

УДК 551.435(99)

С. М. МЯГКОВ

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ОАЗИСАХ АНТАРКТИДЫ (на примере оазиса Мак-Мердо)

Охарактеризованы основные экзогенные процессы, протекающие в условиях холодной полярной пустыни в оазисах Антарктиды. Оценены скорость отдельных процессов и скорость общей денудации в оазисе в сравнении с горными районами иного климата.

Оледенение Антарктиды, как известно, началось в палеогене и стало покровным на рубеже палеогена и неогена, причем главной его причиной было совмещение континента и полюса. Внешние климатические изменения для этого не потребовались, хотя они и не исключены; напротив, можно утверждать, что южнополярное оледенение (континентальное и морское) само явилось климатообразующим фактором глобального значения (подробнее см. Мягков, 1975, 1978). По нашим подсчетам, вследствие его охлаждающего воздействия температура внеантарктических районов понизилась примерно на 5° , а последующие изменения размеров оледенения вызывали колебания средней температуры поверхности планеты в пределах $\pm 1^{\circ}$. Таким образом, история антарктического оледенения приобретает особый интерес для палеогеографии кайнозоя. Эта история не может быть восстановлена без правильной расшифровки происхождения рельефа обнаженных участков — «оазисов» Антарктиды. Для этого требуется знание протекающих здесь весьма своеобразных экзогенных процессов.

Наилучшей из опубликованных сводок по этому вопросу является монография К. К. Маркова и соавторов (1968). Новые данные собраны автором в результате работ в оазисе Мак-Мердо в 1969—1971 и 1975—1976 гг., включавших маршрутные, экспериментальные и стационарные исследования, в том числе повторную фототеодолитную съемку ряда типичных объектов. При составлении очерка использована также вся геоморфологическая литература по району работ и основная литература по другим районам Антарктиды. Следует отметить, что оазис Мак-Мердо — наиболее привлекательный в Антарктиде полигон для изучения экзогенных процессов, поскольку он исключительно велик, отличается разнообразием геологических и геоморфологических условий и достаточно изучен во многих отношениях (в основном американскими и новозеландскими исследователями). Из-за ограниченного объема статьи мы не рассматриваем здесь деятельность плавучих ледников. Очерк построен в следующем порядке: общая характеристика Трансантарктических гор и оазиса Мак-Мердо, климат оазиса, процессы выветривания, склоновые процессы, их зональность, эоловые процессы, оценка скорости субэдральной денудации, деятельность долинных ледников. Сведения, приведенные без ссылок на источник, получены автором и подробно обоснованы в статьях, упомянутых в списке литературы.

Трансантарктические горы протянулись вдоль побережья моря Росса, частично покрытого одноименным шельфовым ледником. Они пересече-

ны несколькими долинами сквозных ледников, спускающихся от континентального покрова к морю, и множеством долин более мелких горных ледников. В неоген-плейстоценовое время конфигурация шельфового и достигающих моря наземных ледников изменялась в зависимости от колебаний уровня моря, обусловленных местными неотектоническими вертикальными движениями и эвстатическими изменениями уровня океана; за время оледенения горы поднялись на 2—2,5 км, в том числе примерно на 1 км за последние 3 млн. лет; дно моря Росса опускалось и достигло глубины до 1 км. Большинство тектонистов (Грикуров, 1973; Elliot, 1975, и др.) связывают эти события с процессами рифтогенеза.

В рельефе гор прослеживаются остатки выровненных поверхностей донеогенового возраста. Поднятия неотектонического этапа зафиксированы в виде нескольких крупных ступеней на внешнем склоне гор, созданных экзарационной деятельностью шельфового ледника, и в виде экзарационных террас на склонах осушенных ныне фиордовых долин (подробнее см. Мягков, 1973а, 1974). На отметках 0—600 м и, возможно, выше встречаются ископаемые остатки морских организмов (Speden, 1962, и др.).

Оазис Мак-Мердо включает несколько крупных долин (длиной в десятки км) на побережье континента, разделенных хребтами с развитыми на них ледниками и выходящих к заливу Мак-Мердо, а также группу островов и полуостровов вулканического происхождения (крупнейший — о. Росса). Абс. высоты в пределах континентальной части оазиса достигают 4 км. На склонах долин до высот 2—3 км обнажаются в основном граниты и гнейсы кристаллического фундамента, выше песчаники палеозойского возраста, пронизанные субгоризонтальными силами юрских долеритов. Рыхлые отложения представлены в основном мореной (толщиной до первых десятков м) и ледниково-морскими осадками (толщиной до первых сотен м); выше отметок 400—600 м рыхлый покров разрежен. На высотах от 0 до 100—150 м и более на склонах островов Росса, Блек, п-ова Браун и на других участках побережья часто встречается погребенный лед — остатки шельфового ледника, оказавшиеся здесь в результате тектонического поднятия побережий залива Мак-Мердо. Лед погребен мореной, покрывающей этот ледник подобно тому, как она ныне покрывает обширные участки шельфового ледника Мак-Мердо, а также позже сползшими с верхних участков склонов рыхлыми отложениями. Видимая (в обнажениях термокарстового происхождения) толщина рыхлого покрова не менее 1—2 м. Толщина погребенного льда, вероятно, измеряется немногими десятками м (по аналогии с толщиной современного шельфового ледника Мак-Мердо; подробнее см. Мягков, 1972).

Наличие на склонах и дне долин континентальной части оазиса не экзарированных вулканических (шлаковых) конусов возрастом до 4 млн. лет (Fleck et al., 1972) позволяет утверждать, что формирование основных скульптурных форм рельефа здесь закончилось несколько миллионов лет назад и что участки склонов выше 1100—1200 м (верхний предел распространения отложений более молодых фиордовых ледников) подвергаются субаэральной денудации много миллионов лет. Иначе говоря, континентальная часть оазиса Мак-Мердо как группа участков рельефа, свободных от снега и льда, имеет возраст более 4 млн. лет. На отметках ниже 1200 м широко распространены морены, оставленные плавучими (шельфовым и фиордовыми) и наземными ледниками. Они разнообразно сопряжены с вулканическими формами рельефа. Наличие примерно 20 калий-аргоновых датировок последних (Fleck et al., 1972, и мн. др.) позволяет оценить возраст морен и фиордовых отложений.

Обследование существующих в оазисе экзогенных форм рельефа и тот факт, что на протяжении всего неоген-плейстоценового времени лед-

никовый покров Антарктиды остается «холодным», что видно, например, по непрерывному существованию шельфового ледника Росса, доказанному результатами глубоководного бурения (Hayes, Frakes, 1975, и др.), убеждают, что в течение всего времени существования оазиса Мак-Мердо климат здесь при всех своих колебаниях оставался исключительно аридным; он был более аридным, чем климат любой теплой пустыни, поскольку полностью лишен дождей. В физико-географической литературе антарктические оазисы рассматриваются (К. К. Марковым, Е. С. Короткевичем и др.) как полярные сухие пустыни. Расход снега и льда здесь идет в основном путем испарения, а в оазисе Мак-Мердо выше 1500 м — исключительно путем испарения.

Сумма осадков в Трансантарктических горах менее 200 мм/год (Bull, 1971). На свободных от ледников участках оазиса сплошной снежный покров не образуется, так как сильны дефляция и испарение снега, особенно при стоковых ветрах. Последние зарождаются в центральных районах континента как потоки холодного, плотного приповерхностного воздуха, устремляющегося вниз по склону ледникового покрова и испытывающего при этом адиабатическое нагревание и иссушение. Средняя скорость ветра в оазисе Мак-Мердо 5—6 м/сек, максимальная — 40—50 м/сек. Средняя относительная влажность воздуха в континентальной части оазиса около 50%; при стоковых ветрах влажность падает до 10—20%. Лишь при летних снегопадах возможно некоторое увлажнение грунта, количественно не зависящее от толщины выпавшего снега, так как стаивать может благодаря парниковому эффекту лишь нижний слой снега толщиной около 3 см.

Положительные температуры воздуха наблюдаются в ноябре — феврале, положительные температуры каменистой поверхности — в октябре — марте. Средние температуры воздуха в оазисе Мак-Мердо на уровне моря равны минус 17—20°С, разница среднемесячных температур 40° (для сравнения в Сахаре менее 20°, в Приаралье 30—40°, в Якутии 50—60°), амплитуда суточных колебаний температуры поверхности летом 25—35° (в жарких пустынях — до 80°). Максимальная температура воздуха +11°С, грунта — до +30°. Скорость изменения температур камня при смене освещенности и затененности — до 10°/час, примерно такая же, что в жарких пустынях (данные по внеантарктическим районам, по Аристарховой, Федоровичу, 1971, и др.; данные по оазису Мак-Мердо, по автору, а также Thompson et al., 1971, и др.).

Толщина слоя мерзлых пород достигает нескольких сотен м, толщина слоя летнего оттаивания — нескольких дм (Decker, 1974, и др.). На высотах до 1500 м существуют бессточные, часто соленые озера, питаемые талыми водами и постоянно покрытые льдом.

При таких климатических условиях наиболее распространено температурное, или инсоляционное выветривание. Короткопериодические, высокоградиентные колебания температуры скальных склонов вызывают десквамацию и зернистую дезинтеграцию. Толщина слоя дезинтеграции достигает нескольких см. Коренные склоны покрыты дресвой. На гранитах и гнейсах толщина десквамационных пластин доходит до нескольких дм, на твердых долеритах — до нескольких мм. Длиннопериодические колебания температуры вызывают фрактолитизацию коренных пород на глубину до 10 м (по геофизическим данным, Bell, 1966). По этим количественным показателям оазис Мак-Мердо сходен, например, с Якутией.

От процессов температурного выветривания территориально неотделимы процессы физико-химического, «солевого» выветривания, обусловленные выносом и кристаллизацией солей в трещинах. В оазисе повсеместно встречаются корочки солей в трещинах и на поверхности коренных пород, засоленные верхние горизонты рыхлых отложений. Наиболее распространены гипс и галит, реже тенардит, кальцит и др.; содержание

солей в верхних горизонтах рыхлых отложений находится в пределах 5—15% (по весу) и иногда превышает 50% (Morikawa et al., 1975, и др.). Наиболее значительные поставщики солей — химическое выветривание местных пород и принос солей с моря в виде аэрозолей.

Температурное и физико-химическое выветривание являются главным механизмом образования тех широко распространенных в Трансантарктических горах форм микрорельефа скал, которые объединяются названием «ячеистое, или кавернозное выветривание». Ниши, пустоты, «котлы», нависающие карнизы, сквозные отверстия с характерным диаметром 0,5—1,5 м местами обращают поверхность коренных склонов в подобие гигантских кружев. Еще шире распространены более мелкие (диаметром 5—15 см) формы того же характера. Встречающиеся в литературе мнения (Евтеев, 1960а; Симонов, 1971, и др.) о нивально-дефляционном или корразионном происхождении подобного микрорельефа для условий типичной холодной антарктической пустыни неприемлемы. Ориентировка форм ячеистого микрорельефа здесь не обнаруживает связи с направлениями ветров. То же можно сказать и о «срезании ветром» валунов, возвышающихся над поверхностью моренного покрова. Такие валуны постепенно подтачиваются нишами с одной или нескольких сторон. Характерная высота ниши — несколько дм. Образуется каменный «гриб», затем его «шляпка» отваливается. Расположение ниш в плоскости поверхности грунта, безотносительное к направлению господствующих ветров, наводит на мысль, что они образуются в зоне максимальных градиентов температуры в толще валуна (утопленная в грунт часть валуна имеет относительно стабильную температуру, возвышающаяся над грунтом часть — переменчивую температуру). Прямые измерения температуры поверхности типичного каменного «гриба» подтверждают это предположение. Наличие датированных моренных отложений возрастом до 2 млн. лет, в пределах которых валуны находятся на разной стадии «срезания» позволяет заключить, что для «срезания» валуна диаметром 1 м требуется несколько сотен тысячелетий, т. е. средняя скорость развития ниш в валунах — порядка сотых долей мм в год.

Морозное выветривание, которое для типичных коренных пород Трансантарктических гор может быть в 10—25 раз более интенсивным, чем температурное выветривание (подробнее см. Мягков, 1973б), приурочено к ограниченным по площади участкам, регулярно увлажняемым талой водой. Если местные топографические условия допускают увлажнение значительных участков поверхности коренных склонов, на них образуются крупноглыбовые «каменные моря». Локализованные пути даже самых слабых ручьев талой воды на коренных склонах отмечены резко очерченными желобами глубиной до нескольких десятков м — линейными зонами активного морозного выветривания.

В связи с практическим отсутствием в Трансантарктических горах собственно химического выветривания образующиеся здесь коры выветривания весьма легки по механическому составу. На поверхности морен, возраст которых достигает нескольких миллионов лет (оценка возраста — по отношению с упомянутыми выше датированными вулканическими излияниями), коры имеют песчаный, в редких случаях супесчаный состав.

Из числа склоновых процессов в Трансантарктических горах действуют камнепады, десерпция, солифлюкция и стекание льдистых рыхлых отложений. Снежных лавин в Трансантарктических горах практически нет. Их образованию препятствуют малое количество осадков и высокая прочность снежного покрова вследствие низких температур.

Интенсивность камнепадов невелика. Судя по содержанию моренного материала на поверхности ледника Уолкотта и скорости движения этого ледника, определенной путем фототеодолитной съемки, скорость отступления крутых скальных склонов в оазисе Мак-Мердо в последние

несколько тысяч лет измеряется десятими долями мм в год, т. е. она близка к скорости отступления скальных склонов в жарких пустынях.

На поверхности осыпных конусов свежие обломки единичны, во многих случаях развиты мелкозернистая кора выветривания и полигональный мерзлотный микрорельеф. Количество осыпных конусов необычно мало в сравнении с горным ландшафтом средних широт. Эти черты позволяют заключить, что осыпные конусы в Трансантарктических горах — формы чаще реликтовые, чем активно развивающиеся. Их образование относится в основном к периодам более активного морозного выветривания, т. е. несколько более влажного и на немного градусов более теплого, чем ныне, климата. По ряду признаков (пространственное соотношение осыпных конусов и морен известного возраста, результаты палеобалансового исследования ледника Мезерв и т. п.) удалось выяснить, что главный такой период, заслуживающий название местного климатического оптимума плиоцена — плейстоцена — пришелся на интервал около 1—2 млн. лет назад.

Десерпция является склоновым процессом, охватывающим наибольшую площадь в Трансантарктических горах, в частности в оазисе Мак-Мердо. Хотя этот процесс протекает здесь весьма медленно (по данным о протяженности десерпционных шлейфов на моренах возрастом во многие сотни тысяч лет, скорость движения материала — порядка десятых долей мм в год) и захватывает слой не более первых дм, благодаря длительности своего действия он сыграл основную роль в формировании современного облика склонов. Типичные десерпционные склоны выглядят как монотонные валунно-щебнистые и щебнистые поля, лишенные первоначального микрорельефа и оживляемые лишь цветными полосами обломочного материала, тянущимися вниз от выходов темно-коричневых или красноватых долеритов и лампрофиров на общем фоне серых гранитов и гнейсов.

В районах наибольшего увлажнения грунта локально развита криогенная десерпция (скорость движения материала — примерно на порядок выше, чем при «сухой» десерпции). Криогенная десерпция создает собственный микрорельеф мелкоземисто-щебнистых террасок или языков высотой до 0,5 м. Внешнее сходство такого микрорельефа с солифлюкционным породило ошибочное мнение о сравнительно широком развитии солифлюкций в оазисе Мак-Мердо. На самом же деле широкому развитию солифлюкций здесь препятствует прежде всего ограниченное распространение грунтов тяжелого механического состава.

Такие грунты (тяжелые супеси, суглинки) изредка встречаются в виде древних озерных отложений на дне долин. Здесь в непосредственной близости от уреза существующих озер, в зоне капиллярного подъема воды действует медленная солифлюкция, а вдоль путей талой воды — «быстрая», или открытая, солифлюкция. Поскольку ручьи талой воды появляются на участках распространения озерных отложений далеко не ежегодно, открытая солифлюкция проявляется спорадически.

Весьма интересны процессы глетчeroобразного движения рыхлого материала по склонам. Этим термином, за отсутствием общепринятого, здесь называется оползание существенно льдистых масс обломочного материала, обусловленное вязко-пластическими свойствами подземного льда (погребенного или вторичного, внутригрунтового льда — цемента). Распространенность погребенного льда на прибрежных участках упомянута выше. В результате его длительного оползания некогда горизонтальные террасы, полосы термокарстового микрорельефа, разноцветного обломочного материала, свойственные облику поверхности переотложенной шельф-ледниковой абляционной морены, дугообразно изогнуты вниз по склону. Ширина и длина изгибов измеряются многими сотнями метров. По этим данным с учетом времени посадки на грунт соответствующих участков некогда плавучего льда можно видеть, что средняя ско-

рост оползания за последний миллион лет достигает 2 мм/год на склонах крутизной 5—15°. Современное движение погребенного льда улавливается при изучении скорости роста морозных трещин; трещины, ориентированные поперек склона, растут значительно быстрее трещин, расположенных вдоль склона (Berg, Black, 1966). При недостаточно внимательном изучении фестончато-деформированные террасы могут быть приняты за конечные морены горных ледников.

Вторичный, внутригрунтовый, лед может образовываться в рыхлых отложениях разного генезиса на тех участках, где в эти отложения проникает талая вода. В результате движения обломочного материала здесь формируются типичные каменные глетчеры длиной и шириной до первых сотен м, толщиной до первых десятков м, с крутыми фронтальными склонами, характерным микрорельефом поверхности в виде дугообразных валов, параллельных фронту. На некоторых участках встречается до 3—4 возрастных генераций каменных глетчеров, что дает возможность изучения колебаний климата. Скорость движения фронта каменных глетчеров за последний миллион лет достигает, вероятно, первых м в год на склонах крутизной до 25—30° (приближенная оценка по пространственному соотношению глетчеров и датированных фиордовых уровней).

Совокупность охарактеризованных склоновых процессов определяет следующую, уникальный путь эволюции склонов. Любой коренной склон круче 32° (угол естественного откоса осыпей) является зоной действия осыпного сноса и вначале приобретает сложнорасчлененный облик. Подножие склона и пологие участки на нем покрываются осыпями, в дальнейшем предохраняющими подстилающую поверхность от выветривания. Впоследствии разрушаются лишь те скальные массивы, которые возвышаются над осыпями, пока все участки склона не окажутся выположенными до 30—32°. После этого питание осыпей обломочным материалом прекращается. В эволюции самого осыпного чехла преобладающим становится процесс его десерпционного оползания. С течением времени весь коренной склон освобождается от обломочного покрова. К этому моменту он имеет прямой профиль с наклоном около 30° и выровненную поверхность, осложненную лишь плоским микрорельефом деллей и структурно-денудационным микрорельефом. Дальнейшее отступление склона обеспечивается процессами дефляции и происходит очень медленно.

Такой выровненный склон в известном смысле является аналогом педиментов жарких пустынь и может быть назван десерпционным педиментом, или десерпционно выровненным склоном, если термин «педимент» представляется непривычным по отношению к 30-градусному склону. Процесс его образования в условиях оазиса Мак-Мердо требует, видимо, многих сотен тысячелетий. Выровненные склоны крутизной около 30° весьма характерны для оазиса Мак-Мердо и для других районов Трансантарктических гор. В континентальной части оазиса встречаются участки склонов, где тесно соседствуют два-три уровня десерпционных педиментов, отделенные друг от друга крутыми скальными стенками высотой в несколько десятков м — своеобразные лестницы десерпционных педиментов. Представляется, что такие лестницы выровненных склонов отражают прошлые колебания климата, вызывавшие изменения интенсивности морозного выветривания. В первоначально выровненный склон при смягчении климата врезался желоб — линейная зона интенсивного морозного выветривания глубиной в десятки м. Затем на уровне его дна развивался новый участок выровненного склона, захватывавший площадь, ранее занятую первым уровнем выравнивания склона. Очевидно, последовательность событий в этом случае та же самая, что и при образовании лестницы педиментов в жарких аридных условиях, но вместо русловой эрозии и плоскостного смыва действуют процессы «русло-

вого» морозного выветривания, сопровождаемого криогенной и «сухой» десерпцией.

Заслуживает внимания вопрос о вертикальной зональности процессов выветривания и склоновых процессов в условиях холодного аридного климата. Впервые он был поднят К. К. Марковым (Марков и др., 1968), отметившим слабую выраженность высотной географической зональности на каменной поверхности Антарктиды. В самом деле интенсивность территориально доминирующих процессов выветривания (температурного) и массового движения обломочного материала на склонах (десерпция) зависит не от величин температур, но от скорости изменения и количества циклов изменения температур. Последние показатели в свою очередь определяются главным образом экспозицией склона и не зависят от абс. высоты.

Вертикальная зональность характерна для процессов, связанных с замерзанием и таянием льда (морозное выветривание, криогенная десерпция, глетчерообразное движение в присутствии подземного льда, а также работа текучей воды). Но эти процессы в существующих климатических условиях достаточно заметны лишь на высотах примерно до 1000 м (1/4 амплитуды абс. высот в оазисе Мак-Мердо), да и в этом поясе территориально весьма ограничены.

В оазисе Мак-Мердо существует также зависимость интенсивности процессов от расстояния до открытого летом моря: прибрежные участки чаще увлажняются летними снегопадами, чем отдаленные от моря, поэтому здесь несколько более интенсивны процессы, связанные с присутствием талой воды. В южных районах Трансантарктических гор, отделенных от открытого моря пространством шельфового ледника Росса, этот вид зональности геоморфологических процессов не выражен.

Если в горах с гумидным климатом скорость общей денудации определяется по величине выноса реками вещества в твердом и растворенном виде, то на бессточных участках сухой антарктической пустыни эта скорость определяется лишь эоловым выносом.

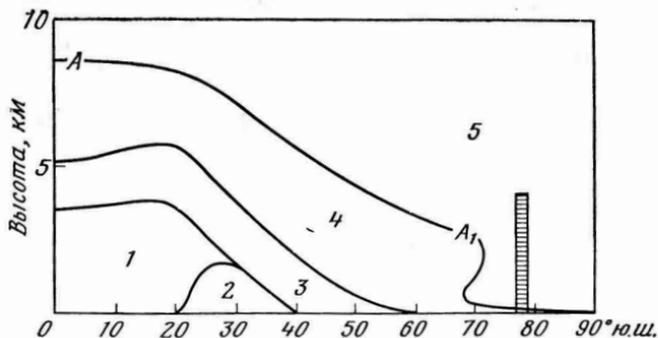
Основная часть территории оазиса Мак-Мердо не имеет ледникового стока к морю. Общая денудация здесь осуществляется лишь деятельностью ветра. Эоловые процессы повсеместны. Можно видеть, как песчаные дюны перекрывают валы конечных морен. Встречаются такие экзотические образования, как ледники, состоящие на треть из песка, принесенного ветром. Поверхность моренных отложений, особенно древних, покрыта «пустынной мостовой» из крупных, преимущественно долеритовых (наиболее прочных) обломков. На тех участках, где в толще морены изначально не содержалось достаточного для формирования бронирующей «мостовой» количества долеритовых обломков, образованы дефляционные впадины и обнажены коренные породы. На тех участках дна долин, где особенно силен перенос песка ветром, слагающие пустынную мостовую обломки могут быть огранены корразией. Заметим, что эта огранка никогда не обращается в высверливание форм ячеистого микрорельефа: ветрогранники и ячеистый микрорельеф, а также «срезанные» валуны описанного выше характера не совмещаются территориально.

В нормальных условиях ветром перекатываются частицы диаметром до 15—20 мм, в особо благоприятных условиях (по гладкой поверхности льда) — обломки диаметром до 4 см. По нарушению оснований некоторых построек на станции Мак-Мердо можно заключить, что величина дефляции свежего сухого грунта здесь достигает 0,5 м за 10—15 лет. В 1971—1975 гг. она была более 1,5 см/год (по нашим повторным измерениям на опытной площадке).

Лёссовая фракция с территории оазиса в основном выносятся в море. Однако в локальных участках ветровой тени встречаются эфемерные пятна лёссовидных эоловых отложений толщиной до первых дм. Ловуш-

ками лёсса являются озера, что можно видеть по составу древних озерных отложений, достигающих толщины нескольких м. Как эоловые, так и водно-аккумулятивные лёссовидные отложения в оазисе Мак-Мердо бывают засолены, в том числе карбонатизированы уже в процессе их накопления. Следует заметить, что процессы выветривания, характерные для антарктической сухой пустыни, дают мало лёссовой фракции. При более мягком климате количество лёссовой фракции, видимо, было бы большим.

Учитывая глубину дефляционных котловин, степень денудированности датированных вулканических форм рельефа, а также количество принесенного ветром материала на морском льду в зоне затишья стоковых ветров, дующих со стороны оазиса Мак-Мердо, средний темп общей денудации в оазисе за последние 2 млн. лет и ныне можно оценить ве-



Интенсивность общей денудации в горах южного полушария (с использованием данных Аристарховой, 1971; Young, 1969, Reheis, 1975, и др.)

Климатические зоны с характерными скоростями денудации (мм/год): 1 — жаркая влажная, 0,1; 2 — жаркая сухая, 0,2—0,4; 3 — прохладная влажная, 0,5—0,6; 4 — относительно теплая часть пояса вечных снегов, 0,7—0,9; 5 — холодная часть пояса вечных снегов (антарктическая сухая пустыня), менее 0,1. A_1 — примерное положение изотермы летней температуры воздуха -25° (изгиб кривой южнее точки A_1 отражает влияние Антарктиды). Вертикальным прямоугольником отмечено положение территории оазиса Мак-Мердо. Вертикальный масштаб — приблизительный

личиной не более 0,01 мм/год. Сравнение этой величины с величинами, характерными для горных районов с иным климатом, показано на рисунке. Легко убедиться, что при любом другом климате, исключая субтропический, горы оазиса Мак-Мердо за время их существования были бы полностью срезаны. Они и в самом деле на большей своей площади сильно денудированы — до состояния десертных педиментов.

Практически все горные ледники оазиса Мак-Мердо, как и других районов Антарктиды, приморожены к ложу. Их экзарационная способность тем самым ограничена. Мыслимы следующие способы экзарации. Некоторая экзарация мелких возвышений ложа может происходить при образовании близ основания ледника плоскостей разрывов, отсекающих эти возвышения. Экзарация может выполняться обломочным материалом, попавшим к основанию ледника с его поверхности или с поверхности оголенных уступов ложа через зияющие трещины на ледопадах. Хотя подходящие для этого ледопады в Трансантарктических горах редки, вероятно, что этот способ экзарации основной.

Особые условия кратковременной экзарации создаются, когда ледники наступают на участки существенно льдистых рыхлых отложений. В оазисе Мак-Мердо это чаще всего участки, где линзы озерного льда перекрыты флювиогляциальными или иными отложениями. В этом случае слои льда становятся основанием ледника, а их рыхлый покров вовлекается в движение, не теряя структуры и слоистости. Крупные ледники Трансантарктических гор могут надвигаться на собственные льдо-содержащие боковые морены.

Но все случаи экзарации редки. Абсолютное большинство горных ледников оазиса не имеет развитой донной морены. Средняя скорость их

экзарации должна быть меньше, чем у континентального ледникового покрова с его влажным основанием (0,01—0,05 мм/год, по Евтееву, 1960б, 1964). Многие ледники оазиса, стекающие по ровным открытым склонам, за сотни тысячелетий своего существования так и не выработали сколько-нибудь заметных экзарационных ложбин. Экзарационный рельеф здесь создан не современными холодными наземными ледниками, а ранее существовавшими ледниками с влажным основанием — преимущественно фиордовыми.

Итак, сухая антарктическая пустыня является областью минимальной для горных районов Земли скорости ледниковой экзарации и общей денудации и экзотического типа выравнивания — десерпционного. Этот вывод расширяет наши знания о зональности процессов денудации. Благодаря указанным особенностям возрастной спектр различных по генезису форм рельефа здесь исключительно велик, что и усложняет работу геоморфолога и делает ее более интересной. Оазисы южной части Трансантарктических гор по комплексу протекающих там экзогенных процессов являются, видимо, наиболее близким земным аналогом Марса и Луны.

ЛИТЕРАТУРА

- Аристархова Л. Б.* Процессы аридного рельефообразования, М., Изд-во МГУ, 1971.
- Аристархова Л. Б., Федорович Б. А.* Склоновые процессы в пустынях и полупустынях. В сб. «Вопросы географии». М., «Мысль», № 85, 1971.
- Грикуров Г. Э.* Геология Антарктического полуострова. М., «Наука», 1973.
- Евтеев С. А.* С какой скоростью ветер «разъедает» камни в Антарктиде? «Информ. бюл. САЭ», № 17, 1960а.
- Евтеев С. А.* Определение интенсивности рельефообразующей деятельности ледникового покрова Восточной Антарктиды. «Гляциол. исследования». М., Изд-во АН СССР, № 5, 1960б.
- Евтеев С. А.* Геологическая деятельность ледникового покрова Восточной Антарктиды. М., «Наука», 1964.
- Марков К. К., Бардин В. И., Лебедев В. Л., Орлов А. И., Сутова И. А.* География Антарктиды. М., «Мысль», 1968.
- Мягков С. М.* Происхождение морен на шельфовом леднике и побережьях залива Мак-Мердо (Земля Виктории). В сб. «Антарктика», вып. 11. М., «Наука», 1972.
- Мягков С. М.* Основные черты и происхождение рельефа района Сухих долин (Земля Виктории). В сб. «Антарктика», вып. 12. М., «Наука», 1973а.
- Мягков С. М.* О методике определения скорости физического выветривания. «Информ. бюл. САЭ», № 85, 1973б.
- Мягков С. М.* История оледенения долин Райта, Тейлора и Феррара (Земля Виктории, Антарктида). В сб. «Антарктика», вып. 13. М., «Наука», 1974.
- Мягков С. М.* Основные результаты и проблемы исследования неотектонической и ледниковой истории Трансантарктических гор и моря Росса. «Вестн. МГУ. География», № 5, 1975.
- Мягков С. М.* Глобальное климатическое влияние оледенения Антарктики. «Вестн. МГУ. География», № 3, 1978.
- Симонов И. М.* Оазисы Восточной Антарктиды. Л., Гидрометеониздат, 1971.
- Bell R. A. I.* A seismic reconnaissance in the McMurdo Sound region, Antarctica. «J. Glaciol.», No. 6 (44), 1966.
- Berg T. E., Black R. F.* Preliminary measurements of growth of nonsorted polygons, Victoria Land, Antarctica. In: «Antarctic Research Series», v. 8, American Geophysical Union, Publ., No. 1418, 1966.
- Bull C.* Snow accumulation in Antarctica. In: «Research in the Antarctic» (L. Q. Quam, ed.). Washington, 1971.
- Decker E. R.* Preliminary geothermal studies of the Dry Valley Drilling Project holes, Antarctica «DVDP Bull.», No. 4, Northern Illinois University, 1974.
- Elliot D. H.* Tectonics of Antarctica: a review «Amer. J. Sci.», 275-A, 1975.
- Fleck R. J., Jonese L. M., Behling R. E.* K-Ar dates of the McMurdo volcanics and their relation to the glacial history of Wright Valley. «Antarct. J. U. S.», 7(6), 1972.
- Hayes D. E., Frakes L. A.* General synthesis, Deep Sea Drilling Project Leg 28. In: «Initial Reports of the DSDP», v. 28, 1975.
- Young A.* Present rate of Land erosion. «Nature», v. 224, No. 5222, 1969.
- Morikawa H., Minato I., Ossaka J., Hayashi T.* The distribution of secondary minerals and evaporites at Lake Vanda, Victoria Land, Antarctica. In: «Geochemical and geophysical studies of dry valleys, Victoria Land in Antarctica», «Memoirs of National Institute of Polar Research», Tokyo, No. 4, 1975.
- Reheis M. J.* Source, transportation and deposition of debris on Arapaho Alacier, Front Range, Colorado, USA. «J. Glaciol.», v. 14, No. 72, 1975.

Speden I. G. Fossiliferous Quaternary marine deposits in the McMurdo Sound region, Antarctica. «N. Z. J. Geol. Geophys.», 5(5), 1962.

Thompson D. C., Bromley A. M., Craig R. M. F. Ground temperatures in an Antarctic dry valley. «N. Z. J. Geol. Geophys.», 14(3), 1971.

Московский государственный
университет
Географический факультет

Поступила в редакцию
12.XII. 1977

GEOMORPHIC PROCESSES AT ANTARCTIC OASES
(with special reference to oasis McMurdo)

S. M. MYAGKOV

Summary

Sub-aerial relief-forming processes are few in number and weak in polar cold deserts without rains and melt water being hardly available. Vertical zonality of the processes is almost completely absent. Final stage of mountain planation is «desertion pediment» inclined by 30°. General erosion rate (mostly due to deflation) is less than 0,1 mm per year, which is lowest for mountain regions. As far as the exogenous processes are concerned, the oases of Transantarctic Mountains are most relevant analogs of the Moon and Mars.
