

GŁÓWNE TYPY UWARSTWIENIA SKAŁ OSADOWYCH

Skały osadowe powstają w różnych warunkach na skutek akumulacji materiału w zbiornikach sedymentacyjnych. Różnice warunków ich powstawania odbijają się w sposób wyraźny na budowie skały, tj. na kształcie minerałów, z których ona się składa, oraz na sposobie ich przestrzennego ugrupowania.

Na budowę skały składają się dwa pojęcia: struktura i tekstura. Według H. Rosenbuscha struktura określa wszystkie stosunki mające związek z kształtem i wielkością części składowych skały, tekstura natomiast podaje sposób ich rozmieszczenia oraz określa, w jakim stopniu wypełniają zajmowaną przestrzeń.

Mówiąc o strukturze lub teksturze skały ma petrograf na myśli te cechy budowy skały, które w niewielkiej próbce można dostrzec makroskopowo. W terenie natomiast w większych masach skalnych potrzebny jest opis cech strukturalnych, a zwłaszcza teksturalnych, zaznaczających się w większej skali, czasem w całej serii ławic. Cechy te ujęte są pod nazwą: makrostruktury i makrotekstury. Artykuł niniejszy dotyczy głównie cech makroteksturalnych osadu. Jeżeli składniki mineralne ułożone są w skałach w pewnych na ogół równoległych do siebie płaszczyznach, to w tym wypadku skała wykazywać może teksturę warstwową. Makrotekstury warstwowe skał osadowych nazywamy uwarstwie-

niem albo uławiceniem, rzadziej warstwowaniem.

Istnieje wiele typów uwarstwienia osadów, są one ważne zarówno z punktu widzenia genetycznego, jak i paleogeograficznego. W języku polskim mało jest prac zajmujących się szerzej zagadnieniem uwarstwienia, wyjątek stanowi praca Książkiewicza (15) o przekątnym uwarstwieniu skał fliszowych w Karpatach Zachodnich — oraz praca A. Dylikowej (4), w której autorka stara się zastosować wyróżniane przez S. A. Andersena fazy sedymentacji do osadów glacialnych (moreny czołowe, drumliny, ozy). Większość autorów prac geologicznych ogranicza się tylko do wymienienia typu uwarstwienia osadu, używając określeń w rodzaju: „uwarstwienie krzyżowe“, „uwarstwienie diagonalne“ itd., nie wyjaśniając zupełnie, jak określane przez nich uwarstwienie wygląda.

W wielu pracach brak jest szkiców, a tylko niektóre z nich starają się wyjaśnić sposób powstania uwarstwienia oraz określić środowisko sedymentacji. Do dnia dzisiejszego nie została opracowana terminologia uzgodnionych nazw na różne typy uwarstwienia, dlatego nazwy używane przez wielu autorów są często tak dobrane, że trudno się zorientować, o jakie uwarstwienie autorowi chodzi. Jako przykład można podać używany przez W. Żelechowskiego (25 str. 27) —

termin „uwarstwienie wichrowate“, u W. Łozińskiego (16 str. 97) spotykamy termin „nieregularne uwarstwienie“ — a w przekładzie polskim drugiego wydania niemieckiego podręcznika M. Neumayra (19 str. 571) „uwarstwienie fałszywe“ oraz wiele innych. W wielu wypadkach nie wiadomo, co autorzy nazywają uwarstwieniem krzyżowym a co diagonalnym (przekątnym), ponieważ terminy te są używane raz dla jednego, raz dla drugiego typu uwarstwienia — i tak w jednym wypadku uwarstwienie diagonalne jest krzyżowym, a w drugim krzyżowe diagonalnym. Natomiast nie występuje prawie zupełnie w pracach polskich „uwarstwienie skośne“ (ros. kosaja stoistost, niem. Schrägschichtung), uwarstwienie to z reguły określane jest jako przekątne (diagonalne). Jednak, jak można zauważyć na zamieszczonych szkicach, w niektórych pracach geologicznych (np. w pracy J. Gołaba 5, str. 177), w tym typie uwarstwienia występują nie tylko skośnie nachylone warstewki osadu, ale występowanie ich łączy się zawsze z przykrywającymi lub leżącymi wśród nich warstewkami horyzontalnie zorientowanymi.

Podobna sytuacja istnieje także w pracach obcojęzycznych, tak np. K. Keilhack (13) oraz K. Keil (12) nie używają terminu „uwarstwienia skośne“, ale nazywają ten typ uwarstwienia podobnie jak E. Kayser (11) diagonalnym. Tak samo I. Hessland (6) uwarstwienie skośne nazywa diagonalnym.

Według H. Illiesa (8) istnieje kilka rodzajów uwarstwienia skośnego, do którego zalicza on także uwarstwienie krzyżowe i diagonalne. S. A. Jakowlew (10) wyróżnia jeszcze „uwarstwienia diagonalne krzyżujące się“, M. Billings (1, str. 73) nazywa uwarstwienie diagonalne — „krzyżowym normalnym“ (Normal cross-bedding), M. S. Szwiecow (23) używa terminów genetycznych, takich jak: „uwarstwienie wydmy“, „uwarstwienie potoków“, „uwarstwienie rzek“ oraz „morskie uwarstwienie“. Używanie takich określeń nasuwać może czytelnikowi pewne sugestie, jakoby typ uwarstwienia osadu zależał wyłącznie od środowiska, w którym to uwarstwienie powstaje. Podobnych terminów na różne typy uwarstwienia używają: N. M. Strachow (22) „przybrzeżno-morski typ uwarstwienia“, W. J. Łuczicki (177) „typ eoliczny“, „typ potoków“ oraz M. Książkiewicz (15), który na stronie 173 w podręczniku „Geologia dynamiczna“, zajmując się uwarstwieniem stożków aluwialnych na pustyniach, następująco określa ich uwarstwienie: „normalne ich warstwowanie jest przekątne, nieraz jednak kombinuje z eolicznym“ — oczywiście ma on na myśli uwarstwienie krzyżowe, bardzo często spotykane w osadach akumulacji eolicznej (np. wydmy), ale występujące także w osadach rzecznych, deltowych i litoralnych.

Przykłady te wskazują wyraźnie na konieczność ustalenia pewnej klasyfikacji zasadniczych typów uwarstwienia opartej na kryteriach morfologicznych. Następnie należy ustalić nazwy dla

różnych typów uwarstwienia oraz określić warunki i środowisko, w jakim one powstają.

Uwarstwienie skał osadowych zależy głównie od procesu samej sedymentacji. Ponieważ proces ten ulega zmianom, większość skał osadowych wykazuje charakter warstwowy, niezależnie od tego, czy występuje w środowisku wodnym czy subaerycznym. Uwarstwienie powstaje w wyniku zmian akumulującego materiału (zmiana wielkości ziarn; zmiana w rodzaju strąconych zawiesin, barwy itd.) oraz na skutek przerw czasowych podczas sedymentacji osadu.

Rozpoznawanie uwarstwienia wśród skał osadowych jest bardzo łatwe, zwłaszcza tam, gdzie zmienia się gwałtownie barwa osadu (np. ilły wstęgowe) lub wielkość ziarn.

Zagadnieniu uwarstwienia poświęcono wiele prac: w Stanach Zjednoczonych skośnym uwarstwieniem osadów rzecznych zajmował się M. Davis, w Niemczech Frantzen; w ZSRR J. A. Zemczużnikow (26) podkreśla znaczenie uwarstwienia skośnego, wyróżniając pięć genetycznych typów uwarstwienia oraz określając cechy umożliwiające rozróżnienie ich w przyrodzie. Zagadnieniem uwarstwienia zajmował się także R. Brinkmann (2), który usiłował określić dawny kierunek biegu rzek ze skośnego uwarstwienia osadów. Z powojennych prac polskich należy wymienić przede wszystkim cytowaną już pracę M. Książkiewicza (14), który stara się odtworzyć warunki sedymentacji fliszowych osadów Karpat Zachodnich, a zwłaszcza górnych łupków cieszyńskich i warstw Lgoeckich, o uwarstwieniu przekątnym. Zajmuje się on także szeroko zagadnieniem tzw. „warstwowania frakcjonalnego“ dominującego w osadach fliszowych.

Z wielu powojennych prac obcojęzycznych przytoczyć należy przynajmniej dwie, z których jedna zajmuje się genezą a druga klasyfikacją uwarstwienia. Pierwszą jest praca H. Illiesa (8). Ma ona na celu wykazanie, że skośne uwarstwienie tworzy się w osadach występujących na dnie wód płynących, przy zmniejszającej się energii transportu, przez sedymentację osadu na stronie odprądowej ripple-marków, ławic piaszczystych i delt. Druga praca, L. N. Botwinikiny (3), zajmuje się klasyfikacją różnych typów uwarstwienia. Autorka ta wyodrębnia trzy podstawowe typy uwarstwienia: horyzontalne, skośne i faliste.

POJĘCIE WARSTWY, ŁAWICY, WARSTEWKI ORAZ UWARSTWIENIA I WARSTEWKOWANIA

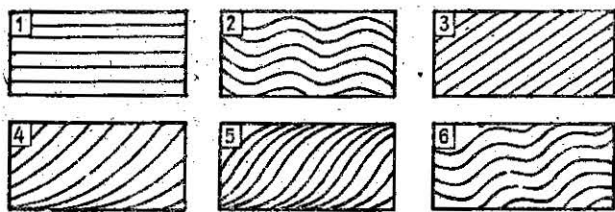
Nie mamy właściwie dokładnego określenia, co należy rozumieć pod pojęciem warstwy. Zwykle określa się ją jako nagromadzenie materiału skalnego ograniczonego dwiema mniej więcej równoległymi do siebie powierzchniami, z których górna nazywana jest stropem — dolna spągciem. Warstwa składa się z materiału zwykle jednego rodzaju (np. piasku). Wydzielanie warstw jest łatwe tylko w tych wypadkach,

gdy zmiana materiału (zmiana wielkości, barwy ziarn, zmiana składu chemicznego itd.) zachodzi nagle, na przykład w wypadku, gdy występuje nagle przejście z gruboziarnistego piasku w pelityczny il. Gdy jednak zmiana materiału następuje stopniowo, wyróżnienie poszczególnych warstw jest bardzo trudne. Każda warstwa ma swój genetyczny i czasowy sens. Powstaje w określonym środowisku i tworzy się przez dłuższy czas. Rozpatrując z tego punktu widzenia „warstwy“ letnie i zimowe ilów wstępowych, które z perspektywy geologicznej powstają w bardzo krótkim czasie, i porównując je np. z warstwami ilów głębinowych, których formowanie trwa nieraz przez całe epoki geologiczne, musimy dojść do wniosku, że używanie terminu „warstwa“ w pierwszym wypadku jest nieodpowiednie. Zagadnienia tego nie można traktować pod kątem miąższości warstw, ponieważ grubość ich zależy w największym stopniu od ilości materiału dostarczanego do zbiorników sedymentacyjnych, a w znacznie mniejszym stopniu od czasu sedymentacji (np. ilły głębinowe i osady deltowe).

Oprócz terminu „warstwa“ używa się w geologii terminów „ławica“ oraz „warstewka“. Zagadnieniem rozgraniczenia pojęcia „warstwa“ od pojęcia „ławica“ zajmuje się szerzej A. Żemczużnikow (27).

Warstwy skalne mogą być jednorodne lub zróżnicowane — w drugim wypadku składają się z jednostek mniejszych, które M. Książkiewicz (14) nazywa ławicami. Ponieważ ławice są często jeszcze warstewkowane, należałoby wyróżnić także termin „warstewka“. Mielibyśmy wobec tego trzy pojęcia: „warstwa“, „ławica“, i „warstewka“. Warstwy te więc mogą się składać z ławic — a ławice z warstewek.

Można by przyjąć następujące terminy określające makroskopowe tekstury warstwowe występujące w obrębie tych trzech jednostek: 1. warstwy mogą być uławicone (lub uwarstwione), 2. ławice mogą być warstewkowane (dla odróżnienia bardzo drobne warstewkowanie określać należy jako „laminację“, w tym właśnie znaczeniu stosują ten termin M. Książkiewicz (14, str. 167) i M. Turnau-Morawska (24, str. 268), 3. warstewki nie są zróżnicowane na jednostki drobniejsze.



Ryc. 1

Główne typy uwarstwienia skał osadowych.

1. uwarstwienie horyzontalne, 2. uwarstwienie faliste,
3. uwarstwienie skośne, 4. uwarstwienie skośne łukowe,
5. uwarstwienie skośne sigmoidalne, 6. uwarstwienie skośne faliste.

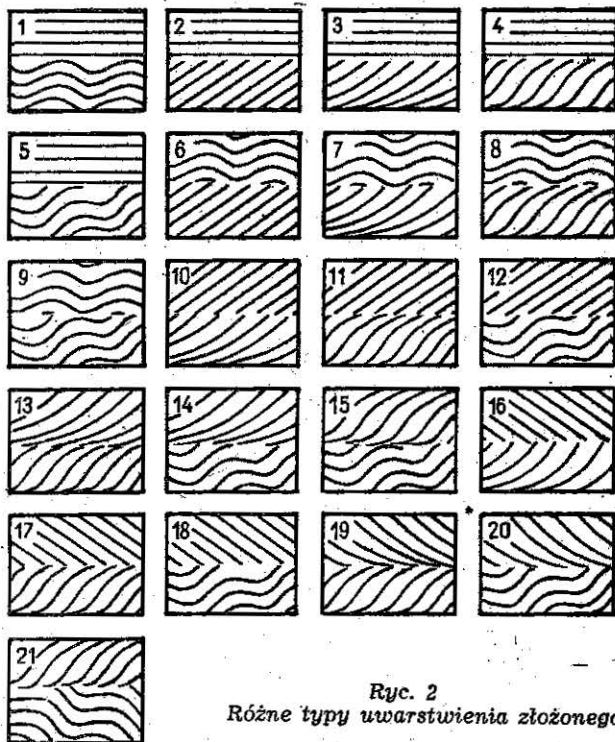
Od uwarstwienia należy odróżnić ułożenie warstw, ułożenie to może być zgodne lub niezgodne. Konsekwentne używanie w ten sposób podejmowanych terminów usunęłoby z pewnością takie określenie, jak np. „uławicenie przypierające“ (M. Neumayr 19, str. 58), nie będące zresztą wcale uławiceniem — a tylko niezgodnym ułożeniem warstw.

KLASYFIKACJA ZASADNICZYCH TYPÓW UŁAWICENIA WARSTW SKALNYCH

Obraz uławicenia skał, który niejednokrotnie obserwujemy w różnych odkrywkach, powstaje na skutek pionowego przecięcia płaszczyzn sedymentacji. Dlatego trzeba mieć zawsze na uwadze to, w jakim kierunku następuje przecięcie warstwy w stosunku do jej biegu, gdyż od intersekcji zależy w dużym stopniu obraz uwarstwienia, jaki ma przed sobą obserwator. Zauważyć to można zwłaszcza w osadach tarasów rzecznych, gdzie obraz uwarstwienia zmienia się w zależności od tego, czy kierunek przecięcia płaszczyzn sedymentacji jest zgodny, czy niezgodny z kierunkiem dawnego biegu rzeki.

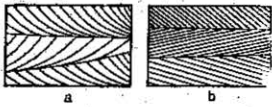
Na podstawie morfologicznej wyróżniam ogólnie dwa zasadnicze rodzaje uwarstwienia — uwarstwienie prostolinijne i krzywolinijne, przyjmując za kryterium podziału charakter linii, jakie powstają przez intersekcję płaszczyzn sedymentacji.

Do uwarstwienia krzywolinijnego zaliczamy następujące typy: uwarstwienie łukowe (ryc. 4), faliste (ryc. 2), uwarstwienie sigmoidalne (esowate, ryc. 1, nr 5). Te trzy wymienione typy są najczęściej spotykane wśród rodzaju uwarstwienia krzywolinijnego.



Ryc. 2

Różne typy uwarstwienia złożonego



Ryc. 3
Częściej spotykane rodzaje uwarstwienia krzyżowego
a. krzywolinijne, b. prostolinijne

Przy rozpatrywaniu poszczególnych typów uwarstwienia pominię uwarstwienie, jakie powstaje na skutek podmorskich osuwisk, gdyż ma ono charakter przypadkowy.

Wymienione dwa zasadnicze rodzaje uwarstwienia obejmują sześć typów głównych, które wydzielim na podstawie kierunku ich ułożenia. Kierunek ten może być horyzontalny (poziomy) lub skośny, w drugim wypadku warstewki osadu tworzą pewien kąt z płaszczyzną horyzontalną.

Główne typy uwarstwienia byłyby więc następujące: (ryc. 1)

1. Uwarstwienie horyzontalne (poziome) prostolinijne. Dla uproszczenia ten typ uwarstwienia będę nazywać po prostu horyzontalnym (poziomym 1).

Uwarstwienie horyzontalne krzywolinijne. Ponieważ ten typ uwarstwienia reprezentują prawie wyłącznie pręgi faliste (tzw. ripple-marki), dla uproszczenia określać go będę jako uwarstwienie faliste. Do tego typu uwarstwienia zaliczam zarówno ripple-marki prądowe, jak i oscylacyjne.

2. Uwarstwienie skośne prostolinijne dla uproszczenia określam jako skośne.
3. Uwarstwienie skośne łukowe. Warstewki tworzą z powierzchnią horyzontalną mniejszy lub większy kąt i są łukowo wygięte.
4. Uwarstwienie skośne sigmoidalne. Warstewki skośnie ułożone przypominają kształtem literę S.
5. Uwarstwienie skośne faliste. Warstewki ułożone falisto tworzą zwykle niewielki kąt z powierzchnią horyzontalną.

Wymienione główne typy uwarstwienia występować mogą w poszczególnych ławicach lub w warstwach. W wypadku gdy warstwa składa się z kilku ławic wykazujących ten sam typ uwarstwienia, a ławice ułożone są jedna nad drugą, możemy określać to złożone uwarstwienie jako powtarzające się. W uwarstwieniu skośnym zmienia się często kąt nachylenia w poszczególnych ławicach, a w horyzontalnym — odstęp między warstewkami (grubość warstewek).

Gdy zachodzi wypadek, że poszczególne ławice, wchodzące w skład jednej warstwy, reprezentują coraz inny typ z wymienionych sześciu typów uwarstwienia, wtedy na skutek zetknięcia się spągu ławicy leżącej wyżej ze stropem ławicy leżącej niżej powstają złożone typy uwarstwienia. Typów złożonych jest 21 (ryc. 2).

Do dziś nie mamy jeszcze tak dobrze opracowanych metod, które mogłyby już z samego uławiczenia osadu określić jego genezę. Musimy tu jeszcze uwzględnić strukturę skały, jej skład mineralny i zawarte w niej szczątki organiczne.

Każdy z wymienionych sześciu głównych typów uławiczenia może być jeszcze zróżnicowany.

Zróżnicowanie to charakteryzuje się pewnymi cechami, z których ważniejsze wymienię:

1. ciągłość granicy poszczególnych warstewek:
 - a. warstewki ciągłe,
 - b. warstewki nieciągłe,
2. odstęp między warstewkami:
 - a. warstewki grube (powyżej 10 cm),
 - b. warstewki drobne (od 1 do 10 cm),
 - c. warstewki b. drobne (poniżej 1 cm),
3. rytmiczność występowania (np. powtarzanie się pewnego typu warstewek 121212... jak u łoż wstęgowych),
4. rodzaj odstępu między warstewkami:
 - a. odstęp jednakowy,
 - b. odstęp niejednakowy,
5. wyraźność granicy warstewek:
 - a. granica ostra,
 - b. granica wyraźna,
 - c. granica niewyraźna,
6. wysortowanie materiału w warstewce,
7. zmiana barwy,
8. kąt nachylenia warstewek itd.

Określanie różnych typów uwarstwienia na podstawie przytoczonej klasyfikacji przy uwzględnieniu cech modyfikujących typy uwarstwienia usunęłoby braki powstałe z subiektywnego podejścia różnych autorów do tego zagadnienia oraz umożliwiłoby ujęcie opisów uwarstwień w pewien jednolity schemat.

Niżej podaję przykład opisu uwarstwienia opartego na opracowanej klasyfikacji:

1. Uwarstwienie horyzontalno-skośno-łukowe. Warstewki horyzontalne: ciągłe, grube, odstęp między warstewkami niejednakowy, granica warstewek ostra, słabe wysortowanie materiału w poszczególnych warstewkach.
Warstewki skośne: łukowe, ciągłe, drobne, odstęp między warstewkami niejednakowy, granica warstewek wyraźna, słabe wysortowanie materiału (spotyka się soczewki żwiru). Kąt nachylenia warstewek u góry 22°, u dołu 4°. Warstewki horyzontalne zbudowane z drobnego piasku, skośne z piasku gruboziarnistego.
2. Uwarstwienie horyzontalne ciągłe, drobne, rytmiczne 1212... różnej grubości, barwa warstewek zmienna (szara i ciemno brązowa). Granica warstewek ostra.

GENEZA NAJCZĘŚCIEJ SPOTYKANYCH TYPÓW UWARSTWIENIA

Wśród skał osadowych tworzących się wskutek akumulacji materiału w zbiornikach sedymentacyjnych wyróżnić można skały uwarstwione i nieuwarstwione; ostatnie nazywane są przez niektórych autorów np. W. Schwarzschera (21) „astaturitami“.

Zasadniczymi środowiskami sedymentacji są: środowisko wodne i subaeryczne (powietrzne). Większość osadów tworzących się w tych środowiskach jest zwykle dobrze uwarstwiona, dotyczy to zwłaszcza osadów morskich. Brak uwarstwienia spotykamy u niektórych skał, jak np.: wśród większości wapieni rafowych, u niektó-

rych iłów, brak uwarstwienia występuje także wśród osadów glacialnych, w lessie oraz w wielu pokładach gipsu i soli kamiennej.

Uwarstwienie skał powstaje wskutek dwu głównych czynników: 1. zmiany samego materiału w czasie sedymentacji i 2. przerw czasowych w akumulacji materiału. Pierwszy czynnik ma prawdopodobnie większe znaczenie od drugiego.

Jeżeli w czasie procesu sedymentacji działa przynajmniej jeden z wymienionych wyżej czynników, to tworząca się skała będzie uwarstwiona.

UWARSTWIENIE HORYZONTALNE (POZIOME). Wśród osadów najczęściej spotykane jest uwarstwienie horyzontalne (rys. 1, nr 1), niektórzy z autorów, jak np. S. A. Jakowlew (10), nazywają ten typ uwarstwienia „normalnym”. W odkrywkach wygląda on w ten sposób, że szereg warstewek na przebieg prostoliniowych, rozciągają się one równolegle jedna nad drugą w kierunku poziomym (horyzontalnym).

Ten typ uwarstwienia powstaje na skutek tego, że sedymentacja materiału odbywa się w warunkach spokojnych, a przy tym działa tu jeden z wymienionych już czynników warunkujących uwarstwienie. Akumulujący materiał układa się początkowo ze znikomymi tylko wyjątkami — albo zupełnie poziomo, albo nachylenie tworzących się warstewek jest tak niewielkie, że obraz uwarstwienia, oglądany później w odkrywkach tylko fragmentami, robi wrażenie zupełnie poziomego.

Uwarstwienie horyzontalne może utworzyć się w pewnych warunkach także na skutek frakcjonalnego opadania materiału na dno zbiornika sedymentacyjnego. Uwarstwienie polegać będzie tu na występowaniu warstewek piasku grubszego w partii spągowej, a drobniejszego przykrytego warstewką o podobnym wykształceniu w stropowej.

W uwarstwieniu horyzontalnym spotykamy zarówno materiał drobnodziarnisty jak i grubodziarnisty. Uwarstwienie występujące w materiale bardzo drobnodziarnistym często jest niewidoczne okiem nieuzbrojonym, zwłaszcza gdy poszczególne warstewki złożone nawet z ziarn różnych wielkości są jednakowo zabarwione.

UWARSTWIENIE FALISTE — znane jest powszechnie w literaturze pod nazwą ripple-marków, w języku polskim ten typ uwarstwienia określane jest jako „pręgi faliste” albo „zmarzszczy faliste”.

Ogólnie można powiedzieć, że ripple-marki powstają na powierzchni warstwy skalnej na skutek tarcia wywoływanego przesuwaniem się jednego ośrodka nad drugim, a więc wody lub powietrza nad warstwą luźnego osadu. Pręgi faliste spotykamy dlatego w obu zasadniczych środowiskach sedymentacyjnych: morskim i powietrznym. Dawniej łączono powstawanie ripple-marków na osadach płytkiego morza z po-



Ryc. 4
Schemat przedstawiający sposób tworzenia się pręg falistych (ripple-marków), wg E. Kaysera.

wierzchniowym ruchem mas wody w postaci falowania. Tłumaczenie takie było błędne, ponieważ przesuwanie powierzchniowych mas wodnych odbywa się ze znaczną prędkością, natomiast wędrowka materiału skalnego na dnie zbiornika jest bardzo powolna.

E. Kayser (11, str. 197) tłumaczy powstawanie ripple-marków następująco: jeżeli jedna warstwa przesuwa się nad drugą, na skutek tarcia traci ona energię. Strata energii jest największa w wypadku, gdy przesunięcie warstw względem siebie zachodzi w jednej płaszczyźnie po równych powierzchniach. W wypadku gdy dolna warstwa jest w niewielkim nawet stopniu zdeformowana i wykazuje mało zwięzłą konsystencję (luźny piasek, drobny pył itd.), powstają deformacje, w wyniku których tworzy się falista powierzchnia. Utworzone na niej grzbiety i obniżenia poszczególnych ripple-marków są skierowane pod kątem prostym do kierunku prądu (przesunięcia). H. Helmholtz wykazał teoretycznie, że strata energii maleje i osiąga minimum, kiedy przy danej prędkości odstęp pomiędzy poszczególnymi grzebieniami fal osiąga określoną wielkość. Wtedy zachodzi stan stabilności i w tych odległościach tworzą się pierwsze grzebienie fal. Straty energii są już wtedy mniejsze (ryc. 4), ponieważ warstwa powietrza przesuwa się nad powierzchnią warstwy osadu bez większego tarcia.

Ripple-marki większych rozmiarów powstają w tym wypadku, kiedy za każdym grzebieniem fali tworzy się wir powietrzny, pogłębiający obniżenie a podwyższający grzbiet.

Jeżeli wzrasta prędkość wody albo powietrza, rośnie także odstęp pomiędzy poszczególnymi ripple-markami, często nawet skokowo na odstęp podwójny.

Odległość między grzbietami fal zależy także od wielkości ziarna, z jakiego zbudowana jest skała, od temperatury przesuwanego się ośrodka oraz w wypadku gdy przesuwanym się ośrodkiem jest woda — od zasolenia. Ponieważ czynniki te decydują o gęstości, a więc wywierają i wpływ na tarcie.

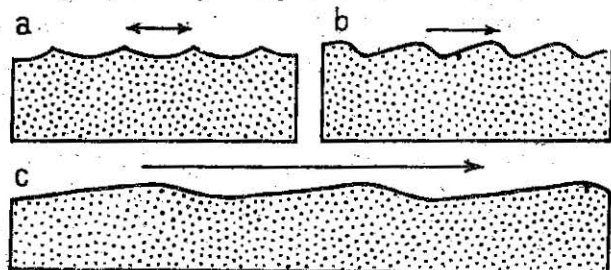
Ripple-marki występujące w przyrodzie nie mają dużych rozmiarów, długość fali mieści się w granicach kilku centymetrów, czasem tylko przekracza 2 m. Pręgi faliste zbudowane są zazwyczaj z materiału drobniejszego (piasku lub pyłu).

Ze względu na środowisko, w jakim powstają, wyróżniamy ripple-marki eoliczne i wodne. Przyjmując natomiast za kryterium podziału kierunek przesuwania się ośrodków, wyodrębniamy ripple-marki prądowe i oscylacyjne.

M. S. Szwiłow (23) wyróżnia więcej typów, ponieważ przyjmuje za podstawę podziału jednocześnie kilka cech. Wyróżnia więc oprócz ripple-marków eolicznych dwa rodzaje ripple-mar-

ków prądowych: a. zwykłe (drobne) i b. wielkie oraz poza ripple-markami oscylacyjnymi jako oddzielny typ wydziela ripple-marki złożone (krzyżujące się).

Ripple-marki prądowe, eoliczne — (ryc. 5 c) różnią się od ripple-marków wytworzonych przez płynącą wodę, przede wszystkim stosunkiem długości fali do jej wysokości. Stosunek ten wynosi u ripple-marków eolicznych od 1 : 20 do 1 : 50, natomiast u prądowych, wodnych wynosi od 1 : 4 do 1 : 10.



Ryc. 5

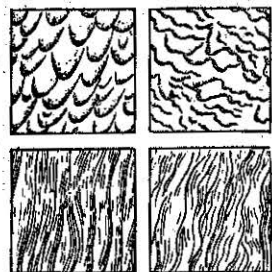
Pręgi faliste (ripple-marki), a. oscylacyjne, b. prądowe, wodne, c. prądowe-eoliczne.

Porównując odpowiednie wielkości obu typów zauważyć można, że ripple-marki prądowe eoliczne są bardziej płaskie niż tworzące się w wodach. Pręgi faliste eoliczne powstają głównie na obszarach pokrytych luźnymi piaskami a także i tam, gdzie osad składa się z jeszcze drobniejszego ziarna (obszary ergów, plaże nadmorskie itd.), a także na śniegu.

Według poglądów niektórych autorów zarówno długość, jak i wysokość ripple-marków eolicznych zależy od wielkości ziarna osadu i jest do niej proporcjonalna. Długość ich mieści się w granicach kilku centymetrów i tylko w gruboziarnistych piaskach dosięgać może ¼ m.

Ułożenie grzbietów poszczególnych pręgów falistych względem siebie zbliża się najczęściej do przebiegu równoległego.

Na skutek wywiewania drobniejszego materiału na grzbietach ripple-marków utrzymują się zwykle tylko ziarna grubsze — a w obniżeniach gromadzą się drobniejsze.



Ryc. 6

Różne rodzaje ripple-marków na pustyni Lop-Nor, wg Sven Hedina, z podręcznika E. Kaysera

Ponieważ grzbiety i obniżenia eolicznych pręgów falistych układają się pod kątem prostym od kierunku wiatru, w obszarach, gdzie kierunek wiatru ulega częstym zmianom, tworzą się ripple-marki o nieregularnych kształtach, układając się w różnych kierunkach i często krzyżując się ze sobą (ryc. 6).

Ripple-marki prądowe wodne (ryc. 5b) różnią się od poprzednich eolicznych, jak już wspominałem, stosunkiem długości fali do jej wysokości. Stosunek ten wynosi tutaj od 1 : 4 do 1 : 10. Ripple-marki tworzące się w ośrodku wodnym są więc bardziej „grube”. Długość ich dochodzi do kilku cm, tworzą się na dnie morza (wg Krummela do głębokości 180 m, a czasami i głębiej) w miejscach, gdzie istnieją prądy wodne, w zalewach, jeziorach i rzekach.

Ripple-marki większych rozmiarów, nazywane przez M. S. Szwiecowa (23) „wielkimi”, spotykane są bardzo rzadko, długość fali wynosi u nich 90—200 cm, a wysokość 10—70 cm, w wyjątkowych wypadkach mają i większe rozmiary.

Ripple-marki prądowe tego typu tworzą się w warunkach bardzo silnego ruchu wody. Wykazują zwykle dużą zmienność form i rozmiarów, powstają w estuariach, rzekach oraz w zatokach i zalewach, gdzie istnieją silne prądy wodne wywołane przypływami wód.

W przeciwieństwie do pręgów falistych eolicznych, grubsze ziarna osadu gromadzą się nie na grzbietach, lecz w obniżeniach poszczególnych ripple-marków.

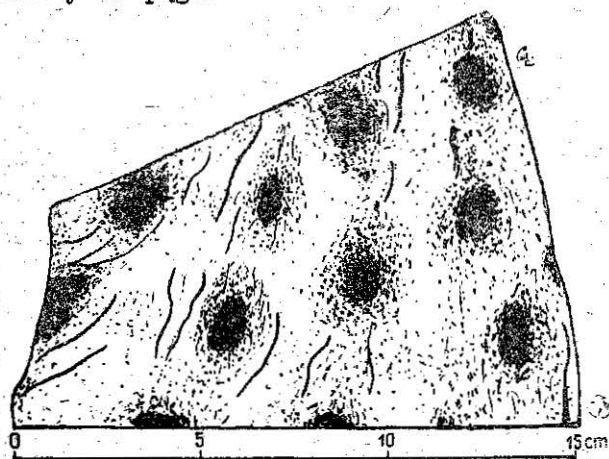
W większości rzek przepływ wody nawet przy niewielkiej prędkości jest niespokojny. Dno rzek wolnoprzepływających jest zwykle płaskie. Jeżeli prędkość wody choć nieznacznie wzrasta, tworzą się na dnie symetryczne fale, oscylacyjne ripple-marki (8), a po przekroczeniu krytycznej prędkości powstają ripple-marki prądowe (18). Na odprądowej tych ripple-marków tworzy się stały wir wodny, który nadaje skłonowi odprądowemu słaby sigmoidalny kształt. Przy dalszym wzroście prędkości (po przekroczeniu drugiej krytycznej wielkości) sformowane już „normalne” ripple-marki prądowe ulegają erozji. Powierzchnia dna staje się gładka i pokryta jest materiałem grubszym — średnich rozmiarów piaskiem. Przy dalszym wzroście prędkości tworzą się większe ripple-marki. W rezultacie coraz większego wzrostu prędkości wody może dojść do utworzenia się ripple-marków wielkich rozmiarów, których wysokość wg M. S. Szwiecowa (23) przekraczać może w niektórych wypadkach nawet 70 cm a długość 200 cm.

Ripple-marki oscylacyjne (ryc. 5a) różnią się od prądowych symetrycznością. Tworzą one cały szereg ostrych grzbietów poprzedzielanych szerokimi wklęsłymi zagłębieniami. Powstają na skutek oscylacyjnego ruchu wody. Mogą występować na znacznych głębokościach, nawet poniżej 200 m (23), najczęściej jednak występują w płytkich jeziorach, gdzie pokrywają ogromne obszary dna.

Podobnie jak w środowisku powietrznym tak i w wodnym tworzą się różnego rodzaju ripple-marki o nieregularnych kształtach. Ripple-marki takie powstają na skutek nałożenia z różnych kierunków jednych pręgów falistych na drugie. W taki sposób formują się całe systemy krzyżujących się ze sobą ripple-marków. Tworzą one

najczęściej na powierzchni warstwy szeregi cztero- lub wielokątnych jamek (ryc. 7). Zagłębienia te, powstające wskutek interferencji fal, spotkać można w płytkich zalewach, na dnie płytkich stawów oraz w kałużach.

W osadach dawnych epok geologicznych występują czasem jakby „negatywy“ ripple-marków. Są to odciski pręgów falistych utrwalone w spągu przykrywającej je warstwy. W obszarach o skomplikowanej tektonice można na podstawie formy ripple-marków odróżniać strop warstwy od spągu.



Ryc. 7

Układ krzyżujących się ripple-marków, tworzących zagłębienia na powierzchni osadu

Pomimo że ripple-marki tworzą się bardzo często na powierzchni warstw skalnych, to jednak stosunkowo rzadko zachowują się w stanie kopalnym, a to dlatego, że nie zawsze są dość szybko przykryte osadem.

M. S. Szwiecow (23) przytacza następujące warunki nieodzowne do utworzenia się ripple-marków:

1. osad niepokryty roślinnością ani w inny sposób nie utwierdzony,
2. wielkość ziarn osadu ani zbyt duża, ani zbyt mała,
3. ruch wody na dnie określonej siły niezbyt duży i niezbyt mały przy danej wielkości ziarna.

SKOŚNE UWARSTWIENIA osadu występują wtedy, kiedy poszczególne warstewki prosto — albo krzywolinijskiego kształtu układają się pod różnymi kątami do płaszczyzny nawarstwienia. Ten typ uwarstwienia tworzy się zasadniczo na skutek akumulacji osadu w czasie ruchu ośrodka (wody lub powietrza). Osad tworzący poszczególne warstewki skalne jest już od razu układany przez płynące rzeki, potoki, prądy morskie oraz wiatry w pozycji skośnej w stosunku do płaszczyzny horyzontalnej.

Pochylenie warstewek skośnie ułożonych jest zgodne z kierunkiem prądu (ryc. 6), a kąt nachylenia odpowiada naturalnemu kątowi spoczynku materiału. Wielkość tego kąta zależy od grubości ziarna osadu, od stopnia zaokrąglenia ziarn, gęstości ośrodka, siły prądu oraz kohezji powodującej zwykle zwiększenie kąta.

Kąt nachylenia wynosi od 0° do 45° a czasem i więcej albo od 5° do 45° , w wypadku gdy do uwarstwienia horyzontalnego zaliczamy warstewki ułożone bądź całkiem poziomo, bądź nachylenie ich wynosić może najwyżej 5° . Z badań H. Illiesa (8) wynika, że w niektórych wypadkach w ośrodku wodnym kąt ten wzrasta wraz ze spadkiem turbulencji wody na dnie rzeki, maleje natomiast przy wzroście wielkości ziarn.

W uwarstwieniu skośnym występować może materiał o dużym interwale wielkości ziarn począwszy od drobnych okruchów tworzących muł aż do otoczków kilkunastocentymetrowej średnicy.

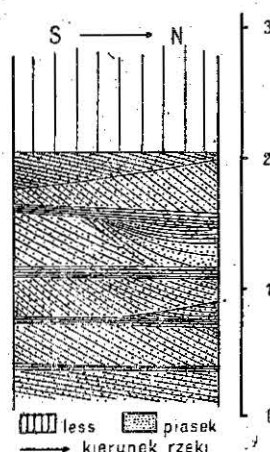
Skośne rodzaje uwarstwienia są bardzo rozpowszechnione zarówno w ośrodku wodnym (osady litoralne, deltowe, rzeczne, potoków itd.), jak i subaerycznym (np. wydmy ruchome).

Ze względu na kształt poszczególnych warstewek osadu wyróżnić można cztery główne typy uwarstwienia skośnego:

1. Uwarstwienie skośne prostolinijne,
2. Uwarstwienie skośne sigmoidalne (przypominające kształtem literę S),
3. Uwarstwienie skośne łukowe,
4. Uwarstwienie skośne faliste.

UWARSTWIENIE SKOŚNE PROSTOLINIJNE tworzy się w tym wypadku, kiedy ziarna osadu przesuwane przez wodę lub wiatr układają się jakby w postaci tarasów, przy czym ich strona odprądowa nie jest podcinana przez wiry. Uwarstwienie tego rodzaju cechuje się stałością kąta upadu warstewek i występuje przede wszystkim w osadach rzecznych.

UWARSTWIENIE SKOŚNE SIGMOIDALNE jest pełnym wykształceniem warstewek skośno-uwarstwionego osadu. Uwarstwienie to według Illiesa (8) ma związek z pręgami falistymi powstającymi w wodzie. Na czole (skłon odprądowy) ripple-marków prądowych powstaje stały wir wodny, który nadaje mu słaby sigmoidalny

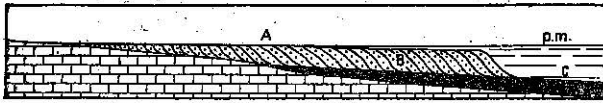


Ryc. 8

Diagonalne uwarstwienie piasków występujących na wysokim tarasie rz. Byszczy (Rury Jezuitckie koło Lublina)

kształt (ryc. 9). W wypadku, gdy część wykształconego w ten sposób osadu ulegnie erozji, tworzą się formy przedstawiające w odkrywcę typ uwarstwienia skośno-łukowego.

UWARSTWIENIE SKOŚNE ŁUKOWE występuje zwykle w osadach o nieco grubszym



Ryc. 9
Przekrój przez osady deltowe. A — warstwa górna, poziomo uławiconą, (zamalowana czarnym kolorem), B — warstwy środkowe sigmoidalne uławicone — piaszczyste, C — warstwa dolna mulisto-łłasta, p.m. — poziom morza.

ziarnie, chociaż możliwe jest w osadach o różnym wymiarze ziarn, aż po średni żwir. W uwarstwieniu skośnie-łukowym część górna warstewki ma największy kąt nachylenia (ryc. 3a), dolna najmniejszy. Podobne formy uwarstwienia mogą także powstawać w środowisku powietrznym (ryc. 10b).

UWARSTWIENIE SKOŚNE FALISTE powstaje w taki sam sposób jak faliste (ripple-marki), z tą tylko różnicą, że ogólny jego przebieg nie jest horyzontalny, lecz skośny.



Ryc. 10

Schemat przedstawiający tworzenie się uwarstwienia wdm: a. stałych, b. ruchomych. Kolejne stadia przesuwającej się wydmy zaznaczono kropkami. Strzałki wskazują kierunki wiatrów, wg A. Holmesa (7)

UWARSTWIENIE DIAGONALNE łączono zwykle z silnym ruchem wody (np. z potokami wody powstałymi na pustyniach po wielkich ulewach); obraz tego uwarstwienia (ryc. 8) przedstawia wielopiętrowe powtarzanie się stromo opadających warstewek nachylonych w jednym kierunku (do 45°), złożonych z grubego materiału (okresy ulew). Warstewki te pokryte są niemal horyzontalnie ułożonymi warstewkami materiału drobnoziarnistego (okresy ubogie w opad). Grubość serii warstewek skośnych, a więc odstęp pomiędzy jedną a drugą serią warstewek o ułożeniu horyzontalnym, wynosi najczęściej od 10 do 50 cm, ale zdarzają się wypadki, gdy osiąga nawet kilka metrów.

Według H. Illiesa (9) uwarstwienie diagonalne zwykle nie występuje w osadach morskich, a powstaje w dolnym biegu rzek mających niewielki spadek. Przesuwające się ławice piasku na skutek braku wirów osadzane są w ten sposób, że odprądy ich skłon tworzy linię prostą, której kąt upadu odpowiada naturalnemu kątowi spoczynku materiału.

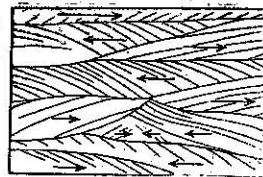
Liczne pomiary kątów upadu warstewek skośnie ułożonych przeprowadzone przez autora niniejszego artykułu w diagonalnie uwarstwionych piaskach rzecznych występujących na wysokim tarasie Bystrzycy w miejscowości Rury Jezuickie (3 km na południe od Lublina) wykazały, że kąt nachylenia w warstewkach, które zbudowane są z gruboziarnistego piasku, wynosi średnio $26 - 32^\circ$. Natomiast warstewki

horyzontalne, zbudowane z drobnoziarnistego piasku, wykazują przeciętne nachylenie od 0 do 4° (ryc. 8).

UWARSTWIENIE KRZYŻOWE było różnie pojmowane przez wielu autorów, wydaje mi się, że najlepiej określa ten typ uwarstwienia L. N. Botwinikina (3). Według niej uwarstwienie krzyżowe występuje tylko wtedy, kiedy serie skośnie ułożonych warstewek ścinających się ze sobą, ułożone są w przeciwnych kierunkach (ryc. 3). Natomiast gdy skośne warstewki są pochylone w jednym kierunku, ale pod różnymi kątami ($0-90^\circ$), to powstaje uwarstwienie tego lub różnego typu wzajemnie się ścinające, a nie krzyżujące.

Za uwarstwienie krzyżowe należy więc uważać tylko takie, które powstaje na skutek zmiany kierunku prądu, powodującego akumulację osadu na kierunek prawie lub całkowicie przeciwny.

Uwarstwienie krzyżowe najczęściej występuje w piaskach i żwirach rzecznych, w osadach deltowych (ryc. 11), litoralnych i pustynnych, a więc wszędzie tam, gdzie zachodzi często zmiana kierunku prądów. Zmiana ta może być wywołana, jak np. w zatokach i u ujścia rzek, przyływami i sztormami, a na lądzie tak często



Ryc. 11

Uwarstwienie krzyżowe osadów deltowych. Strzałkami zaznaczono kierunek prądów wg I. Hesslanda (6)

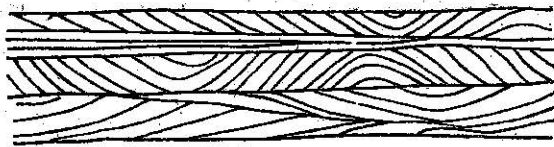
występującą zmianą kierunku wiatru. Czasami uwarstwienie krzyżowe utworzyć się może także w osadach głębszego morza, w wypadku gdy istnieją na dnie silne prądy morskie o zmiennych kierunkach.

Obraz uwarstwienia, jaki oglądamy w odkrywkach, powstaje wskutek zestawienia warstewkowanych ławic kształtem podobnych do klinów. Ławice te są ułożone w różnych kierunkach, a warstewki, z których się one składają, krzyżują się wzajemnie ze sobą. Kształt ławic zależy nie tylko od akumulacji, ale także od erozji nagromadzonego już materiału.

Istotna różnica pomiędzy uwarstwieniem krzyżowym a diagonalnym polega na tym, że w uwarstwieniu krzyżowym poszczególne serie skośnie ułożonych warstewek nie są poprzegradzane warstewkami zorientowanymi, wykazują tylko nachylenie w przeciwnych kierunkach.

W uwarstwieniu krzyżowym występuje częsta zmiana kąta upadu poszczególnych warstewek, kąt upadu w poszczególnych ławicach wynosi zwykle od 5° do 35° . W obrębie ławic zmienia się często rozmięszczenie i wielkość ziarna osadu, a sama grubość wykazuje dużą rozpiętość i wynosić może zarówno kilka cm, jak i kilka metrów.

W osadach rzecznych ten typ uwarstwienia reprezentowany jest zwykle przez grubsze ziarno, począwszy od średnioziarnistego piasku, aż po otoczaki średnicy kilkunastu centymetrów.



Ryc. 12

Uwarstwienie krzyżowe w piaskach pustynnych, wg Joh. Walthera

Rysunki przedstawiające uwarstwienie krzyżowe zamieszczone w różnych pracach i podręcznikach (ryc. 12), zwłaszcza odnoszące się do różnego rodzaju utworów eolicznych (jak wydmy i barchany) odbiegają zwykle od typowego obrazu uwarstwienia krzyżowego, ponieważ intersekcja utworu eolicznego nie jest wszędzie zgodna z kierunkiem akumulacji w poszczególnych ławicach.

Odnośnie do klasyfikacji i genezy poszczególnych typów uwarstwienia można by wyciągnąć następujące wnioski:

1. Na podstawie morfologicznej wyróżnić można ogólnie dwa zasadnicze rodzaje uwarstwienia: prostolinijne i krzywolinijne.
2. Zasadnicze rodzaje uwarstwienia obejmują sześć typów głównych: uwarstwienie horyzontalne, faliste, skośne, skośne łukowe, skośne sigmoidalne i skośne faliste.
3. Na skutek zetknięcia się ze sobą dwu różnych typów głównych powstaje 21 typów uwarstwienia złożonego.
4. Stosowanie opracowanej morfologicznej klasyfikacji uwarstwienia umożliwi ujęcie opisów różnych tekstur warstwowych w jednolity schemat.
5. Uwarstwienie jest cechą wyłącznie skał osadowych.
6. Dwa główne czynniki decydują o powstaniu uwarstwienia:
 - a. zmiana materiału w czasie sedymentacji,
 - b. przerwy czasowe w akumulacji materiału.
7. Uwarstwienie horyzontalne (poziome) powstaje wtedy, gdy sedymentacja materiału odbywa się w warunkach spokojnych.
8. Uwarstwienie faliste (ripple-marki) tworzy się na skutek tarcia wywołanego przesuwaniem się jednego ośrodka (powietrze, woda) nad drugim (warstwa luźnego osadu).
9. Skośne uwarstwienie powstaje zasadniczo wtedy, gdy akumulacja materiału odbywa się w czasie ruchu ośrodka (wody lub powietrza).
10. Uwarstwienie diagonalne tworzy się przede wszystkim w osadach rzek i potoków, zwłaszcza tam — gdzie okresy silnego przepływu wód poprzedzane są okresami stagnacji.

11. Uwarstwienie krzyżowe powstaje na skutek zmiany kierunku prądu powodującego akumulację osadu na kierunek prawie lub całkowicie przeciwny.
12. Typ uwarstwienia nie zależy od środowiska — a tylko od przebiegu sedymentacji materiału.

LITERATURA

1. Billings M. — Structural geology. New York 1946.
2. Brinkmann R. — Über Kreuzschichtung im deutschen Bundsandsteinbecken. „Nachr. Ges. Wiss. Göttingen“ Math.-Phys. Kl., 1933, IV.
3. Botwinikina L. N. — O klasyfikacji różnych typów słoństosi. „Izv. Akad. Nauk SSSR“, ser. geol., 1950, nr 5.
4. Dylkowa A. — O metodzie badań strukturalnych w morfologii glacialnej. „Acta Geographica Universitatis Lodzianensis“, 1952, 3.
5. Gola J. — Zasady zdjęć geologicznych. Katowice 1951.
6. Hesseland I. — Marine Schalenablagerungen Nord-Bohusläns. „Bull. of the Geological Institution of University of Upsala“ 1946, vol. 31.
7. Holmes A. — Principles of physical geology. 1949.
8. Illies H. — Die Schrägschichtung in fluvialen und litoralen Sedimenten, ihre Ursachen, Messung und Auswertung. „Mitt. Geol. Staatsinstitut Hamburg“, H. 19.
9. Illies H. — Die paläogeographische Auswertung der Schrägschichtung. „Geol. Rundschau“ 1951, B. 39, H. 1.
10. Jakowlew S. A. — Obszczaja geologia. Moskwa 1948.
11. Kayser E. — Lehrbuch der Geologie. B. 1. Stuttgart 1951.
12. Keil K. — Ingenieurgeologie und Geotechnik. Halle 1951.
13. Keilhack K. — Lehrbuch der Praktischen Geologie. B. 1. Stuttgart 1921.
14. Książkiewicz M. — Przekątne uwarstwienie niektórych skał fliszowych. „Rocznik PTG“ t. 17 za rok 1947.
15. Książkiewicz M. — Geologia dynamiczna. Warszawa 1951.
16. Łoziński W. — Ziemia i jej budowa. 1907.
17. Łuczickij W. J. — Sokraszczennyj kurs petrografii. Moskwa 1948.
18. Nevin Ch. — Competency of moving water to transport debris. „Bull. Geol. Soc. Amer.“ 1946, vol. 57, nr 7.
19. Neumayr M. — Dzieje ziemi (przekład polski z drugiego wydania niemieckiego). Warszawa 1921.
20. Pustowalow L. W. — Petrografia osadoczych porod. Gostoptechizdat. 1940.
21. Schwarzacher W. — Sedimentpetrographische Untersuchungen Kalkalpiner Gesteine. „Jahrb. der Geol. Bundesamt“ 1946, H. 1—2, Wien 1948.
22. Strachow N. M. — Osnovy istoriczeskoj geologii. Moskwa 1948.
23. Szwiecow M. S. — Petrografia osadoczych porod. Gos. izd. geol. lit., 1948.
24. Turnau - Morawska M. — Petrografia. Warszawa 1952.
25. Zelechowski W. — Wstęp do petrografii skał osadowych. Kraków 1925.
26. Zemezuznikow J. A. — Tip kosoj słoństosi kak kritierij gieniezisa osadkow. „Zap. Len. gorn. inst.“ 1926, t. 7, wyp. 1.
27. Zemezuznikow J. A. — Sioj i plast. „Izv. Akad. Nauk SSSR“, ser. geol., 1950, nr 5.