

WIĄZANIA STRUKTURALNE W LESSACH I ICH WPŁYW NA OSIADANIE ZAPADOWE

UKD 552.524:552.122

Prowadzone przez autorkę, od ponad 10 lat, badania nad mikrostrukturami skał osadowych, pozwalają coraz lepiej zrozumieć rolę procesów doprowadzających do ukształtowania się określonego modelu budowy wewnętrznej skały, który określamy jest terminem struktura. Znaczenie tego terminu jest wielorakie, gdyż specjaliści z różnych dziedzin nadają mu różny sens. Świadczy o tym bogata literatura naukowa, z której część zestawiono w publikacji V. Cotecchia et al. (2). Nie wdając się w szerszą dyskusję na tematy terminologiczne, autorka stosuje termin struktura wg J.K. Mitchela (12), który w uproszczony sposób można wyrazić następująco:

struktura = febrik + siły międzycząstkowe

W badaniach nad mikrostrukturą¹ lessów, które zostały opublikowane w pracach: B. Grabowska-Olszewska (6, 7, 8), a także B. Grabowska-Olszewska i in. (9), stwierdzono iż lessy eoliczne mają szkieletową mikrostrukturę, która „wykształcona jest w postaci luźnego szkieletu o równomiernie rozłożonych porach, zbudowanego głównie z pylastych ziarn minerałów pierwotnych. Materiał ilasty rozłożony jest nierównomiernie i nie tworzy jednolitej, ciągłej matrycy gdyż najczęściej skupiony jest na powierzchni dużych ziarn w postaci szczelnych „błonek” lub na kontaktach cząstek pylastych, tworząc swego rodzaju mostki wiążące ze sobą ziarna.

Kontakty między elementami strukturalnymi mają głównie charakter koagulacyjny. Orientacja elementów strukturalnych nie występuje. Przestrzeń porowa mikrostruktury szkieletowej składa się z równomiernie rozłożonych otwartych porów międzyagregatowych i międzycząstkowych. Kształty porów różne, najczęściej izometryczne, rozmiary zmieniają się od części μm do 4–6 μm ”.

Od 1984 r., w którym opublikowano jednoznacznie brzmiącą definicję mikrostruktury szkieletowej, nadal były prowadzone przez autorkę badania nad budową wewnętrzną lessów. Z jednej strony potwierdziły one powszechność występowania tej mikrostruktury wśród lessów eolicznych, z drugiej – dostarczyły nowszych danych na temat ro-

dzajów wiązań między grubszymi elementami strukturalnymi, tzn. ziarnami, agregatami i mikroagregatami.

W niniejszym artykule autorka zajmie się opisem strukturalnych wiązań, uwarunkowanych siłami międzycząstkowymi. Do badań wytypowano lessy reprezentujące dwa główne poziomy stratygraficzne: lessy młodsze (LM) i lessy starsze (LS), przyjmując terminologię wg H. Maruszczaka (11).

Lessy te reprezentowane są przez następujące ogniwa:

- less młodszy górny (LMg) 28–15/12 ka BP²
- gleba zwietrzała (sg-Gi/LMs) 32–28 ka BP
- less młodszy środkowy (LMs) 40/37–30/28 ka BP
- less młodszy dolny (LMd) 80/75–42/37 ka BP
- gleba interglacialna (GJi/LSg) 130/125–115/110 ka BP
- less starszy (LS) 310/300–135/130 ka BP

Analiza typów wiązań strukturalnych możliwa była dzięki zastosowaniu SEM³ japońskiej firmy HITACHI S-800 o zdolności rozdzielczej 2 nm. Obserwując zdjęcia SEM, wykonane dla lessów eolicznych różnego wieku, stwierdza się, iż pozornie charakteryzują się one tym samym szkieletowym typem mikrostrukturalnym, odpowiadającym wyżej zacytowanej definicji. Pozornie, gdyż stwierdzenie „kontakty między elementami strukturalnymi mają głównie charakter koagulacyjny”, słuszne jest w zasadzie jedynie w odniesieniu do lessów młodszych (LM). To ograniczenie zastosowania definicji struktury szkieletowej wynika z faktu, iż nie wszystkie lessy charakteryzują się koagulacyjnym typem kontaktów.

Zebrany do chwili obecnej materiał analityczny zezwala na dokonanie wstępnej klasyfikacji typów połączeń elementów strukturalnych w lessach, wśród których wyróżnia się:

- 1) ilaste połączenia⁴,
- 2) krzemionkowe i żelaziste połączenia,
- 3) cementacyjne połączenia,

² Datowanie TL wg J. Butryma (vide 11)

³ Autorka dziękuje dr W.I. Sokołowowi z Uniwersytetu Moskiewskiego za wykonane zdjęcia.

⁴ Znaczenie terminów i ich pochodzenie podaje publikacja K. Collins and A. McGown (1)

¹ Przedrostek mikro- odnosi się do badań z zastosowaniem SEM

a w następstwie – na uściślenie brzmienia definicji mikrostruktury szkieletowej.

1.1. Ilaste połączenia między ziarnami i mikroagregatami mają różne morfologiczne formy, którymi są:

– cząstki ilaste (FF) na powierzchni grubszych ziarn, tworzące rodzaj otoczek (ryc. 1), które następnie łączą się z innymi mikroagregatami przez:

- mostki ilaste (ryc. 2, 3, 4),
- podpory ilaste (*vide* zdj. na okł.),
- łańcuszki ilaste (ryc. 5).

Wśród tych trzech form, utworzonych głównie z minerałów mieszano-pakietowych smektyt/illit, w mostkach ilastych i podporach ilastych dominuje orientacja FF, natomiast wśród ilastych łańcuszków obserwuje się dodatkowo orientację FE i EE, czyniąc tę formę szczególnie niestabilną.

Geneza owych połączeń ilastych nie została dotychczas ostatecznie zinterpretowana. Wydaje się jednak, że musiały one powstać we wczesnym etapie przemian postsedymentacyjnych. Jeżeli się przyjmie, iż w wyniku eolicznej akumulacji lessów równomiernemu rozsypaniu ulegają również i cząstki ilaste, wówczas należy przypuszczać, iż głównym czynnikiem, który byłby w stanie wpłynąć na ich wzajemną orientację, będzie cykliczny ruch wody w porach osadu.

Cząstki ilaste w warunkach swobodnej orientacji i braku wpływu ciśnień zewnętrznych dążą do układu FF, FE i EE, tworząc przez to morfologicznie zróżnicowane połączenie. Trwałość tych połączeń wynika z istniejących kontaktów koagulacyjnych, które mogą powstać dzięki działaniu między cząstkami ilastymi sił Van der Waalsa, Coulomba i magnetycznych. Charakterystyczną cechą takich kontaktów jest obecność termodynamicznie stabilnej błonki wodnej o grubości od kilku do kilkudziesięciu μm między cząstkami. Obecność takich błonek, uniemożliwiających bezpośredni kontakt cząstek, wynika z niewielkiej wytrzymałości kontaktów koagulacyjnych (od 10^{-10} do 10^{-8} N). Kontakty te pod wpływem czynników mechanicznych ulegają odwracalnemu zniszczeniu i stopniowo są odbudo-

wywane po usunięciu efektów zewnętrznych. Te zjawiska mogą tłumaczyć fakt, iż lessy, które uległy osiadananiu zapadowemu pod wpływem hydrokonsolidacji, po pewnym czasie odbudowują swą pierwotną strukturę.

Badania dotyczące osiadanania zapadowego lessów wykazują ponad wszelką wątpliwość, że lessy z połączeniami ilastymi charakteryzują się wrażliwością na działanie wody, wyrażającą się w wartościach i_{mp} ⁵ (współczynnika osiadanania zapadowego) powyżej 0,02 (6), co świadczy o ich niestabilności strukturalnej. Poddane z kolei badaniom różnowiekowe ogniwa lessów wykazały także, że ilaste połączenia obecne są jedynie w niezwiędzłych lessach młodszych (LM). Natomiast w poziomach lessów starszych (LS) i zwiędzłych młodszych (LM) musiały one ulec trwałemu zniszczeniu wskutek intensywnego oddziaływania procesów wietrzeniowych i kompaktacji pochodzącej od warstw lessów młodszych.

Tak więc dotychczasowe badania pozwalają na sformułowanie wniosku, że połączenia ilaste obecne w eolicznych niezwiędzłych lessach młodszych (LM), występujących *in situ*, odpowiedzialne są za osiadananie zapadowe lessów.

2.1. Krzemionkowe połączenia o charakterze mostków oraz **żelaziste połączenia** stwierdzono w poziomach zwiędzłych (w tym i gleb kopalnych) oraz głównie w lessach starszych (LS) (ryc. 6). Obserwowane są również wytrącenia amorficznej krzemionki na powierzchni ziarn kwarcu, które wygładzają powierzchnię tych ziarn (ryc. 7).

Proces rozpuszczania kwarcu, a następnie wytrącania się krzemionki w zwiędzłych bądź starszych ogniwach stratygraficznych, przebiegał z różną intensywnością i szybkością w określonych fizyko-chemicznych warunkach środowiska. Obecność więc różnych form wytrąceń krzemionkowych jest miernikiem stopnia zaawansowania procesów wietrzeniowych. I tak D.H. Krinsley i in. (10) z predkością wytrącania się krzemionki wiążą różne cechy morfolo-

⁵ Gdy $i_{mp} > 0,02$ less ma strukturę nietrwałą, przy $i_{mp} \leq 0,02$ określa się ją jako trwałą.



Ryc. 1. Cząstki ilaste na powierzchni grubszych ziarn

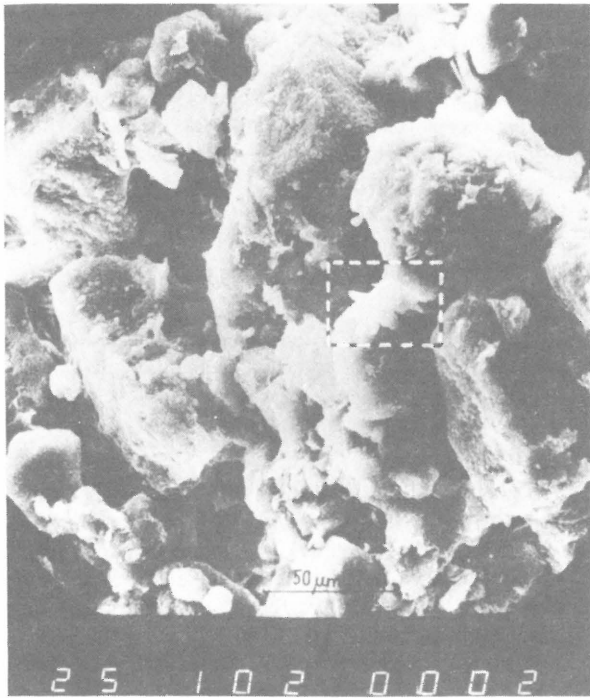
Fig. 1. Clay coating films on the surface silt grain



Ryc. 2. Mostki ilaste

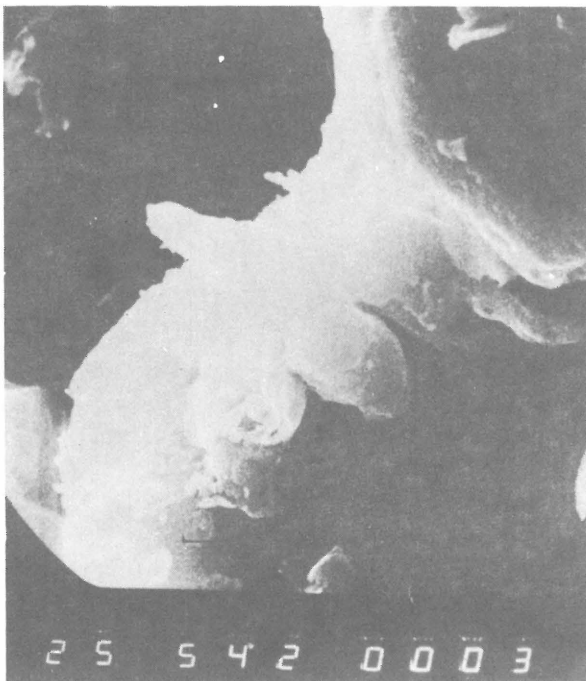
Fig. 2. Clay bridges

giczne powierzchni ziarn kwarcu, np. gdy wytrącanie zachodziło bardzo szybko, wówczas powierzchnia kwarcu jest wygładzona (ryc. 7). Gdy krzemionka wytrącała się z umiarkowaną prędkością, tworzyły się wywrócone płytki (ryc. 6), jeśli natomiast wytrącanie przebiegało bardzo powoli i było wystarczająco dużo miejsca, wówczas dochodziło do powstawania połączeń między ziarnami kwarcu, które mają charakter mostków.



Ryc. 3. Mikrostruktura szkieletowa z mostkiem ilastym (zdjęcie wybrała mgr Elżbieta Kuźniar)

Fig. 3. Skeletal microstructure with clay bridge (picture selected by M. Sc. Elżbieta Kuźniar)



Ryc. 4. Mostek ilasty (zdjęcie wybrała mgr Elżbieta Kuźniar)

Fig. 4. Clay bridge (picture selected by M. Sc. Elżbieta Kuźniar)

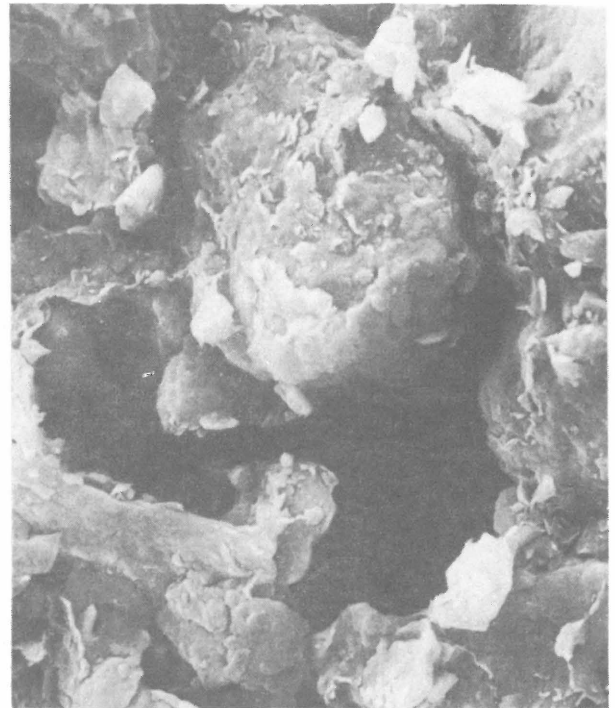
Wydaje się zatem, iż w omawianych lessach, których ziarna charakteryzują się wszystkimi wymienionymi wyżej cechami morfologicznymi, wytrącanie krzemionki zachodziło z różną szybkością.

3.1. Cementacyjne połączenia pochodzą najczęściej od autogenicznego węgla wapnia. W poziomach zwietrzałych węglany zwykle występują w ilościach kilku procent lub mniej, natomiast lokalnie osiągają wartości do ok. 20%.



Ryc. 5. Łańcuszki ilaste i podpory ilaste

Fig. 5. Clay chains and buttresses



Ryc. 6. Krzemionkowo-żelaziste połączenia

Fig. 6. Silica and iron connectors

co wiąże się z obecnością „kukielek”, pseudomycelii lub pierwotnego – klastycznego kalcytu (ryc. 8).

Badania w SEM wykazały, że autogeniczny węglan wapnia występuje w formie nieregularnych skupień – „narośli” (ryc. 9). Nie tworzy on także ciągłej otoczki na powierzchni ziarn kwarcu, co wskazuje na to, że w lessach polskich węglany mają swój niewielki udział w wiązaniach cementacyjnych (8). Znaczącą rolę odgrywają takie połączenia jedynie w lessach szczególnie bogatych w auto-



Ryc. 7. Amorficzna krzemionka na powierzchni ziarna kwarcu

Fig. 7. Amorphous overgrowth of silica



Ryc. 8. Pierwotny romboedryczny (klastyczny) węglan wapnia

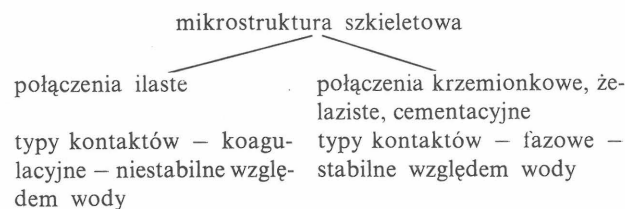
Fig. 8. Primary (rhombohedral clastic) calcium carbonate

geniczny węglan wapnia, co obserwowano np. w niektórych lessach chińskich (4).

Wspólną cechą dla krzemionkowych, żelazistych i cementacyjnych połączeń jest fazowy typ kontaktów, istniejący dzięki działaniu silnych wiązań chemicznych. Siła takich kontaktów, w zależności od powierzchni oddziaływania, jest nie mniejsza niż 10^{-7} N.

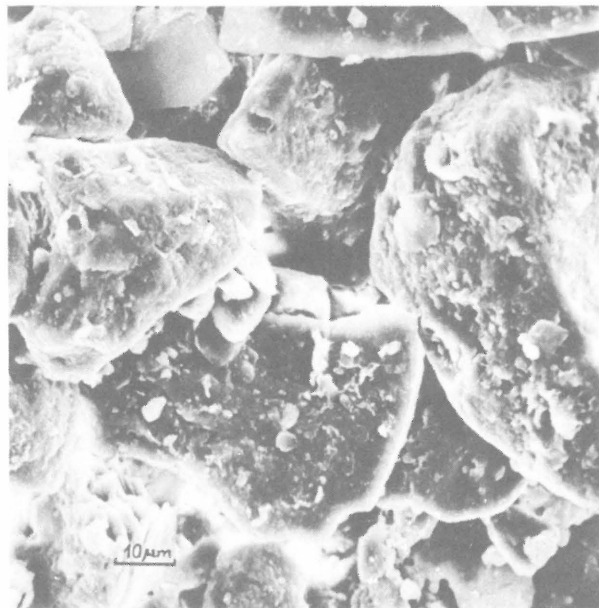
Kontakty fazowe cechuje nieodwracalność w przypadku zniszczenia i są one stabilne względem wody. Tak więc odporność na działanie wody lessów starszych (LS) oraz zwietrzałych młodszych (LM) nie osiadających zapadowo (i_{mp} najczęściej poniżej 0,02) należałoby wiązać głównie z obecnością krzemionkowych i żelazistych połączeń.

Na tle powyższych rozważań, autorka pragnie sformułować końcową tezę mówiącą o tym, że lessy charakteryzujące się mikrostrukturą szkieletową różnią się wrażliwością na działanie wody w zależności od rodzaju wiązań strukturalnych:



W powyższej klasyfikacji nie uwzględniono mieszanych połączeń i typów kontaktów, które istnieją oczywiście w przyrodzie. Dokładne jednak poznanie związków między ich obecnością, proporcjonalnym udziałem a stopniem mikrostrukturalnych przeobrażeń i wiekiem lessów wymaga dalszych badań.

Zaprezentowane powyżej wyniki badań uzasadniają zatem – zdaniem autorki – przedstawienie zmodyfikowanej definicji mikrostruktury szkieletowej, która powinna brzmieć: „mikrostruktura szkieletowa wykształcona jest w postaci luźnego szkieletu o równomiernie rozłożonych porach, zbudowanego głównie z pylastych ziarn minerałów pierwotnych. Materiał ilasty rozłożony jest nierównomiernie i nie tworzy jednolitej, ciągłej matrycy, gdyż najczęściej



Ryc. 9. Nieregularne wytrącenia autogenicznego węgla wapnia

Fig. 9. Irregular forms of secondary (authigenic) calcium carbonate

skupiony jest na powierzchni dużych ziarn w postaci szczelnych „błonek” lub na kontaktach cząstek pylistych, tworząc połączenia ilaste typu: mostki, podpory, łańcuszki. Połączenia te, wiążące grubsze elementy strukturalne, mają koagulacyjny typ kontaktów.

Natomiast krzemionkowe mostki, żelaziste i cementacyjne połączenia mają fazowy typ kontaktów. Orientacja elementów strukturalnych nie występuje. Przestrzeń porowa mikrostruktury szkieletowej składa się z równomiernie rozłożonych otwartych porów międzyagregatowych i międzycząstkowych. Kształty porów różne, najczęściej izometryczne, rozmiary zmieniają się od części μm do $4-6 \mu\text{m}$ ”.

O obecności omawianych typów połączeń w lessach Chin, Pakistanu, Kentu (W. Bryt.) piszą również autorzy: E. Derbyshire (3, 4), E. Derbyshire and T.W. Mellors (5), H.M. Rendell (13).

Składam serdeczne podziękowania mgr Bogumile Markowskiej i Hannie Karabon za pomoc w pracach techniczno-wykończeniowych oraz mgr Andrzejowi Niedkowi za wykonanie fotografii zamieszczonych w artykule.

L I T E R A T U R A

1. Collins K. and McGown H. – The form and function of microfabric features in variety of natural soils. *Geotechnique* 1974 no. 2.
2. Cotecchia V., Federico A., Trizzino R. – Microtessitura di sedimenti argillosi. Analisi delle tipologie e terminologie, ed applicazioni nel campo della geotecnica. *Geologia Applicata e Idrogeologia*, Bari 1982, 17/1/:34.
3. Derbyshire E. – Granulometry and fabric of the loess at Juizhoutai, Lanzhou, People's Republic of China. *Lithology and Stratigraphy of Loess and Paleosoils*. Geographical Research Inst. Hungarian Acad. of Sc., Budapest 1984.
4. Derbyshire E. – Origin and characteristics of some Chinese loess at two locations in China. *Eolian Sediments and Processes*, Elsevier 1983.
5. Derbyshire E., Mellors T.W. – Geological and geotechnical characteristic of some loess and loessic soils from China and Britain: a comparison. Special issue of *Engineering Geology* devoted to *Geotechnology of Loess*, Elsevier (in print).
6. Grabowska-Olszewska B. – Engineering-geological problems of loess in Poland. Special issue of *Engineering Geology* devoted to *Geotechnology of Loess*, Elsevier (w druku).
7. Grabowska-Olszewska B. – Microstructural sensitivity of loesses. *Bull. Acad. Pol. Sc., Ser. Sc. Terre* 1982 vol. 30, no. 3/4.
8. Grabowska-Olszewska B. – SEM analysis of microstructures of loess deposits. *Bull. Inter. Ass. Engineering Geology*, Krefeld 1975 no. 11.
9. Grabowska-Olszewska B., Osipow W., Sokolow W. – Atlas of the microstructure of clay soils. PWN 1984.
10. Krinsley D.H., Doornkamp J.C. – Atlas of quartz and surface textures. University Press. Cambridge 1973.
11. Maruszczak H. ed. – Guide-Book of the International Symposium Problems of the Stratigraphy and Paleogeography of Loesses, Poland 6th–10th September 1985, Lublin. Wyd. Geol. 1985.
12. Mitchell J.K. – Fundamentals of soil behaviour. John Wiley, New York 1976.
13. Rendell H.M. – Problems of estimation of water content history of loesses. Third Specialist Seminar on TL and ESR Dating, Part 9, Strasbourg 1983.

S U M M A R Y

Described are varieties of connectors occurring in loesses between microaggregates and grains. Two main types of connectors have been stated namely the clayey and the amorphous silica and iron.

Among the clayey ones the following are distinguished: clay bridges, clay buttresses and clay chains. The amorphous silica connectors are similar to bridges.

During correlation between the types of connectors, forces, contacts and the structural stability expressed by i_{mp} it was stated that: only younger loesses (LM) non-weathered of clayey types of connectors show unstable structures sensitive to water ($i_{mp} > 0.02$). Weathered younger loesses and older ones (LS) with silica-iron connectors show stable structures ($i_{mp} \leq 0.02$). Role of cementing connectors in the Polish loesses is insignificant. At the end of the paper the definition of skeletal microstructure is precised.

Translated by the Author

P E Z J O M E

В статье описаны типы связей встречаемых в лёссах между микроагрегатами и зёрнами. Было определено присутствие двух основных типов связей: глинистых а также аморфного кремнезёма и железа. Среди глинистых связей можно выделить: глинистые мостики, глинистые подпоры и глинистые печочки. Аморфические связи кремнезёма также образуют формы похожие на мостики.

На основании проведенной корреляции между типами связей, силами, контактами и структурной прочностью выраженной i_{mp} , было установлено, что: только младшие лёссы (ЛМ), невыветренные с глинистыми типами связей, выказывают структуры чувствительные к действию воды ($i_{mp} > 0,02$). Младшие выветренные лёссы (ЛМ), а также старшие лёссы (ЛС) с кремнезёмно-железистыми связями выказывают прочные структуры ($i_{mp} \leq 0,02$). Роль цементационных связей в польских лёссах небольшая.

В заключении статьи автор уточнил определение скелетной микроструктуры.