



УДК 556.5:532.52

**ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ГИДРОЛОГИИ РЕЧНОГО ПОТОКА
НА МОРФОЛОГИЮ РАЗМЫВАЕМОГО РУСЛА
С НЕОДНОРОДНЫМ ПОПЕРЕЧНЫМ ПРОФИЛЕМ**

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

ФИЦ Институт прикладной физики РАН им. А.В. Гапонова - Грехова
603950, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46

Капустин Иван Александрович, к.ф.-м.н., заведующий лабораторией информационно-измерительных систем, заместитель заведующего отделом радиофизических методов в гидрофизике

ФИЦ Институт прикладной физики РАН им. А.В. Гапонова - Грехова
603950, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46

Доброхотова Дарья Васильевна, стажер-исследователь лаборатории информационно-измерительных систем отдела радиофизических методов в гидрофизике

ФИЦ Институт прикладной физики РАН им. А.В. Гапонова - Грехова
603950, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46

Работа авторов профинансирована частично из средств государственного задания (программы № FFUF-2021-0006, № FFUF-2021-0007) и по программе «Приоритет 2030» (тема № Н-468-99_2021-2023)

Аннотация. Представлены результаты исследования морфологии и гидрологии участка реки Волги в нижнем бьефе Нижегородского гидроузла. По результатам анализа поля скоростей и концентрации взвеси осадочных пород выявлена интенсивная трансформация морфологии песчаного донного грунта в результате периодических возмущений жидкости поперек основного потока.

Ключевые слова: гидрологический режим, русловой процесс, морфология русла, концентрация взвеси, транспорт грунта, размываемое дно, нижний бьеф.

Введение:

В работе исследованы результаты измерения параметров речного потока, выполненных в рамках комплексного исследования в верхнем и нижнем бьефах Нижегородского гидроузла (НГУ), проведенного в 2022 году [1].

Анализ гидродинамических особенностей движения жидкости в условиях волноводного канала с переменным поперечным профилем согласно методике [2-5]

показал возможность генерации системы волн, ориентированных поперек движения основного потока.

Исследование пространственного распределения концентрации взвеси в акватории подтвердило предположение о периодическом характере наблюдаемых возмущений, приведших к трансформации донного грунта поперек потока жидкости.

Область исследования:

Границы исследуемой акватории представлены на рисунке (рис.1). Измерения проводились с моторной лодки с использованием акустического доплеровского профилографа течений (ADCP WorkHorse Monitor 1200 kHz), позволяющего измерять профили трех компонент скорости, обратное акустическое рассеяние и отслеживать структуру дна.

В ходе изучения гидрологических особенностей, характерных для нижнего бьефа НГУ, была построена карта распределения обратного акустического рассеяния, характеризующего наличие взвеси в толще воды, на глубине 0.6 м (рис.1). Результаты показали наличие вблизи гидроузла прямолинейных периодических структур с постоянной концентрацией взвешенных частиц.

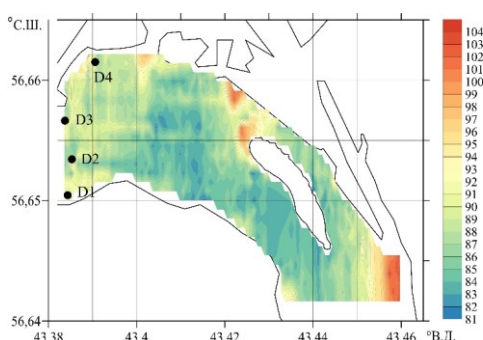


Рис.1. Концентрация взвеси в исследуемой области акватории р. Волги (глубина 0.6 м).

По результатам исследования кинематики потока были также построены профили скорости жидкости в нижнем бьефе НГУ (рис. 2).

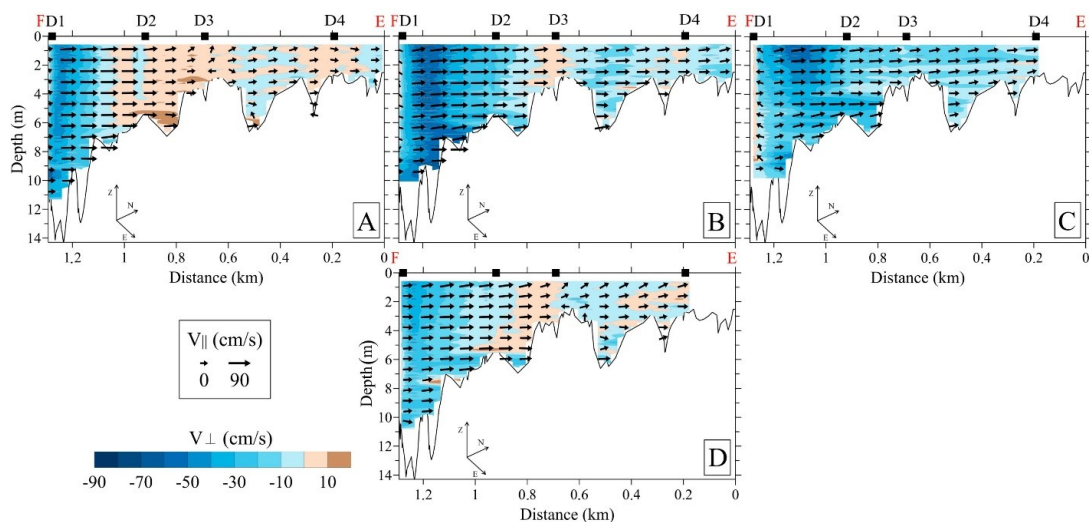


Рис.2. Пространственное распределение скорости потока в нижнем бьефе Нижегородского гидроузла (рис.7 [1]); расположение датчиков D1-G4 см. на рис. 1).

На рисунке (рис.2,а), соответствующем времени получения данных на рисунке (рис. 1), также присутствуют периодические структуры в поперечном сечении потока. При этом вертикальные границы изменения направления полей скорости на (рис. 2,а,в) соответствуют положению изолиний концентрации взвеси на (рис. 1).

Оценка результатов:

Для понимания полученных результатов измерений концентрации взвеси и распределения поля скорости речного потока была выполнена теоретическая оценка возможной высоты волн, возникающих на поверхности жидкости в соответствии с морфологией дна на исследуемом участке.

Расчеты проводились по методике [5] для нескольких донных профилей, измеренных в ходе комплексных исследований акватории [1]. Результаты одной из таких оценок представлены на рисунке (рис. 3).

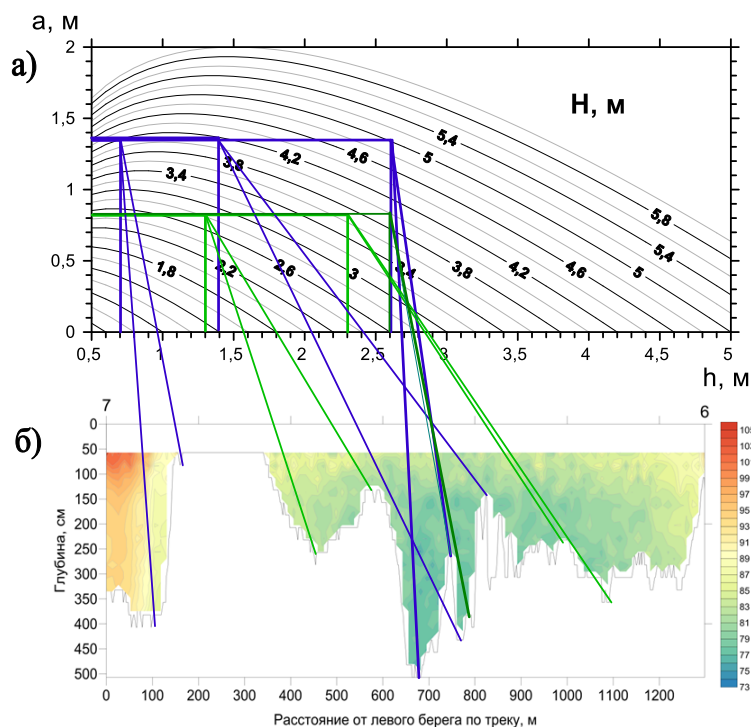


Рис.3. Исследование соотношения гидрологических и морфологических параметров распространения потока в нижнем бьефе Нижегородского гидроузла:
а - график зависимости высоты волны от соотношения глубин H и h на донных неровностях поперек потока (глубины H и h отмечены на графике парными цветными линиями до соответствующего донного уступа); б - профиль дна на разрезе поперек потока (расположение участка измерения см. рис. 5,а [1])

Расчеты показали, что на участках руслового сечения создаются условия для генерации волн двух разных высот, отличающихся на величину $\Delta a = 0.5$ м (рис. 3,а) и соответствующих чередующимся морфологическим структурам. Что формирует такой профиль свободной поверхности, при котором возможна генерация вторичных волновых движений поперек основного потока жидкости.

Данный вывод подтверждается выраженной периодической структурой поля взвешенных частиц в речном потоке вблизи гидроузла (рис. 1). Что может свидетельствовать об их концентрации в узлах волнового профиля.

Выводы и рекомендации:

При наличии размываемого дна в нижних бьефах гидротехнических сооружений необходимо учитывать возможность взаимного влияния морфологии и гидродинамических параметров. В частности, возможность интенсивного волнообразования не только вдоль, но и поперек основного речного потока.

При этом результаты натурных измерений параметров потока в нижнем бьефе НГУ, а также их теоретическая оценка по методике [5] согласуются с ранее полученными результатами серии экспериментов по исследованию взаимодействия регулярных

фоновых и вынужденных корабельных волн [6-8]. Где, в частности, был сделан вывод о возможности их независимого распространения. Что может быть подтверждением возможности генерации в нижнем бьефе НГУ двух волновых систем, ориентированных в перпендикулярных направлениях.

Список литературы:

1. Molkov A. A., Kapustin I. A., Grechushnikova M. G., Dobrokhotova D. V., Leshchev G. V., Vodeneeva E. L., Sharagina E. M., Kolesnikov A. A. Investigation of water dynamics nearby hydroelectric power plant of the Gorky Reservoir on water environment: case study of 2022 //Water. – 2023. – V. 15. – Iss. 17. – P. 3070.
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: Труды XIII Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». / О.Д. Шишкина. - С.-Пб.: СПбФ ИО РАН, 2016. - 516 с.
4. Исследование границы применимости теории нелинейных внутренних волн для пространственных краевых явлений в шельфовой зоне: Труды XIV Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». / 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. Исследование трансформации морфологии речного русла с поперечным профилем ступенчатого типа под действием волны попуска: Труды 7-й всероссийской научной конференции «Проблемы экологии Волжского бассейна» («ВОЛГА-2022»). Выпуск 5. / О.Д. Шишкина. - Н. Новгород: ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2022. - URL: http://vf-река-море.рф/ECO/2022/PDF_ECO/есo61.pdf (дата обращения 06.11.2023 г.)
6. Experimental study of regular background and ship internal waves interaction in the thermocline: 4-th International Symposium on Stratified Flows. Preprints. Vol. 3. Section GP3. / O.D. Shishkina; eds. E. Hopfinger, B. Voisin. – Grenoble: LEGI-IMG, 1994. - 255 p.
7. Поверхностные и внутренние волны в арктических морях: Сборник статей. / О.Д. Шишкина; под ред. И.В. Лавренова, Е.Г. Морозова. - С.-Петербург: Гидрометеоздат, 2002. - 362 с
8. Баханов В. В., Власов С. Н., Казаков В. И., Кемарская О. Н., Копосова Е. В., Шишкина О. Д. Моделирование внутренних и поверхностных волн реального океана в Большом термостратифицированном опытовом бассейне ИПФ РАН //Радиофизика. – 2003. – т. XLVI. – № 7. – С. 537-554.

FEATURES OF EFFECT OF HYDROLOGY OF RIVER FLOW ON MORPHOLOGY OF ERODED RIVERBED WITH NON-UNIFORM TRANSVERSE PROFILE

Olga D. Shishkina, Ivan A. Kapustin, Daria V. Dobrokhotova

Abstract. The results of a study of the morphology and hydrology of the Volga River in the lower reaches of the Nizhny Novgorod HPP are presented. According to the results of the analysis of the concentration of sedimentary rock suspension within the studied section of the riverbed, an intense transformation of the morphology of sandy bottom as a result of periodic water disturbance across the main river stream was revealed.

Keywords: hydrological regime, channel process, riverbed morphology, suspension concentration, soil transport, eroded bottom, tail-water.