

Jerzy KOTOWSKI, Georgi P. GORSZKOW, Stanisław W. CZESNOKOW
Lew W. BIELIAKOW

PARAGENETYCZNY ZWIĄZEK B-LINEACJI MINERALNEJ
I PARAKINEMATYCZNEJ LINEACJI SKALNEJ
W TAURYDZKIEJ SERII (KRYM)

(26 fig.)

*The paragenetic relationship between mineral B-lineation
and parakinematic rock lineation in the Taurus Series (Crimea)*

(26 Figs.)

Treść. W argilitach i aleurytach taurydzkiej serii (Krym) wydzielono po raz pierwszy B-lineację mineralną i lineację skalną (linijne elementy skalne). Z analizy struktur linijnych i powierzchniowych wynika, że w taurydzkiej serii występują fałdy nałożone. W starszym fałdowaniu powstała B-lineacja mineralna i część linijnych elementów skalnych. Podlegały one reorientowaniu w czasie młodszego fałdowania. W młodszym fałdowaniu powstały nowe linijne elementy skalne.

WSTĘP

W skałach o budowie płasko-linijnej (Eliseev, 1967) lineacja jest wyznaczona przez minerały o krystalochemicznej pakietowej, przestrzennej i łańcuchowej strukturze. W argilitach i aleurytach taurydzkiej serii na powierzchniach warstwowania minerały takie tworzą równoległe względem siebie zorientowane linijne struktury.

W czasie terenowych badań w Sudetach, na Krymie, Kaukazie i nad Bajkałem stwierdzono zależność między B-lineacją mineralną i lineacją parakinematyczną wyznaczoną przez wydłużone fragmenty skały ograniczone powierzchniami S.

Materiał do napisania niniejszej pracy pochodzi z obserwacji geologicznych zebranych na Krymie. W taurydzkiej serii, podobnie zresztą jak i nad Bajkałem, prześledzony został związek między B-lineacją mineralną i parakinematyczną lineacją skalną.

Celem niniejszej pracy jest, między innymi wykazanie zależności geo-

metrycznej, strukturalnej i genetycznej, jaka zachodzi między *B*-lineacją mineralną a wydłużonymi, ograniczonymi powierzchniami *S*, fragmentami aleurytów i argilitów w taurydzkiej serii.

Pierwszy z autorów serdecznie dziękuje prof. dr G. D. Ażgirejowi z Uniwersytetu Przyjaźni Narodów w Moskwie za umożliwienie wyjazdu na Krym. Kolegom A. F. Musznikowi, B. S. Golewowi z Uniwersytetu Przyjaźni Narodów w Moskwie i wielu kolegom z Uniwersytetu Moskiewskiego, serdecznie dziękuje za życzliwą dyskusję w czasie wycieczek geologicznych po Krymie odbytych w dwuletnich sezonach w 1973 i 1974 roku.

NIEKTÓRE DANE O TAURYDZKIEJ SERII

Opierając się na pracach Pčelinceva (1962), Muratova (1960), Logvinenki i innych (1961), Koronovsky'ego, Mileeva (1974) i innych autorów oraz na własnych obserwacjach można stwierdzić, że taurydzka seria występuje niemal pod całą południową częścią półwyspu krymskiego. Według Logvinenki i in. (1961, s. 1191) grubość taurydzkiej serii jest rzędu 4500—5000 m. Seria taurydzka posiada charakter fliszowy, zbudowana jest z cienkich przewarstwień piaskowców, argilitów (łupki ilaste) i aleurytów. Taurydzka seria jest fundamentem na którym spoczywają utwory kredy i trzeciorzędu. Taurydzkiej serii przypisuje się wiek począwszy od górnej części dolnego triasu po dolną jurę włącznie (Logvinenko i in. 1961). Najpiękniejsze odkrywki tej serii występują na południowym brzegu Krymu, ponadto w dolinach rzek Bodrak (Mangusz), Kacza itd.

Jest to silnie zafałdowana seria, zmięta w najrozmaitsze fałdy o skrzydłach często stromo lub pionowo ustawionych, nierzadko spotyka się serie odwrócone (Česnokov, Pobytanec 1972). Jak dotychczas istniejącym kryterium odróżnienia skrzydła normalnego od odwróconego jest obecność hieroglifów i frakcjonalna sedymentacja. Niezależnie od hieroglifów i frakcjonalnej sedymentacji istnieje zdaniem autorów w omawianej serii inne kryterium, polegające na reorientacji *B*-lineacji mineralnej. Stosowanie w praktyce wymienionego kryterium wymaga uprzedniego opracowania szczegółowej mapy mezoskopowych struktur w taurydzkiej serii.

Na silnie pofałdowanej taurydzkiej serii zalegają niemal horyzontalnie ($6-15^{\circ}$) utwory kredy.

W głębokich dolinach, w których odsłaniają się argilite i aleuryty taurydzkiej serii, można było prześledzić w niej rozwój mezoskopowych struktur liniowych według terminologii Turnera, Weissa (1963); część materiału obserwacyjnego wykorzystano do analizy podanego tematu.

B-LINEACJA MINERALNA

Argility i aleuryty taurydzkiej serii charakteryzują z reguły dobrze wykształcone powierzchnie warstwowania, wzdłuż których rozpada się skała na cienkie płytki.

B-lineacja mineralna stwierdzona została na powierzchniach *ab* w argilitach, rzadziej w aleurytach (pl. I, fig. 1). Tworzy ona na powierzchni warstwowania system cienkich, subtelných smużek równoległych względem siebie, silnie połyskujących. Lineacja mineralna jest reprezentowana przez jednoskładnikowe skupienie mineralne, zbudowane z serycytu i muskowitu lub agregatów serycytowo-muskowitowych (K o t o v s k i i in. 1977). Długość jednoskładnikowych skupień mineralnych nie przekracza 3 mm.

W argilitach nie jest ona jednakowo wykształcona w różnych częściach tej samej odkrywki. Lokalnie B-lineacja mineralna jest dobrze widoczna, w innych partiach skały ledwo dostrzegalna lub w ogóle jej brak, jak np. w niektórych odkrywkach lub we fragmentach odkrywek położonych w dolinie Mangusz obok Góry Szeludiwej, w odkrywkach koło Ałusztzy itd.

Różny stopień widoczności, a zatem i wielkość mineralnej B-lineacji uzależniony jest między innymi od stopnia zaawansowania procesów termodynamicznych, jakim podlegała taurydzka seria. W partiach o nieznacznej rekrytalizacji (niski stopień diagenety) argilitów B-lineacja mineralna jest słabo zauważalna a nawet jej brak.

W czarnych, twardych argilitach B-lineację mineralną spotyka się częściej i jest większych rozmiarów. Różna widoczność B-lineacji mineralnej w tej samej odmianie petrograficznej argilitu jest uzależniona nie tylko, jak wspomniano, od procesów termodynamicznych, lecz od miejsca jej obserwacji w fałdzie. Często na niektórych powierzchniach warstwowania wspomniana B-lineacja ulega zanikowi, w związku z międzywarstwowymi przemieszczeniami.

B-lineacja mineralna w stosunku do osi fałdów wielkości mezoskopowej, wykazuje równoległą orientację przestrzenną. Nie mniej znane są przypadki, że B-lineacja mineralna jest również ustawiona pod kątem ostrym do osi fałdów mezoskopowych. W tym ostatnim przypadku, z reguły B-lineacja mineralna jest również ustawiona pod ostrym kątem do wydłużenia liniowych elementów skalnych (o których będzie mowa).

W taurydzkiej serii często spotyka się liniowe struktury ślizgowe. W bruzdach struktur ślizgowych występuje liniowe „nagromadzenie” minerałów blaszkowych — jest to A-lineacja mineralna. Wspomniana A-lineacja mineralna jest genetycznie związana z tworzeniem się struktur ślizgowych. W przypadku obecności tych struktur na *ab* powierzchni istnieje, przy braku doświadczenia, możliwość utożsamienia jej z B-lineacją mineralną.

Bywają też w taurydzkiej serii struktury liniowe o nie ustalonej genezie.

MORFOLOGIA PARAKINEMATYCZNEJ LINEACJI MECHANICZNEJ

Parakinematyczna mechaniczna lineacja skalna lub drzazgowa lineacja skalna pod względem morfologicznym reprezentuje wydłużone formy skalne sięgające kilkunastu centymetrów długości. Argility i aleuryty rozpadają się wzdłuż określonych systemów spękań *S*, których część naśladuje kierunek *B*-lineacji mineralnej. Oddzielone spękaniami *S* frag-

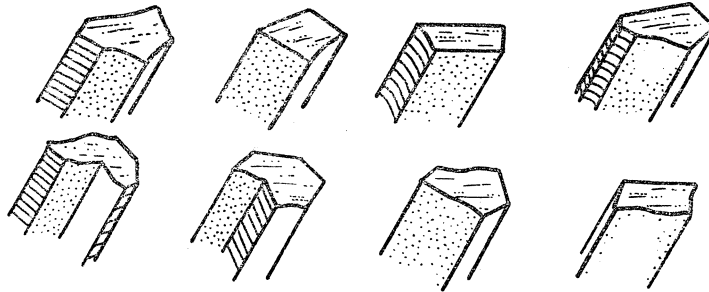


Fig. 1. Schematyczny rysunek różnych kształtów liniowych elementów skalnych w przekroju *ac* w argilitach i aleurytach taurydzkiej serii

Fig. 1. Diagram of various shapes of linear rock elements in the section *ac* in argillites and aleurites of the Taurus series

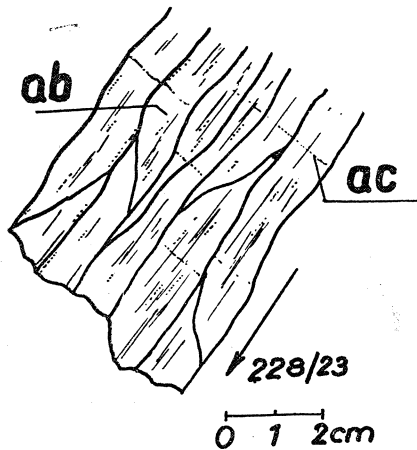


Fig. 2. Liniowe elementy skalne w argilitach taurydzkiej serii na powierzchni *ab*. Fragment odkrywki w dolinie Mangusz u podnóża góry Szeludiwaja

Fig. 2. Linear rock elements in argillites on the surface *ab*, Mangush valley at the foot of mount Sheludivaya

menty skały o znacznym wydłużeniu nazywane są liniowymi elementami skalnymi¹ (Pl. I, fig. 2). Liniowe elementy skalne są ograniczone płaskimi, rzadziej łukowatymi i sigmoidalnymi (wichrowatymi) ścianami. Liniowe elementy skalne w przekroju prostopadłym do wydłużenia (wydłużenie uważamy za *b*-koordynatę struktury) posiadają najrozmaitsze kształty (fig. 1).

¹ Podobnie do wspomnianych powstają w pobliżu konkrecji, gdzie argility i aleuryty rozpadają się na wydłużone „łukowate” fragmenty.

W większości przypadków, jak terenowe badania wykazały, wydłużenie (ogólnie) liniowych elementów skalnych jest przeważnie równoległe do B -lineacji mineralnej. Najczęściej wspomniana wyżej równoległość jest zachowana względem orientacji osi synkliny i antykliny. Niemniej jednak istnieje wiele przykładów terenowych, w których B -lineacja mineralna jest ustawiona pod ostrym kątem względem liniowych elementów skalnych a także do osi synklin i antyklin.

Ślady spękań wyznaczające liniowe elementy skalne obserwowane na powierzchni ab charakteryzują się z reguły sigmoidalnym lub anastomozującym przebiegiem (fig. 2). Lokalnie sigmoidalne powierzchnie spękań wykazują charakter mimetyczny, po prostu naśladują na niewielkich odcinkach kierunek B -lineacji mineralnej.

W związku z anastomozującym i lokalnie sigmoidalnym przebiegiem spękań na powierzchni ab zaznacza się soczewkowaty kształt liniowych elementów skalnych.

POWSTANIE LINIJNYCH ELEMENTÓW SKALNYCH

Każdy liniowy element skalny jest ograniczony przez kombinację spękań S różnych pod względem orientacji przestrzennej i genezy. Zrozumienie genezy liniowych elementów skalnych wymaga wcześniejszego zapoznania się z poszczególnymi grupami mezo-spękań.

Podane niżej grupy mezo-spękań są analizowane i zostały wydzielone w przekroju ac liniowych elementów skalnych. Zaobserwowano i wydzielono następujące ważniejsze grupy mezo-spękań w taurydzkiej serii.

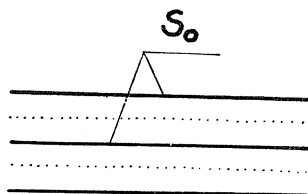


Fig. 3. Spękania S_0 (ab) równoległe do warstwowania

Fig. 3. Fissures S_0 (ab) parallel to the bedding

S_0 — spękania równoległe do stratyfikacji, oddzielają one różne pod względem litologii utwory lub występują w obrębie danej odmiany litologicznej, dzieląc przestrzeń skalną na cienkie płytki (fig. 3). Charakterystyczną cechą spękań S_0 jest to, że są one równoległe względem siebie. Używając oznaczeń koordynat strukturalnych stwierdzić należy, że S_0 reprezentują ab spękania. Powstanie spękań S_0 należy wiązać między innymi ze zjawiskami odciążenia, cechami niejednorodności skały oraz odspojeniem międzywarstwowym lub śródwarstwowym, które jest związane z dyferencjalnymi przemieszczeniami w czasie fałdowania.

Laminacja argilitów i aleurytów sprzyja powstawaniu spękań S_0 .

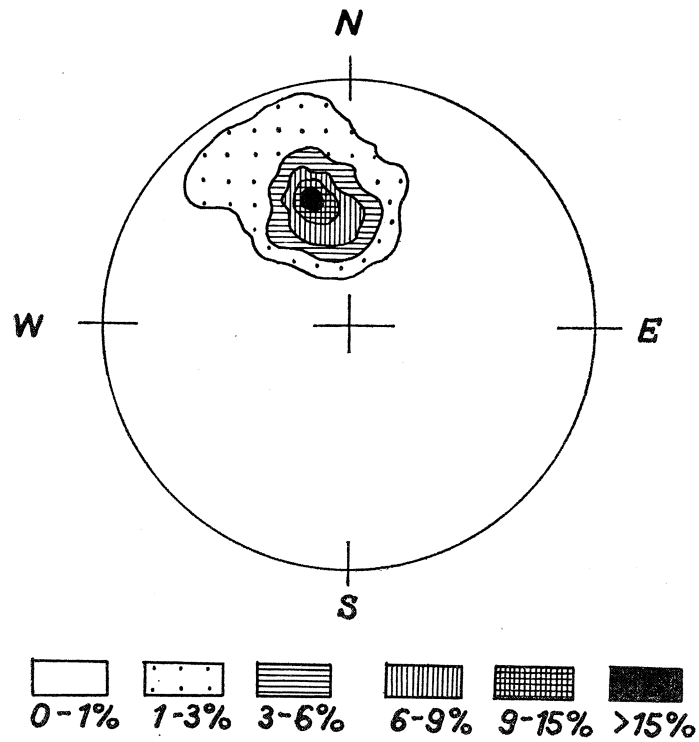


Fig. 4. Stereogram spękań S_0 . Fragment odkrywki w dolinie Mangusz. Pomiarów 257, półkula górna

Fig. 4. Stereogram of fissures S_0 , Mangush valley, 257 measurements, upper hemisphere

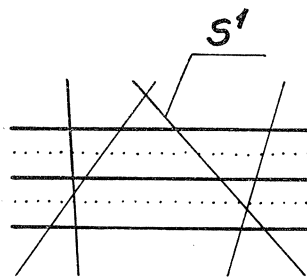


Fig. 5. Spękania S^1 (ścinające)

Fig. 5. Fissures S^1 (shearing)

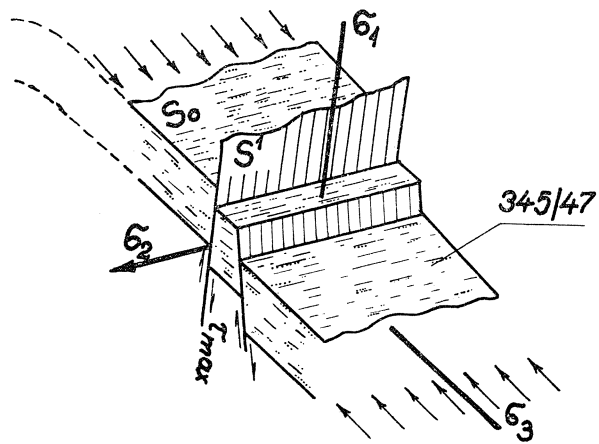


Fig. 6. Orientacja spękań S_0 i S^1 w argilitach i aleurytach (fragment odkrywki położonej w dolinie Mangusz)

Fig. 6. Orientation of fissures S_0 and S^1 in argillites and aleurites, Mangush valley

szczególnie tam, gdzie występuje ostre odcięcie lamin, w tych miejscach spękania S_0 są zawsze rozwinięte.

Rzadko spotyka się przypadki, kiedy spękania S_0 lokalnie pojawiają się i lokalnie zanikają, w zasadzie są to, jak wykazały badania, odspojenia międzywarstwowe.

Wykonano pomiary orientacji przestrzennej spękań S_0 we fragmencie odkrywki zlokalizowanej w dolnym odcinku Mangusz, posłużyły one do wykreślenia stereogramu (fig. 4). Pomiary koncentrują się w pierwszym i czwartym kwadrancie. Orientacja spękań S_0 jest ENE—WSW z upadem ku NWN.

S^1 — są to spękania, które przecinają dwie, lub więcej, warstwy, laminy lub przestrzeń skalną, która jest ograniczona przez co najmniej trzy sąsiadujące spękania S_0 (fig. 5). Często S^1 w taurydzkiej serii reprezentuje drobne dyslokacje (fig. 6). Z reguły spękania S^1 są proste, gładkie, często wyszlizgane, rzadziej o przebiegu sigmoidalnym. Ślad powstały z przecięcia spękań S_0 i S^1 leży na powierzchni ab , jest przeważnie równoległy do osi synklin i antyklin wielkości mezoskopowej, b -koordynaty struktury i σ_2 — głównego pośredniego naprężenia.

Analiza spękań S^1 (fig. 6) pozwoliła stwierdzić, że reprezentują one system powierzchni ścinających zgodnie z interpretacją Billingsa (1965), Verhooгена i in. (1970), Ażgireya (1966, 1967) i innych. Spękania ścinające powstają zgodnie z kierunkiem $\tau_{\max}$ (naprężenia styczne — tangencjalne); rozwijają się jako dwa systemy ustawione pod większym lub mniejszym kątem od 45° w zależności od materiału, względem głównego największego naprężenia normalnego (σ_1) (Ramsay, 1967; Farmer, 1968). Jeden kierunek naprężeń stycznych ($\tau_{\max}$) w warunkach powstawania spękań jest równoległy do S^1 , zaś drugi kierunek ($\tau_{\max}$) pokrywa się z powierzchnią ab . Wnosić zatem należy, że niektóre spękania S_0 reprezentują powierzchnie ścinania. Zjawisko to ma w wielu przypadkach potwierdzenie w obserwacjach terenowych. Za spękania S_0 powstałe zgodnie z ($\tau_{\max}$) należy zatem uznać takie, na których występują ślady transportu tektonicznego zorientowane prostopadle do głównego pośredniego naprężenia normalnego (σ_2).

Rzadko można wykazać w terenie, że system spękań S^1 reprezentuje osiowy kliważ (кливаж осевой плоскости), wtedy powierzchnie kliważowe zgodnie z ustaloną sygnaturą w literaturze radzieckiej powinny mieć symbol S_1 . Oznacza to, że w podanym przypadku $S^1 = S_1$.

Pomiary orientacji przestrzennej spękań S^1 z fragmentu odkrywki położonej w dolnym odcinku doliny Mangusz posłużyły do opracowania stereogramu (fig. 7). Ma on charakter biegunowy. Wszystkie pomiary skoncentrowane są w jedno maksimum zlokalizowane w drugim kwadrancie. Spękania S^1 mają przeważnie kierunek NE—SW ze stromym upadem skierowanym ku SE. Największa częstotliwość występowania pomiarów jest zlokalizowana wokół wartości 165/70. Z porównania stereogramów spękań

S_0 (fig. 4) i S^1 (fig. 7) wynika, że ślad powstały z przecięcia spękań S_0 i S^1 leży, o czym już wspominaliśmy, na powierzchni ab i ma analogiczną orientację jak B -lineacja mineralna w badanym fragmencie odkrywki.

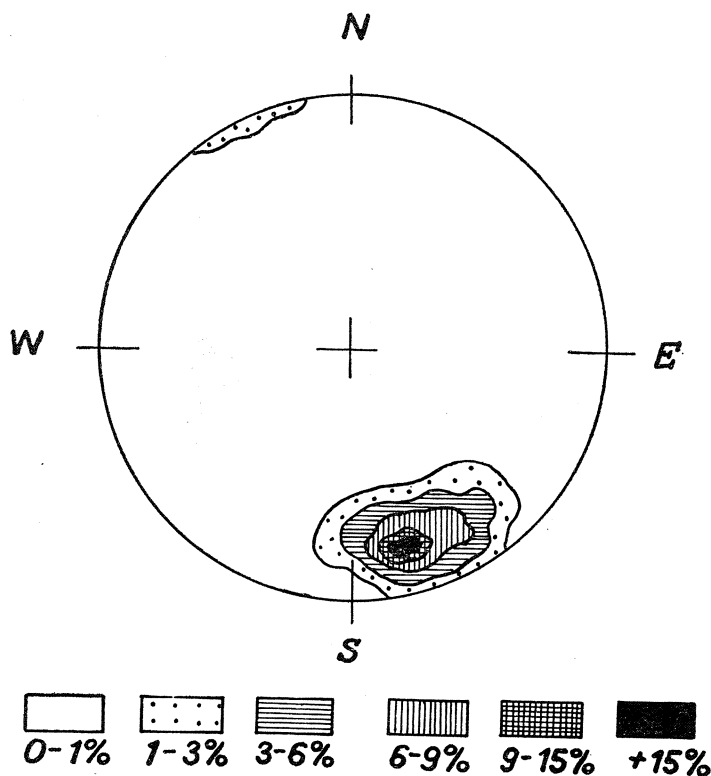


Fig. 7. Stereogram spękań S^1 . Fragment odkrywki położonej w dolinie Mangusz. Pomiarów 296, półkula górna

Fig. 7. Stereogram of fissures S^1 , Mangush valley, 296 measurements, upper hemisphere

Obecność biegunowej orientacji spękań ścinających S^1 (fig. 7) w skałach o podanej anizotropii strukturalnej, pozwala wnosić, że pole naprężeń warunkujące ich powstanie było $\sigma_2 \neq \sigma_3$; w przeciwnym razie układ spękań ścinających byłby stożkowy. Doświadczalnie stwierdzono J. Kotowski, Tran Huu Nhan (1975), że przy stanie naprężeń $\sigma_2 = \sigma_3$ powstaje generalnie stożkowa orientacja powierzchni ścinania z wyeksponowanymi dwoma niewielkimi maksimumami na stereogramie. Można wnosić, że proporcjonalnie do rozwoju w skałach anizotropii strukturalnej zmieniać się będzie orientacja przestrzenna powierzchni ścinania na stereogramie z pierścieniowego (w skałach izotropowych) na biegunową (w skałach o anizotropii strukturalnej). Na powyższe zjawisko zwracają uwagę J. Kotowski, Tran Huu Nhan (1975).

Wykonane pomiary kątów zawartych między spękaniami S_0 i S^1 po-

służyły do opracowania histogramu (fig. 8). Wynika z niego, że kąt między podanymi wyżej spękaniami zmienia się w szerokim przedziale. Największa częstotliwość przypada na przedział od 30° do 35° . Stanowi to 26,8% spośród analizowanych pomiarów. Różna wartość kąta między spę-

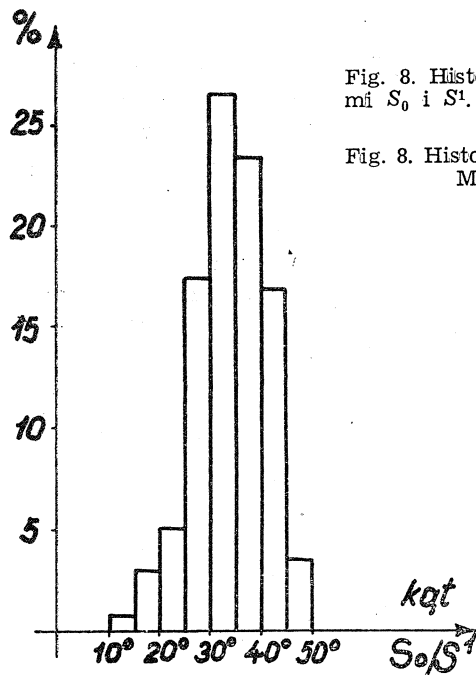


Fig. 8. Histogram kątów zawartych między spękaniami S_0 i S^1 . Fragment odkrywki położonej w dolinie Mangusz. Pomiarów 226

Fig. 8. Histogram of angles between fissures S_0 and S^1 , Mangush valley, 226 measurements

kaniem S_0 i S^1 wynika z morfologii fałdu i wykonanych pomiarów w obrębie danego fałdu. W przegubach antyklinalnych i synklinalnych wspomniany wyżej kąt jest większy niż w skrzydłach tych fałdów. W zależności od morfologii fałdów, kąt między spękaniami S_0 i S^1 wykazuje, jak wspomniano, duży rozrzut. W przypadku kiedy $S_1 = S^1$, wtedy na skrzydłach fałdów izoklinalnych mamy $S_1 = S_0$. Wyróżnienie spękań S^1 lub S_1 w podanych wyżej fałdach jest możliwe w strefach przegubowych.

Przyjmując za Verhoogenem i in. (1970) i Ażgireyem, Gorškovem, Šancevem (1974), że dwusieczna kąta ostrego jest kierunkiem największego naprężenia głównego (σ_1), dochodzimy w analizowanym przypadku do wniosku, że naprężenie σ_1 zmieniało się w czasie, zmieniało swój kierunek i wartość. Zachodzi zatem konieczność posługiwania się największymi naprężeniami głównymi w skali cząstkowej, lokalnej i regionalnej zgodnie z propozycją podaną przez Oberca, Kotowskiego (1977).

W analizowanym przypadku są to naprężenia cząstkowe i lokalne, które względem naprężeń regionalnych są ustawione pod ostrym kątem.

S^2 — spękania występują w obrębie jednej warstwy lub przestrzeni skalnej ograniczonej dwoma sąsiednimi spękaniami S_0 (fig. 9). Powierzchnie spękań S^2 są gładkie, proste, rzadziej łukowate. Analiza statystyczna wykazała, że w stosunku do spękań S_0 ustawione są najczęściej pod kątem $24-46^\circ$ (dolina Mangusz w okolicy wioski Prochładno), a rzadko pod kątem mniejszym niż 24° .

Spękania S^2 są młodsze od spękań S_0 . Stwierdzono w terenie, że w większości przypadków powstały one w czasie między- i śród-warstwowych zdyferencjowanych przemieszczeń mas skalnych wzdłuż spękań S_0 .

Brak na tych powierzchniach śladów transportu tektonicznego pozwala przypuszczać, że nie powstały w wyniku ścinania i nie przeszły w dyslokacje. Niektóre powierzchnie spękań S^2 posiadają chropowaty wygląd, inne zawierają pierzasty układ „bruzdkowych” liniowych struktur, a jeszcze inne sigmoidalnie przebiegające liniowe struktury typu „bruzdkowania”. Verhoogen i in. (1970) uważają, że spękania o podanej wyżej morfologii powstały w wyniku rozrywania skał (rozciągania). Stwierdzono eksperymentalnie Cegła, Dzułyński (1967), że w czasie rozrywania prób uzyskuje się powierzchnie o morfologii niemal analogicznej do opisanej wyżej — takich, jakie posiadają niektóre powierzchnie spękań S^2 .

Inna geneza spękań S^2 jest związana z różnymi przemieszczeniami się mas skalnych wzdłuż spękań S_0 . Powstaje wówczas para sił, której efektem jest rozrywanie i rotacja. Liniowe elementy skalne ograniczone spękaniami S_0 i S^2 ulegają pod wpływem pary sił rotacji. Powstanie tych spękań należy zawdzięczać parze sił — są to spękania rotacyjne. Podobne do opisanych spękań wydziela i analogicznie interpretuje de Sitter (1956), Farmer (1968) i inni.

S_x^2 — są to spękania, które podobnie jak S^2 zawarte są w warstwie lub przestrzeni skalnej ograniczonej dwoma sąsiednimi spękaniami S_0 . W od-

Fig. 9. Spękania S^2 występujące w jednej warstwie lub przestrzeni skalnej ograniczonej dwoma sąsiednimi spękaniami S_0

Fig. 9. Fissures S^2 occurring in one bed or in rock space confined by two adjacent fissures S_0

Fig. 10. Spękania S_x^2 przystropowe lub przyspagowe zawarte w przestrzeni skalnej, ograniczonej dwoma sąsiednimi spękaniami S_0

Fig. 10. Fissures S_x^2 near the top or bottom of a bed, occurring in rock space confined by two adjacent fissures S_0

Fig. 11. Spękania S_{2x}^2

Fig. 11. Fissures S_{2x}^2

Fig. 12. Spękania S_{3x}^2

Fig. 12 Fissures S_{3x}^2

Fig. 13. Spękania S_x^1 ograniczone spękaniami S^1

Fig. 13. Fissures S_x^1 bounded by fissures S^1

Fig. 14. Spękania S_{2x}^1 ograniczone spękaniami S_0 i S^1

Fig. 14. Fissures S_{2x}^1 bounded by fissures S_0 and S^1

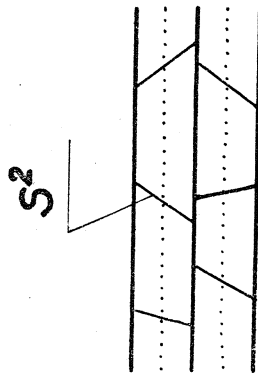


Fig. 9

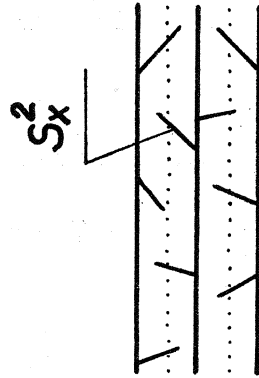


Fig. 10

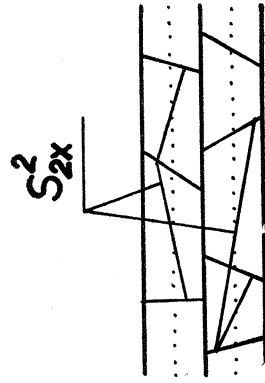


Fig. 11

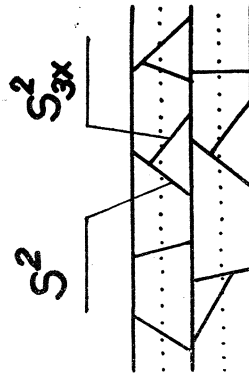


Fig. 12

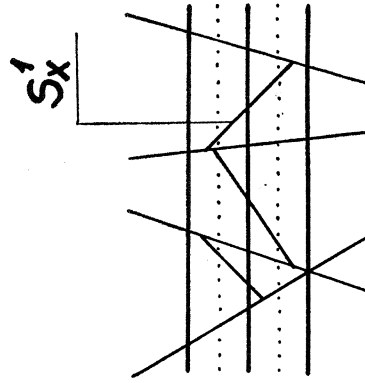


Fig. 13

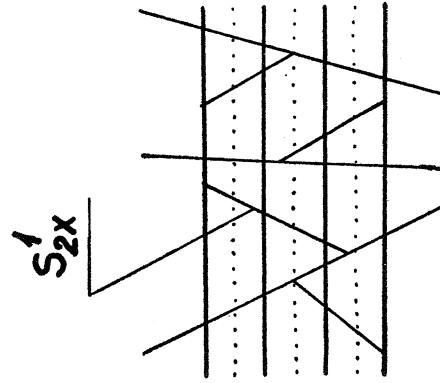


Fig. 14

różnieniu od spękań S^2 spękania S_x^2 nie przecinają całkowicie, jak pokazuje fig. 10, przestrzeni skalnej między spękaniami S_0 . Genezę spękań S_x^2 wiążemy z istnieniem pary sił, która powoduje przemieszczenia mas skalnych po S_0 i rotację.

Powierzchnie spękań S_x^2 są z reguły łukowato wygięte, w stosunku do spękań S_0 ustawione są pod ostrym kątem. Spękania S_x^2 reprezentują wstępny etap rozwoju spękań S^2 .

S_{2x}^2 — są to spękania, które występują w jednej warstwie lub przestrzeni skalnej ograniczonej przez dwa sąsiednie spękania. S_0 i równocześnie ograniczone przez spękania S^2 (fig. 11). Geneza omawianych spękań nie została wyjaśniona całkowicie, przypuszczamy, że powstały w czasie lokalnych zdyferencjowanych przemieszczeń.

S_{3x}^2 — są to spękania, które występują w jednej warstwie lub przestrzeni skalnej ograniczonej dwoma sąsiednimi spękaniami S_0 i S^2 (fig. 12). Długość spękań S_{3x}^2 w argilitach i aleurytach mierzona w przekroju prostopadłym do wydłużenia liniowych elementów skalnych dochodzi do paru centymetrów.

S_x — są to spękania, które przecinają dwie lub więcej warstw bądź przestrzeń skalną ograniczoną przez trzy lub więcej sąsiadujące spękania S_0 (fig. 13). Podobnie jak spękania S^1 tworzą ze spękaniami S_0 krawędź, która jest równoległa do b -koordynaty struktury.

S_{2x}^1 — są to spękania bardzo zbliżone do S_x^1 . Analizowane spękania (fig. 14) przecinają co najmniej dwie warstwy lub przestrzeń skalną ograniczoną przez trzy sąsiadujące spękania S_0 . Pospolicie omawiane spękania cechuje łukowaty przebieg powierzchni, na którym zachowane bywają liniowe struktury ślizgowe; większość z nich powstała w warunkach ścinania.

WZGLĘDNE STOSUNKI RÓŻNYCH STRUKTUR LINIJNYCH

Do najbardziej charakterystycznych liniowych struktur występujących w argilitach i aleurytach w taurydzkiej serii należą liniowe elementy skalne. Na powierzchniach ograniczających liniowy element skalny występują, o czym już wspominaliśmy, różne lineacje, a zatem są to elementy ze złożonymi typami lineacji (poli-lineacje) w rozumieniu podanym przez Oberca, Kotowskiego (1971).

Przyjęto dla uproszczenia poniższe umowne oznaczenia, które ułatwiają analizę względnych stosunków różnie wykształconych struktur liniowych i skracają tekst.

B_s — liniowy element skalny,

B_m — lineacja mineralna na powierzchni ab liniowego elementu skalnego,

A_s — linijne struktury ślizgowe na powierzchni lub powierzchniach ograniczających linijny element skalny.

Biorąc za podstawę podane wyżej kryterium i wymienione oznaczenia, można w taurydzkiej serii wydzielić następujące, najczęściej spotykane, elementy skalne ze złożonymi typami lineacji.

Typ elementu skalnego $B_s \parallel B_m$ oznacza, że B-lineacja mineralna jest równoległa do linijnych elementów skalnych (fig. 15). Jest to jeden z dość często spotykanych typów elementu skalnego o złożonej lineacji.

Typ elementu skalnego $B_s \wedge B_m$ oznacza, że B-lineacja mineralna jest ustawiona pod kątem do linijnych elementów skalnych (fig. 16). Wynika z obserwacji, że kąt¹ między wymienionymi lineacjami wynosi od 15° do 32° . We fragmencie odkrywki w dolinie Mangusz kąt między B_s a B_m wynosi 16° ($B_s \wedge B_m$) zaś w pobliżu Ałuszy 21° .

Typ elementu skalnego $B_s \parallel B_m \parallel A_s$ reprezentuje kombinację trzech rodzajów struktur linijnych (fig. 17). Wynika z podanego symbolu, że na niektórych ściankach ograniczających linijny element skalny wykształcone są linijne struktury ślizgowe, na innych ścianach (ab) występuje B-lineacja mineralna.

Z podanego symbolu wynika, że kierunki różnych struktur linijnych są względem siebie ustawione równoległe, a z ich orientacji względem siebie należy wnosić, iż kierunki transportu tektonicznego, które warunkowały powstanie tych struktur linijnych, były ustawione prostopadle względem siebie i należały do różnego wieku. Analizowany typ elementu skalnego jest na ogół rzadko spotykany w taurydzkiej serii.

Typ elementu skalnego $B_s \parallel B_m \wedge A_s$ jest reprezentowany przez B-lineację mineralną, która jest równoległa do linijnych elementów skalnych, pod kątem zaś do nich są ustawione linijne struktury ślizgowe (fig. 18). Analizowany przypadek jest często spotykany w terenie (dolina Kaczi, Bodrak, okolice Ałuszy i inne). Kąt zawarty między linijnymi elementami skalnymi a linijnymi strukturami ślizgowymi liczony w płaszczyźnie poziomej wynosi dla fragmentu odkrywki w dolinie Kaczi 19° , zaś w okolicy Ałuszy 15° .

Typ elementu skalnego $B_s \wedge B_m \parallel A_s$ składa się z B-lineacji mineralnej, ustawionej pod kątem do linijnych elementów skalnych, podczas gdy linijne struktury ślizgowe posiadają analogiczną orientację przestrzenną jak B-lineacja mineralna (fig. 19).

Typ elementu skalnego $B_s \wedge B_m \wedge A_s$ oznacza, że zarówno B-lineacja mineralna, jak i linijne struktury ślizgowe są ustawione względem siebie i względem linijnych elementów skalnych pod kątem (fig. 20). Kierunki transportu tektonicznego i pola naprężeń lokalne i regionalne w rozumieniu podanym przez Oberca, Kotowskiego (1977) warunkujące

¹ Kąt mierzony w płaszczyźnie poziomej.

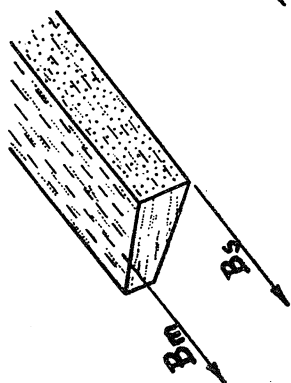


Fig. 15

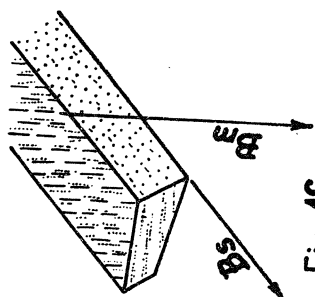


Fig. 16

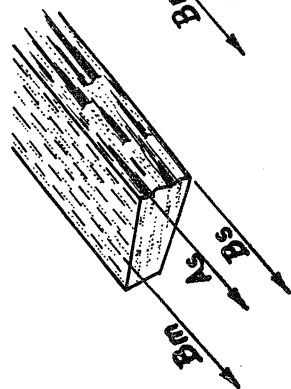


Fig. 17

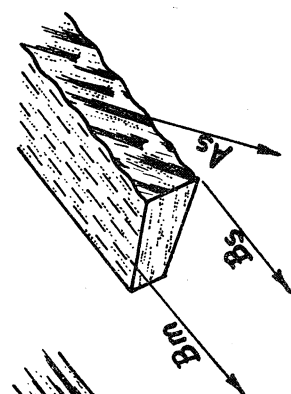


Fig. 18

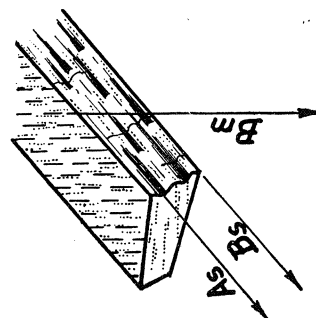


Fig. 19

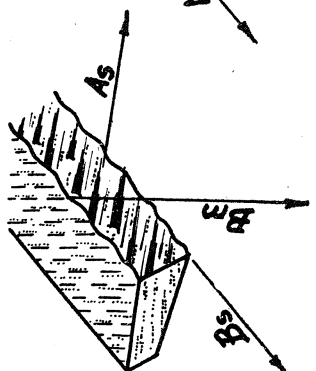


Fig. 20

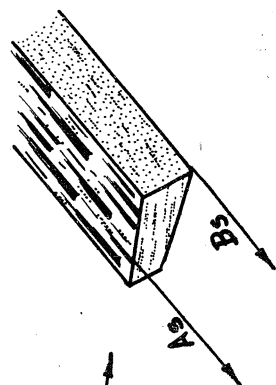


Fig. 21

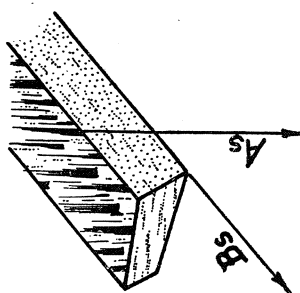


Fig. 22

Fig. 15—22. Typy elementu skalnego
Fig. 15—22. Types of rock element

powstanie i ustawienie diagonalne liniowych struktur były zorientowane pod kątem do siebie i należały do różnego wieku.

Analizowany typ elementu skalnego (typ diagonalny) jest często spotykany, relacje katowe zaś między tymi strukturami w odkrywce położonej w dolinie Kaczi wynoszą $B_s \wedge B_m \wedge A_s$ odpowiednio 12° i 108° .

Typ elementu skalnego $B_s \parallel A_s$ odznacza się tym, że zawiera na niektórych powierzchniach S , które ograniczają liniowy element skalny — liniowe struktury ślizgowe (fig. 21). Wymieniony typ spotyka się rzadko w taurydzkiej serii, był obserwowany we fragmentach odkrywek położonych w dolinie Bodrak i na południowym brzegu Krymu.

Typ elementu skalnego $B_s \wedge A_s$ składa się z liniowych struktur ślizgowych rozwiniętych na niektórych powierzchniach S ograniczających liniowe elementy skalne (fig. 22). Omawiany przypadek jest bardzo często spotykany w argilitach i aleurytach. Występuje on w kilkunastu odkrywkach w dolinie Mangusz, Bodrak, Kaczi i na południowym brzegu Krymu. Kąt między analizowanymi strukturami (B_s i A_s) liczony w płaszczyźnie poziomej wykazuje bardzo duży rozrzut bo od 5° do 45° .

Niezależnie od podanych wyżej typów elementów skalnych istnieje szereg liniowych elementów skalnych, na których brak jest jakichkolwiek struktur liniowych w tym i struktur pierzastych.

TYPY LINIJNYCH ELEMENTÓW SKALNYCH

W zależności od kombinacji spękań, które wyznaczają liniowy element skalny, można wydzielić następujące najczęściej spotykane ich typy.

Typ S_0/S^1 liniowego elementu skalnego jest najczęściej spotykany w terenie; liniowe elementy skalne są wyznaczone przez kombinację spękań S_0 i S^1 (fig. 23, 25). W przekroju prostopadłym do wydłużenia liniowego elementu skalnego, posiadają one kształty trapezowe, rombów, trójkątne, rzadziej inne. Ślad powstały z przecięcia S_0 i S^1 jest równoległy do b-koordynaty i zgodnie określany jako rodzaj lineacji (Turner, Verhoogen, 1951; Hillis, 1963; Cloos, 1946; Belousov, Kirillova, 1979), dla której Sander (1950) podaje oznaczenia (β).

Typ S_0/S_{2x}^2 liniowego elementu skalnego posiada w przekroju prostopadłym do wydłużenia kształt wieloboku bądź rombu; jest wyznaczony przez kombinację systemów spękań S_0 i S_{2x}^2 (fig. 23).

Typ S_0/S_{3x}^2 liniowego elementu skalnego jest utworzony przez spękania o indeksach S_0 , S^1 i S_{3x}^2 (fig. 24, 25). W przekroju prostopadłym do wydłużenia posiadają najczęściej zarysy trójkątne.

Typ $S_0/S^1/S^2$ liniowego elementu skalnego jest utworzony przez kombinację spękań o symbolu S_0 , S^1 i S^2 (fig. 23).

Typ $S_0/S_{2x}^1/S^2$ liniowego elementu skalnego jest częściej spotykany niż wymienione wyżej typy. Utworzony jest przez kombinację spękań

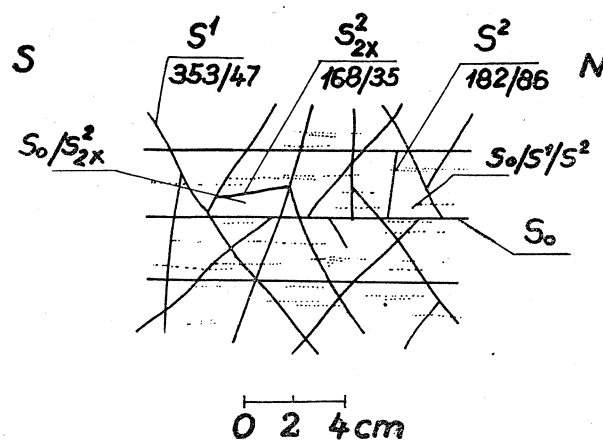


Fig. 23. Fragment odkrywki argilitów taurydzkiej serii w dolinie rzeki Bodrak. Przekrój w przybliżeniu prostopadły do liniowych elementów skalnych. Na rysunku widać elementy skalne ograniczone różnymi powierzchniami spękań S .

Fig. 23. Fragment of an outcrop of argillites in the valley of the river Bodrak. Section approximately perpendicular to linear rock elements. Rock elements enclosed by surfaces S are visible.

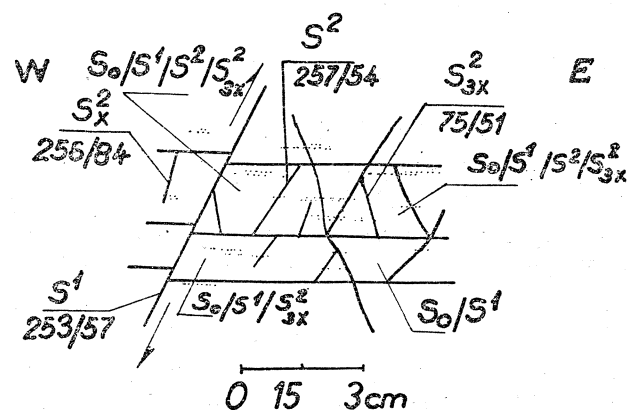


Fig. 24. Fragment odkrywki argilitów taurydzkiej serii zlokalizowanej na prawym brzegu doliny Kacza we wsi Wierchoreczi. Przekrój w przybliżeniu prostopadły do liniowych elementów skalnych.

Fig. 24. Fragment of an outcrop of argillites in the Kacza valley. Section approximately perpendicular to linear rocks elements.

S_0 , S''_{2x} i S'' (fig. 26). W przekroju prostopadłym do wydłużenia posiadają kształt wieloboków.

Typ $S_0/S'/S''_2$ liniowego elementu skalnego jest utworzony przez spękania S_0 , S' i S''_{2x} (fig. 26).

Typ $S_0/S'/S''/S''_{3x}$ liniowego elementu skalnego wyznaczają spękania o symbolu S_0 , S' , S'' i S''_{3x} (fig. 24) jest on rzadko spotykany w terenie.

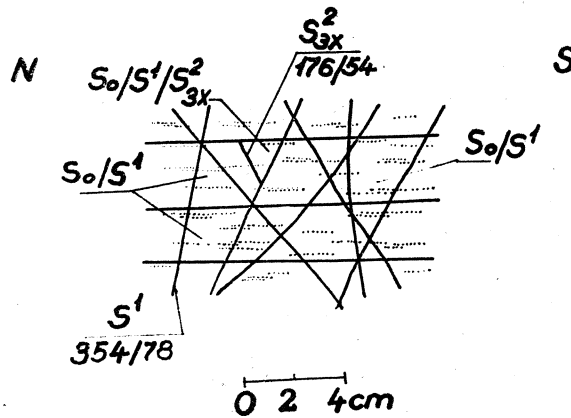


Fig. 25. Fragment odkrywki aleurytów i argilitów taurydzkiej serii położonej w dolinie Bodrak. Przekrój prostopadły do liniowych elementów skalnych. Na rysunku widoczne typy liniowych elementów skalnych wyznaczone przez spękania

Fig. 25. Fragment of an outcrop of aleurites and argillites, Bodrak valley. Section perpendicular to linear rock elements. The types of linear rock elements enclosed by fissures are visible

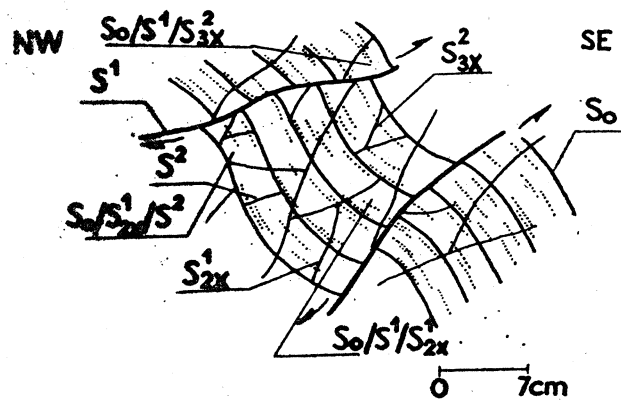


Fig. 26. Fragment odkrywki aleurytów i argilitów taurydzkiej serii położonej w dolinie Mangusz. Przekrój prostopadły do liniowych elementów skalnych ($B_s=27/46$). Na rysunku liniowe elementy skalne są ograniczone spękaniem

Fig. 26. Fragment of an outcrop of aleurites and argillites, Mangush valley. Section perpendicular to linear rock elements ($B_s=27/46$). Linear rock elements are enclosed by fissures

Niezależnie od podanych istnieje wiele przypadków w argilitach i aleurytach, gdzie jest trudno zakwalifikować utworzony liniowy element skalny do jednego z podanych wyżej typów.

WYNIKI BADAŃ I WNIOSKI

W argilitach i aleurytach taurydzkiej serii na Krymie wydzielono po raz pierwszy B-lineację. Wymieniona lineacja jest reprezentowana przez pojedyncze minerały, jednoskładnikowe ich skupienia lub subtelne ag-

regaty minerałów o budowie pakietowej. Niezależnie od lineacji mineralnej występują tzw. linijne elementy skalne.

Autorzy stwierdzili, że na powierzchniach *S*, które ograniczają linijne elementy skalne, z reguły występują różne typy lineacji (Cloos, 1946; Oberc, Kotowski, 1971) i o różnej genezie.

Z analizy zebranego materiału wynika, że najczęściej spotyka się przypadki wzajemnej równoległości różnych typów lineacji, takich jak *B*-lineacja mineralnej osi fałdów i linijskich elementów skalnych. Paragenetyczny związek wzajemnej równoległości struktur linijskich i analiza stanu naprężeń, w jakich one powstały, pozwala wnosić, że powstały one równocześnie lub prawie równocześnie. W związku z mimetycznym charakterem niektórych spękań, ograniczających linijskie elementy skalne, można przypuszczać, że powstały one nieco później niż *B*-lineacja mineralna.

Z analizy materiału wynikają dwa przypadki ustawienia *B*-lineacji mineralnej względem osi fałdów:

- a) wzajemna równoległość osi fałdów i *B*-lineacji,
- b) *B*-lineacji mineralna ustawiona jest pod kątem do osi fałdów.

Z rozkładu głównych naprężeń w górotworze i analizy geometryczno-strukturalnej wynika, że *B*-lineację mineralną należy wiązać (generalnie) z tworzeniem się fałdów.

Rzadziej występują przypadki, w których nie jest zachowana wzajemna równoległość między *B*-lineacją mineralną i osiami fałdów. Stwierdzono że *B*-lineacja mineralna jest ustawiona pod kątem (np. we fragmencie odkrywki położonej w dolinie Kaczi; wspomniany wyżej kąt wynosi 26° , zaś w dolinie Bodrak 18°) do osi fałdów oraz linijskich elementów skalnych.

Z analizy wynika, że *B*-lineacja mineralna powstała wcześniej niż fałdy, które tę lineację reorientują. Powstanie *B*-lineacji mineralnej wiązać zatem należy z tworzeniem się fałdów starszej generacji, do których osi jest zorientowana równoległe. Fakt ten autorzy pracy interpretują jako lokalne istnienie dwóch generacji fałdów diagonalnie ustawionych względem siebie. Przyjąć więc należy, że w pierwszym „fałdowaniu” powstała *B*-lineacja mineralna, a z drugim fałdowaniem należy wiązać powstanie linijskich elementów skalnych oraz deformację i reorientację *B*-lineacji mineralnej.

W miejscach, gdzie występują fałdy, nałożone skały są pocięte gęściej spękaniami *S* (w stosunku do miejsc, gdzie nałożonych fałdów nie stwierdzono). Jest prawdopodobne, że część spękań *S* powstała równocześnie (generalnie) z tworzeniem się *B*-lineacji mineralnej. Przemawia za tym fakt, że wydłużenie elementów skalnych jest równoległe do *B*-lineacji mineralnej oraz to, że ze zmianą orientacji przestrzennej *B*-lineacji mineralnej zmienia się orientacja przestrzenna mezospękań *ac*, które przy-

mują stałą — prostopadłą (generalnie) pozycję do wspomnianej B-lineacji mineralnej, a zatem należy wnosić, że też podlegały reorientacji.

J. Kotowski: *Politechnika Wrocławska, Instytut Geotechniki*

G. P. Groszkow: *Uniwersytet Moskiewski im. Łomonosowa*

S. W. Czesnokow, L. W. Bieliakow: *Uniwersytet Przyjaźni Narodów im. P. Lumumby w Moskwie*

Maszynopis nadesłano VII 1975,

przyjęto do druku XI 1976

WYKAZ LITERATURY

REFERENCES

- Billings M. P. (1965), Structural Geology. Englewood Cliffs N. J. Prentice-Hall
- Cegła J., Dżułyński S. (1967), Experiments on feather fracture in sediments. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, 37, 4, p. 489—497, Kraków.
- Cloos E. (1946), Lineation a critical review and annotated bibliography. *Geol. Soc. of America. Memoir* 18.
- De Sitter L. U. (1964), Structural Geology (wydanie drugie) Mc Graw-Hill Book Company.
- Farmer J. W. (1968), Engineering Properties of Rocks. E. F. N. SPON LTD, London.
- Hills E. S. (1963), Elements of Structural Geology. Londyn.
- Kotowski J., Tran Huu Nhan (1975), The Effect of the Structure of the Turoszów Clay on the Spatial Orientation of the Shear Plane. *Stud. Geot.*, 6: 29—34, Wrocław.
- Oberc J., Kotowski J. (1971), Podział B-lineacji tektonicznej na podstawie badań w Sudetach. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, 41, 4: 522—533, Kraków.
- Oberc J., Kotowski J. (1977), Stosunek lineacji do regionalnego, lokalnego i częściowego pola sił (do druku).
- Ramsay J., (1967), Folding and fracturing of rocks. Mc Graw-Hill, Book Company.
- Sander B. (1950), Einführung in die Gefügekunde der geologischen Körper. T. 2, Innsbruck-Springer-Verlag, Wien.
- Turner F. J., Weiss L. E. (1963), Structural Analysis of Metamorphic Tectonites. Mc Graw-Hill, Book Company.
- Turner F. J., Verhoogen J. (1951), Igneous and metamorphic petrology. Mc Graw-Hill, Book Company.
- Verhoogen J., Turner F. J., Weiss L. E., Wahrhaftig C., Fyfe W. S. (1970), The Earth. *Holt Rinehart and Winston, Inc.*, New York — Sydney.
- Ażgirey G. B. — Ажгирей Г. Д. (1966), Структурная геология. Изд. МГУ. Москва
- Ażgirey G. B. — Ажгирей Г. Д. (1967), Кливаж (общие вопросы генезиса и кливаж межслоево скольжения) *Извест. АН СССР, Сер. геол.* II, с. 164—181, Москва.
- Ażgirey G. D., Gorškov G. P., Šancev E. V. — Ажгирей Г. Д., Горшков Г. П., Шанцев Е. В. (1974), Общая геология. Издатель. Просвещение, Москва.
- Belousov V. V., Kirylova I. V. — Белоусов В. В., Кирилова И. В. (1970), Очерк и структурной геологии сложно дислоцированных толщ. Изд. Недра, Москва.
- Eliseev N. A. — Елисеев Н. А. (1967), Основы структурной петрологии. Изд. Наука Ленинград.
- Koronovskij N. V., Mileev V. S. — Короновский Н. В., Милеев В. С. (1974), О соотношении отложений таврической серии и эксциординской свиты в долине р. Бодрак (Горный Крым). *Вестник Моск. Унив.* I, Москва.

- Kotovskij, Gorškov G. P., Česnolov S. V., Bellakov L. V. — Котовский Е., Горшков Г. П., Чесноков С. В., Беляков Л. В. — К вопросу о В-линейности в таврической серии (Горный Крым). Извест. высших учеб. Завед. Геология и разведка, 4, п. 48—54, Москва.
- Lodvinenko N. E., Karpova G. V., Sandyba K. G., Sapošnikov D. R. Логвиненко Н. Е., Карпова Г. В., Шандыба К. Г., Шапошников Д. Р. (1861). К вопросу о стратиграфическом подразделении таврической формации Крыма. Докл. АН СССР, т. 137, 5, Москва.
- Muratov M. V. — Муратов М. В. (1960), Краткий очерк геологического строения Крымского полуострова. Госуд. науч. тех. изд-во. Лит. по геологии и охране недр, Москва.
- Pčelincev S. V. — Пчелинцев В. Ф. (1962), Образование Крымских гор. Вып. 14, Изд. АН СССР, Москва—Ленинград.
- Česnokov S. V., Pobuvaneš V. S. — Чесноков С. В., Побыванец В. С. (1972), О негативных складках в таврической серии (Горный Крым). Докл. 8 науч. конф. тех. конф. УДН, Москва.

SUMMARY

In the argillites and aleurites of the Taurus series (Crimea), mineral B-lineation with parakinematic features has been recorded. The lineation is represented by single minerals, one-component concentrations or fine aggregates consisting of minerals with layered structure.

Apart from it, lineation represented by the s.c. linear rock elements has been noted. These are elongated rock fragments bounded by fissures $S_0, S^1, S^1_x, S^1_{2x}, S^2, S^2_x, S^2_{2x}, S^2_{3x}$.

Elongation of the linear rock elements is, as a rule, parallel to the axis of folds of mesoscopic and macroscopic size. In rare instances, the elongation is at an acute angle to the axis of the folds in question. In relation to the axis of folds and to the linear rock elements the B-lineation is: a) parallel, b) oblique. In most cases, the linear rock elements (B_s) represent superimposed lineation (poly-B-lineation) as understood by J. Oberc, J. Kotowski (1971); they comprise mineral B-lineation (B_m) and linear slide structures (A_s).

The presence of superimposed B-lineation implies that there are superimposed folds of two generations in the Taurus series on the Crimea.