



УДК 556.5:532.52

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСФОРМАЦИИ МОРФОЛОГИИ РЕЧНОГО РУСЛА С ПОПЕРЕЧНЫМ ПРОФИЛЕМ СТУПЕНЧАТОГО ТИПА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВОЛНЫ ПОПУСКА

Шишкина Ольга Дмитриевна, к.т.н., научный сотрудник отдела нелинейных геофизических процессов

ФИЦ Институт прикладной физики РАН

603950, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46

Работа автора финансируется за счет средств государственного задания (программа № FFUF-2021-0007).

Аннотация. Представлены результаты анализа изменения морфологии дна под действием течения в условиях ступенчатого профиля русла поперек потока. На основании полученных данных выявлены причинно-следственные связи морфологических изменений русла под влиянием волны попуска.

Ключевые слова: морфология русла, волновой канал, поперечный ступенчатый профиль, волна попуска, дноуглубление, транспорт грунта.

Введение:

Проведенные исследования [1] выявили высокую интенсивность процесса переноса осадочных пород поперек течения в районе проведения дноуглубительных работ. Исследуемый участок русла был расположен в нижнем бьефе Нижегородской ГЭС. Вследствие чего его гидрологический режим формировался в результате интенсивного периодического воздействия волны навигационного попуска, производимого в период сезонного судоходства.

Основной целью работы было выявление гидродинамических особенностей формирования морфологии дна в русле ступенчатого типа под воздействием течения с периодически меняющейся высотой уровня свободной поверхности.

Постановка задачи:

Схема постановки задачи представлена на рисунке (рис.1).

Согласно проведенным ранее исследованиям автора [2-4] формирование волнового профиля в волновом канале со ступенчатым профилем, ориентированным поперек потока, происходит в глубокой и мелкой частях волновода независимо друг от друга. Вдоль каждой из указанных частей волновода волна распространяется со скоростью согласно локальным условиям (вектора V_T и V_M на (рис. 1)).

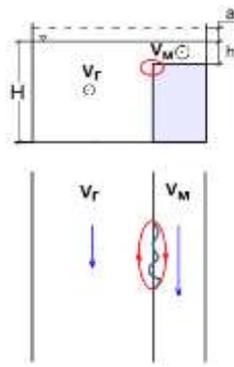


Рис.1. Схема постановки задачи. Поперечное сечение канала (сверху) и вид в плане (снизу).

В волновом канале с различными глубинами в поперечном сечении H и h формируются две соответствующие системы волн с разными продольными скоростями $V_r < V_m$. Вследствие чего над кромкой мелководной части русла наблюдается переходная зона, в которой генерируются мелкомасштабные возмущения жидкости, имеющие составляющую скорости частиц поперек потока (красные контуры на (рис. 1)). Очевидно, что именно в этой области происходит наиболее интенсивное размывание донного грунта с выносом осадочных пород из мелководной прибрежной зоны в фарватерную часть.

Оценка результатов расчетов:

Графики расчета зависимости высоты волны попуска a от глубин в зоне фарватера H и в прибрежной части h , а также данных исследований [1, 5] представлены на (рис. 2).

Исходные профили дна на четырех разрезах обозначены красными линиями на (рис. 2). Расчетная высота волны попуска на всех исследуемых участках составляет $a = 0.62 - 0.65$ м (горизонтальная красная линия на (рис. 2 справа)). Фактические глубины H и h на всех разрезах соответствуют расчетным параметрам волны (вертикальные красные линии на (рис. 2)).

Те же параметры после дноуглубления отмечены зелеными линиями на (рис. 2). В этом случае нарушается равновесное соотношение высоты волны попуска a и соответствующих ей глубин как в прибрежной h , так и в фарватерной H зонах волнового канала (синие линии). Что вызывает соответствующее изменение продольных скоростей жидкости, и в дальнейшем сопровождается её поперечным движением с транспортировкой грунта в зону заглубления поперек потока жидкости. Что приводит к последующим изменениям поперечных профилей дна в исследуемых сечениях.

Результат морфологических изменений в тех же поперечных сечениях через некоторый промежуток времени показан зелеными линиями на (рис. 2).

На приведенных графиках наблюдаются несколько характерных сценариев переформирования профилей дна при одинаковой глубине выемки грунта $H = 6$ м. В большинстве случаев результатом переноса грунта является возврат высоты волны попуска к её исходному равновесному значению $a = 0.62$ м.

При этом во всех сечениях сохраняется глубина искусственно созданной прибрежной отмели h (синие вертикальные линии на (рис. 2)).

На (рис. 2,а,б) отражен процесс восстановления высоты волны a с сохранением глубины созданной отмели h и соответствующим уменьшением глубины H .

Для профиля на (рис. 2,в) наблюдается повышение высоты волны попуска $a = 0.62$ м до $0,85$ м при незначительном уменьшении глубины H и постоянстве значения h .

Интересен также случай существенного роста высоты волны попуска до $a = 1.2 - 1.5$ м с одновременным дополнительным формированием на противоположном берегу отмели глубиной h , соответствующей расчетным значениям глубины фарватера H (рис. 2,г). При этом в [1] утверждается, что выемка грунта более плотного сложения уменьшает деформацию судоходной прорези и увеличивает устойчивость русла.

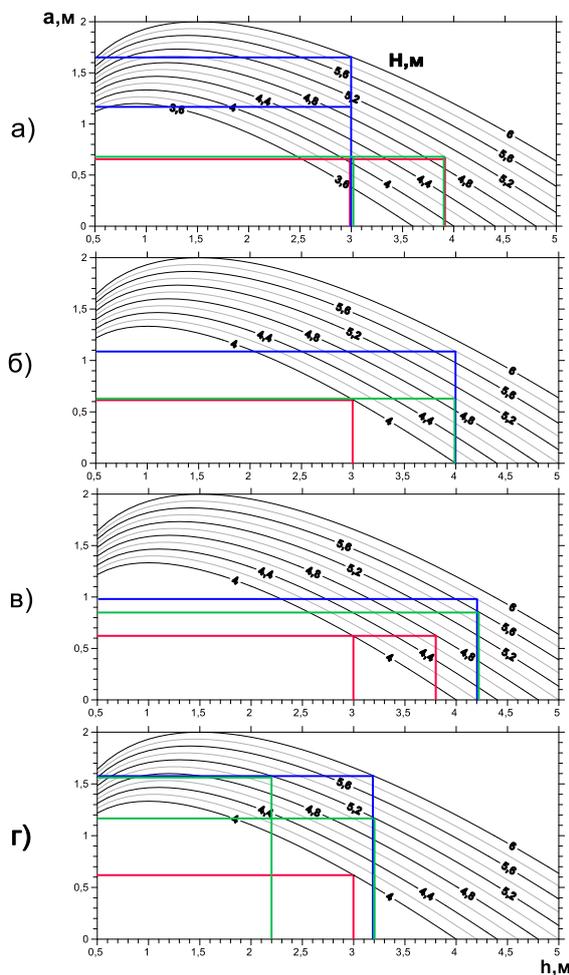


Рис.2. Расчет параметров профиля дна H и h в зависимости от высоты волны попуска a .
 Цвет линий на рисунке: красный – исходный профиль, синий – заданный профиль,
 зеленый – результирующий профиль) [6].

Выводы и рекомендации:

В работе получена и исследована зависимость параметров поперечного профиля волнового канала ступенчатого типа от высоты волны попуска. Результаты измерений динамики морфологии дна для нескольких разрезов в районе проведения дноуглубительных работ позволили выявить несколько типов характерных морфологических изменений – как с сохранением, так и с увеличением высоты волны попуска при изменении морфологии. В последнем случае расчеты указывают на возможность вынужденного увеличения высоты волны на участке с неразмываемым дном.

Сравнение расчетных параметров и фактических замеров поперечных профилей дна на участках, сложенных из осадочных пород, показало, что транспортировка грунта из прибрежных отвалов поперек течения происходит в процессе трансформации профиля дна и приведения его в равновесное состояние, соответствующее исходной высоте волны попуска.

В [1] указано, что участок Городец – Балахна сложен трудно размываемыми грунтами, такими как глины, суглинки, мергель, с включением камней. Участок Балахна – Нижний Новгород представляет собой русло с песчаным дном.

Вследствие чего при проведении дноуглубительных работ целесообразно формирование прибрежных откосов грунтами, имеющими большую устойчивость к размыванию. Для этих целей можно рассмотреть вариант использования для формирования отвалов грунта с участков, расположенных выше по течению на участке р. Волги от Гордца до Балахны.

Приведенный выше анализ показал, что размещение в речном русле песчаного грунта с участка, расположенного ниже по течению г. Балахна, нецелесообразно. Эти объемы могут быть изъяты из русла с последующим использованием в качестве строительного материала.

Так как расчеты указывают на возможность локального увеличения высоты волны попуска в результате изменения профиля дна на конкретном участке русла, в ходе проведения дальнейшего дноуглубления с параллельной русловой съемкой рекомендуется одновременное выполнение замеров уровня воды с последующим определением высоты волны попуска на соответствующем разрезе.

При формировании эксплуатационного профиля судоходной прорези необходимо учитывать равновесные расчетные соотношения глубин и высоты волны попуска, соответствующие профилям дна на участках нижнего бьефа Нижегородской ГЭС при сбросных расходах, характерных для навигационного периода.

Список литературы:

1. Воронина Ю. Е. Методические подходы оценки заносимости перекатов нижнего бьефа Нижегородской ГЭС и их влияние на обеспечение судоходных глубин участка //Научные проблемы водного транспорта. – 2022. – №. 72. – С. 198-207. DOI: 10.37890/jwt.vi72.2941.
2. Shishkina O. D., Sveen J. K., Grue J.: Transformation of internal solitary waves at the "deep" and "shallow" shelf: satellite observations and laboratory experiment //Nonlinear Processes in Geophysics. – 2013. – V. 20. – №.5. – P. 743-757.
3. Определение условий трехмерной трансформации нелинейных внутренних волн по типу "мелкого" и "глубокого" шельфа: теория, натурные наблюдения, эксперимент. / О.Д. Шишкина. Труды XIII Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». - С.-Пб.: СПбФ ИО РАН, 2016. - 516 с.
4. Исследование границы применимости теории нелинейных внутренних волн для пространственных краевых явлений в шельфовой зоне: Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики. Труды XIV Всероссийской конференции. / О.Д. Шишкина; под ред. Б.П. Белова Б.П., А.А. Родионова, С.А. Смирнова, Ф.Ф. Легуши. - С.-Пб: СПбНЦ РАН, 2018. - 652 с.
5. Оценка влияния на гидрологический режим планируемого в 2021 году объема дноуглубительных работ в размере 2,5/1,0 млн. м³ на участке р. Волга 854,5-895,0 км с целью увеличения гарантированной глубины судового хода. Отчет по НИР. – Н.Новгород: ВГУВТ. – 2021.

INVESTIGATION OF DYNAMICS OF MORPHOLOGY OF RIVERBED WITH STEPPED-TYPE TRANSVERSE PROFILE UNDER EFFECT OF RELEASE WAVE

Olga D. Shishkina,

Abstract. The results of the analysis of the dynamics of the morphology of the Volga riverbed under an action of the water current in a channel of the stepped profile across the stream are presented. Basing on the data obtained the causality of morphological changes of the under the effect of a release wave were revealed.

Keywords: morphology of the channel, wave channel, transverse step-like profile, release wave, dredging, soil transport.