

## ГІДРОТЕХНІКА

УДК 532.5-636

**Щодро О. Є., д.т.н., професор, Вечер В. В., к.т.н., доцент  
Пилипей М. І., здобувач** (Національний університет водного  
господарства та природокористування, м. Рівне)

### **ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕКСПЕРИМЕНТІВ З ПОДАЧЕЮ НАНОСІВ ПРИ ФОРМУВАННІ ДОННИХ ГРЯД, ЯКИЙ НАТІКАЄ НА БЕРЕГ АБО ПЕРЕШКОДИ**

**В роботі розглянуто процес утворення донних гряд біля "навальних" берегів на передгірських ділянках гірських річок. В лабораторних умовах було досліджено процес переносу та відкладання донних наносів біля берега при кутах підходу до нього від 60 до 40 град. Було досліджено також наносний режим і поле швидкостей у прямолінійному уловлювачі піску та гравію з боковою перешкодою і донним уступом. Зроблено порівняльний аналіз параметрів гряд у двох розглянутих варіантах.**

**Ключові слова:** місцевий розмив, річкове русло, гірські річки, донні наноси, донні гряди.

**Актуальність роботи.** Особливості гірських річок полягають у тому, що під час повені вони переносять надзвичайно велику кількість наносів, які формуються з різного розміру твердих фракцій. Повені і паводки щороку стають більш потужними, різкими та частими, а відтак і менш прогнозованими за наслідками. На спаді кожного паводку транспортує здатність потоку зменшується та утворюються донні гряди значної висоти. Саме ті гряди сприяють виникненню гвинтоподібних течій, які суттєво посилюють розмив та руйнування берега і дна, розташованого перед ним, а також призводять до руйнування мостів та гідротехнічних споруд. Параметри таких гряд і течій, які виникають за ними, є невідомими і малодослідженими. Крім того, потребують спеціального дослідження умови формування зазначених донних гряд в силу несподіваності їх виникнення по заплаві та непередбачуваності їх перебігу. Актуальним є також питання про рух наносів в уловлювачах піску та гравію, які облаштовуються для освітлення потоку.

**Постановка проблеми.** Руслові деформації, які виникають в результаті повеней, набувають критичних масштабів на етапі початково-

го зниження витрат потоку. При цьому транспортуюча спроможність потоку, як правило, дорівнює кількості донних і зважених наносів, які він переміщує. Формуванню донних гряд та швидкісному режиму руху потоку біля них була присвячена робота Шодро О.Є. та Пилипея М.І. [1]. Аналогічні умови руху донних наносів спостерігалися В.В. Вечером в його дослідженнях транспортуючої спроможності і кінематики потоку у прямолінійному уловлювачі піску та гравію з боковою перешкодою і донним уступом [2, 3]. В його експериментах подавалася максимальна кількість наносів таким чином, щоб потік досяг насиченості за рівнем своєї транспортуючої спроможності. Опираючись на результати проведених раніше досліджень [1, 2, 3] можна встановити **три аналогії** з процесом навалу потоку на берег і формування відповідного рельєфу дна й структури течії. **Перша аналогія** полягає у якісній відповідності картини обтікання потоком бокової перешкоди прямолінійного уловлювача піску та гравію у дослідженні [2, 3] і картини обтікання потоком сформованих донних гряд біля берегових укосів у дослідженні [1]. Якщо подивитись на фотографії 1 та 2 з обох досліджень, про які йде мова, то така якісна відповідність є очевидною. При цьому формування гряди наносів перед боковою перешкодою уловлювача піску та гравію є зіставним із формуванням донної гряди у швидкісних паводкових потоках і характеризується найбільш значною висотою і крутизною гряди при тих самих відношеннях швидкості набігаючого потоку  $U_o$  до гідравлічної крупності фракції наносів  $w$  ( $U_o/w$ ).



Рис. 1. Картина наносних відкладень біля бокової перешкоди уловлювача піску та гравію

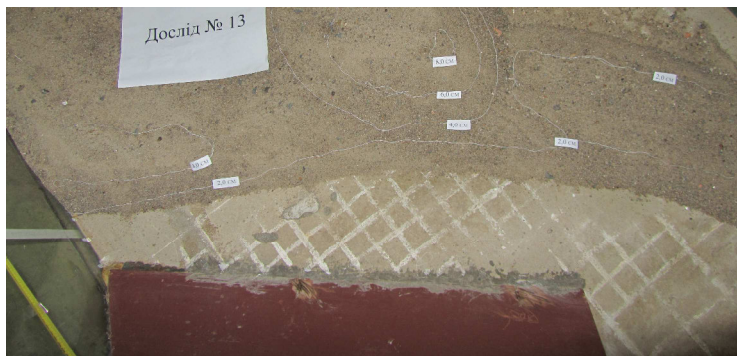


Рис. 2. Формування гряди біля берегового укосу

**Друга аналогія** відслідковується в гвинтоподібних потоках, які утворюються за донним уступом в дослідженнях [2, 3] і за донною грядою в дослідженні [1]. При певних швидкісних характеристиках, досліджуваних в обох випадках гвинтоподібних потоків, зносилися всі намивні утворення і гряди, які формувалися з твердих фракцій, що подавалися у потік. Тобто транспортуюча спроможність гвинтоподібних течій, що виникали в результаті обминання швидкісним потоком наносного утворення або донної гряди, перевищувала спроможність транспортуючого потоку до зіткнення з такою перешкодою в обох випадках.

**Третя аналогія** полягає у тому, що повне занесення ділянки перед берегом, на який натікає потік, та ділянки перед боковою перешкодою уловлювача піску та гравію, а також простору за донним уступом чи боковою перешкодою спостерігається також при близьких значеннях відношення швидкості набігаючого потоку  $U_0$  до гідравлічної крупності фракції наносів  $w$  ( $U_0/w$ ) в обох дослідженнях.

У зв'язку з вищезначеним, **метою даної роботи** є порівняння умов виникнення і кінематичної структури транзитної течії у двох зазначених вище дослідженнях. **Задачами дослідження** є порівняння умов виникнення донної гряди в обох зазначених вище дослідженнях; порівняння форм донних гряд, що утворюються за рахунок вторинних гвинтоподібних течій; визначення максимальних розмірів крутизни донної гряди та швидкостей гвинтоподібної течії за нею.

З попередніх досліджень [1, 2, 3] можна відзначити певну схожість факторів утворення гряд та подібність кінематичної структури транзитної течії та значень швидкостей гвинтоподібних течій, які утворюються за донною грядою в обох дослідженнях. Однак, варто все ж зауважити незначні відмінності у вихідних умовах досліджень та поставлених задачах.

Основні відмінності полягають в граничних умовах формування структури потоку; параметрах експериментальних лотків; кількості наносів, які подаються на модель, та їх гранулометричного складу; транзитної спроможності потоку та умов утворення донної гряди на моделі. Обидва дослідження показують велику потужність гвинтоподібних потоків, що утворюються при обминанні потоком донної гряди та значні рівні пульсацій швидкостей транзитних потоків.

### Дослідження натікання потоку на береговий укіс.

Опис лабораторної установки та методики прийнятої у дослідженні викладені в роботі [1]. Основним результатом слід вважати осереднені швидкості поступального руху потоку у гвинтоподібній течії вздовж гряди. Їх динаміка характеризується графіком, зображеним на рис. 3.

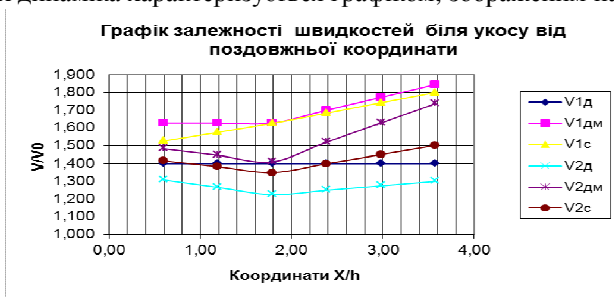


Рис. 3. Графік залежності швидкостей біля укосу від поздовжньої координати  
Примітка :

індекс V1 відноситься до вертикалі, яка співпадає з підшовою укосу;

індекс V2 – відноситься до вертикалі, розташованої у 30 см від підшови укосу;

індекс «д» означає придонні швидкості, заміряні на відстані 1 см від дна;

індекс «с» означає швидкості, зміряні в центрі по глибині потоку;

індекс «м» – максимальні швидкості, заміряні в будь-якій точці по вертикалі глибини потоку;

$V_0$  – середня швидкість потоку, який набігає на берег

### Дослідження наносного режиму при використанні прямолінійного уловлювача піску та гравію.

Схема споруди прямолінійного уловлювача піску та гравію представлена на рис. 4.

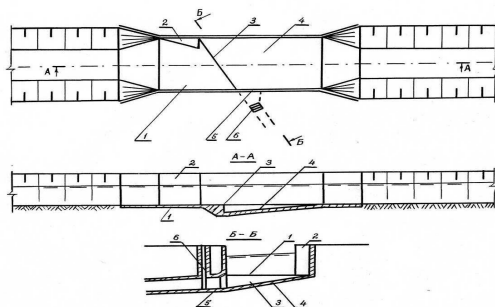


Рис. 4. Конструкція споруди уловлювача піску та гравію:  
1 – вхідна частина; 2 – бокова перешкода; 3 – донний уступ; 4 – вихідна частина; 5 – промивна галерея; 6 – затвор

Ідея роботи даної конструкції полягає в тому, що потік, який транспортує велику кількість твердих фракцій, які утворюють наноси, позбавляється їх значної частини у спеціальній споруді, яка називається уловлювач піску та гравію. Основними конструктивними елементами в даній моделі уловлювача є бокова перешкода та донний, косо розташований уступ змінної висоти. Детальний опис такої конструкції та механізм її дії описано в роботах [2, 3]. Картина наносних відкладень представлена на рис 5.

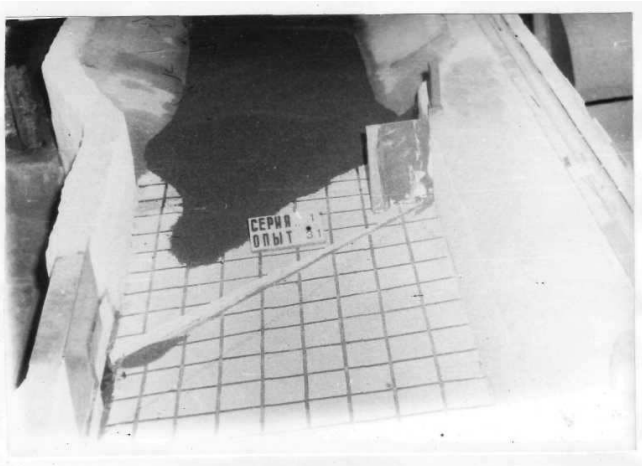


Рис. 5. Характер відкладень наносів у вхідній частині уловлювача піску та гравію

Відзначимо, що в експериментах, які були зроблені на представленій на рисунку 4 конструкції, всі наноси, навіть найбільші, проносяться практично на 100%.

Виконано спеціальний експеримент по завалу уловлювача піску та гравію наносами (рис. 5). При цьому виявлено, що граничними швидкостями, при яких спостерігається режим знесення наносів є швидкості, які характеризуються значенням аргументу на графіку представленому на рисунку 6 і яке дорівнює 0.2.

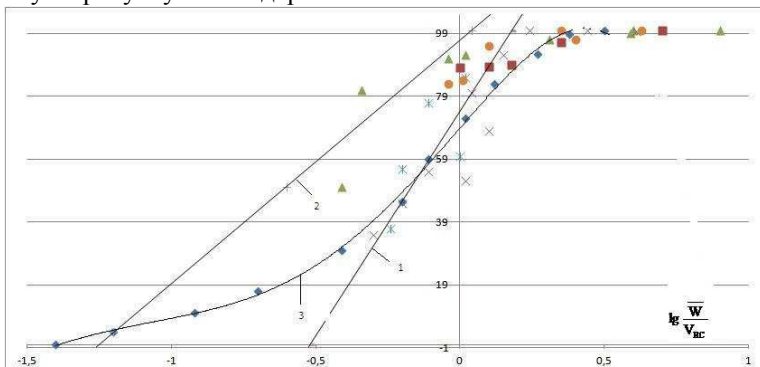


Рис. 6. Залежність процента захвату наносів в умовах від безрозмірної гідралічної крупності наносів

Примітка:

1 – залежність отримана Нікітіним І.К;

2 – експериментальні дані досліджень;

3 – розподіл перехвату наносів;

$\bar{W}$  – середня гідралічна крупність наносів;

$V_{гс}$  – динамічна швидкість потоку вище уступу

Рисунок 6, крім того, демонструє залежність ступеня освітлення потоку уловлювачем піску та гравію, тобто максимальну транспортуючу спроможність гвинтоподібної течії, яка виникає за донним уступом, відносно наносних фракцій максимальної крупності для різних значень їх відносної гідралічної крупності. На підставі цього графіка можна зробити висновок, що при малих гідралічних крупностях фракцій, вони в меншій степені зносяться потоком у скидний отвір, що пов'язано з їх розсіюванням і дифузиею в потоці. Тоді як при великих крупностях фракцій, майже всі вони зносяться і в такому випадку не виникає донна гряда. Але проміжний ступінь освітлення потоку при значенні аргументу від 0 до 0,2 має бути в центрі уваги при наступних дослідженнях проблеми.

## Висновки

З порівняння серій експериментів, які виконані на двох різних гідравлічних моделях, можна зробити висновок, що якісні характеристики закономірності формування донних гряд і кінематичної структури потоку ідентичні в обох дослідженнях.

Умови формування донної гряди з найбільшою висотою і крутизною характеризуються однаковими значеннями безрозмірних параметрів, що характеризують крупність наносів.

Результати проведеного порівняльного аналізу можуть бути корисні при дослідженні і проектуванні як споруд, які управляють наносами на каналах, так і при захищенні берега від розмиву.

1. Щодро О. Є. Формування і розвиток донних гряд біля берегів гірських річок при наближенні динамічної осі потоку / Щодро О. Є., Пилипей М. І. // Гідротехніка. Збірник наукових праць НУВГП. – 2014. – Вип. 1. – С. 19–25.
2. Вечер В. В. Піскогравієловка для каналів передгірської зони / Вечер В. В. // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Збірник наукових праць. – Рівне, 2007. – Вип. 16. – Ч. 1. – С. 220–225.
3. Щодро О. Є. Нова концепція формування місцевих розмивів біля берегів річок та штучних споруд / О. Є. Щодро // Вісник НУВГП. Збірник наукових праць. – Вип. 4 (40). – Рівне : НУВГП, 2007. – С. 198–205.
4. Щодро А. Е. Влияние характера пульсации продольной составляющей придонной скорости на размывающую способность потока / Щодро А. Е., Шлихта В. М. // Республ. научно-методич. сб. «Гидравлика и гидротехника». – Вип. 53. – К. : Техника, 1991. – С. 33–37.
5. Щодро О. Є. Дослідження звальних течій та транспортування наносів на гідравлічній моделі / [Щодро О. Є., Пацелюк В. Г., Фесун А. В.] // Збірник наукових статей. Вісник Рівненського державного технічного університету. – Вип. 2(4). – Рівне, 2000. – С. 99–103.
6. Щодро А. Е. Исследование структуры и размывающей способности потока за донными уступами и грядами / Щодро А. Е. // Вестник Национального технического университета Украины. Машиностроение. – Вип. 38, т. 2 – К., 2000. – С. 205–209.
7. Катастрофічні розмиви, пов'язані зі звальними течіями, та їх зв'язок з геоморфологією / Щодро О. Є., Шинкарук Л. А., Корбуцяк В. М., Шитов В. М. // Науково-технічний збірник НТУ. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2004. – Вип. 72. – С. 186–193.
8. Рекомендации по проектированию затопляемых полузапруд на реках предгорной зоны Карпат / Минводхоз УССР. – Ровно, 1986. – С. 62.
9. Вечер В. В., Щодро О. Є. Боротьба з наносами на каналах / Вечер В. В., Щодро О. Є. // Вісник НУВГП. Технічні науки. – Вип. 4(64). – Рівне : НУВГП, 2013. – С. 220–227.
10. Вечер В. В. Піскогравієловка для каналів передгірської зони / В. В. Вечер // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Збірник наукових праць. – Вип. 16. Ч. 1. – Рівне, 2007. – С. 220–225.

Рецензент: д.т.н., професор Хлапук М. М. (НУВГП)

**Shchodro O. E., Doctor of Engineering, Professor, Vecher V. V., Candidate of Engineering, Associate Professor, Pylypei M. I., Applicant**  
(National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne)

### **COMPARATIVE ANALYSIS OF EXPERIMENTS WITH THE FILING SEDIMENT DURING THE FORMATION OF BOTTOM RIDGES IMPINGEMENT ON THE BEACH OR OBSTACLE**

We consider the formation of ridges at the bottom "Bulk"-type waterside in foothill areas of mountain rivers. In vitro was investigated transfer process and delay the bottom sediments near the shore at angles of approach to it from 60 to 40 degrees. It was also investigated alluvial regime and velocity field in straight traps sand and gravel from the side barrier and bottom ledge. Comparative analysis was held for pamparameters of ridges in two considering variants.

*Keywords:* Local scour, river bed, mountain rivers, bottom sediments, bottom ridges.

---

**Щодро А. Е., д.т.н., профессор, Вечер В. В., к.т.н., доцент**  
**Пилипей Н. И., соискатель** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

### **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С ПОДАЧЕЙ НАНОСОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ДОННЫХ ГРЯД, НАТЕКАЮЩИХ НА БЕРЕГ ИЛИ ПРЕПЯТСТВИЕ**

В работе рассмотрен процесс образования донных гряд возле берегов навального типа на предгорных участках горных рек. В лабораторных условиях был исследован процесс переноса и отложения донных наносов возле берега при углах подхода к нему от 60 до 40 град. Был исследован также наносной режим и поле скоростей в прямолинейном уловителе песка и гравия с боковым препятствием и донным уступом. Произведен сравнительный анализ параметров гряд в двух рассматриваемых вариантах.

*Ключевые слова:* местный размыв, речное русло, горные реки, донные наносы, донные гряды.

---