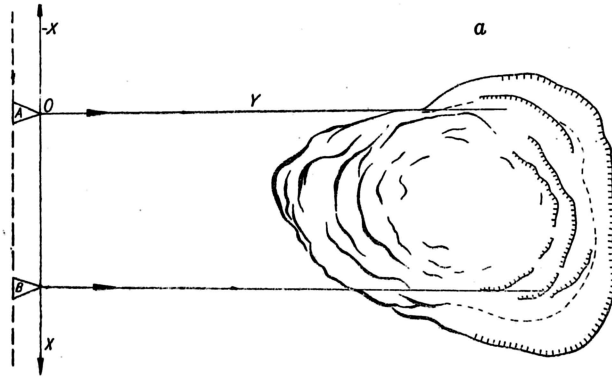



WYKORZYSTANIE W BADANIACH GEOLOGICZNYCH EFEKTU PRZESTRZENNEGO
DO FOTOGRAMETRYCZNEGO OKREŚLANIA
PRZYPOWIERZCHNIOWYCH RUCHÓW MASOWYCH I INNYCH

KAŻDY PUNKT TERENU objętego przypowierzchniowymi ruchami masowymi przesuwają się wzdłuż linii, którą dla interwału czasowego $t_1 - t_0$ możemy uznać za prostą. Wielkość przesunięcia punktu w czasie można wykazać przyrostami jego terenowych współrzędnych przestrzennych ΔX , ΔY , ΔZ . Ruch taki może być rejestrowany kolejno wykonywanymi zdjęciami naziemnymi (terrofotogrametrycznie) z tej samej bazy. Przy terrofotogrametrycz-

nym sytuowaniu położenie punktu w przestrzeni przyjmuje się na ogół lewe stanowisko rozwinięcia bazowego za początek układu (ryc. 1), przy czym oś X pokrywa się z kierunkiem bazy. Wynika stąd, że X terenowego układu współrzędnych przestrzennych odpowiada x układu współrzędnych płowych fotogramu, Z odpowiednio z , a Y układu terenowego znajduje swoje odbicie w różnicy odciętych x położenia danego punktu na dwóch fotogramach ste-



Ryc. 1.

a — widok z góry, b — rzut perspektywiczny; A—B baza, O — początek układu współrzędnych przestrzennych i stanowisko lewe rozwinięcia bazowego (A).  — zarys osuwiska, - - - - - płaszczyzna rzutni (kliszy)

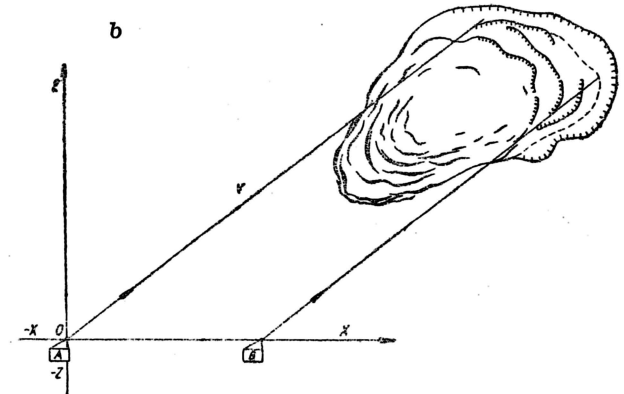

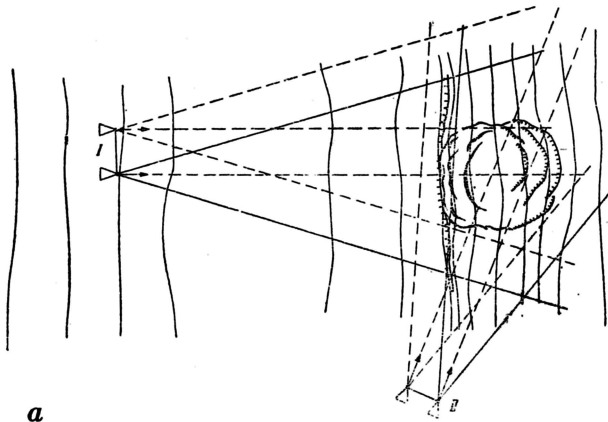


Fig. 1

a — view from above, b — perspective projection; A — B — base, O — beginning of the spatial co-ordinate system and left station of the basal extension (A).  — outline of slide - - - - - plane of projection (plate)

reogramu. Po wykonaniu dwóch stereogramów z tej samej bazy w czasie t_0 i t_1 można dla charakterystycznych punktów (np. zasygnalizowanych w terenie odpowiednimi znakami) obliczyć według podstawowych wzorów fotogrametrii naziemnej współrzędne terenowe X, Y, Z i porównując je odpowiednio — otrzymać przyrosty tych współrzędnych dla interwału czasowego $t_1 - t_0$.

Sposób ten ma niestety tę niedogodność, że nadaje się tylko do opracowania przesunięć z takiej odległości, przy której wielkość błędów ustalenia położenia punktów w przestrzeni metodą fotogrametrii naziemnej jest mniejsza od wielkości rzeczywistej ruchów, oczywiście w stopniu określonym wymaganą dokładnością takiego ustalania wielkości ruchu.



Ryc. 2.

a — widok z góry, b — widok z boku. Przykłady sytuacji baz fotograficznych (I, II) i możliwości pomiarów przesunięć osuwiskowych wzdłuż określonych kierunków w układzie współrzędnych przestrzennych — zarys osuwiska, — zarys warstwy

W przypadku I można mierzyć przesunięcia osuwiskowe pionowe (współrzędna Z) i poziome równoległe do rzutni. W przypadku II usytuowania aparatu na kliszy będzie zarejestrowany ruch osuwiskowy w pionie i przesuwanie się mas skalnych w poziomie, ale odfotografowany obszar osuwiska będzie przedstawiony w silnym skrócie perspektywicznym i wszelkie nierówności powierzchni terenu będą stwarzały martwe pola na fotografiach, gdy w przypadku I usytuowania bazy cała powierzchnia zsuwu będzie odfotografowana

Poza tym ilość punktów obserwacyjnych zależy od ilości wystawionych sygnałów, które mogą ulec zniszczeniu lub poruszeniu w czasie między wykonaniem jednej i drugiej serii zdjęć (stereogramów). Wyznaczanie punktów obserwacyjnych na charakterystycznych szczegółach sytuacji terenowej bezpośrednio na fotografiach (odfotografowane kamienie, pnie drzew itp.) stwarza poważne trudności przy identyfikacji tych samych punktów na kolejnych stereogramach, a na trawiastych zboczach wyznaczenie takich punktów jest praktycznie niemożliwe.

W czasie opracowywania zsuwu na zboczu jednej z rzek zachodniokarpackich zetknąłem się z warunkami, które uniemożliwiły otrzymanie wartości osuwiskowych przesunięć punktów przez wyliczenie ich z kolejnych stereogramów i odpowiednie porównywanie terenowych współrzędnych poszczególnych punktów obszaru objętego zsuwem. Warunki terenowe w omawianym przypadku były następujące.

Obszar objęty zsuwem — częściowo porośnięty młodym lasem — miał ok. 180 m długości i ok. 150 m szerokości. Składowa pionowa ruchu osuwiskowego wynosiła zależnie od nasilenia procesów osuwiskowych od 0,5 mm do ok. 10 mm na dobę (dane orientacyjne z pomiarów niwelacyjnych wykonywanych przez Krakowskie Okręgowe Przedsiębiorstwo Miar-nicze). Bazę fotogrametryczną można było ulokować w odległości nie mniejszej niż średnio 500 m od obszaru objętego osuwiskiem. Stosunek składowej pionowej ruchu osuwiskowego (jako największej) do odległości od bazy wynosił więc dla zdjęć obszaru objętego osuwiskiem, powtarzanych nawet w odstę-

pach sześciotygodniowych, najwyżej $\frac{\Delta Z}{Y} = \frac{1}{2500}$,

co przy błędzie bezwzględnym popełnianym przy stereofotogrametrycznym wyliczaniu wartości Z układu współrzędnych terenowych nie zapewniało możliwej do przyjęcia dokładności wyznaczenia wielkości ruchów osuwiskowych. Stereogramy wykonywane były fototeodolitem Zeissa Photoe 19/1318. Punktowe pomiary na stereogramach wykonywałem na stereokomparatorze Zeissa o dokładności cechowanej odczytów: współrzędne tłoowe x i z 0,02 mm, paralaksa x 0,005 mm oraz paralaksa z 0,01 mm. W tej sytuacji dokładność wyznaczenia współrzędnych przestrzennych poszczególnych punktów terenu była mniejsza niż zmiana tychże współrzędnych pod wpływem przesunięć osuwiskowych w odstępie sześciotygodniowym. Baza fotogrametryczna była usytuowana w ten sposób, że ruch osuwających się mas skalnych odbywał się w jej kierunku. Składowa pozioma Y ruchu co do wielkości prawie równa

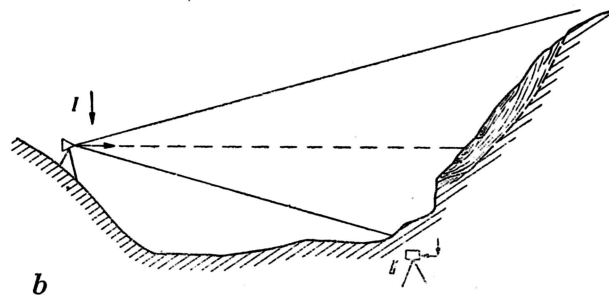


Fig. 2

a — view from above, b — side view. Examples of fixing the photogrammetric bases (I, II) and of possibilities of slide displacement measurements along the determined directions in the spatial co-ordinate system, — outline of slide, — contour lines

In the I case one can measure both the vertical (Z co-ordinate) and the horizontal slide displacements parallel to the projection plane. In the II case being characteristic of other situation of apparatus, both vertical slide movement and horizontal displacement of rock masses may be recorded on the plate, however, the photographed area of slide will be presented under conditions of strong abbreviation of perspective and all the unevennesses of terrain surface will form the dead fields on the photographs, whereas in the I case the whole area of slide will be photographed

składowej pionowej Z mogła być wyznaczona z dokładnością ± 677 mm dla $Y_{max} = 600$ m, natomiast składowa pionowa Z z dokładnością ± 28 mm i odpowiednio dla $Y_{min} = 400$ m, Y z dokładnością ± 301 mm i $Z \pm 19$ mm. Wzięto tu pod uwagę dokładność wyznaczenia położenia punktów kontrolnych za pomocą teodolitu Theo 030 należącego do kompletnego wyposażenia fototeodolitu. Na podaną wyżej dokładność wyznaczania współrzędnych terenowych wpływają ponadto błędy wynikające z dokładności paralaktycznego pomiaru bazy dwumetrową łaną inwarową i teodolitem Theo 030 dla stosunku bazowego średnio 1:10, wynikającego z warunków terenowych, oraz błędy wynikające z dokładności stereokomparatorowego opracowania, które wynoszą dla $Y_{max} = 600$ m odpowiednio dla $Y \pm 184$ mm, dla X i $Z \pm 61$ mm, a dla $Y_{min} = 400$ m odpowiednio: $Y \pm 82$ mm, X i $Z \pm 41$ mm. Wszystkie wielkości błędów odnoszą się do bazy 50-metrowej, najdłuższej, jaką można było rozwinąć w omawianych warunkach.

Z powyższych względów postanowiłem zrezygnować z obliczenia składowych poziomych ruchu osuwiskowego jako obciążonych zbyt wielkim błędem w stosunku do swoich wartości, a zająć się jedynie wyliczaniem składowej Z (pionowej) ruchu osuwiskowego. Inaczej mówiąc, określałem jedynie pionowe przesunięcia osuwiskowe, jakie odbywały się w czasie między kolejnymi seriami zdjęć fotogrametrycznych. Zdjęcia te były wykonywane z pięćdziesięciometrowej bazy kilkakrotnie w odstępach sześciotygodniowych (i większych). Ponieważ istniała konieczność uzyskania wyników już po wykonaniu

drugiej serii zdjęć, a pionowe przesunięcia nie przekroczyły w tym czasie 10 cm, musiałem w celu zwiększenia dokładności pomiarów przesunąć osuwiskowych zastosować pewne zmiany w procesie opracowania fotogrametrycznego, które ze względów metodycznych stanowią pewną nowość.

Wprowadzone zmiany polegały na tym, że wielkość przesunięć osuwiskowych pewnych partii od-fotografowanego terenu, wykazaną na kolejnych fotogramach różnicą rzędnych z — wyliczałem nie z różnicy Z otrzymanych z jednego i drugiego stereogramu, jak o tym wspominałem na początku, ale w sposób, który postaram się w skrócie przedstawić.

Zgodnie z podstawowymi wzorami fotogrametrii naziennej:

$$\Delta Z_{t_1} - t_0 = Z_{t_1} - Z_{t_0} \quad (1)$$

$$Z = \frac{z \cdot Y}{f} \quad (2)$$

$$Y = \frac{B \cdot f}{p} \quad (3)$$

- f — odległość obrazu (ogniskowa aparatu)
 B — długość bazy fotogrametrycznej
 p — paralaksa x (różnica odciętych tłowych punktu na stereogramie).

Przy stereokomparatorowym opracowaniu punktowym stereogramów mierzyłem na stereokomparatorze, najpierw na dwóch fotogramach wykonanych z tego samego stanowiska w różnym czasie, współrzędne tłowe szeregu punktów leżących na terenie i poza terenem zsuwu. Przy nastawianiu odczytów paralaktycznych na wartości zerowe dla terenu nie objętego zsuwem — przesunięcie punktów osuwiskowych było rejestrowane różnicami „paralaktycznymi” położenia tych punktów na jednym i drugim fotogramie, które obserwowane były jednocześnie. Dalszy ciąg opracowania przeprowadzany był w sposób konwencjonalny. Na miejscu jednego z dwóch kolejno wykonanych fotogramów umieszczałem fotogram stanowiący z pozostałym na stereokomparatorze fotogramem stereogram. Teraz, nastawiając stereokomparator według wartości współrzędnych tłowych poszczególnych punktów mierzonych uprzednio, odczytywałem dla każdego z nich paralaksę p na podziałce odczytowej dla x .

$$Z \text{ proporcji: } z : Z = f : Y. \quad (4)$$

po wyliczeniu wartości Y (3) otrzymywałem rzeczywistą wartość osuwiskowego przesunięcia danego punktu (w rzucie środkowym na rzutnię pionową). Ten sposób postępowania pozwolił na uniknięcie błędów identyfikacji punktów na kolejnych stereogramach, co zwłaszcza w braku dostatecznej ilości charakterystycznych szczegółów sytuacyjnych miało duże znaczenie.

Dalszym istotnym usprawnieniem pomiarów stereokomparatorowych było wykorzystanie efektu przestrzennego spowodowanego przesunięciem osuwiskowym pewnej partii terenu względem środka rzutów dla kolejnych fotogramów (wykonanych z tego samego stanowiska) oglądanych jednocześnie pod stereoskopem. Ponieważ ruch osuwiskowy odbywał się ogólnie w zakresie składowej Z prostopadle do bazy, maksymalny efekt przestrzenny uzyskałem dopiero przez przekręcenie — za poradą doc. K. Guzika, o 100g obu tych fotogramów w stereokomparatorze. W ten sposób została również zwiększona dwukrotnie (czytanie p na liczniku p) dokładność odczytów paralaksy osuwiskowych przesunięć punktów na kolejnych fotogramach i nastąpiło znaczne zwiększenie dokładności umieszczania znaczków pomiarowego na identycznych punktach obu kolejnych fotogramów. Ta wielka dokładność umieszczania znaczków pomiarowego na identycznych punktach od-fotografowanych na kolejnych fotogramach została spowodowana właśnie zjawiskiem efektu przestrzennego.

Podobnie jak przy stereoeffekcie — przez układ optyczny stereokomparatora obserwuje się jednym okiem jeden fotogram i znaczek pomiarowy, a drugim drugimi fotogram i znaczek pomiarowy. Kiedy w przestrzennym modelu terenu objętego zsuwem znaczek pomiarowy będzie dotykać powierzchni terenu, wtedy i tylko wtedy namierzany jest ten sam dowolny punkt na obu fotogramach.

Efekt przestrzenny spowodowany przesunięciem osuwiskowym pewnej partii terenu względem środka rzutów dla kolejnych fotogramów pozwala także ustalić dokładny zarys terenu objętego ruchami osuwiskowymi i rozkład wielkości przesunięć na tym terenie, co jest metodyczną nowością dla geologów. Jeżeli dysponujemy kilkoma seriami zdjęć, porównując z pierwszymi kolejno następnymi zdjęciami fotogrametryczne (zawsze lewe lub prawe z rozwinięcia bazowego), można obserwować tworzenie się i przemieszczanie na terenie objętym ruchami osuwiskowymi „zmarzszczek”, wybrzuszeń i nierówności przebiegu ruchów osuwiskowych.

Jak wynika z powyższego stwierdzenia, ten sposób geologiczno-fotogrametryczny umożliwia wprost wykrywanie wszelkich przypowierzchniowych przesunięć mas skalnych, nawet wówczas, gdy makroskopowo takie przesunięcia są niewidoczne lub trudne do stwierdzenia.

W pewnych przypadkach nie jest konieczne nawet wykonywanie seryjnych zdjęć stereoskopowych normalnych terenu objętego przypowierzchniowymi ruchami masowymi. Zdjęcia stereoskopowe normalne, powtarzane z tej samej bazy, wykonywane instrumentem wysokiej klasy, są dość kosztowne i wymagają fachowej obsługi. Należy więc wykonywać je dopiero wówczas, gdy konieczne jest uzyskanie szczegółowych danych liczbowych określających ilościowo przesunięcia osuwiskowe.

Do rejestrowania a także do wykrywania przesunięć osuwiskowych wystarczy na danym terenie wykonywać z jednego lub kilku stanowisk w regularnych odstępach czasu zdjęcia fotograficzne dowolnym aparatem w możliwie dużym formacie. Przy wykonywaniu tych zdjęć powinien być spełniony warunek pokrywania się osi kolejnych zdjęć wykonywanych ściśle z tego samego stanowiska (punktu w przestrzeni).

Opracowanie kolejnych zdjęć terenu objętego zsuwem należy w tym przypadku przeprowadzać w następujący sposób.

Odbitki lub jednakowe powiększenia kolejnych zdjęć umieszcza się pod stereoskopem w normalnym położeniu i obserwuje ewentualne wystąpienie przestrzennego efektu. Jeżeli efektu tego nie ma, obracamy w lewo lub prawo dokoła tych samych punktów oba fotogramy jednocześnie, dokonując bez przerw obserwacji stereoskopowych aż do momentu pojawienia się maksymalnego efektu przestrzennego. Pojawienie się efektu przestrzennego świadczy o istnieniu w obserwowanym na zdjęciach obszarze przesunięć pewnych partii terenu np. wskutek procesów geologicznych, takich jak: osuwiskowe ruchy masowe, osiadanie powierzchni terenu wskutek działania krasu, suffozji, kompaktacji itp. Należy przy tym pamiętać że najkorzystniejsze jest takie zorientowanie aparatu przy wykonywaniu zdjęć, żeby kierunek osiadania tworzył z osią optyczną obiektywu (promieniem głównym) kąt zbliżony do prostego. Maksymalny efekt przestrzenny wystąpi wówczas, gdy kierunek osuwiskowego przesunięcia punktów na kliszy (odbitce) będzie się pokrywał z kierunkiem bazy obserwacyjnej stereoskopu. Na podstawie oszacowania kąta między osią x fotografii (za os x przyjął trzeba na fotografii wykonanej zwykłym aparatem linię horyzontu) a bazą obserwacyjną stereoskopu można się w przybliżeniu zorientować, jaki jest w osuwisku stosunek przesunięć pionowych do poziomych w rzucie środkowym na pionową płaszczyznę kliszy. Zakładamy wówczas, że aparat w chwili wykonywania zdjęć jest zorientowany poziomo, bowiem takie ustawienie aparatu zapewnia przynajmniej równoległość osi Z terenowego układu współrzęd-

nych przestrzennych z płaszczyzną rzutni (kliszy). Stosunek przesunięć pionowych do poziomych $\Delta Z:\Delta X$ może być oczywiście różny dla różnych partii osuwiska i przy przeprowadzaniu kontrolnych obserwacji stereoskopowych wskazane jest ustalać osobno kąt „skręcenia” fotogramów, na przykład dla dolnej i górnej partii zsuwu lub w ogóle osobno dla poszczególnych partii zsuwu.

Zjawisko efektu przestrzennego występującego na zdjęciach wykonanych z tego samego stanowiska może być też wykorzystane przy stwierdzaniu występowania przypowierzchniowych ruchów masowych i innych na podstawie porównywania zdjęć archiwalnych z późniejszymi powtórzeniami. Aktualne byłoby takie porównania szczególnie przy stwierdzaniu współczesnych zawałów stropów jaskiń, wynośników górniczych, wysadów, wyboczeń starych murów itp. W górach można w ten sposób określać miejsca, skąd zeszyły lawiny kamienne, nawet drobne, trudne do wykrycia w terenie. Dotyczy to też stwierdzenia ewentualnych ruchów w obrębie tzw. rozpadlin grzbietowych.

Przy „jakościowych” badaniach ruchów powierzchniowych można w pewnych przypadkach posługiwać się zdjęciami fotograficznymi wykonanymi z tego samego stanowiska w różnym czasie nawet wtedy, kiedy każde zdjęcie zostało wykonane innym aparatem i przy nierównoległym ułożeniu ich osi optycznych. Wystarczy jedynie oba fotogramy (fotografie) doprowadzić do zbliżonej skali i po odpowiednim ich zorientowaniu pod stereoskopem przeprowadzić obserwacje. Na wycinkowo oglądanej powierzchni łatwo będzie zauważalny pod stereoskopem efekt przestrzenny spowodowany przesunięciami poszczególnych partii terenu skutkiem jednego z uprzednio wspomnianych procesów geologicznych. Ponieważ za pomocą pojedynczych zdjęć fotograficznych nie wykonuje się pomiarów fotogrametrycznych, lecz jedynie przeprowadza się obserwacje wizualne — jakościowe, pozwalające zorientować się w charakterze procesów dynamicznych — kolejno wykonane z tego samego stanowiska zdjęcia nie muszą być przetwarzane fotogrametrycznie nawet wtedy, gdy różnice położenia punktów na brzegach fotogramów względem leżących blisko środka na obu fotogramach będą większe niż różnice paralaktyczne wynikające z przesuwania się pewnych partii terenu w przestrzeni, bo te i tak wyodrębnią się w przestrzennym modelu powierzchni fotogramu.

Powyższe założenie stwarza duże możliwości przy wykorzystaniu wszelkiego rodzaju starych zdjęć, do stwierdzania późniejszych, wymienianych zjawisk geologicznych. Istotną trudność sprawia tu konieczność możliwie dokładnego odtworzenia stanowiska aparatu (środką rzutów), odtworzenie takie jest jednak możliwe, zwłaszcza za pomocą prostych przyrządów geodezyjnych.

*

Praca niniejsza powstała w Zakładzie Kartowania Geologicznego Wydziału Geologii UW z inicjatywy kierownika zakładu doc. K. Guzika, który też czuwał nad przebiegiem prób i doświadczeń zwłaszcza od strony metodologicznej.

SUMMARY

The article deals with the spatial effect obtained during the spectroscopic examination of two photographs executed out of one site at an equal spatial orientation of the projection plane (plate), differing, however, on each photograph, by the situation changes of the terrain photographed. Situation changes that cause the change of spatial location of some portions of the terrain photographed, are to be seen under the stereoscope as the spatial effect that can be presented quantitatively.

Therefore, if we successively make, after a definite time interval, the two photogrammetric surveys of a terrain comprising for example the slide movements, we can precisely determine for this slide, under conditions presented in the paper, the area of

movements, the linear values of displacements, their velocity in any point photographed, as well as we may estimate qualitatively the rising of definite morphological slide forms such as swellings, fissures, wrinkles, outline of earth slide a. o.

РЕЗЮМЕ

В статье описывается пространственный эффект, получаемый при наблюдениях под стереоскопом двух фотограмм, произведенных из одной стоянки с одинаковой ориентировкой пространственной плоскости проекции (клише), но отличающихся, однако, ситуационными изменениями изображенной местности на одной и другой фотограмме. Ситуационные изменения, в результате которых некоторые участки изображаемой местности перемещаются в пространстве, будут проявляться под стереоскопом в виде пространственного эффекта, который можно выразить в количественном отношении.

Таким образом, если в промежутке какого-то отрезка времени будут произведены два последовательных фотограмметрических снимка местности подверженной, например, оползневому движению, то при соблюдении приведенных в статье условий можно определить точные границы оползневого участка, линейные величины перемещений, скорость этих перемещений в произвольной точке, а также качественное образование определенных морфологических оползневых форм (вспучивание, трещиноватость, смятия, очертания оползня и т.п.).