

HORST HAGEDORN<sup>1</sup>**ZUM PROBLEM ÄOLISCHER ABTRAGUNGLANDSCHAFTEN**

Horst Hagedorn: To the Problems of Deflation Landscapes. Geogr. Čas., 37, 1985, 2—3; 7 figs, 19 refs.

The problems of climatogenetic geomorphological landscape are under discussion. Examples from the Borkou Mountains in the northern part of the Republic of Chad are taken to describe the relief forms of an aeolian corrasion landscape with yardangs and wind-lanes, also of an aeolian deflation landscape with wind depressions and a „mixed“ landscape with relief forms created by both processes. It was further shown that the areal distribution of these types of relief follow the laws of the dominant wind-field. For the development of the aeolian relief types the availability of fine to coarse grained material [sand] is mandatory. The aeolian landform ensemble takes up the lowest parts of the desert and it fully depends on the climatic element wind acting under conditions of high aridity. It could also be shown that the region of aeolian relief formation has expanded and contracted with the climatic oscillations during the Quaternary.

Die Forschungen in der klimatischen Geomorphologie sind überwiegend geprägt durch Modellvorstellungen über Prozeßgefüge in bestimmten Klimaten. Ein wesentlicher Fortschritt wird dabei in jüngster Zeit in der Quantifizierung solcher Prozesse gesehen und der dadurch möglichen prognostischen Modelle für die Entwicklung einzelner Reliefelemente. Wenig beachtet wird dagegen der schon vor vielen Jahrzehnten versuchte landschaftskundliche geomorphologische Ansatz; dabei dürfte er im Bereich der Landschaftsökologie, die für die menschliche Daseinsvorsorge von großer Wichtigkeit ist, immer mehr an Bedeutung gewinnen. Ein Versuch, die Probleme dieses Forschungsansatzes erneut zu diskutieren, wurde in letzter Zeit von Hövermann u. Hagedorn (1984) unternommen. Es zeigte sich dabei, daß an einem System der klimatischen Geomorphologie auf landschaftskundlicher Grundlage durchaus gearbeitet wird, ein entscheidender Fortschritt steht aber noch aus. Hierzu bedarf es noch weiterer intensiver Forschungen. Einen Beitrag zu der kurz skizzierten Problematik sollen die folgenden Ausführungen liefern.

Die abtragende und formende Kraft des Windes, verbunden mit der Akkumulation und Verlagerung großer Sandmassen, wurde von den ersten Bearbeitern der Geomorphologie der Wüsten als wichtigstes geomorphologisches

<sup>1</sup> Prof. Dr. H. Hagedorn, Geographisches Institut der Universität Würzburg, Am Hubland, 8700 Würzburg, BRD.

Prozeßgefüge aufgefaßt (u. a. Walter 1912). Dieser Auffassung wurde bald widersprochen und die fluvialen Wirkungen als bestimmend für den Formenschatz der Wüsten herausgestellt (z. B. Mortensen 1927). Die äolischen Formen, unter denen zumeist nur die großen Dünen- und Sandfelder verstanden werden, gehören zwar auch zum Formenbild der Wüste, sind jedoch eher Vorgängen in den Randbereichen zuzuordnen. Diese Auffassung von einem zentralperipheren Formenwandel innerhalb der Wüsten — mit fluvialer Formung durch episodische Niederschläge im Kernraum und äolischer Formung in den weniger extrem wüstenhaften äußeren Wüstengebieten — wurde auch für Teile der zentralen Sahara von Meckelein (1959) festgestellt und ist so in die Literatur eingegangen. Andererseits wurde jedoch schon 1920 von Tilho über äolische Abtragungsformen im extrem ariden Borkou-Bergland in der südöstlichen zentralen Sahara berichtet. Auch aus anderen Wüsten der Erde, wie z. B. in der Wannen Namib in Südwestafrika (Kaiser 1926), wurde über äolische Abtragungsformen berichtet, ihre Bedeutung für den Formenschatz der Wüste und das darin herrschende Prozeßgefüge jedoch nicht erkannt und die daraus zu ziehenden klimamorphologischen Schlüsse nicht gezogen.

Es stellt sich daher die Frage: Sind äolische Formen und besonders Abtragungsformen in der Wüste nur exzeptionelle, durch besondere petrographische und strukturelle Verhältnisse bedingte Formengruppen, oder aber ein klimamorphologischer Relieftyp im Gesamtkomplex der Oberflächenformen in den Wüsten der Erde und damit ein bestimmter geomorphologischer Landschaftstyp?

### *Die äolische Abtragung*

Die Morphodynamik des Windes zeigt sich in dreifacher Hinsicht:

- in der Korrasion, die Skulpturformen schafft;
- in der Deflation, die einmal zur flächenhaften Ausräumung führt und zum anderen abflußlose Hohlformen unterschiedlicher Gestalt hervorbringt;
- in der Akkumulation, durch die Sand- und Dünenfelder mit großem Formenreichtum entstehen.

Die letztere Wirkung des Windes soll hier nicht weiter behandelt werden.

Die beiden Vorgänge Korrasion und Deflation sind wohldefinierte Prozeßgefüge, die als sehr verschieden und im Prozeßablauf deutlich trennbar erscheinen. Dieses stimmt zwar in der Theorie, ist aber im Gelände nicht immer eindeutig zu trennen. Für beide Vorgänge gibt es notwendige Voraussetzungen. Diese sind für beide Prozesse:

1. Eine über eine längere Zeitspanne mit größerer Geschwindigkeit wehender Wind möglichst aus einem Richtungssektor.

2. Vegetationsarmut, damit der Wind die Möglichkeit zum Angriff auf das Gestein hat und er in Bodennähe nicht zu stark abgebremst wird.

Für die Deflation werden außerdem nicht äolisch bedingte Verwitterungsprozesse verlangt, die Material in den Korngrößen bereitstellen, das der Wind abtransportieren kann. Für die Korrasion muß ständig Sand bereitgestellt werden, der als Schleifmaterial benutzt werden kann. Dabei wird eine optimale Wirkung dann erzielt, wenn die Korngrößen im Maximum über 0,6 mm liegen bei sonst gleichen Bedingungen (Kuenen 1960). Mit diesen notwendigen Voraussetzungen sind zugleich die Klimabedingungen vorgegeben, die zu äoli-

schen Abtragungslandschaften führen bzw. in denen sie sich als eigener Formungsstil auswirken können. Prädestiniert sind alle Wüstengebiete der Erde, außerdem noch periglaziale Gebiete und bestimmte Küstenbereiche. Dabei sind solche Küsten in bestimmter Weise vom Zonenklima bzw. Höhenklima unabhängig. Zu äolischen Abtragungslandschaften kommt es jedoch nur, wenn alle oben genannten notwendigen Voraussetzungen erfüllt sind. Es ist im Rahmen dieses Aufsatzes nicht möglich, aus allen möglichen Gebieten Beispiele vorzuführen. Wir wollen uns auf einige aus der südlichen zentralen Sahara beschränken und an diesen die Grundzüge äolischer Abtragungslandschaften aufzeigen.

### *Äolische Abtragungslandschaften*

Nach den genannten äolischen Abtragungsprozessen sind theoretisch verschiedene Typen äolischer Abtragungslandschaften zu unterscheiden:

1. Korrasionslandschaften, in denen der Vorgang der Korrasion dominiert und ein diesem Prozeßgefüge zugeordneter Formenschatz überwiegt.
2. Deflationslandschaften; diese werden von Ausblasungsformen geprägt, die überwiegend als Hohlformen auftreten.
3. Mischtypen dieser beiden genannten. Es sollen dazu die Abtragungslandschaften gezählt werden, in denen keiner der beiden Formenstile als dominant erkannt werden kann.

Diese Landschaften sind in ihrer Gestalt weiter nach Petrovarianz und Paläoreliefinfluenz differenziert (Büdel 1981). Einen Einfluß übt selbstverständlich auch die Struktur aus, jedoch sollte die Überprägung durch die äolische Abtragung beherrschend im Erscheinungsbild sein.

Mit Hilfe einiger Luft- und Satellitenbilder aus der südlichen Zentralsahara sollen diese genannten Landschaftstypen vorgestellt und erläutert werden. Zunächst aber ein paar Hinweise auf den Untersuchungsraum, aus denen die Beispiele stammen.

### *Der Untersuchungsraum*

Unter der zentralen Sahara wird hier der Raum verstanden, der im Westen von den Hochgebirgen Hoggar und Air mit ihren westlichen Vorländern und im Osten vom Djebel Auenat bis zum Borkou Bergland östlich des Tibesti-Gebirges reicht. Im Süden soll noch der Nordteil des Erg von Bilma-Fachi dazugerechnet werden; die nördliche Begrenzung liegt am Südrand des Djebel es Soda und der Hamada el Homra (vgl. Fig. 1).

Geologisch wird der Raum von zwei großen Schwellengebieten — der Tibesti-Syrte und der Hoggar-Air Schwelle — und von großen Becken wie das zentrale Murzuk-Djado Becken geprägt. Während auf den Schwellen das Grundgebirge zutage tritt, sind die Becken mit mächtigen Sedimentlagen gefüllt, die vom Paläozoikum bis ins Quartär reichen. Die Hochgebirge Hoggar, Air und Tibesti werden in ihrem geologischen Bau von vulkanischen Ablagerungen bestimmt.

Klimatisch gehört der Raum zum extrem-ariden Gebiet der Sahara. Auffallend ist die Regelmäßigkeit des NE-Passats, wie am Klimadiagramm der Station Faya-Largeau zu sehen ist (vgl. Fig. 2). Da der Passat eine bodennahe

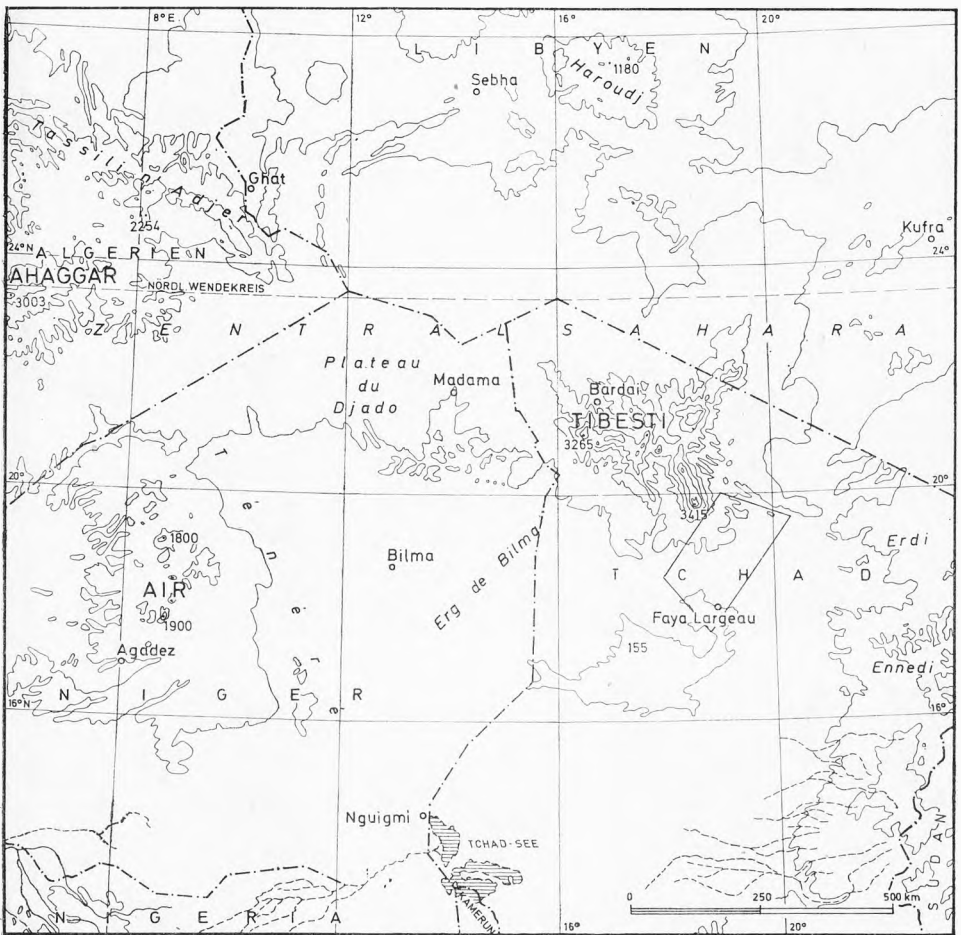


Fig. 1 Topogr. Übersichtskarte  ~ Lage Abb. 1

Luftströmung ist, wird er durch Gebirge und Bergländer deutlich beeinflusst, wie u. a. an den Dünenfeldern im Tibesti Vorland erkennbar wird. Ausführlich ist dieses von Mainguet und Mitarbeitern (1975, 1978) untersucht und beschrieben worden, so daß hier auf diese Arbeiten verwiesen werden kann.

### *Die Korrasionslandschaft*

Das Satellitenbild Abb. 1 zeigt ein in der Generalrichtung NE-SW streichendes Linienmuster. Die hellen und dunklen Streifen sind unterschiedlich breit und variieren in der Länge erheblich. Verschleiert durch diese Linienmuster tritt die Struktur des Gebietes nur undeutlich hervor. Es handelt sich dabei um die nach SW ausstreichenden Schichten des Kufra-Beckens, die im großen

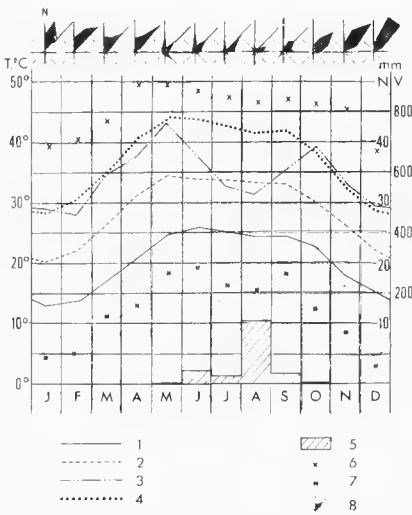


Fig. 2 Klimadiagramm Raya-Largeau

(nach CAPOT-REY 1961 u. DUBIEF 1959 u. 1963)

1 mittlere monatl. Temperaturminima; 2 mittlere Monatstemperaturen; 3 mittlere monatl. Verdunstungshöhe (gemessen mit einem PICHE-Evaporimeter); 4 mittlere monatl. Temperaturmaxima; 5 Monatsmittel der Niederschlagshöhe; 6 absolute Temperaturmaxima der Monate; 7 absolute Temperaturminima der Monate; 8 Hauptwindrichtungen in den einzelnen Monaten (die Länge der Vektoren ist proportional der Dauer des Windes mit Windstärke  $\geq 3$ )

Verwertete Beobachtungsperioden: Temperaturen 1946–52, Niederschläge 1937–58, Verdunstung 1951, 1955, 1956, Wind 1951

eine Schichtstufenlandschaft bilden. Deutlicher erscheint als strukturelles Element in der Bildmitte eine große Ringstruktur, die aber auch mit einer gewissen Richtungstoleranz in das Linienmuster einbezogen wird. Südwestlich der Ringstruktur sind einige untergeordnete Linienmuster zu erkennen, die diagonal auf die Hauptlinien zulaufen. Im südwestlichen Quadranten des Bildes sind größere Hohlformen zu sehen, die nur randlich dem Linienmuster zugeordnet erscheinen.

Die Abb. 1 umfaßt den größten Teil der äolischen Abtragungslandschaft in Borkou im Norden der Republik Tschad, die über eine halbe Million km<sup>2</sup> groß ist. Über sie wurde erstmals von Tilho [1920] berichtet. Sie geriet dann in Vergessenheit, bis Mainguet [1968, 1972] und Hagedorn [1967, 1968, 1971] ausführlich dieses „Windhöckerrelief“ untersucht und darüber publiziert haben. Bei den Formen handelt es sich um Windhöcker oder Yardangs mit dazwischenliegenden Windgassen. Wie das Bild zeigt, hat die Größenordnung der Stromlinienkörper erheblichen Spielraum. Die Formen reichen von wenigen Metern Länge und Breite und 0,5–1 m rel. Höhe bis zu Großformen von 500–1000 m Länge und 50–100 m rel. Höhe; das Verhältnis von Länge und Breite liegt zwischen 5:1 bis 10:1. Die Windgassen sind noch differenzierter als die aerodynamischen Vollformen. Ihre Breite ist unabhängig von der der Stromlinienkörper; sie korrespondieren nur in der entsprechenden umgekehrten Form mit den Vollformen.

Diese Formen, die von Mainguet und Hagedorn in ihrer Varianz ausführlich beschrieben worden sind, sind überwiegend durch das Sandstrahlgebläse des NE-Passats als Korrasionsformen entstanden. Schleifmittel ist ein gelbroter Sand, dessen Korngrößenmaximum mit fast 60 % bei 0,25 mm liegt. Der Sand geht unregelmäßig in Verteilung und Volumen über das Gebiet hinweg. Die Dünen — es sind überwiegend Barchane — durchwandern die Windgassen als Sandhaufen mit Höhen bis über 10 m; dadurch wird auch verständlich, daß Sandschliff bis in diese Höhen auftritt.

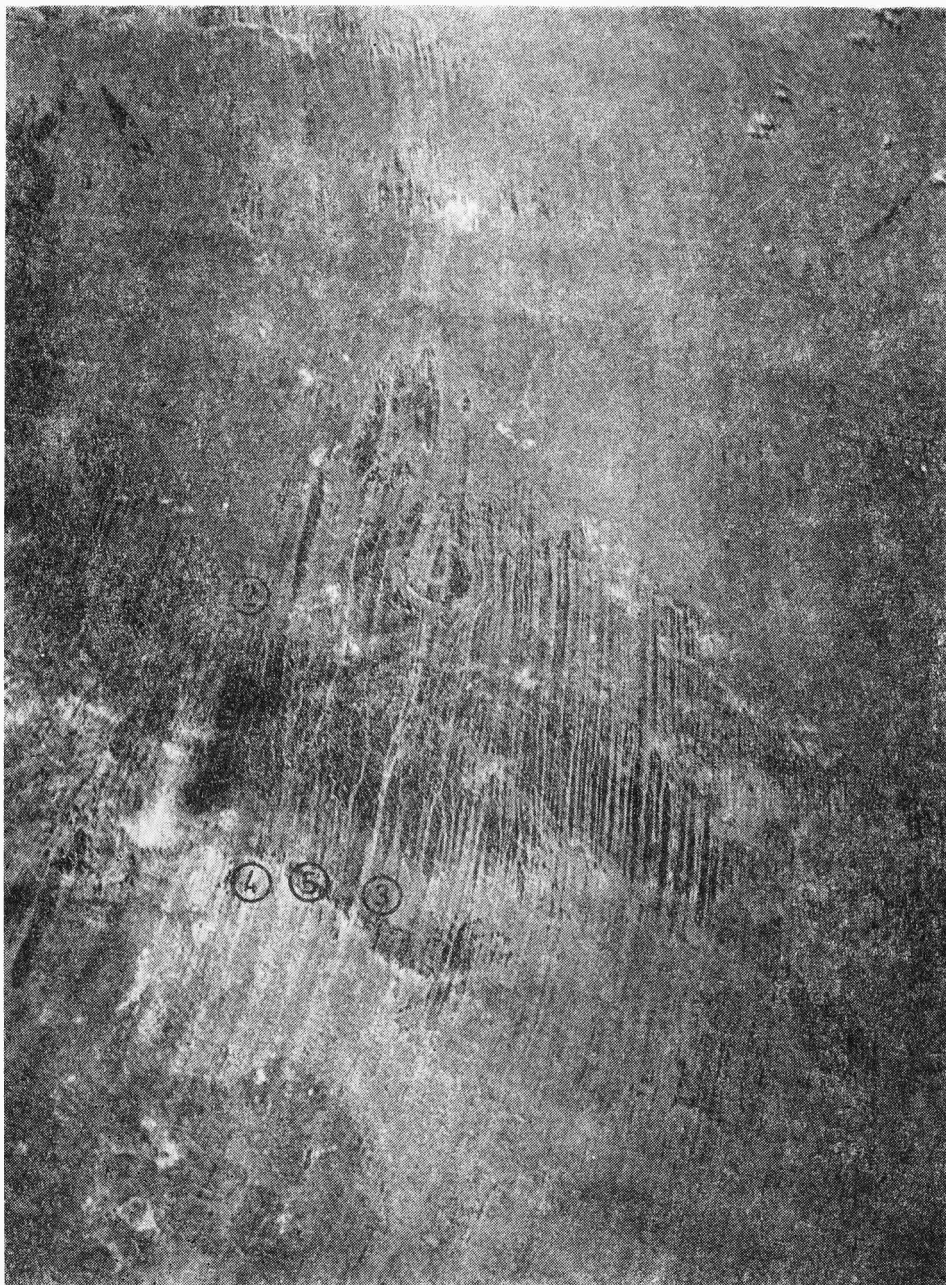


Abb. 1. Satellitenbild vom Borkou-Bergland im Norden der Republik Tschad. Deutlich erkennbar ist neben dem Windrelief die Ringstruktur von Aorounga, deren Durchmesser ca. 15 km beträgt. Die ungefähre Lage der übrigen Abbildungen ist mit eingekreisten Ziffern eingetragen. Aufnahme NASA.

Die Regelmäßigkeit des Linienmusters hat manche Bearbeiter zu der Behauptung veranlaßt, diese Formen seien strukturell angelegt und letztlich tektonischen Ursprungs [Pesce, 1969]. Um dieses Problem zu lösen, betrachten wir Abb. 2. Das Luftbild zeigt einen Ausschnitt aus dem Nordostteil einer Ringstruktur von Abb. 1, die nur schwach sichtbar westlich der großen liegt.



Abb. 2. Windrelief in einer Ringstruktur. Die Korrasionsformen folgen mit einer Toleranz von  $5^\circ$  der Richtung des NE-Passats. Ausschnitt aus Luftbild NE 34 XIX 111. Cliché Institut Géographique National (IGN), Paris.

Die Kreisstruktur ist noch in den Formen erkennbar, jedoch legt sich das Linienmuster in NE-SW Richtung mit einer Winkeltoleranz von ca.  $5^\circ$  deutlich über die tektonisch bedingte Strukturform. Es werden von der Korrasion zwar Schwächezonen im Gestein wie Klüfte und sonstige Strukturformen bevorzugt, aber nur dann, wenn sie annähernd in der Hauptwindrichtung liegen. Die Abb. 2 beweist eindeutig, daß die Korrasion in der Hauptwindrichtung das Relief dominant prägt. Dieses gilt auch bei der Überformung eines fluvialen Paläoreliefs, das ebenfalls auf der Abb. 2 zu sehen ist. Das vorausgehende fluviale Relief lehnte sich stärker an die Strukturformen an als das folgende äolische, ohne daß jedoch eine völlige Koizidenz hergestellt worden ist. Talabschnitte, die in der Hauptwindrichtung verlaufen, werden von der Korrasion zu Windgassen umgeformt durch Ausschleifen der Talböden und kräftigem Windschliff an den Hängen.

Der Einfluß eines fluvialen Paläoreliefs ist auch der Grund für die diagonal zu dem passatischen Linienmuster verlaufenden hellen Streifen südlich der Ringstruktur auf Abb. 1. Auf einer höher gelegenen Landterrasse haben sich die Abflußbahnen des Wassers in feuchteren Zeiten als tiefe Täler eingegraben und ergaben ein dichtes Talnetz. Dieses wurde in den Teilen, die in

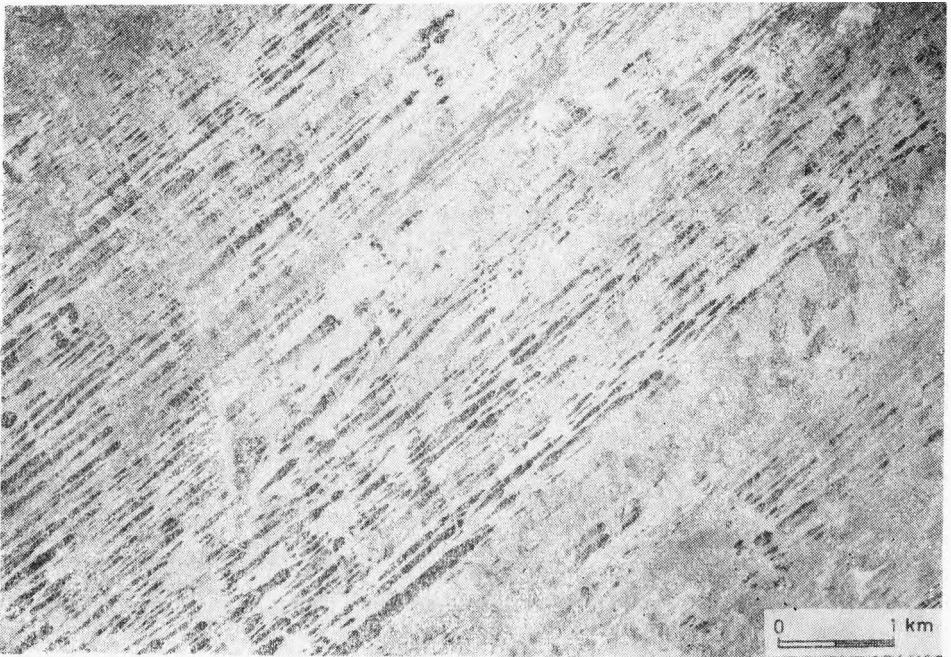


Abb. 3. Äolische Korrasionslandschaft. Ausschnitt aus Luftbild NE 34 XIII 372. Cliché IGN, Paris.

der Hauptwindrichtung liegen, dann in folgenden arideren Zeitabschnitten in Windgassen umgestaltet und ein aerodynamisches Windhöckerrelief herauspräpariert.

Auf der Abb. 1 ist das Linienmuster nördlich der Ringstruktur nur noch schwach erkennbar. Wir finden hier ausgedehnte Serirflächen, die mit z. T. allochthonen Kiesen und Schottern bedeckt sind. Solche Serirflächen werden im allgemeinen als Deflationspflaster interpretiert und so den Deflationslandschaften zugeordnet (Mainguet 1980). Im Borkou-Bergland konnte jedoch flächenhafte Korrasion beobachtet werden, wobei die in einer tonigen Matrix eingebetteten groben Schotter in gleicher Weise abgeschliffen werden wie die „weichere“ Matrix. Beispiele dafür wurden in Hagedorn (1971) vorgelegt. Zwar ist der Korrasionsbetrag flächenhaft mit 5—10 cm seit Ablagerung der Schotter im letzten Pluvial nicht sehr hoch, er zeigt aber doch die landschaftsbestimmende Wirkung der Korrasion.

Der Idealtyp der Korrasionslandschaft ist jedoch das aus Yardangs und



Windgassen aufgebaute Windhöckerrelief, wie es auf Abb. 3 in Vollendung zu sehen ist.

### *Die Deflationslandschaft*

Bei der Interpretation von Abb. 1 wurde schon auf eine Vielzahl von Depressionen im südwestlichen Quadranten des Bildes hingewiesen. Diese Hohlformen sind häufig abflußlos und erreichen vereinzelt den oberen Grundwasserhorizont, was sich an Oasen und gehäuft auftretenden Ansammlungen von Tamariskenhügeln zeigt. Die Depressionen sind Erosionsbasen der nach episodischen Regenfällen fließenden, kurzen Flüsse und damit Sammelbecken der fluvialen Akkumulationen. Dieses ist an den weißen Flächen mit den randlichen Gewässernetzen auf Abb. 4 gut zu erkennen. Die Ränder der Hohlformen sind nicht sehr regelmäßig; sie werden aber aktiv geformt, wie die hellen Farben andeuten; eine Krustenbildung existiert an den Hängen kaum, sie ist jedoch auf den Plateauflächen deutlich sichtbar. Die Sandanhäufungen im Lee der nach Südwesten weisenden Ränder weisen auf den auch hier wehenden NE-Passat hin.

Wie schon weiter oben angedeutet, ist für eine Deflationslandschaft, in der der Abtransport von feinkörnigem Verwitterungsmaterial dominiert, eine entsprechende Verwitterung eine notwendige Voraussetzung. An dieser Stelle kommt nun die Petrovarianz ins Spiel. Während die Plateaus noch aus einer von Eisen-Mangankrusten bedeckten Sandsteinschicht bestehen, treten an den Hängen und in den Depressionen die unterlagernden tonigen und mergeligen Schichten zutage. Diese sind einmal sehr viel verwitterungsanfälliger und auch bei den episodischen heftigen Regenfällen leichter abzuspülen als die harten Sandsteine. Bei diesen Prozessen spielt die Salzverwitterung eine große Rolle (Hagedorn, 1971). Endpunkt der äolischen Ausräumung ist das Erreichen des oberen Grundwasserspiegels, der jedoch bei jährlichen Schwankungen im Meterbereich zur Verwitterung im Tiefsten der Hohlformen beiträgt. Korrosionserscheinungen fehlen nicht; sie sind aber den Deflationsprozessen absolut untergeordnet.

Die auf der Abb. 4 sichtbaren Depressionen passen in ihrer Umrißgestalt nicht zu den regelhaften Wannen und Mulden, wie sie als Deflationsformen beschrieben worden sind (Kaiser, 1926), obwohl die äolischen Prozesse der Ausblasung eindeutig nachgewiesen sind. Um dieses Problem zu lösen, muß der Einfluß des Paläoreliefs herangezogen werden. Erst in jüngster Zeit sind Beobachtungen und Untersuchungen über zahlreiche abflußlose Hohlformen auf Sandsteinflächen und den in Karbonaten auftretenden Lösungserscheinungen vergleichbaren Formen im Sandstein bekannt geworden. So berichtet Busche (1982) über abflußlose Depressionen auf dem Plateau von Mangueni bzw. Djado, welche der Plateaufläche ein pockennarbenartiges Aussehen verleihen. Gleiche Beobachtungen konnten auch im Bereich der Schichtstufe von Bilma gemacht werden (Baumhauer, 1985). Dieser den Karstformen in Karbonaten vergleichbare Formenschatz in Silikaten ist ein in der zentralen Sahara weit verbreitetes Phänomen und in seiner Bedeutung für die Formenentwicklung noch kaum gewürdigt und erfaßt worden. Es liegt nun nahe, solche abflußlosen Hohlformen mit entsprechenden Verwitterungsformen auch für das Gebiet auf Abb. 4 als Paläorelief anzunehmen. Paläorelief deshalb,

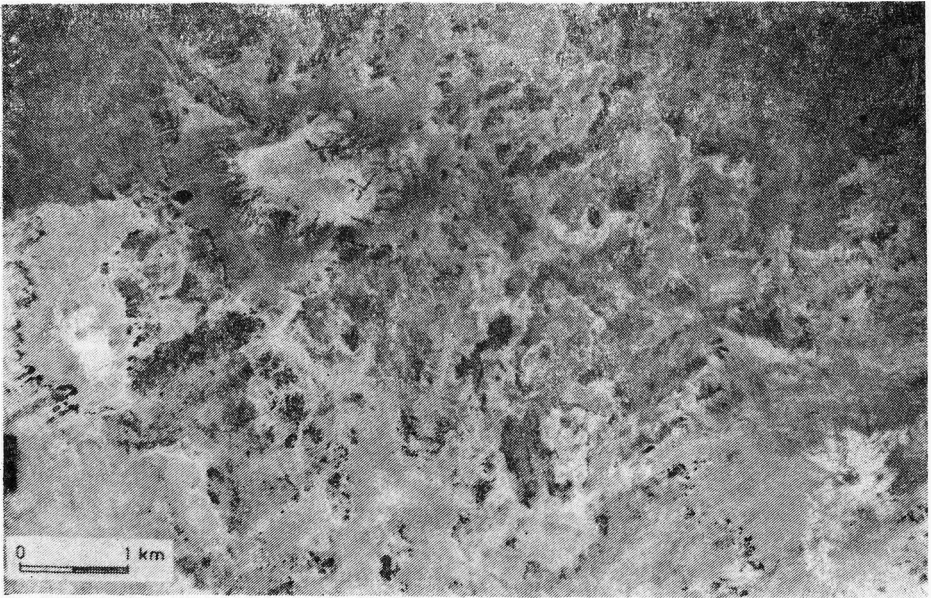


Abb. 4. Äolische Deflationslandschaft. Ausschnitt aus Luftbild Ne 34 XIII 325. Cliché IGN, Paris.

weil die Verwitterung der Silikatgesteine ein anderes Milieu voraussetzt als wir es heute hier antreffen. Bei diesen Kenntnissen werden die unregelmäßigen Umrisse der Deflationshohlformen verständlich. Die Deflationslandschaft im Gebiet des Borkou-Berglandes verdankt ihre heutige Gestalt neben der äolischen Wirkung des Windes der Petrovarianz und im besonderen Maße der Paäoreliefinfluenz.

Auf die Serirflächen als Deflationsflächen wurde bei der Betrachtung der Korrasionslandschaft schon hingewiesen. Die Deflation spielt sicherlich bei der Entstehung der Serir eine große Rolle. Man muß jedoch bedenken, daß nach der Ausblasung des für den Wind transportfähigen Materials Formungsruhe eintreten muß, wenn es nicht zur Bereitstellung von neuem transportierbarem Material durch andere nicht äolische Vorgänge kommt. Auf die Korrasionsformen an der Seriroberfläche wurde schon hingewiesen. Nach unseren Beobachtungen findet heute auf den Serirflächen meist nur ein Durchtransport von Sand aus den Liefergebieten am Ende episodischer oder periodischer Flußsysteme zu den großen Ergs — den Friedhöfen des Sandes — statt.

#### *Der Mischtyp äolischer Abtragungslandschaften*

Wie schon eingangs ausgeführt, sind die äolischen Prozesse der Korrasion und Deflation eng miteinander verknüpft. Für die beiden „reinen“ Abtragungslandschaften wurde daher auf die Dominanz im Formungs- und Formenstil als Kriterium für die Zuordnung hingewiesen. Bei konsequenter Anwendung dieser Regel sollten daher räumlich eng benachbarte und sich kleinräumig ablö-

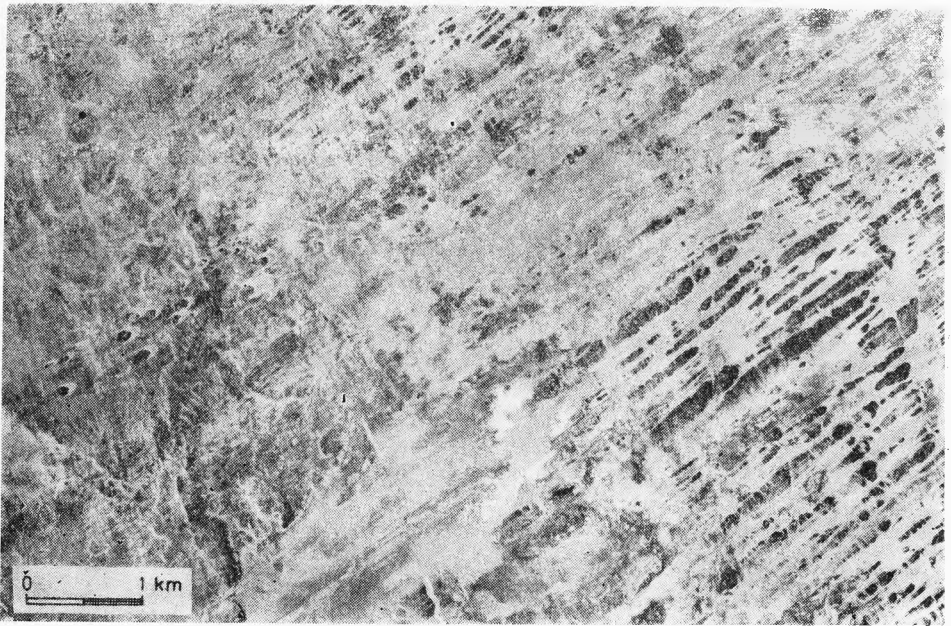


Abb. 5. Mischtyp der äolischen Abtragungslandschaft. Ausschnitt aus Luftbild NE 34 XIII 317. Cliché IGN, Paris.

sende Korrasions- und Deflationsformen nicht zu einem Mischtyp zusammengefaßt werden. Als Mischtyp können nur solche Formen gedeutet werden, die von beiden Prozessen direkt beeinflußt werden. Auf der Abb. 5 ist ein solcher Landschaftstyp zu sehen. Die der Deflation zugeschriebenen Hohlformen sind hier im Sinne der Windrichtung sowohl an den Rändern als auch im Zentrum von aerodynamischen Korrasionsformen und Windgassen geprägt und beweisen die gleichzeitige Wirkung der Korrasion. Deutlich erkennbar sind weiterhin die Deflationswannen zwischen und am Rande der Yardangs bzw. in den Windgassen. Der Mischtyp äolischer Abtragungslandschaften ist also ein eigenständiger Landschaftstyp neben den beiden erstgenannten. Man sollte daher auch nicht die beiden Prozesse Deflation und Korrasion unter dem Überbegriff „äolische Ablation“ zusammenfassen, wie es etwa Czajka (1972) fordert. Die für die Konstituierung eines morphologischen Landschaftstyps notwendige Zuordnung nach Formenstil und Prozeßdominanz ginge begrifflich dabei verloren und verhinderte eine saubere Synthese.

### *Schlußbetrachtung und Folgerungen*

Korrasion und Deflation haben als einzeln dominierendes oder integriertes Prozeßgefüge äolische Abtragungslandschaften gebildet, die durch eigene Formungs- und Formenstile gekennzeichnet sind. Die geomorphologischen Landschaftstypen sind in ihrem Vorkommen großräumig streng an das Klima gebunden und damit wesentlicher Bestandteil eines klimagenetischen geomor-

phologischen Systems auf landschaftskundlicher Grundlage. Das räumliche Verbreitungsmuster der drei Landschaftstypen wird wesentlich von der Petrovarianz und dem Paläorelief bestimmt. Der große Einfluß der Vorzeitformen wird bei der Deflationslandschaft besonders deutlich. Ein weiterer wichtiger Faktor ist im Falle der Korrasionslandschaft die Möglichkeit der Aufnahme von Sand für das Sandstrahlgebläse des NE-Passats. Eine andere Verteilung der Sandliefergebiete würde bei gleichem Windfeld zu einem anderen geomorphologischen Landschaftsmuster führen. Hierdurch wird klar, daß die Gebiete gegenwärtiger äolischer Abtragungslandschaften gesetzmäßig in das Gesamtgefüge der in der Sahara ablaufenden geomorphologischen Prozesse eingebettet sind und zu einem übergeordneten geomorphologischen Landschaftsmuster gehören.

Das Verbreitungsmuster der Oberflächenformen bestimmten Formungsstils in der Zentralsahara und die gegenwärtig ablaufenden geomorphologischen Prozesse sind deutlich höhenabhängig. Die äolischen Abtragungslandschaften nehmen das unterste Stockwerk ein gemeinsam mit den äolischen Akkumulationen; diese reichen je nach Exposition zu höheren Gebieten bis in Höhen von 800—1000 m über NN hinauf. Ihnen schließt sich ein Stockwerk an, in dem kurzzeitig äolische und fluviale Prozesse sich ablösen; Leitform dieses Stockwerkes sind Sandschwemmebenen. Innerhalb ca. 1000 bis 2000 m absoluter Höhe dominieren fluviale Prozesse mit Dominanz der Tiefenerosion und Schluchten als Leitform. Die höchsten Stockwerke werden von einem arid periglazialfluvialen System beherrscht, das mit entsprechender Schuttbildung und mächtigen Hangschuttdecken das Bild der Oberflächenformen prägt (Hagedorn, 1967). Diese Stockwerke lagen in ihrer Höhe im Quartär nicht fest, sondern wanderten je nach Klimabedingungen nach oben oder unten. In den Beispielen für äolische Abtragungslandschaften wurde dieses z. B. an den Resten eines fluvialen Reliefs und der karstartigen Silikatverwitterung erkennbar. Diese Änderungen im Formungsstil ereigneten sich mehrfach und bestimmten somit auch die große Formenvarianz im Paläorelief.

Die Analyse der Formen, der Paläoreliefinfluenz, der Petro- und Tektovarianz in Kombination mit den rezenten Prozeßabläufen reichen allein nicht aus, um den Aufriß der Landschaft als Ergebnis der Abfolge unterschiedlicher Formenstile zu verstehen. Neben die Modelle über bestimmte Prozeßgefüge müssen Modellvorstellungen über charakteristische Formengemeinschaften treten. Dieses gelingt aber nur mit Hilfe einer sorgfältigen Synthese aller für die Beschaffenheit und die Bildung klimagenetischer geomorphologischer Landschaftstypen wesentlichen Formungsvorgänge in Gegenwart und Vergangenheit.

#### LITERATUR

1. BAUMHAUER, R. (1985): Zur jungquartären Seenentwicklung im Bereich der Stufe von Bilma (NE-Niger). Diss. Fak. f. Geowiss. Universität Würzburg. — 2. BÜDEL, J. (1981): Klima-Geomorphologie. Berlin-Stuttgart. — 3. BUSCHE, D. (1982): Die geomorphologische Entwicklung des westl. Murzuk-Beckens, des Djado-Plateaus und des nördl. Kaouar (Zentrale Sahara). Habil.-Schrift Universität Würzburg. — 4. CZAJKA, W. (1972): Windschliffe als Landschaftsmerkmal. Z. Geomorph. N. F. 16, 1; S. 27—53. — 5. HAGEDORN, H. (1967): Studien über den Formenschatz der Wüste an Beispielen aus der Südost-Sahara. Verh. Dt. Geogr.-Tag, Bd. 36, S. 401—411, Wiesbaden. — 6.

HAGEDORN, H. (1968): Über äolische Abtragung und Formung in der Südost-Sahara. Erdkunde, 22, 4; S. 257—269. — 7. HAGEDORN, H. (1971): Untersuchungen über Relief-typen arider Räume an Beispielen aus dem Tibesti-Gebirge und seiner Umgebung. Z. Geomorph. N. F., Suppl., Bd. 11. — 8. HÖVERMANN, J. und H. HAGEDORN (1984): Klimatisch-geomorphologische Landschaftstypen. Verh. Dt. Geogr.-Tag, Bd., 44, S. 460—466, Stuttgart. — 9. KAISER, E. [1926]: Die Diamantwüste Südwestafrikas. 2 Bde. Berlin. — 10. KUENEN, PH. H. (1960): Experimental abrasion 4; Eolian action. J. Geol., p. 427—449.

11. MAINGUET, M. (1968): Le Borkou, aspects d'un modelé éolien. Ann. de Géogr., 77, 421; p. 296—322. — 12. MAINGUET, M. (1972): Le modelé des grés. Problèmes gé-néraux. JGN, Paris. — 13. MAINGUET, M. u. Y. CALLOT (1978): L'erg de Fachi-Bilma [Tchad-Niger]. Mémoires et Documents, CNRS, Nile. série, vol. 19. — 14. MAINGUET, M. u. L. CANON (1975): Vents et paléovents du Sahara Tentative d'approche paléocli-matique. Rev. Géogr. phys. Géol. dyn. (2) 18, p. 23—32. — 15. MECKELEIN, W. (1959): Forschungen in der zentralen Sahara. Braunschweig. — 16. MORTENSEN, H. (1927): Der Formenschatz der nordchilenischen Wüste. Abh. Ges. Wiss. Göttingen, Math.-Phys., Kl. N. F. XII, Berlin. — 17. PESCE, A. (1969): Gemini Space Photographs of Libya and Tibesti. Petroleum Exploration Society of Libya, Tripoli. — 18. TILHO, J. (1920): The Exploration of Tibesti, Erdi, Borkou and Ennedi in 1912—1917. Geogr. J. 56, S. 81—99, S. 161—182, S. 241—267, London. — 19. WALTHER, J. (1912): Das Gesetz der Wüsten-bildung in Gegenwart und Vorzeit. Leipzig.

Horst Hagedorn

#### K PROBLEMATIKE KRAJÍN S EOLICKÝM ODNOSOM

Príspevok je venovaný geomorfologicky zameranému výskumu krajín s eolickým odnosom, s cieľom prispieť k systému klimatickej geomorfológie z hľadiska krajiny ako celku. Vietor ako geomorfologický faktor pre formovanie povrchu bol niekoľkokrát prehodnocovaný. Medzi rôznymi faktormi geomorfologických procesov sa mu pripisuje vcelku nepatrná úloha. Celkom mimoriadne to platí pre odnosovú činnosť, ktorá oproti eolickej akumulácii, pod ktorou sa väčšinou myslí iba tvorba dún, pokladá sa za nepatrnú a nie rozhodujúcu pre krajinu.

Z tohto hľadiska by bolo bádanie vo sfére krajín s eolickým odnosom vopred odsú-dené k neúspechu. Na príkladoch z južnej časti strednej Sahary sa demonštruje, že existujú krajiny väčších rozmerov s eolickým odnosom, pričom sme vybrali len tie, pri ktorých možno jednoznačne určiť korázne a deflačné formy ako dominantné.

Korázia a deflácia sú dobre definované procesy a zdá sa, že majú zreteľne oddeli-teľný priebeh. Nevyhnutnými predpokladmi pre oba procesy sú:

- vietor, fúkajúci cez dlhší časový úsek, s väčšou rýchlosťou a pokiaľ možno z jedného smerového sektoru,
- chudobná vegetácia a prítomnosť eolických produktov zvetrávania, schopných trans-portu.

S týmito predpokladmi sú zároveň v hrubých črtách stanovené klimatické podmien-ky. Je jasné, že uvedené predpoklady spĺňajú iba púšte, periglaciálne oblasti a určité púšťové oblasti. Pritom sú pobrežia v určitom zmysle nezávislé od zonálnej klímy.

Uvádzať sa krajiny s eolickým odnosom z hornatiny Borkou v severnej časti Čad-skej republiky. Klimaticky patrí táto oblasť k pravej až hyperarídnej južnej časti stred-nej Sahary. Možno rozlíšiť rôzne typy krajín s eolickým odnosom:

- korázne krajiny s prevahou foriem korázie, ako sú yardangy atď.,
- deflačné krajiny s prevahou vyviatych foriem, ako sú panvy vytvorené defláciou syp-kých pieskov v arídnych oblastiach atď.,
- kombinované typy krajiny s formami z oboch procesov.

Tvary v tejto krajine sa ďalej diferencujú podľa pестrosti hornín a vplyvu paleoreliéfu.

Poukazuje sa na pravidelné rozmiestnenie krajín s eolickým odnosom v štruktúre typov povrchových foriem v južnej časti strednej Sahary a na ich zmenu počas pleistocénných klimatických oscilácií.

Obr. 1. Topografická prehľadná mapa.

Obr. 2. Diagram klímy z Faya—Largeau.

Kozmická snímka 1. Vrchovina Borkou na S Čadskej republiky. Veďa eolického reliéfu je jasne poznateľná kruhová štruktúra Aourounga, ktorej priemer je ca 15 km.

Približná poloha ostatných snímok je zaznačená číslami v krúžkoch. Snímka NASA.

Letecká snímka 2. Eolický reliéf v kruhovej štruktúre. Formy korázie sledujú s toleranciou 5° smer severovýchodného pasátu. Výsek z leteckej snímky, NE 34 XIX 111. Cliché Institut Géographique National, IGN, Paris.

Letecká snímka 3. Krajina s eolickou koráziou. Výsek z leteckej snímky, NE 34 XIII 372. Cliché Institut Géographique National, Paris.

Letecká snímka 4. Krajina s eolickou defláciou. Výsek z leteckej snímky, NE 34 XIII 325. Cliché Institut Géographique National, Paris.

Letecká snímka 5. Kombinovaný typ krajiny s eolickým odnosom. Výsek z leteckej snímky, NE 34 XIII 317. Cliché Institut Géographique National, Paris.

Хорст Хагедорн

## ОТНОСИТЕЛЬНО ПРОБЛЕМАТИКИ ЛАНДШАФТОВ С ЭОЛОВЫМ УНОСОМ

Статья посвящена геоморфологически ориентированным исследованиям ландшафтов с эоловым уносом и имеет цель внести вклад в систему климатической геоморфологии с аспектов ландшафта как одного целого. Роль ветра как геоморфологического фактора формирования поверхности рассматривалась уже много раз. Среди разных факторов геоморфологических процессов в общем этой роли приписывается незначительная роль. Тем более это относится к эоловому уносу, который, по сравнению с эоловой аккумуляцией (под которой в большинстве случаев подразумевается лишь образование дюн), считается незначительным и не решающим фактором для ландшафта.

Если бы мы придерживались этого аспекта, то исследование ландшафтов с эоловым уносом было бы обречено на неудачу. На примерах, относящихся к южным участкам Сахары, показывается, что существуют крупноразмерные ландшафты с эоловым уносом, причем нами избраны лишь те, для которых можно однозначно определить корразионные и дефляционные формы как преобладающие.

Корразия и дефляция представляют собой хорошо определяемые процессы и кажется, что имеют хорошо различаемое протекание.

Необходимыми предпосылками для обоих процессов являются:

1. Ветер, дующий более длительный период времени с повышенной скоростью и, по возможности, с одного сектора направления.
2. Обедненная растительность и присутствие эоловых продуктов выветривания, поддающихся транспортировке.

Эти предпосылки одновременно, в общих чертах, определяют климатические условия. Очевидно, что приведенные выше предпосылки выполняют лишь пустыни, перигляциальные области и некоторые пустынные области. При этом побережья в определенном смысле являются не зависящими от зонального климата.

Рассматриваются ландшафты, у которых наблюдается эоловый унос, находящиеся на хол-

могорье Борку на севере республики Чад. В климатическом отношении эта область относится к подлинной и даже к гипераридной южной части центральной Сахары. Можно выделить разные типы ландшафта с эоловым уносом:

1. Корразионные ландшафты с преобладанием форм корразии, как например, ярданги и т. п.
2. Дефляционные ландшафты с преобладанием выветренных форм, как например котловины, образованные в результате дефляции сыпучих песков в аридных областях и т. п.
3. Комбинированные типы, т. е. ландшафты с формами обоих процессов.

Формы в этом ландшафте далее различаются в зависимости от пестрого состава пород и от влияния палеорельефа.

Обращается внимание на регулярность размещения ландшафтов с эоловым уносом в структуре типов поверхностных форм в южной части центральной Сахары и на их изменения в течение плейстоценовых климатических осцилляций.

Рис. 1. Топографическая обзорная карта.

Рис. 2. Диаграмма климата Файа-Ларжо.

Космический снимок 1. Космический снимок холмогорья Борку на севере республики Чад.

Наряду с эоловым рельефом хорошо различается круговая структура Аорунги, диаметр которой около 15 км. Примерное расположение остальных снимков выделено закружкованными номерами. Снимок НАСА.

Аэроснимок 2. Эоловый рельеф в круговой структуре. Формы корразии следуют с точностью  $5^\circ$  в направлении северо-восточного пассата. Часть аэроснимка NE 34 XIX 111. Снимок: Национальный географический институт (НГИ), Париж.

Аэроснимок 3. Ландшафт с эоловой корразией. Часть аэроснимка NE 34 XIII 372. Снимок: НГИ, Париж.

Аэроснимок 4. Ландшафт с эоловой дефляцией. Часть аэроснимка NE 34 XIII 325. Снимок: НГИ, Париж.

Аэроснимок 5. Комбинированный тип ландшафта с эоловым уносом. Часть аэроснимка NE 34 XIII 317. Снимок: НГИ, Париж.

Перевод: Л. Правдова