

I. A. PRAVOTOROV

Summary

Tide currents regime of the southern North Sea has not been changed essentially throughout the time interval under consideration. Dynamics of sand-gravel built-up bedforms are controlled by non-periodic component of the currents, i. e. residual currents, the latter's regime revealing quasi-periodical fluctuations.

УДК 551.462(267)

В. В. ФЕДОРОВ, И. В. ДАНИЛОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЛЬЕФА
ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ МАСКАРЕНСКОГО ХРЕБТА

Маскаренский хребет является крупным асейсмичным поднятием морского дна, расположенным в западной части Индийского океана. Топографически единый, хребет в геолого-геофизическом отношении разнороден. Северная его часть, Сейшельская банка, характеризуется гранитной корой континентального типа, южная часть, о. Маврикий и банка Каргадос-Карахос, — базальтовой корой океанического типа. Геофизические исследования центральной части Маскаренского хребта показали, что в основании банки Сайя-де-Малья залегают базальты (Shor, Pollard, 1963). Предполагается, что на них залегают известняки, но, возможно, и граниты, которые прослежены у западного подножия хребта на глубинах 2800—3100 м (Геолого-геофизический атлас..., 1975; Fransis, Shor, 1966; Helms et al., 1974). Вопрос о геологической структуре центральной части Маскаренского хребта связан, таким образом, с вопросом о восточной границе Сейшельского микроконтинента. Данные для их решения могли бы быть получены путем изучения пород на склонах банки Сайя-де-Малья.

Рельеф Маскаренского хребта также весьма сложен. Хребет представляет собой дугообразное поднятие, которое состоит из нескольких поднятых участков (банок), разделенных седловинами. Морфология двух центральных вершин хребта, банок Сайя-де-Малья и Назарет известна лишь в самых общих чертах (Бортников и Белоусов, 1967; Канаев и др., 1975; Fisher et al., 1967). Поскольку банки расположены в тропическом поясе, на них должна быть широко развита коралловая морфоскульптура. В последние годы советские ученые провели большие работы на рифах и атоллах Тихого и Индийского океанов (География атоллов..., 1973; Леонтьев, 1970; Леонтьев, Медведев, 1972). Выяснение особенностей морфоскульптуры банок Сайя-де-Малья и Назарет представляет большой интерес с точки зрения сравнительной геоморфологии коралловых построек. В настоящей статье приводятся новые данные о геолого-геоморфологическом строении наименее изученной центральной части Маскаренского хребта.

Экспедиционные материалы собраны в 3-м рейсе научно-поискового судна «Ихтиандр». Основной методики исследований явились наблюдения из подводного аппарата «Север-2», проведенные впервые в Индийском океане. Технические характеристики аппарата «Север-2» приведены в книге М. Н. Диомидова и Л. Н. Дмитриева (1974), где указана его

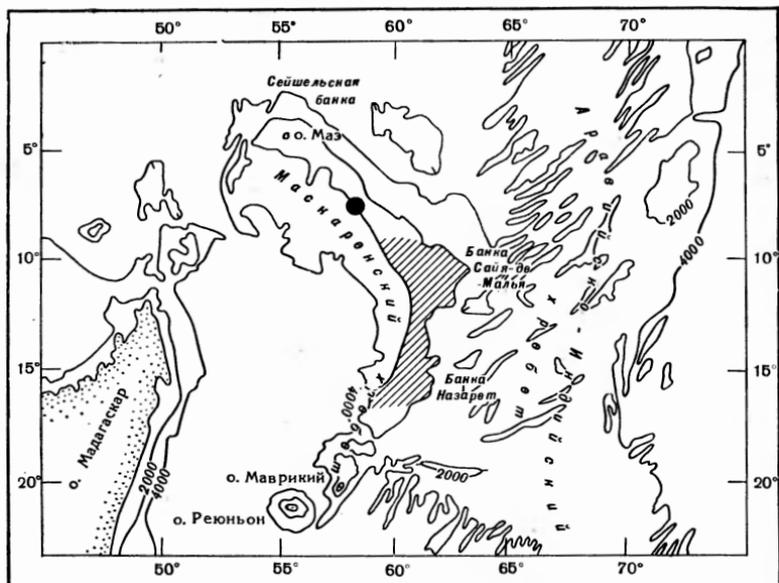


Рис. 1. Район исследований в западной части Индийского океана (заштрихован)

Черным кружком отмечено местоположение скв. № 237 глубоководного бурения

наибольшая глубина погружения — 2000 м. Наблюдения из подводного аппарата дополнены фотоснимками дна, полученными с помощью автоматической фотокамеры «ПФА-Э». На коралловых рифах выполнены погружения в легководолазном снаряжении. Подводные методы исследований применялись в сочетании с эхолотным промером и сбором донных осадков дночерпателем «Океан-50». Всего в рейсе выполнено около 3000 миль эхолотного промера, собрано 200 проб донных осадков, получено 700 фотоснимков морского дна.

В нескольких погружениях на северном и восточном склонах банки Сайя-де-Малья (рис. 1) осмотрены обнажения коренных пород. В диапазоне глубин 70—250 м склон крутизной 10° сложен бугристыми желтовато-серыми известняками. На глубине около 250 м расположена горизонтальная ступень, которая сменяется очень крутым склоном ($45\text{--}60^\circ$). На склоне обнажаются горизонтально залегающие слоистые известняки. За счет чередования прочных и податливых пластов склон имеет ступенчатый профиль. Высота ступеней довольно постоянна и составляет 2—3 м. Ритмично-слоистые известняки прослежены до глубины 400 м. Глубже склон выполаживается до 15° и рыхлые осадки скрывают коренные породы. На глубинах 700—800 м на восточном склоне банки наблюдалось обнажение толстослойного известняка, залегающего субгоризонтально. На глубинах 1535—1650 м на северо-западном склоне банки отмечено обнажение плитчатой тонкослойной породы черного цвета. Окраску ее, видимо, определяет пленка окислов марганца. Судя по внешнему облику, порода является тонкозернистым известняком. Во всяком случае она явно осадочная. По наклону отпрепарированных плоскостей напластования удалось приблизительно определить угол ($5\text{--}10^\circ$) и направление (300°) падения пластов. Таким образом, из подводного аппарата «Север-2» просмотрен геологический разрез банки Сайя-де-Малья на глубинах до 1650 м. Весь разрез представлен осадочными породами. По визуальным признакам можно судить о смене вверх по разрезу известняков, образовавшихся в глубоководных условиях, мелководными ритмично-слоистыми и далее кавернозными коралловыми известняками (рис. 2).

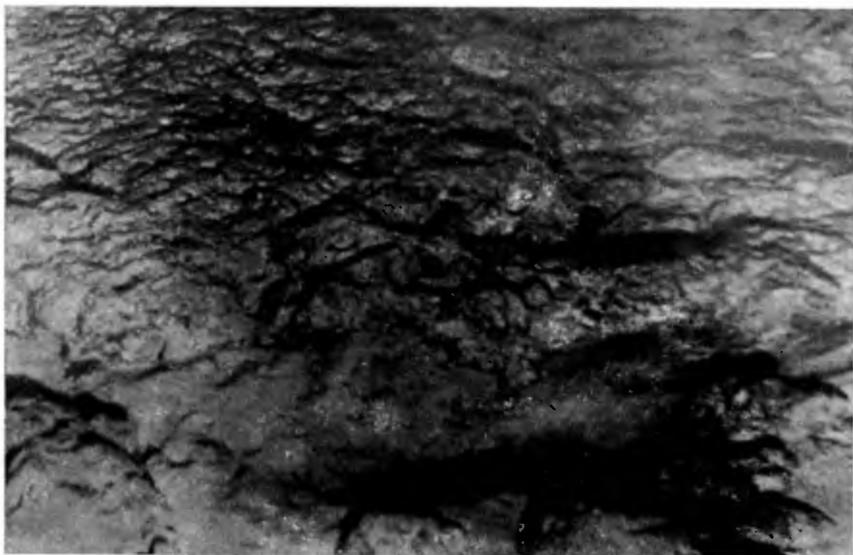


Рис. 2. Обнажение кавернозного кораллового известняка на южном склоне банки Сайя-де-Малья на глубине 120 м
Фото Н. В. Сафонова из подводного аппарата «Север-2»

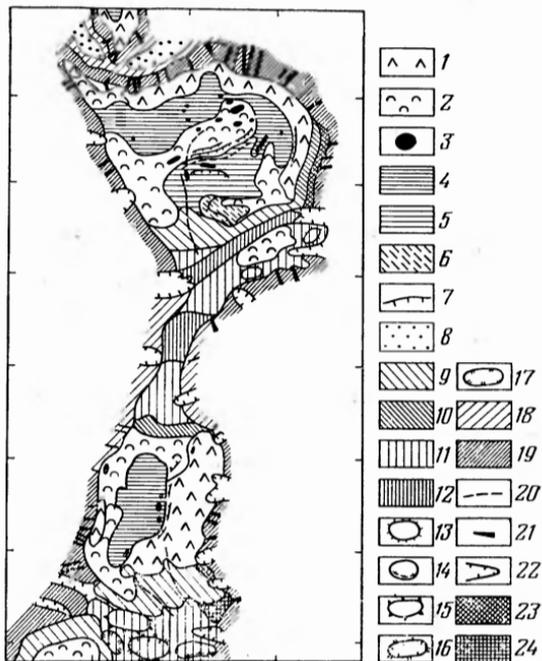
Скорости сейсмических волн в породах надбазальтового слоя банки Сайя-де-Малья находятся в пределах $4,4\text{--}5,5 \text{ кмс}^{-1}$ (Shor, Pollard, 1963). Сопоставление данных геофизических исследований и результатов визуальных наблюдений показывает, что эти скорости измерены в осадочных породах. Следовательно, предположение об известняковом составе надбазальтового слоя банки Сайя-де-Малья (Shor, Pollard, 1963; Fisher et al., 1967) подтвердилось. В таком случае центральную часть Маскаренского хребта можно отнести к району с океаническим типом земной коры. По-видимому, граница Сейшельского микроконтинента проходит вдоль западного подножия Маскаренского хребта и пересекает его на седловине между банками Сейшельской и Сайя-де-Малья.

Судя по описанию колонок глубоководного бурения (Fisher et al., 1974), микрзернистый мел эоценового возраста, вскрытый скважиной № 237, сходен с встреченным нами на глубинах 1535—1650 м известняком. В скважине кровля нижнеэоценового микрзернистого мела находится на отметке —1950 м. Сравнение глубин нахождения одного горизонта на банке Сайя-де-Малья и на расположенной к северу седловине показывает, что в палеогене и, по-видимому, в неогене в центральной части Маскаренского хребта имели место дифференцированные вертикальные тектонические движения. Погружение седловины между банками Сейшельской и Сайя-де-Малья, начавшееся к концу палеоцена, составило за 62 млн. лет около 2000 м (Vincent et al., 1974). Поднятие банки Сайя-де-Малья устанавливается по смене фациальных типов известняков от глубоководных к мелководным. Поскольку банки Сайя-де-Малья, Назрет и Каргадос-Карахос разделены неглубокими седловинами, можно предполагать, что центральная часть хребта создана поднятием земной коры к концу палеогена.

Седловины между банками, связанные с зонами трансформных разломов Аравийско-Индийского хребта, рассматриваются как зоны сдвигов, активные в раннетретичное время на начальных стадиях разрастания срединно-океанического хребта (Fisher et al., 1967). Рельеф седловины между банками Сайя-де-Малья и Назрет (глубина 455 м) отличается сильной расчлененностью (рис. 3). В своей центральной наиболее

Рис. 3. Геоморфологическая схема центральной части Маскаренского хребта

Биогенно-морские формы рельефа. Погруженный коралловый риф: 1 — уровень 28—33 м; 2 — уровень 50—55 м; 3 — коралловые гряды и холмы; 4 — донные аккумулятивные равнины мелководных коралловых лагун; 5 — донная абразивная равнина глубоководной коралловой лагуны; 6 — террасированный склон кораллового рифа; 7 — террасы; 8 — аккумулятивные равнины седловин; внешние склоны атоллов: 9 — пологие (менее 15°); 10 — крутые (более 16°). **Структурно-денудационные формы рельефа:** 11 — ступенчато-грядовые равнины седловин; 12 — желоба и впадины седловин; 13 — пластовые возвышенности; 14 — моноклиналильные возвышенности; 15 — брахисинклиналильные возвышенности; 16 — брахисинклиналильные впадины; склоны, выработанные в горизонтально залегающих известняках: 17 — пологие (менее 15°); 18 — крутые (более 16°). **Эрозионные формы рельефа:** 19 — ложбины; 20 — овраги. **Эрозионно-тектонические формы рельефа:** 21 — каньоны. **Тектонические формы рельефа:** 22 — краевые ступени банок; 23 — краевые ступени седловин



опущенной части седловина сужена и изогнута. Относительное расположение банок указывает на левосторонний сдвиг банки Сайя-де-Малья относительно банки Назарет (Fisher et al., 1967). В южной части банки Сайя-де-Малья расположен неглубокий желоб, отделяющий от основного массива небольшую возвышенность. На западном и восточном склонах хребта продолжениями желоба являются подводные каньоны. По-видимому, желоб и каньоны заложены по разлому, пересекающему Маскаренский хребет с запада на восток и принадлежащему, так же как и разлому седловины, зоне Вима. В таком случае область сдвиговых деформаций между банками Сайя-де-Малья и Назарет шире, чем считалось ранее (Fisher et al., 1967).

На седловине между банками Назарет и Каргадос-Карахос на основании эхолотных промеров выявлены куэсты, анализ пространственного положения которых дает возможность выделить брахискладки, отраженные в рельефе в виде прямых и обращенных морфоструктур. По Е. Ш. Хиллсу (1967), складчатость в зоне сдвига типична для двухъярусного строения земной коры, когда осадочная толща залегает на магматических породах. Принимая во внимание сильные магнитные аномалии (400 гамм), под известняками седловины предполагают неглубоко залегающие вулканические породы (Bunce et al., 1966). Магматические породы в зоне сдвига, согласно Е. Ш. Хиллсу (1967), наподобие клиньев деформируют вышележащие слои. Аналогичным механизмом можно объяснить формирование складчатости на седловине Назарет — Каргадос-Карахос. Четкая выраженность складчатых и разрывных деформаций в рельефе седловин центральной части Маскаренского хребта позволяет считать, что тектонические движения по субширотным разломам не закончились в раннетретичное время, как предполагалось ранее (Fisher et al., 1967), а продолжались и позднее, поскольку деформированы слоистые известняки вершины хребта. Таким образом, общее поднятие центральной части Маскаренского хребта в конце палеогена и, возможно, неогене сопровождалось горизонтальными движениями на седловинах, которые привели к кулисообразному расположению блоков Сайя-де-Малья, Назарет и Каргадос-Карахос.

Новые данные свидетельствуют о сложной морфологии вершин банок Сайя-де-Малья и Назарет. Обращает на себя внимание подобие геоморфологического строения обеих банок. Основными формами рельефа их вершин являются кольцевые коралловые рифы и лагуны. Однако рельеф банки Сайя-де-Малья более сложен. В центральной ее части расположен мощный внутрелагунный риф, примыкающий одним концом к кольцевому рифу. Он делит лагуну на две полуизолированные части. Восточная часть лагуны в свою очередь может быть подразделена на мелководную (70—100 м) и глубоководную (110—140 м) части. Рельеф дна глубоководной лагуны имеет вид абразионной платформы. Местами встречаются гряды со срезанными вершинами. На глубине 120 м отмечен уступ террасы, прослеженный и на внешнем склоне кольцевого рифа. По-видимому, абразионный рельеф глубоководной лагуны сформирован во время максимального понижения уровня океана в плейстоцене. Сохранность реликтового рельефа связана с крайне низким темпом седиментации в лагуне, обусловленным воздействием на ее дно Пассатного течения.

Рельеф дна обеих частей мелководной лагуны выровнен за счет аккумуляции планктогенных осадков. Если допустить, что во время наиболее низкого плейстоценового стояния уровня океана осадконакопления в мелководной лагуне не происходило, то по разности глубин мелководной и глубоководной лагун можно приблизительно оценить мощность рыхлых отложений в ней в 20 м и среднюю скорость накопления осадков в позднем плейстоцене и голоцене в 0,5—0,6 см/год. Эти грубоориентировочные цифры почти совпадают со скоростью осадконакопления в лагуне атолла Фунафути в Тихом океане, определенной на основе радиоуглеродных датировок голоценовых осадков в 0,7 см/год (География атоллов..., 1973). Рельеф дна лагуны банки Назарет также аккумулятивный выровненный. Осадки сходны с осадками мелководной лагуны банки Сайя-де-Малья. Главное отличие рельефа банки Назарет состоит в том, что на ней имеется одна лагуна, аналогичная мелководной лагуне банки Сайя-де-Малья. По сравнению с другими атоллами глубины лагун обеих банок довольно велики. Средняя глубина лагун атоллов в Мировом океане 45 м (Шепард, 1976), в то время как глубина мелководных лагун банок Сайя-де-Малья и Назарет составляет соответственно 103 и 82 м, а глубоководной лагуны первой из них — 140 м.

Кольцевые рифы обеих банок характеризуются большой шириной (25—30 миль) и различиями глубин наветренных и подветренных частей. Самые высокие участки рифов расположены в восточных частях банок, наветренных по отношению к Пассатному течению. Наименьшая глубина рифа банки Сайя-де-Малья 8 м, рифа банки Назарет 26 м. На коралловых рифах четко выделяются ступени на глубинах 50—55, 28—33 м. На уровне 50—55 м находятся западные участки кольцевых рифов и некоторые плоские вершины внутрелагунных рифов. На уровне 28—33 м расположена целиком наиболее высокая выровненная часть кольцевого рифа банки Назарет. По-видимому, ступени и уступы на коралловых рифах представляют собой погруженные береговые линии. Глубины береговых линий на банках Сайя-де-Малья и Назарет хорошо соответствуют глубинам погруженных береговых линий островов западной части Индийского океана. Береговая линия на глубине около 30 м, широко распространенная в различных районах океана, имеет возраст 12 тыс. лет (Fairbridge, 1961, по О. К. Леонтьеву, 1970).

Особенности морфологии банок Сайя-де-Малья и Назарет позволяют отнести их к погруженным атоллам. Специфика банок как погруженных атоллов состоит в наличии затопленных кольцевых рифов и коралловых лагун. Атоллы Сайя-де-Малья и Назарет являются крупнейшими в Мировом океане. Площадь каждого из них на порядок превышает площади атоллов Кваджалейн (Маршалловы острова) и Сувадива (Мальдив-

ские острова), описанных ранее как самые крупные (Сорокин, 1977). В эволюционном ряду коралловых островов и атоллов, развивающихся в условиях опускания земной коры, погруженные атоллы занимают крайнее положение (Леонтьев, Медведев, 1972; Леонтьев и др., 1975). Генезис банок Сайя-де-Малья и Назарет как погруженных атоллов свидетельствует об опускании центральной части Маскаренского хребта на последнем этапе его развития. Начало опускания, по-видимому, соответствует началу образования кораллового известняка поселившимися на плоской вершине хребта рифостроителями. Начало нисходящего развития центральной части Маскаренского хребта можно весьма приближенно установить, исходя из мощности коралловой толщи, определенной по наблюдениям из подводного аппарата «Север-2» в 200—250 м. С учетом скорости образования кораллового известняка (Шепард, 1976) начало погружения можно отнести к концу плиоцена.

Приведенные данные показывают, что в геолого-геоморфологическом отношении Маскаренский хребет неоднороден. Северная часть хребта относится к области с континентальным типом земной коры, центральная и южная части — к области с океаническим типом коры. Хребет имеет блоковое строение за счет интенсивных дифференцированных вертикальных, а также горизонтальных движений. Центральная часть хребта, сложенная мощной толщей осадочных пород, испытала к концу палеогена поднятие, сменившееся в конце неогена опусканием. Банки Сайя-де-Малья и Назарет являются крупнейшими в океане погруженными атоллами, сформировавшимися на едином основании в условиях опускания хребта. В образовании рельефа атоллов большую роль сыграли плейстоценовые колебания уровня океана.

ЛИТЕРАТУРА

- Бортников В. С., Белоусов И. М.* Морские геологические исследования в западной части Индийского океана. «Советские рыбохозяйственные исследования в Индийском океане и прилегающих водах», вып. 1. М., «Пищевая промышленность», 1968.
- География атоллов юго-западной части Тихого океана. М., «Наука», 1973.
- Геолого-геофизический атлас Индийского океана. М., ГУГК, 1975.
- Диомидов М. Н., Дмитриев А. Н.* Покорение глубин. Л., Судостроение, 1974.
- Канаев В. Ф., Нейман В. Г., Парин Н. В.* Индийский океан. М., «Мысль», 1975.
- Леонтьев О. К.* Некоторые геоморфологические особенности коралловых побережий островов Индийского океана. «Комплексные исследования природы океана», вып. 1. М., Изд-во Моск. ун-та, 1970.
- Леонтьев О. К., Медведев В. С.* Эволюция атоллов Тихого океана. «Природа», № 9, 1972.
- Леонтьев О. К., Лукьянова С. А., Медведев В. С.* Опыт применения морфологического анализа коралловых рифов и гайотов для изучения вертикальных движений земной коры. «Колебания уровня Мирового океана и некоторые вопросы морской геоморфологии». М., «Наука», 1975.
- Сорокин Ю. И.* Сообщества коралловых рифов. «Биология океана», т. 2. М., «Наука», 1977.
- Шепард Ф. П.* Морская геология. Л., «Недра», 1976.
- Хиллс Е. Ш.* Элементы структурной геологии. М., «Недра», 1967.
- Bunce E. T., Bowin C. O., Chase R. L.* Preliminary results of the 1964 cruise of R. V. «Chain» to the Indian ocean. «Royal Society of London. Philosophical transactions Series A», v. 259, No. 1099, 1966.
- Fischer R. L., Johnson G. L., Heerzen B. C.* Mascarene Plateau, Western Indian ocean. «Geol. Soc. Amer. Bull.», v. 78, No. 10, 1967.
- Fisher R. L., Bunce E. T. et al.* Initial reports of the Deep Sea Drilling Project, v. 24. Washington, U. S. Government Printing Office, 1974.
- Fransis T. J. G., Shor G. G.* Seismic refraction measurements in the northwest Indian ocean. «J. Geophys. Res.», v. 71, No. 2, 1966.
- Helms P. B., Fisher R. L., Smith W. P., Yantsch M. Z.* Surveys of four sites in the tropical western Indian ocean as preparation for Deep Sea Drilling Project LEG 24. «Initial reports of the Deep Sea Drilling Project», v. 24. Washington, U. S. Government Printing Office, 1974.
- Shor G. G. J., Pollard D. D.* Seismic investigations of Seichelles and Saya de Malha banks, northwest Indian ocean. «Science», v. 142, No. 3588, 1963.

STUDIES OF THE CENTRAL MASCARENE RIDGE RELIEF

V. V. FEDOROV, I. V. DANILOV

Summary

During geomorphological studies at the Mascarene Ridge a submarine device «Sever-3» has been used for the first time. The observation from the device established the central part of the ridge being built of limestones at least 1650 meters thick. Folded and fault distortions pronounced in sea floor topography were identified at saddles, which are areas of shear deformations due to transform fault zones. Some shoals are proved to be submerged atolls. A conclusion is drawn at the Central Mascarene Ridge rise at the end of Paleogene which changed into sinking at the end of Neogene.

УДК 551.4.042 (479.24)

В. А. ХРИСАНОВ

МАСШТАБЫ СОВРЕМЕННОЙ ДЕНУДАЦИИ КAVKAZA (НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРНОЙ ОСЕТИИ)

Одной из важнейших проблем геоморфологии является количественная оценка интенсивности современных экзогенных процессов, особенно в горных районах. Многие исследователи определяли скорость комплексной денудации по твердому стоку рек: А. В. Волин (1946), И. П. Герасимов (1970), Г. К. Габриелян (1971). Однако, как указывал В. Г. Лопатин (1952), сток наносов рек составляет лишь часть того количества материала, который сносится со склонов; для Западного Кавказа, в частности, он не превышает 8—20% от общего количества рыхлого материала, смытого с поверхности. Н. В. Думитрашко (1971), С. С. Воскресенский (1968), В. А. Растворова (1973) также отмечают, что учет денудации лишь по твердому стоку рек не точен.

В этой статье автор попытался количественно оценить общие масштабы современной денудации в пределах восточной части Центрального Кавказа (Северная Осетия) и сравнить полученные данные со скоростями современных тектонических движений.

Территория Северной Осетии, площадью 8000 км², характеризуется большими контрастами рельефа, значительными климатическими различиями, разнообразием структурно-литологических условий, интенсивными современными тектоническими движениями и широким спектром современных экзогенных процессов. Для подсчета общего объема перемещения продуктов выветривания на склонах на протяжении девяти лет были использованы самые различные методы геоморфологических исследований.