



УДК 556:532.5:528.8

## ДИАГНОСТИКА УСТОЙЧИВОСТИ РАЗМЫВАЕМОГО ДНА ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

**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

---

*Работа автора финансируется из средств государственного задания  
(программа № FFUF-2024-0026)*

---

*Аннотация.* Проведено исследование генерации поверхностных волн на участке р. Волга в районе переката Козинский в условиях трансформируемого дна. Теоретические расчеты выполнены на базе «модели двух объемов» для речного дна со ступенчатым поперечным профилем. Проведено сравнение результатов расчетов по данным русловой съемки с данными дистанционного зондирования водной поверхности.

*Ключевые слова:* морфология дна, трансформация дна, волны на поверхности воды, «модель двух объемов», поперечный профиль русла, дистанционное зондирование.

В работе исследуется возможность оценки устойчивости профиля речного дна по результатам дистанционного наблюдения волнообразования на водной поверхности на примере участка р. Волга в районе переката Козинский (883 – 886 км. с.х.).

### **Введение:**

По данным, полученным автором в работах [1,2], вдольбереговое течение имеет две выраженные зоны – прибрежную и глубоководную – с существенно разными режимами динамики потока вследствие разности длин формирующихся волн относительно соответствующей глубины.

Волнообразование в потоке с поперечным ступенчатым профилем дна фактически происходит независимо в двух объемах жидкости разной глубины. Поэтому дальнейшее рассмотрение волновых процессов, происходящих в таком поперечно неоднородном волноводе, предлагается называть «моделью двух объемов».

Взаимодействие между ними происходит в узкой области, расположенной над перепадом глубин. В речном потоке из-за существенного различия режимов волнообразования в прибрежной и фарватерной зонах наблюдается нестационарность поперек течения. Которая, в свою очередь, приводит к поперечному переносу осадочных пород на дне из одной зоны в другую согласно их гидрологии [3,4].

При условии равенства расходов в поперечных сечениях потока, вследствие вязкости, неразрывности и несжимаемости жидкости, гидрологические процессы происходят таким образом, чтобы продольные скорости поперек потока воды в его мелководной и глубоководной зонах выравнивались. В результате чего при достижении кинематического синхронизма поперек потока жидкости происходит его стабилизация.

Применительно к речному течению это выражается в прекращении размыва донного грунта поперек потока и стабилизации профиля дна.

### Морфология участка:

На (рис. 1,а) представлены данные долговременных наблюдений русловых деформаций за период с 1977 г. по 2017 г., приводящих к соответствующим пространственным вариациям судового хода [5]. На (рис. 1,б) линиями указано расположение поперечных русловых разрезов р. Волга, представленных на (рис. 2).

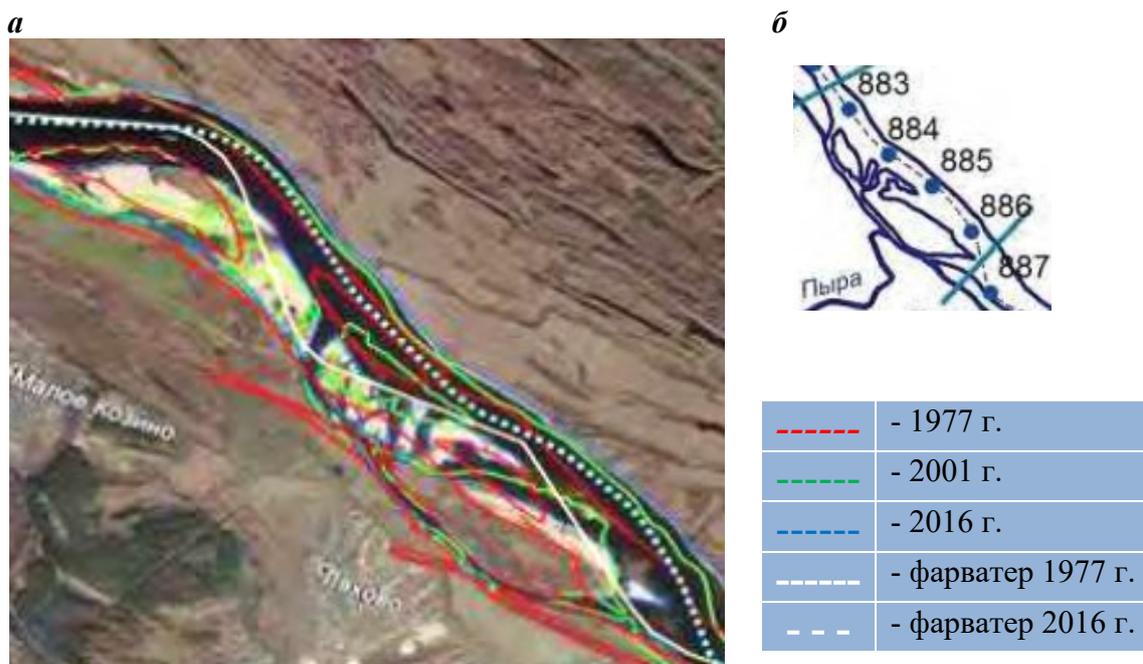


Рис.1. Участок р. Волга на 880 - 887 км. с.х.: а - трансформация русла и соответствующее смещение фарватера (подоснова - космический снимок Google Earth от 2016 г.) [5], б - схема расположения поперечных профилей русла, представленных на (рис.2) [6].

На исследуемом участке дно имеет ступенчатый поперечный профиль, формирующийся из размываемых осадочных пород.

Поперечные разрезы русла выше (рис. 2,а) и ниже (рис. 2,б) переката Козинский демонстрируют различную динамику. За время проведения наблюдений фарватер на разрезе выше переката сместился из центральной части русла к берегу (рис. 1,а; 2,а).

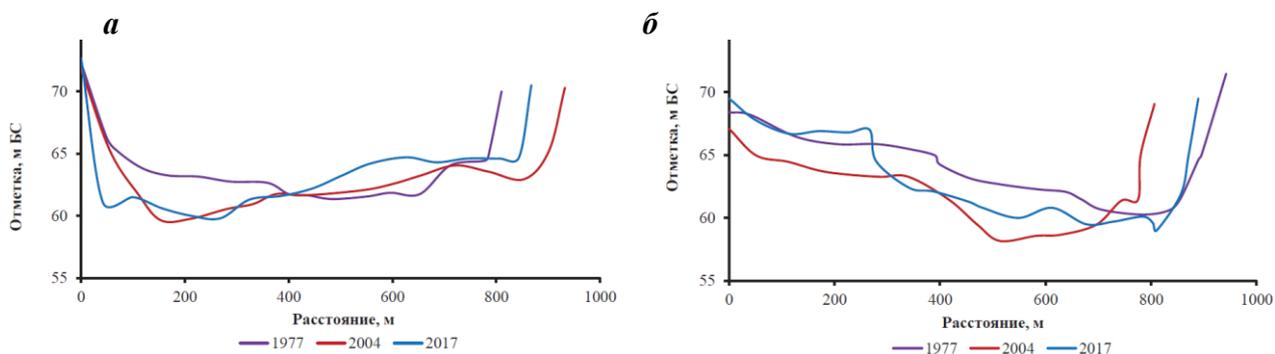


Рис.2. Трансформация профиля дна р. Волга: а - 883 км. с.х., б - 886 км. с.х. [6].

На разрезе ниже переката (рис. 2,б) фарватер не меняет своего положения.

При этом в обоих случаях происходит формирование выраженного ступенчатого поперечного профиля с практически горизонтальным дном в прибрежной зоне.

#### Данные дистанционного зондирования волнения:

Дистанционные снимки волновых структур, сформировавшихся на водной поверхности, являются наглядным источником информации о зонах динамического и стационарного состояния дна на отдельных участках судового хода.



Рис.3. Спутниковое изображение водной поверхности на участке р. Волга 883 - 886 км. с.х. (космический снимок Google Earth, дата обращения 12 февраля 2024 г).

В частности, наличие изломов на изображении волновой структуры (рис. 3, в центре) говорит о процессе переформирования профиля дна на данном участке. Положение изломов на снимке соответствует границе раздела между прибрежной и фарватерной зонами согласно данным русловой съемки (рис. 1,а; 2,а).

Прямолинейные волновые гребни на (рис. 3, внизу справа) свидетельствуют об устойчивости донных профилей к воздействию речного потока на этом участке русла во время фиксации спутникового изображения.

#### Расчет параметров потока:

На (рис. 4) представлен результат решения уравнения стационарного состояния потока согласно «модели двух объемов» [4] для профилей дна, изображенных на (рис. 2,а).

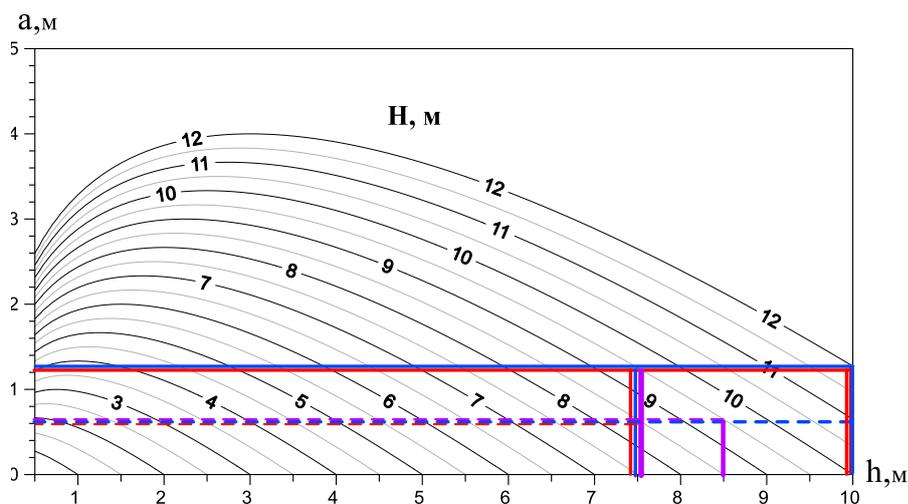


Рис.4. Графическое решение задачи определения стационарных глубин фарватерной  $H$  и прибрежной  $h$  частей русла; цвет линий соответствует (рис.2).

Расчет показал, что профиль дна на исследуемом разрезе независимо от времени русловой съемки формируется под воздействием двух волновых структур разной высоты  $a_1 = 1.24$  м и  $a_2 = 0.62$  м (рис. 4).

Волны высотой  $a_1$ , согласно расчетам, формируют морфологию фарватерной зоны. Высота волны  $a_2$  соответствует мелкомасштабным деформациям профиля дна в прибрежной зоне русла.

Разность скоростей распространения двух волновых структур в прибрежной и фарватерной зонах можно оценить по углу расхождения гребней волн на их спутниковом изображении (рис. 3).

### **Выводы:**

Проведенные исследования показали наличие возможности применения данных дистанционного зондирования водной поверхности для диагностики устойчивости профиля размываемого дна.

Применение режимов зондирования земли, позволяющих разрешать соответствующие диапазоны длин поверхностных волн, позволяет получать информацию о временной и пространственной динамике не только прибрежных участков суши, но и исследовать движение донных осадочных пород речного русла.

### **Список литературы:**

1. 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 Proc. Geoph. – 2013. – Vol. 20. – № 5. P. – 743-757. DOI: 10.5194/npg-20-743-2013
2. 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, А.А. Родионова, С.А. Смирнова, Ф.Ф. Легуши. – С.-Пб.: СПбНЦ РАН, 2018. - 652 с.
3. О.Д. Шишкина. Исследование трансформации морфологии речного русла с поперечным профилем ступенчатого типа под действием волны попуска //Проблемы экологии Волжского бассейна (ВОЛГА-2022): Труды 7-й всероссийской научной конференции. – 2022. – Вып. 2. – Режим доступа: [http://вф-река-море.рф/ЕСО/2022/PDF\\_ЕСО/есоб1.pdf](http://вф-река-море.рф/ЕСО/2022/PDF_ЕСО/есоб1.pdf)
4. Шишкина О.Д. Исследование действия речного потока на динамику осадочных пород поперечно неоднородного дна ступенчатого типа //Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития (МГО-2022): Труды VI Международной конференции имени Л. Н. Карлина. «Перо». – 2022. – С. 245-249.
5. Отчет о НИР «Влияние строительства Нижегородского низконапорного гидроузла на работу Ново-Сормовской водопроводной станции АО «Нижегородский водоканал», включая анализ материалов проекта «Строительство нижегородского низконапорного гидроузла» и проведение исследований по рассмотрению возможности реализации альтернативного варианта обеспечения судоходных условий на участке р. Волги от шлюзов городецкого гидроузла до Нижнего Новгорода и выполнение работ по графическому описанию местоположения границ зон санитарной охраны (ЗСО) поверхностных источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения объектов, эксплуатируемых АО «Нижегородский водоканал», определению координат характерных точек границ вышеуказанных зон». Этап 1 «Сбор исходных данных и анализ материалов проекта «Строительство Нижегородского низконапорного гидроузла». ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, С.-Петербург. – 2019 г.
6. Отчет о НИР «Влияние строительства Нижегородского низконапорного гидроузла на работу Ново-Сормовской водопроводной станции АО «Нижегородский водоканал», включая анализ материалов проекта «Строительство нижегородского низконапорного гидроузла» и проведение исследований по рассмотрению возможности реализации

альтернативного варианта обеспечения судоходных условий на участке р. Волги от шлюзов городецкого гидроузла до Нижнего Новгорода и выполнение работ по графическому описанию местоположения границ зон санитарной охраны (ЗСО) поверхностных источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения объектов, эксплуатируемых АО «Нижегородский водоканал», определению координат характерных точек границ вышеуказанных зон». Этап 3 «Проведение комплекса научных исследований для альтернативных вариантов обеспечения судоходства». ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, С.-Петербург. – 2019 г.

## **DIAGNOSTICS OF STABILITY OF ERODED BOTTOM BY REMOTE SENSING**

Olga D. Shishkina,

*Abstract.* The results of a study of the generation of surface waves along the Volga river at the distance of 882 – 886 km of the fairway under the conditions of transformed bottom soil are presented. Theoretical calculations are based on the "two-volume model" for the coastal and fairway zones of the river bottom with a stepped transverse profile. The calculation results are confirmed by the data of remote sensing of the water surface.

*Keywords:* bottom morphology, bottom transformation, water waves, "two-volume model", bottom transverse profile, remote sensing.