

УДК 551.435.125; 551.438.5; 627.157

Горбань Ірина Миколаївна, к.ф.-м.н., пров.н.с., **Корольова Анна Сергіївна**, к.-ф.-м.н., н.с.,
Соколовський Георгій Павлович, гол. інж.-мех.
Інститут гідромеханіки НАН України, м. Київ, Україна

Експериментальні дослідження еволюції донних заглиблень в стаціонарному потоці

***Анотація.** Представлено результати експериментальних досліджень процесів переносу наносів та переформування дна, пов'язаних з обтіканням донних заглиблень. Зміна рельєфу дна порушує баланс наносів і призводить до переформування потоку рідини. Розглянуто два типи заглиблень трикутної та трапецієвидної форми. Режим течії підібрано таким чином, щоб ініціювати рух донних наносів на плоскому піщаному дні та формування піщаних гряд. Отримано якісну картину розмиву двовимірних заглиблень. Виявлено, що в результаті відкладення наносів на верховому укосі та розмиву низового укосу змінюється поздовжній профіль нерівності та відбувається її переміщення вниз за течією. Аналіз результатів показав, що тривалість переформування дна за наявності заглиблення залежить від співвідношення його розмірів з обсягом стоку наносів.*

***Ключові слова:** русловий кар'єр, донне заглиблення, транспорт наносів, розмив ґрунту, верховий і низовий укіс.*

Однією з найважливіших наукових проблем, що існує при вирішенні задач гідротехнічного будівництва, є дослідження закономірностей зміни руслових процесів, розробка ефективних методів прогнозування загальних деформацій русел в природному стані і, особливо, в зоні впливу інженерних споруд.

Річкові потоки несуть велику кількість твердих частинок – наносів. З транспортом наносів потоком пов'язаний русловий процес – процес зміни динамічної системи, яка включає потік, русло та заплаву. При зміні швидкості потоку, глибини та інших гідравлічних елементів потоку змінюються умови руху наносів. Як результат відбувається розмив або замулення русла водотоку [1].

Значний вплив на стік наносів і руслові процеси мають руслові кар'єри. Виймання ґрунту у водному потоці, навіть в малих об'ємах, викликає зміни в природних руслових процесах, збільшенні концентрації зважених частинок ґрунту, несприятливому впливі на стан водного середовища. Руйнування дна річки при вийманні великих об'ємів ґрунту, що перевищує об'єми твердого стоку, призводить до змін гідрологічних та гідрогеологічних характеристик русла, виникненню різного роду розмивів через дестабілізацію транспорту наносів, активізації зсувних процесів та ін.. Наслідком цих процесів може бути зниження стійкості та руйнування інженерних споруд в руслах річок.

Дана робота базується на фізичному моделюванні процесів переносу наносів та переформування дна, пов'язаних з обтіканням донних заглиблень. Експерименти проводились в гідродинамічному лотку довжиною 7м, шириною 0.17м і висотою 0.22м. Вода в гідродинамічний лоток подається за допомогою насосів через напірний бак, з'єднаний з лотком трубопроводом. Для регулювання рівня води і швидкості потоку передбачено витратний кран та зливний крани. Шар наносів на дні складався із піску розміром фракцій 0,3–0,32мм. Висота насипного дна складала 10–12см.

Досліджувались різні профілі донних заглиблень в залежності від глибини h і ширини b . Робоча ділянка була розташована на відстані ~ 3 м від торцевої частини лотка.



Рис. 1 – Фотокадр робочої ділянки

Утворення донного заглиблення відбувалось так званим землесосним способом розмиву ґрунту. Якісно цей спосіб наближується до ерозійного розмиву, і на сьогоднішній день є найпоширенішим способом добування піску з русел річок. Детальний опис процесу формування воронки розмиву наведено в [2].

Представляючи собою штучні від'ємні форми рельєфу дна заглиблення постійно знаходяться під дією різних природних факторів, направлених на їх вирівнювання. Одним з таких факторів є рух наносів. Для дослідження обтікання донних заглиблень і подальшого переформування донної поверхні в гідродинамічному лотку були створені умови для руху наносів. Глибина потоку підтримувалась на рівні 0,05м, а середня швидкість потоку складала $\sim 0,27$ м/с. Витрата води була постійною.

В дослідженні процесів взаємодії потоку з донними заглибленнями умовно можна виділити три ділянки: I – вище заглиблення; II – в межах з заглиблення; III – нижче заглиблення (рис.2). Область заглиблення обмежена верхнім і низовим укосами. В межах кожної з ділянок параметри потоку і русла змінюються по-різному.

На I ділянці після створення заглиблення відбувається акумуляція наносів. В той же час під дією потоку на I і III ділянках мають місце інтенсивні деформації розмиву русла. На II ділянці спостерігається відкладення наносів, які надходять з I ділянки. По мірі надходження наносів верхній укіс безперервно зміщується вздовж низового, що і забезпечує заповнення заглиблення наносами. Зважені наноси можуть частково відкладатись в нижній частині заглиблення. Глибина заглиблення поступово зменшується в процесі його занесення. Зона максимального розмиву дна спостерігається в районі низового укосу. При віддаленні від заглиблення інтенсивність розмиву дна зменшується.

Схема деформації заглиблення при частковому занесенні наносами (рис.2) побудована на основі фотокадрів, отриманих в процесі проведення експериментів. Зона відкладення наносів (верхній укіс) і зона максимального розмиву (низовий укіс) позначені штриховкою.

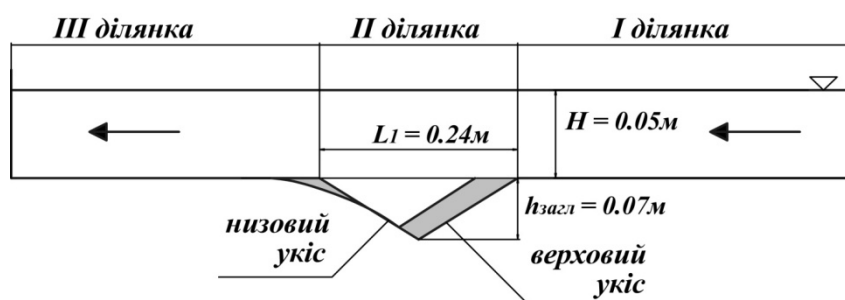


Рис. 2 – Схема деформації заглиблення трикутної форми в потоці рідини

Видно, що при зміщенні кут нахилу верхового укосу по відношенню до горизонту практично не змінюється. Розмивання низового укосу і прилеглої до нього області відбувається досить повільно.

Дослідження, проведені з заглибленням трапецієвидної форми, дещо відрізняються. Відмінність полягає в тому, що зміщення верхового укосу заглиблення відбувається спочатку в сторону низового укосу. При цьому глибина донного заглиблення не змінюється. З часом трапецієвидний профіль заглиблення зміниться на трикутний (рис. 3). Тобто в цьому випадку тривалість процесу переформування дна збільшується.

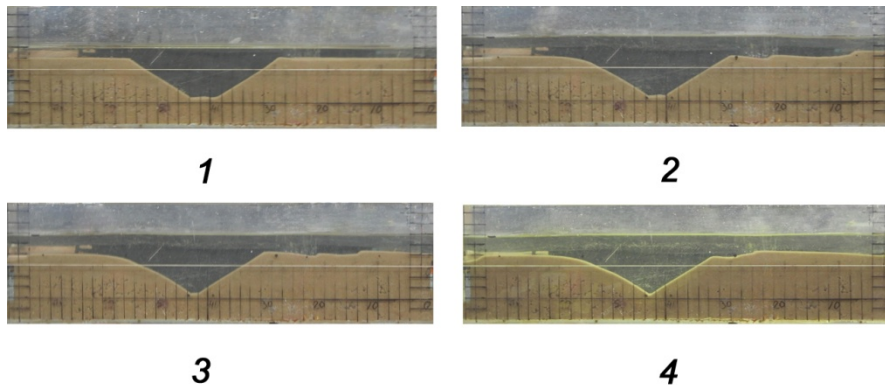


Рис.3 - Фотокадри обтікання потоком донного заглиблення трапецієвидної форми

Аналіз результатів показав, що переформування дна при взаємодії потоку рідини з донним заглибленням – це досить тривалий процес, який буде продовжуватись, доки профіль донної поверхні не вирівняється і не буде досягнуто умов рівноваги між живою силою потоку та наносами, що транспортуються потоком.

Таким чином, можна зробити висновок, що утворення і обтікання донних заглиблень – достатньо складні процеси, які змінюються з часом і пов’язані з постійним рухом наносів. Швидкість зміщення донного заглиблення знаходиться в прямій залежності від співвідношення його форми і розмірів з об’ємом стоку наносів.

Список використаних джерел

1. Белоліпецький В.М., Генова С.Н. Вычислительный алгоритм для определения динамики взвешенных и донных наносов в речном русле // Вычислительные технологии. 2004. Т. 9 №2. С. 9–25.
2. Горбань И.Н., Котельникова А.С., [Никишов В.И.], Соколовский Г.П. Формирование угла откоса несвязного грунта в двумерном случае // Гідродинаміка і акустика. 2018. Т. 1(91) № 2. С. 302–315.