из боковых оврагов этого участка нами была замерена скорость течения 75 см/сек.

Для лучшего понимания характера рельефа на рис. 2 дана схема основных орографических элементов участка. На ней показаны оси основных и второстепенных хребтов, границы тени от них, поперечные кулисные гряды и другие заметные линии. В частности, в нижней части склона имеются уступы, субпараллельные ложу каньона. Выделены также два других русла стекания ила.

На рис. 3 показан участок дна сходного строения, но лишенный широких ложбин и крупных русел стока ила. Здесь по нормали к ложу каньона протягиваются пять смежных боковых хребтов, буквально испещренных ритмичными грядами по склонам. Четче здесь выражены треугольные фасеты среза оконечностей хребтов. В нижней левой части изображения локатор записал фрагмент широкого ложа каньона, пересеченного неправильными мелкими «волнами» стекания ила. Русло стока ила намечается вблизи ложа лишь между оконечностями хребтов (3-го и 4-го слева).

Совершенно иной комплекс форм рельефа изображен на рис. 4. Слева внизу черное поле соответствует крутому откосу, который срезает край относительно пологонаклоненного массива. Его фасад имеет ступенчатое строение. Вблизи подножия протягиваются длинные валы, которые можно считать формами оплывания больших масс ила. Выше по откосу они сменяются крупными ступенями оползания, наряду с которыми имеется несколько циркообразных форм. Оврагов и хребтов в этой части дна нет.

На рис. 5 показан еще один вид расчленения дна, имеющего здесь блоково-глыбовый характер. В данном случае представлено позитивное изображение, полученное на фотобумаге путем просвета ленты записи локатора. На изображенном участке дна, видимо, происходили достаточно крупные обвалы или глыбовые оползни плотных глин. Высота массива близка к 100 м. Формы стекания ила отсутствуют. Вдали, уже на пределе видимости локатора, как мираж возникают светлые боковые хребты с треугольными фасетами и с грядовым расчленением склонов.

Уплотненные илы, которые образуют вертикальные обрывы, наблюдались нами ранее в описываемом районе. При прежних работах можно было неоднократно наблюдать также формы обвалов с глыбами у подножия на участках, где верхний разжиженный слой ила или очень тонок, или полностью отсутствует.

По приведенному материалу легко судить, сколь сложным может быть рельеф материкового склона. Генетически он является гравитационно-эрозионным, причем фактором эрозии могут являться не только течения различного типа (мутьевые в первую очередь), но и потоки стекающего ила. Последний процесс происходит как в виде медленного



Рис. 3. Участок дна с несколькими боковыми хребтами и «волнами» ила в русле каньона. Длина участка около 300 м



Рис. 4. Оползневой склон к ложу каньона. Длина участка около 150 м

«крипа», так и в форме лавинообразных обрушений. В последнем мы могли убедиться, когда на одном из участков этого каньона (в мутной воде) аппарат с хода воткнулся в крутой откос. Сразу исчез свет прожекторов через иллюминаторы. Прекратилась гидроакустическая связь с базой. Перестали писать эхолоты. Более того, аппарат временно потерял способность двигаться. Он оказался погребенным массой ила. Другого объяснения создавшейся ситуации представить невозможно. Потребовался целый час, чтобы выбраться из этой толщи.



Рис. 5. Участок с блоково-глыбовым расчленением. Длина участка около 150 м

Исключительная подвижность илов отмечалась нами также и при работах в других районах. Рельефообразующая роль стекания ила с материкового склона стала изучаться и за рубежом (McGregor, Bennet, 1977). Указанные авторы считают, что именно с подобными процессами, происходившими в плейстоцене и продолжающимися в настоящее вре-

мя, связаны как уклоны дна, так и крупные формы рельефа материкового склона к востоку от побережья США.

Подводные «бедленды», представленные на рисунках, показывают, насколько правы ученые, которые отмечали, что поверхность Луны мы знаем сейчас лучше, чем морское дно. Можно говорить о большой энергии этого рельефа. Он отражает поистине грандиозный размах процессов перемещения илистого (а по каньонам также песчаного и галечного) материала от устьев горных рек к абиссальной равнине Черного моря. В этом мы видим косвенное подтверждение правильности расчетов бюджета наносов, выполненных Г. А. Сафьяновым (1977). В отличие от указанного автора, однако, можно считать, что транспорт илстых наносов происходит не только по каньонам, но и по всей поверхности материкового склона, где ил сначала осаждается из взвеси, а затем медленно стекает под уклон. При точных промерах в прибрежной зоне против устья р. Чорохи были обнаружены формы самостоятельного стекания ила в виде чашеобразных углублений дна отн. глубиной 30—40 м при окружающих абс. глубинах, не превышающих 100 м. От них по нормали к основному ложу каньона протягиваются узкие языки возрастающих глубин. Таким образом, в данном случае происходит регрессивное врезание эрозионных форм в слегка наклонные поверхности.

Одним из важных агентов эрозии материкового склона несомненно являются пульсирующие реверсивные течения, природа которых еще не разгадана, а скорости весьма велики (Shepard et al., 1975). О действии таких течений свидетельствует оглаженная со всех сторон «обтекаемая» форма многих элементов рельефа, которые, например, можно видеть в левой нижней части рис. 1. В сущности об активной роли течений говорит и сам описанный выше мезорельеф, поскольку овраги и желоба нескольких генераций не могли бы без их участия доставлять с окружающих плато материал к основному каньону.

Важность изучения мезорельефа материкового склона очевидна как в теоретическом, так и в прикладном плане. Зная скорость эрозионных процессов в основных каньонах и оврагах, можно перейти к самостоятельным расчетам или корректировать данные о потерях материала, поставляемого реками. Лишь в том случае, если научный вывод подтвержден несколькими независимыми способами, его можно считать достаточно убедительным, а прогнозы обоснованными. Для черноморских берегов Грузии это имело бы важное значение.

Что касается методов дальнейшей работы, то ее основой должна являться детальная схема, характеризующая основные формы расчленения (макрорельеф). Для восточной части Черного моря такие материалы уже накапливаются (Вольнев, 1976). Весьма важны также литологические данные для распознавания ареалов сноса из различных рек. Опыт трех сезонов подводных плаваний показал их исключительную эффективность. Впредь при аналогичных работах необходимо комбинировать записи эхолотом и локатором бокового обзора с визуальными наблюдениями. Приведем еще один пример. В 1977 г. была произведена посадка на грунт на глубине 1150 м, уже в пределах конуса выноса каньона. При хорошей прозрачности воды ровное илистое дно просматривалось визуально более чем на 10 м. На нем удалось подметить одну очень пологую валообразную выпуклость высотой не более 30 см. Начав подъем, мы прошли с локатором небольшой отрезок пути на малой высоте над дном, и прибор нарисовал четкую систему параллельных «волн» с шагом 15—20 м. Высоту их определить не удалось, так как волны намечались слабо и не давали тени. Тем не менее наличие экзогенных форм мезорельефа можно считать доказанным не только для океанической абиссали, как об этом было сказано в начале статьи, но и в замкнутой котловине Черного моря.

Весьма заманчивой представляется постановка повторных наблюдений на отдельных участках дна. Технически это вполне возможно при современных методах фиксации точки стояния судна даже вне видимости берега. Остается установить на дне заякоренные, хорошо заметные для лоатора бокового обзора буи с коротким тросом и произвести записи вторично или даже неоднократно. Локализация точки под водой во многом облегчается с помощью «пинджеров» (гидроакустических отметчиков), которые можно запрограммировать на длительный срок излучения ультразвуковых сигналов. Подобная работа дала бы необходимые данные для определения скорости процессов рельефообразования.

ЛИТЕРАТУРА

- Вольнев В. М.* О некоторых формах рельефа материкового подножия (юго-восточной части Черного моря). «Вестн. МГУ. География», № 4, 1976.
- Зенкович В. П.* Подводные каньоны и материковый склон в районе Адлера. «Пробл. изуч. берегов Грузии», Тбилиси, 1976.
- Зенкович В. П., Дубман Д. М., Кикнадзе А. Г., Менишников В. Л., Орлова Г. А.* Геоморфологические наблюдения на материковом склоне и в подводных каньонах Пицунды. «Сообщ. АН ГССР», т. 78, № 1, 1975.
- Зенкович В. П., Дубман Д. М., Кикнадзе А. Г., Менишников В. Л., Орлова Г. А.* Глубоководные геолого-геоморфологические наблюдения в районе Пицунды. «Пробл. изуч. берегов Грузии», Тбилиси, 1976.
- Зенкович В. П., Кикнадзе А. Г., Кандаваки В. В.* Результаты погружений в подводные каньоны Батумского района. «Сообщ. АН ГССР», т. 81, № 2, 1978.
- Леонтьев О. К., Сафьянов Г. А.* Каньоны под морем. М., «Мысль», 1973.
- Сафьянов Г. А.* Влияние подводных каньонов на морфологию и динамику береговой зоны. «Вестн. МГУ. География», № 2, 1977.
- Шепард Ф. П., Дилл Р.* Подводные морские каньоны. Л., Гидрометеиздат, 1972.
- Flemming B. W.* Side-scan sonar — a practical guide. «The Intern. Hydrogr. Rev.», v. 53, No. 1, 1976.
- Macphee S. B.* Developments in narrow beam echo-sounder. «The Intern. Hydrogr. Rev.», v. 53, No. 1, 1976.
- McGregor B. A., Bennet R. H.* Continental slope sediment instability northeast of Wilmington Canyon. «Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.», v. 61, No. 6, 1977.
- Shepard F. P., Marshall N. F., McLoughlin P. A.* Pulsating turbidity currents with relationship to high swell and high tides. «Nature», v. 258, No. 5537, 1975.

Институт географии
АН ГССР

Поступила в редакцию
20.II.1978

SOME MESOFORMS OF THE CONTINENTAL SLOPE AT THE EAST OF THE BLACK SEA

V. P. ZENKOVICH

Summary

From special autonomous apparatus visual observations were performed and data of side-looking locator were recorded at considerable depth near Batumi. Besides large submarine canyons many lateral crests and valleys cut into mud layers were discovered. Landslides are frequent at steep scarps. Channels are very interesting where mud flows towards main bed of a canyon. Erosional, stepped and block dissection of the continental slope is described. Falls of mud (similar to avalanches) are likely to take place occasionally.