

WPLYW STRUKTURY GRUNTÓW SPOISTYCH FACJI POWODZIOWEJ NA PRZEBIEG FILTRACYJNYCH DEFORMACJI W ALUWIACH DOLNEJ WISŁY

UKD 624.131.22:551.311.2:624.131.536:624.131.54

W wyniku obserwacji profili utworów powodziowych i korytowych oraz badania ich własności inżyniersko-geologicznych autorki stwierdziły niezależnie bardzo zróżnicowany stopień podatności na filtracyjne deformacje w utworach o identycznej genezie (2). Wszelkie procesy filtracyjnych deformacji gruntów mogą zostać zainicjowane tam, gdzie istnieją predyspozycje strukturalne i teksturalne gruntów, z tym że przez grunt ten musi filtrować woda przy odpowiednim spadku hydraulicznym, którego wielkość osiągnie wartość krytyczną dla danego gruntu.

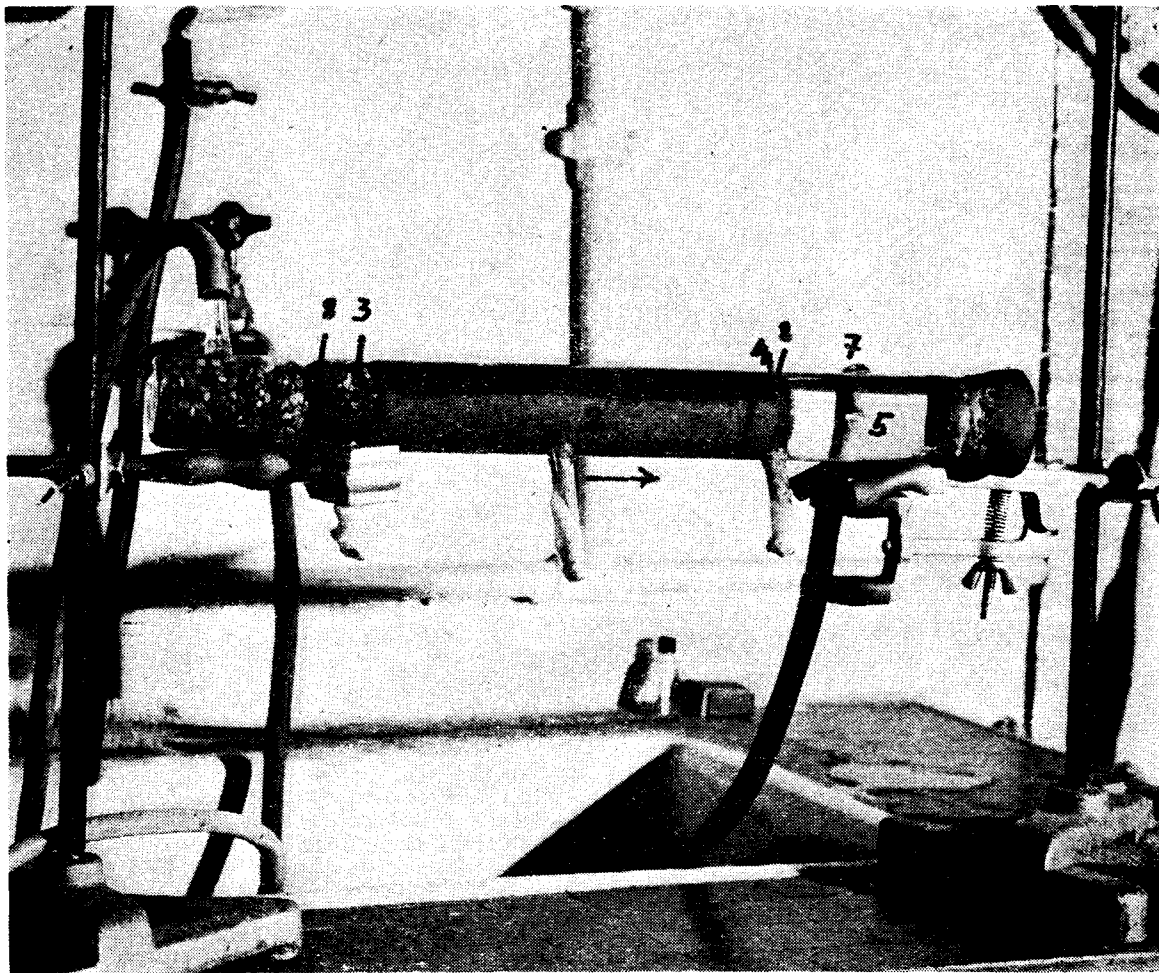
Doliny rzeczne są obszarem, na którym na stosunkowo małych odcinkach występują utwory o dużej różnorodności strukturalnej i teksturalnej oraz istnieją dogodne warunki do okresowego powstawania podwyższonych spadków hydraulicznych. Dotyczy to zwłaszcza rzek o zmiennym reżimie wodnym, do jakich należy badany odcinek Wisły. Wyjątkowo dogodne warunki do rozwoju różnorodnych form, związanych z filtracyjnymi deformacjami gruntów, istnieją w strefach okresowo zalewanych przez powódzie, a morfologicznie stanowiących strefy krawędziowe takich form, jak taras zalewowy lub kępa, bowiem wytwarzają się tu okresowe spadki hydrauliczne, znacznie większe od przeciętnych spadków wód gruntowych na tarasach (1).

Budowę wewnętrzną tarasów, zwłaszcza najmłodszych, charakteryzuje znaczna heterogeniczność litologiczna, która w konsekwencji przyczynia się do lokalnego zróżnicowania prędkości przepływu wód gruntowych filtrujących równoległe do uwarstwienia. Duża zmienność dynamiki przepływu wód rzecznych w różnych okresach hydrologicznych determinuje rodzaj niesionego materiału, sposób transportu i sedymentacji. W utworach aluwialnych obserwuje się znaczną

zmienność granulometryczną poszczególnych warstwek oraz liczne kontakty utworów piaszczysto-żwirowych z utworami spoistymi (pyły, gliny). Ten typ kontaktów litologicznych jest charakterystyczny w obrębie facji powodziowej, stanowiąc jednocześnie kontakt często spotykany przy przejściu z facji korytowej do powodziowej. Facja korytowa najczęściej wykształcona jest w postaci piasków kwarcowych grubo i średnioziarnistych, natomiast fację powodziową reprezentują wszystkie typy gruntów spoistych, tzn.: piaski pylaste, piaski gliniaste, pyły, gliny piaszczyste, gliny, gliny pylaste oraz sporadycznie gliny pylaste ciężkie oraz ility.

W obszarach kontaktowych facji korytowej i powodziowej zaobserwowano w terenie szereg form negatywnych prostopadłych i równoległych do uwarstwienia, form o charakterze kawern, szczelin, o zróżnicowanych rozmiarach, genetycznie związanych z filtracyjnymi deformacjami gruntu, powiązanych z procesami erozji, przebiccia hydraulicznego, dosiadania itp.

W celu ustalenia mechanizmu powstawania form negatywnych na kontakcie utworów korytowych i powodziowych, obserwowanych wielokrotnie w terenie, opracowano w warunkach laboratoryjnych odpowiedni model. Ze względu jednak na dużą różnorodność kontaktów sedymentacyjnych autorki wymodelowały, w warunkach laboratoryjnych, jeden typ kontaktu facji korytowej i powodziowej, odpowiadający kontaktowi piasków średnioziarnistych (facja korytowa; o następującym składzie granulometrycznym: frakcji żwirowej — 2%; frakcji piaszkowej 81%; frakcji pyłowej 17%) z facją powodziową wykształconą w postaci gliny piaszczystej frakcji piaszkowej — 58%,



Ryc. 1.

1 — glina piaszczysta facji powodziowej, 2 — piasek kwarcowy facji korytowej, 3 — pierwsza warstwa żwirowa, 4 — druga warstwa żwirowa, 5 — pojemnik na wynoszony grunt, 6 — doprowadzenie wody do aparatu, 7 — odprowadzenie wody z aparatu, 8 — siatka metalowa, 9 — trójkąt, → kierunek przepływu wody.

frakcji pyłowej — 29%, frakcji ilowej — 13%, złożonej z agregatów i ziarn mineralnych o średnicy < 2 mm, współczynniku agregatowości $K < 1$ oraz $\cong 60\%$ zawartości wodoodpornych agregatów o średnicy 0,25—10 mm. Model ten ustawiono zachowując równoległy do uwarstwienia kierunek przepływu wody (typ 3/1 wg J. Ziemsy, 9). Badany grunt umieszczono w szklanej rurze o średnicy 3,8 cm (ryc. 1). W części wlotowej rury usypano żwir o średnicy 0,3—0,5 mm, na którym ułożono okrągłą siatkę metalową o średnicy oczek 2 mm. Następnie prostopadle do siatki umieszczono cienką blaszkę o szerokości równej średnicy wewnętrznej rury. Do pionowo ustawionej rury wsypano powódź, tak aby zapobiec utworzeniu się warstwowania prostopadłego do linii kontaktu obydwu facji, a więc prostopadle do kierunku przepływu wody, próbki badanego gruntu reprezentującego otwory facji korytowej i powodziowej. Po usypaniu ok. 225 cm³ każdego gruntu blaszkę usunięto i usypano ok. 60 cm³ żwiru, analogicznego do żwirku w części wlotowej. Całość przykryto szczelnie przylegającą siatką metalową.

W końcowej części rury znajdował się pojemnik z wyprowadzeniem wody w jego górnej części. Wodę doprowadzano przez otwór wlotowy z sieci wodociągowej, przez gumowy przewód do trójnika, dzięki czemu nie dopuszcza się do napowietrzania próbki. Trójnik zaopatrzonego w uchwyt służy do zawieszania

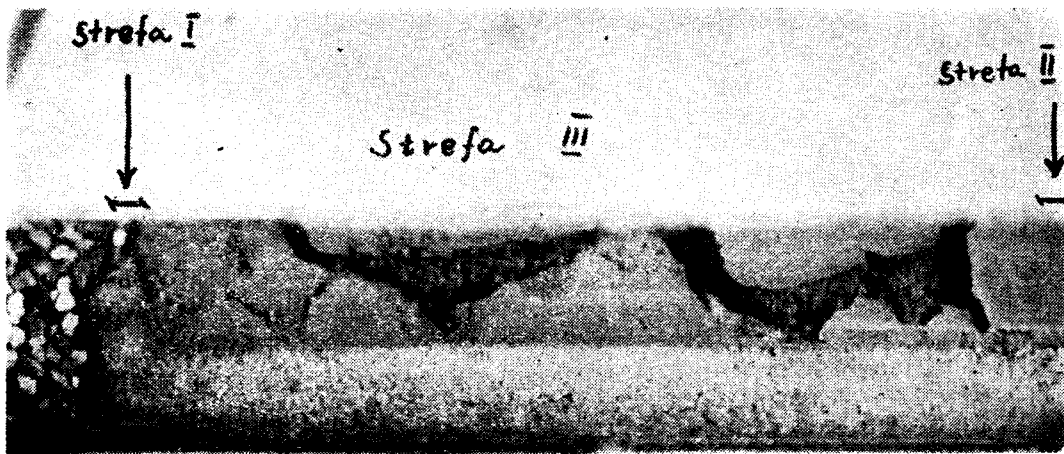
Fig. 1.

1 — sandy loam of flood facies, 2 — quartz sand of channel facies, 3 — first gravel layer, 4 — second gravel layer, 5 — container for swept out soil, 6 — water inlet, 7 — water outlet, 8 — metal mesh, 9 — triangular base, → — direction of water flow.

na kolejno większej wysokości i uzyskiwania różnej wartości spadku hydraulicznego (I). Doprowadzenie i odprowadzenie wody umieszczono na jednym poziomie w górnej części rury. Eksperyment trwał 14 dni i prowadzono go przy stopniowo wzrastającym spadku hydraulicznym od $I \cong 0,20$ do $I = 6$. W trakcie trwania eksperymentu udało się wyróżnić trzy kolejne strefy tworzenia się form (ryc. 2).

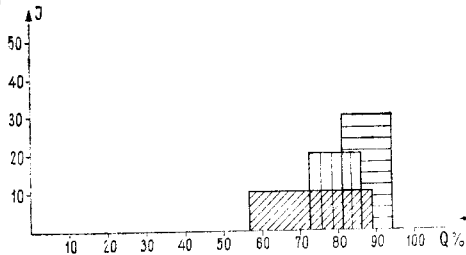
Strefa I, przy $I = 1$ — zmiany strukturalne polegające na beładnym przemieszczaniu ziarn na granicy obydwu warstw w strefie przylegania do warstwy żwirów. Zmiany te wywołane są gwałtowną różnicą prędkości wody, jaka ma miejsce na granicy warstwy żwirowej a właściwym modelem piaszczysto-gliniastym.

Strefa II, przy $I = 1,5-2,5$ — zmiany zachodzą na kontakcie 1 i 2. Tworzy się poziom międzywarstwowych szczelin o szerokości 0,5 mm na odcinku ok. 3 cm. Drugi zespół szczelin o podobnych wymiarach powstaje w warstwie 1, o kierunku zbliżonym do prostopadłego do kierunku filtracji wody. Na granicy warstwy 1 i 2, na odcinku ok. 2 cm, stwierdzono wyraźne przenikanie ziarn z górnej warstwy do dolnej. Zjawisko to zaobserwowano w mikrostrefie o szerokości ok. 2 mm. W tym też czasie zaobserwowano proces wynoszenia ziarn mineralnych z próbek reprezentujących facje korytowej i powodziowej oraz osadzania ich w pojemniku. Wyżej opisany proces



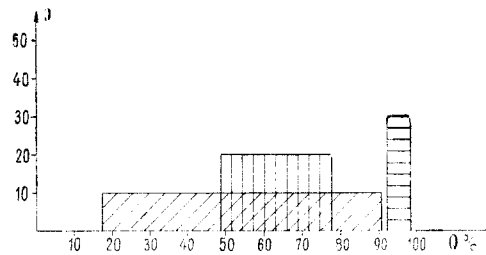
Ryc. 2.

Fig. 2.



Ryc. 3. Ilość wodoodpornych agregatów o ϕ 0,25—10 mm w poziomie akumulacyjnym (0,00—0,25 m) w madach o różnej zawartości frakcji ilowej (wg danych liczbowych A. Musierowicz i in., 1956).

Fig. 3. Number of water-resistant aggregates, 0,25—10 mm in diameter, in accumulative horizon (0,00—0,25 m below the surface) of muds differing in clay fraction content (after data given by A. Musierowicz et al., 1956).



Ryc. 4. Ilość wodoodpornych agregatów o ϕ 0,25—10 mm na głębokości > 0,25 m w madach o różnej zawartości frakcji ilowej (wg danych liczbowych A. Musierowicz i in., 1956).

Fig. 4. Number of water-resistant aggregates, 0,25—10 mm in diameter, in muds differing in clay fraction content at the depth over 0,25 m below the surface (after data given by A. Musierowicz et al., 1956).

jest wynikiem działania wewnętrznej sufozji kontaktowej oraz sufozji powierzchniowej.

Strefa III, przy $I = 3,5-6$ — znaczne nasilenie filtracyjnych deformacji gruntu, przebiegających w dwu fazach (a, b). Faza a — pojawienie się w odległości 10 cm od czoła próbki szczeliny o szerokości 0,5—2 mm w utworach powodziowych, w strefie dotychczas nieaktywnej i wizualnie stabilnej (ryc. 2). Szczelina posiada kształt nieregularny, z tym że w miejscach załamania tworzą się większe rozmycia o charakterze kawern, wyraźnie zwięzających się w głąb próbki. Powstawaniu szczelin towarzyszą dwa procesy: kolmatacja szczelin powstałych w strefie II oraz intensywne wynoszenie materiału gruntowego z próbki reprezentującej fację powodziową. Wynoszenie tego materiału odbywa się nieregularnie, co kilka minut poprzez odrywanie od ścianek szczeliny cząstek gliny piaszczystej, a następnie przemieszczanie przez filtrującą wodę. Faza b — stopniowe wynoszenie materiału, co powoduje dalsze wydłużanie, poszerzanie i pogłębianie szczelin i kawern. Proces ten nasila się mimo ustabilizowanego spadku hydraulicznego.

Według R. R. Czugałowa i J. Ziemsy (4, 9) filtracyjne deformacje gruntów obserwowane w strefie III powstają w wyniku działania makrosufozji stanowiącej odpowiednik erozji wewnętrznej. Proces ten jednak zostaje zainicjowany przez sufozję kontaktową. Należy zaznaczyć, że pomimo uzyskania dużego spadku hydraulicznego, w trakcie prowadzonego eksperymentu, obserwowano tylko proces odrywania i przemieszczania poszczególnych cząstek gruntu, który nie doprowadził do jego upłynnienia, a który daje się obserwować w lessach (6).

Spoiste utwory facji powodziowej należą do gruntów o bardzo zróżnicowanym składzie granulometrycznym zarówno w poziomie, jak pionie (3). Charaktery-

styczne typy oddzielności tych gruntów, jak również charakterystyczna makroporowatość pozwala wiązać te własności ze specyficznymi cechami strukturalnymi. Szkielet mineralny omawianych gruntów zbudowany jest zasadniczo z agregatów, tzn. z elementów struktury szkieletu mineralnego składającego się z dwu lub więcej części pierwotnych lub wtórnych, związanych ze sobą w jeden system siłami wzajemnego oddziaływania (8). Siły wzajemnego oddziaływania wewnątrz agregatów mogą być mniejsze, w stosunku do ciśnienia hydrostatycznego i hydrodynamicznego lub też je przewyższać. Spoiste utwory powodziowe posiadają znaczną ilość agregatów odpornych na działanie filtrującej wody, których wielkość i ilość ulega znacznym wahaniom zależnie od głębokości zalegania, od zawartości frakcji ilowej, charakteru i aktywności substancji organicznej itd. W wyniku badań przeprowadzonych w spoistych utworach powodziowych (madach) województwa warszawskiego (7) stwierdzono, że zawartość wodoodpornych agregatów — makroagregatów (wg klasyfikacji A. K. Łarionowa) przedstawia się następująco (ryc. 3, 4).

Klasyfikacja agregatów stosowana w geologii wykonana jest z punktu widzenia ich rozmiarów oraz wytrzymałości, co wiąże się z charakterem ich struktury. Agregaty w spoistych utworach facji powodziowej mogą, jak w przypadku glin pylistych ciężkich, tworzyć prawie cały szkielet gruntowy. Na ich dynamikę wpływają procesy zachodzące w strefie aeracji, m. in.: wysychanie i nasycanie wodą oraz procesy kriogeniczne. Badania wykonywane aktualnie nad charakterem agregatów w spoistych gruntach facji powodziowej wskazują, że proces rozpadu „grudek” i tworzenia się nowych jest dwukierunkowy i równoczesny i że w badanych gruntach występują agregaty o różnych typach więzi strukturalnych, np.: więzi sta-

bilizacyjne, koagulacyjne (wg klasyfikacji I. M. Gorkowej, (5)). Zatem proces rozpadu gruntu, warunkujący jego filtracyjne deformacje, prowadzi w przypadku gruntów spoistych facji powodziowej wyłącznie do częściowego zniszczenia struktury tych gruntów, a w konsekwencji do charakterystycznych deformacji obserwowanych w aluwialach.

Wymodelowany w laboratorium jeden z typów kontaktów utworów powodziowych i korytowych jest bardzo często spotykanym kontaktem w warunkach naturalnych, a charakter otrzymanych form analogiczny do form powstających w terenie. Niemniej jednak formy otrzymane w laboratorium nie są tak powszechnie spotykane w terenie, jak wskazywałaby na to częstotliwość występowania omawianego typu kontaktu — bowiem jednym z decydujących czynników dla przebiegu filtracyjnych deformacji w aluwialach jest struktura i tekstura facji powodziowej.

WNIOSKI

1. Jedną z charakterystycznych cech utworów aluwialnych jest duże zróżnicowanie granulometryczne poszczególnych warstewek facji powodziowej, szczególnie wyraźne na kontakcie z facją korytową.

2. Kontakt facji korytovej wykształconej w postaci utworów grubo i średnioziarnistych z facją powodziową wykształconą w postaci utworów spoistych jest strefą predysponowaną do rozwoju filtracyjnych deformacji.

3. Procesem inicjalnym w przebiegu filtracyjnych deformacji gruntów jest mechaniczna sufozja kontaktowa, warunkująca rozwój sufozji śródwarstwowej.

4. Intensywność rozwoju negatywnych form morfologicznych, powstałych na kontakcie utworów o różnej granulacji pod wpływem działania filtrującej wody, zależy od struktury agregatowej spoistych utworów aluwialnych.

SUMMARY

The studies on engineering-geological properties of flood and channel facies deposits showed remarkable differences in susceptibility of the deposits of the same genesis to filtrational deformations.

Deposits of river valleys are characterized by remarkable changes in structure and texture proceeding over a very short distance. Moreover, markedly increased hydraulic gradients persist for some periods in the area of river valleys. This, together with distinct granulometric differentiation marked at the contacts of layers, and particularly at the contact of channel and flood facies deposits, facilitate development of negative forms related to water filtration, proceeding parallelly to the bedding. Intensity of the development of filtrational deformations highly depends on structure and texture, and particularly on the type and amount of water-resistant aggregates of flood facies.

In order to examine the mechanism of the origin of negative forms at the contact of channel and flood facies deposits, laboratory model of one of the types of such contacts was formed. It is a model of contact of sandy (channel) and cohesive (flood facies) deposits (Fig. 1). This model was subjected to water flow under the conditions of steadily increasing hydraulic gradient. In the course of the experiment, three zones of formation of these characteristic forms were found (Fig. 2).

The studies showed that mechanical contact suffosion is the initial process in the course of formation of filtrational deformations. This process determines development of inter-bed suffosion. Although hydraulic gradient equalled $I = 6$, water-resistant aggregates of flood facies occurred in amounts sufficient to prevent complete destruction of soil structure, i.e., to prevent liquefaction resulting from the process of inter-bed suffosion.

5. Obecność licznych wodoodpornych agregatów w spoistych gruntach aluwialnych powoduje, że w warunkach filtracji wody powstają różnego typu mechaniczne deformacje tych gruntów, jak np.: sufozja kontaktowa, sufozja śródwarstwowa, kolmatacja, które jednak nie prowadzą do upłynnienia gruntów, tzn. do całkowitego rozpadu struktury.

LITERATURA

1. Bujwid H. — Procesy sufozyjne w aluwialach doliny Wisły między Zakroczyrzem a Wyszogrodem. Maszynopis. Biblioteka ZNG PAN. Warszawa, 1969.
2. Bujwid H., Dietrich J. — Sur les alluvions récents et la déformation du sol dans la vallée de la Basse Vistule. Bull. de l'Académie polonaise des Sciences. Vol. XXI, nr 4, 1973 (w druku).
3. Dietrich J. — Zmiany uziarnienia osadów powodziowych na tarasach i kębach Wisły dolnej. Gosp. wod. 1973, nr 10.
4. Czugałow R. R. — Pribliżennyj razczet ustojczivosti ziemiłnych płatın. Izd. NIJG, t. 18, Leningrad, 1936.
5. Gorkowa J. M. — Teoreticzeskije osnovy ocenki osadocznych porod w inżenierno-geologičeskich celach. Izd. Nauka. Moskwa, 1966.
6. Liszkowski J. — Filtracyjne deformacje utworów lessowych. Biul. geol. Wyd. Geol. UW. 1971, t. 13.
7. Łarionow A. K. — Metody isledowanija struktury gruntow. Izd. Niedra, Moskwa, 1971.
8. Musierowicz A., Olszewski Z. i in. — Gleby województwa warszawskiego. Roczn. Nauk roln. Warszawa, 1956.
9. Ziems J. — Zur klassifizierung der mechanischen Erdstoffvorformungen durch Wirgungen der Sieckerwasser. Wasserwirtschaft-Wassertechnik, 1967, nr 2.

РЕЗЮМЕ

В итоге исследования инженерно-геологических свойств пойменных и русловых отложений Вислы была выявлена весьма разная степень податливости на фильтрационные деформации осадков одинакового происхождения.

В речных долинах на смежных участках отлагаются осадки сильно дифференцированные в структурном и текстурном отношениях. Периодически в них наблюдаются сильно повышенные гидравлические понижения, которые, наряду со значительным гранулометрическим разнообразием на контактах отдельных прослоев, особенно на контакте русловой и пойменной фаций, создают благоприятные условия для развития отрицательных форм, связанных с параллельной к наслоению фильтрацией воды. Интенсивность развития фильтрационных деформаций в значительной степени зависит от структуры и текстуры, особенно от характера и количества водонепроницаемых агрегатов пойменной фации.

С целью изучения механизма образования отрицательных форм на контактах русловых и пойменных отложений в лабораторных условиях была создана модель контакта песчаных (русловых) и связных (пойменных) осадков (фиг. 1). На модель контакта была направлена струя воды с постепенным увеличением гидравлического понижения. В процессе эксперимента наблюдались три последовательных зоны образования характерных форм (фиг. 2).

Констатировано, что начальным процессом в формировании фильтрационных деформаций в зоне контакта аллювиальных отложений является механическая контактовая суффозия, обуславливающая развитие межпластовой суффозии, которая при наличии соответствующего количества водонепроницаемых агрегатов пойменной фации, несмотря на гидравлическое понижение порядка $I = 6$, не вызывает полного разрушения структуры грунта.