УДК 532.545

© 2020 г. Д.И. Потапов,
И.И. Потапов, д-р физ.-мат. наук
(Вычислительный центр ДВО РАН, Хабаровск)

АНАЛИЗ РУСЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ Р. АМУР НА УЧАСТКЕ ХАБАРОВСКОГО ВОДНОГО УЗЛА*

Разработана информационная система, позволяющая хранить и обрабатывать натурные экспериментальные данные для обследуемых участков рек. С использованием инструментов информационной системы, выполнен анализ деформаций русла реки Амур в окрестности города Хабаровска, показавший, что на исследуемом участке реки происходят значительные деформации русла, информацию о которых можно использовать для верификации новых математических моделей, описывающих деформацию русла.

Ключевые слова: русловой процесс, береговая эрозия, цифровая модель местности, ретроспективный анализ, р. Амур.

DOI: 10.22250/isu.2020.64.68-74

Введение

Данная публикация является развитием работы [1]. В анонсированную ранее информационную систему добавлены инструменты, позволяющие выполнять анализ русловых процессов по имеющимся данным натурных наблюдений. За период 2018-2019 гг. в информационную систему добавлены более 16000 новых записей в базу данных, полученных в процессе проведения экспедиций по гидрологическому мониторингу реки Амур на участке Хабаровского водного узла (рис.1). Целью натурных измерений является получение объективной информации о динамике изменения поверхности русла во времени. В экспедициях, проводимых лабораторией вычислительной механики ВЦ ДВО РАН, выполнялись промеры глубин р. Амур. Проходы суд-

* Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 18-05-00530.

на, с которого производились промеры глубин, выполнялись через 150 – 200 м, примерно перпендикулярно динамической оси потока реки. Для контроля прибрежной донной поверхности выполнялись 4 – 6 проходов судна вдоль берегов реки, через 20 – 40 м. Во время промеров глубин велись наблюдения за уровнями воды по гидропосту «Хабаровск».

Рис. 1. Изолинии несрезанных глубин р. Амур между островами Большой Уссурийский и Кабельный, построенные по наблюдениям за 12.08.2018.

Инструментарий информационной системы позволяет на основе данных натурных измерений создавать цифровые модели донного рельефа за различные годы. В настоящий момент информационная система предоставляет возможность проводить анализ русловых деформаций для участка реки между островами Кабельный и Большой Уссурийский за 2005-2008, 2018 и 2019 гг.

Одной из основных возможностей построенной информационной системы является создание на основе данных о промерах глубин цифровых моделей с различной степенью сглаживания донного рельефа, с последующей возможностью выполнения анализа изменений донного рельефа за периоды наблюдения.

Для построения цифровой модели русла применялся метод триангуляционного покрытия с определением уровней дна русла в вершинах триангуляционной сетки с последующим ее сгущением.

2. Анализ русловых изменений

В качестве примера, позволяющего продемонстрировать возможности разработанной информационной системы, в данной работе выполнен анализ деформаций дна русла и берега острова Большой Уссурийский в окрестности слияния реки Амур и протоки Амурская.

На рис. 1 приведен оцифрованный фрагмент Хабаровского водного узла в окрестностях острова Большой Уссурийский. Изолиниями показана несрезанная глубина р. Амур между островами Большой Уссурийский и Кабельный на 12.08.2018 (ReefMaster2.0). Для анализа русловых деформаций на рассматриваемом участке реки были определены три поперечных створа (рис.1) с координатами вершин створов, приведенных в табл. 1.

Таблица 1

Створ	Первая точка створа		Вторая точка створа	
	Долгота	Широта	Долгота	Широта
№ 1	135.061713065567	48.4400746026278	135.019475318964	48.4496534457969
№ 2	135.051198948387	48.4331168359478	135.019475318964	48.4496534457969
№ 3	135.036968634617	48.4294473288631	135.019475318964	48.4496534457969

На рис. 2 приведен пример окна информационной системы «Амур», используемого для задания створов, в которых проводится анализ изменений донной поверхности. В окне отображается триангуляция цифровой модели местности для исследуемого участка реки за 2018 г. и показан створ № 1.

Рис. 2. Окно анализа донного рельефа.

Перейдем к более детальному рассмотрению процессов деформации донной поверхности и правого берега реки Амур в створах реки, определенных в табл. 1.

На рис. 3 для створа № 1 приведены восстановленные профили срезуемых глубин за периоды 2005-2008 и 2018-2019 гг.

Рис. 3. Профили срезуемых глубин H в створе №1, как функции от натуральной координаты створа S .

Отступление берега за весь период наблюдения с 2005 г. по 2019 г. в створе № 1 составляет 144.1 м.

Из графиков видно, что в период с 2005 г. по 2007 г. глубина потока меняется слабо, при этом имеются значительные береговые деформации, достигающие 23.8 м за 2007, 2008 гг. В табл. 2 представлены данные о скорости размыва правого берега в створе № 1.

Таблица 2

Размыв, м/год	Годы наблюдений				
	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2018	2018-2019
Берег	13.5	10.3	23.8	4.8	4.4
Дно	0.2	0.4	3.2	0.27	0.2

Однако после 2008 г. скорость размыва уменьшается, и в период с 2008 г. по 2018 г. отступление берега составляет всего 48.1 м за 10 лет, т.е. 4.81 м в год, что согласуется с измерениями за 2018, 2019 гг., когда отступление берега было определено в 4.4 м в год.

Замедление берегового размыва привело к тому, что усилился размыв глубоководной части русла. Усиление активного размыва глубоководной части русла, возможно, связано [2, 3] с перераспределением расхода речного потока после строительства в 2005 г. переливных запруд в протоках Пемзенская и Бешеная, что привело к возрастанию расхода, реализующегося через

основное русло реки Амур до 2-9%. Косвенно на это указывает увеличение площади поперечного сечения реки.

Отметим, что за период наблюдения глубоководная часть русла из формы, близкой к параболической, со средним уклоном берега в 3 градуса, претерпела сильный перекося в сторону правого берега, в результате средний уклон берега за 2018 – 2019 гг. достиг 8.5 градуса. При этом максимальная глубина русла увеличилась почти в два раза – от 7.3 м в 2005 г. до 14.0 м в 2019 г.

На рис. 4 для створа № 2 приведены восстановленные профили срезаемых глубин за периоды 2005 – 2006, 2008 и 2018 – 2019 гг. Измерения глубин для участка реки, через который проведен створ № 2, в 2007 г. не проводилось.

Рис.4. Профили срезаемых глубин H в створе №2, как функции от натуральной координаты створа S .

Из анализа глубин на рис. 4 видно, что в створе № 2 происходит максимальное отступление берега острова Большой Уссурийский, составляющее 161.3 м за весь период наблюдения с 2005 г. по 2019 г., что объясняется, наряду с наибольшей кривизной русла на данном участке реки, отсутствием бронирования берега в отличие от створа № 1.

На рис. 4 из графиков срезаемых глубин видно, что отступление берега в створе № 2 согласуется с основными тенденциями, характерными для створа № 1. Характеристики скорости размыва правого берега в створе № 2 представлены в табл.3.

Таблица 3

Размыв, м/год	Годы наблюдений			
	2005-2006	2006-2008	2008-2018	2018-2019
Берег	16	47.7	8.86	9.1
Дно	-0.24	0.71	0.07	0.33

На рис. 5 приведены восстановленные профили срезанных глубин в 2005 – 2006, 2018 – 2019 гг. Измерения глубин для участка реки, через который проведен створ № 3, в 2007 и 2008 гг. не проводилось.

Рис. 5. Профили срезанных глубин H в створе № 3 как функции от натуральной координаты створа S .

В створе № 3 происходит наименее активное отступление берега острова Большой Уссурийский, составляющее 47.3 м за весь период наблюдения с 2005 г. по 2019 г. Малая скорость отступления правого берега реки Амур и слабое изменение глубин русла обусловлены прохождением створа № 3 через область подхода основного гидродинамического потока к правому берегу реки.

Однако необходимо отметить, что за период наблюдения практически в два раза увеличилась глубина русла, что согласуется с данными для других створов. Параметры скорости размыва даны в табл. 4.

Таблица 4

Размыв, м/год	Годы наблюдений		
	2005-2006	2008-2018	2018-2019
Берег	19.5	1.58	3.8
Дно	0.85	0.18	0.75

2. Обсуждение

Анализ русловых и береговых деформаций выполнен посредством сопоставления срезанных профилей глубин (дна), полученных для заданных створов 1-3. Профили глубин построены с использованием цифровых моделей глубин, полученных по гидрографическим съемкам за 2005 – 2008 гг. и 2018 – 2019 гг.

Отметим, что характер русловых деформаций существенно зависит от участка русла. Так, в створе №1 отступление берега в районе уреза воды составило менее 5 м в год. В створе №2 имеет место максимальная на рассматриваемом участке береговая эрозия, достигающая 10 м за год. Береговая эрозия правобережной части русла № 3 проявляется слабо.

Заключение

Разработана информационная система, позволяющая хранить большой объем натурных экспериментальных данных, делать выборки данных для построения цифровых моделей речного русла за разные временные периоды, обрабатывать цифровые модели для анализа русловых процессов.

Из анализа русловых деформаций рассматриваемого участка р. Амур можно сделать вывод, что на рассматриваемом участке реки происходят значительные изменения донного и берегового рельефа русла. Информацию о величинах и направлении развития этих изменений можно использовать для верификации различных новых русловых моделей.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Потапов И.И., Потапов Д.И.* Анализ русловых процессов участка р. Амур в окрестности Хабаровска за 2005-2007 гг. // Информатика и системы управления. – 2018. – №4(58). – С .150-156.
2. Отчет о научно-исследовательской работе. Государственный мониторинг р. Амур в районе строительства объектов инженерной защиты левого берега в Хабаровске. – СПб.: ЗАО "Ленгипроречтранс", 2005.
3. Отчет о научно-исследовательской работе. Государственный мониторинг р. Амур в районе строительства объектов инженерной защиты левого берега в Хабаровске. – СПб.: ЗАО "Ленгипроречтранс", 2006.

Статья представлена к публикации членом редколлегии С.И. Смагиным.

E-mail:

Потапов Дмитрий Игоревич – shineon91@mail.ru;

Потапов Игорь Иванович – potapov2i@gmail.com.