

И.О. НЕРОВ, С.М. КРАСНОПЕЕВ, А.Н. БУГАЕЦ, В.В. БЕЛИКОВ,  
А.В. ГЛОТКО, Н.М. БОРИСОВА, Е.С. ВАСИЛЬЕВА,  
Ю.В. КРОЛЕВЕЦКАЯ

## Опыт создания цифровой модели рельефа для гидродинамических расчетов в бассейне р. Амур

*Катастрофические наводнения в 2013 и 2019 гг. на Амуре выявили необходимость поиска новых решений по предупреждению и минимизации негативных последствий при прохождении паводков. Рассматриваются вопросы построения цифровой модели рельефа (ЦМР) русел и пойм рек бассейна р. Амур. Описаны основные источники данных для построения ЦМР, процесс актуализации конфигурации русел с использованием материалов космической съемки отечественными космическими аппаратами «Ресурс-П» и «Канопус-В». Обоснованы актуальность и основные задачи оперативной корректировки ЦМР. Описан процесс подготовки данных и технология построения поверхности проектного уровня воды. Представлены результаты численных экспериментов по гидродинамическому моделированию участков р. Амур с помощью модели Stream 2D CUDA.*

*Ключевые слова:* бассейн р. Амур, ЦМР, космические снимки, гидродинамическая модель.

**Experience in digital terrain model generation for hydrodynamic modeling in the Amur River basin.**  
I.O. NEROV<sup>1</sup>, S.M. KRASNOPEYEV<sup>2</sup>, A.N. BUGAETS<sup>2</sup>, V.V. BELIKOV<sup>3</sup>, A.V. GLOTKO<sup>3</sup>, N.M. BORISOVA<sup>3</sup>,  
E.S. VASILEVA<sup>3</sup>, Yu.V. KROLEVETSKAYA<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection, Far Eastern Branch, Vladivostok; <sup>2</sup>Pacific Geographical Institute, FEB RAS, Vladivostok; <sup>3</sup>Water Problems Institute, RAS, Moscow).

*Catastrophic floods of 2013 and 2019 in the Amur River basin raise the problem of creating new regional conceptions for mitigation of inundation consequences. This article outlines the items of construction of a digital elevation model (DEM) of the rivers bed and floodplain of the Amur River basin for hydrodynamic modelling. The main data sources DEM construction and the process of updating the channel configuration using space imagery materials by the domestic spacecrafts "Resurs-P" and "Canopus-V" are described. The design of water level constructing technique and basic principles of the DEM operational correction are described. The results of numerical experiments on hydrodynamic modeling of the Amur River stretches using Stream 2D CUDA model are presented.*

*Key words:* Amur River basin, DEM, space imagery, hydrodynamic model.

Амур – одна из крупнейших рек мира, имеет десятый по размеру речной бассейн площадью 1,85 млн км<sup>2</sup>, длина Амура от слияния рек Шилка и Аргунь составляет 2,8 тыс. км. Традиционно Амур разделяют на три основных участка: верхний – от слияния Шилки и Аргуни до устья р. Зея (выше Благовещенска), средний – от устья р. Зея до

\*НЕРОВ Игорь Олегович – заведующий отделом моделирования гидрологических процессов, КРОЛЕВЕЦКАЯ Юлия Викторовна – заведующая сектором (Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов, Дальневосточный филиал, Владивосток); КРАСНОПЕЕВ Сергей Михайлович – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, БУГАЕЦ Андрей Николаевич – кандидат технических наук, руководитель лаборатории (Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток); БЕЛИКОВ Виталий Васильевич – доктор технических наук, заведующий лабораторией, ГЛОТКО Анна Владимировна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, БОРИСОВА Наталья Михайловна – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, ВАСИЛЬЕВА Екатерина Сергеевна – кандидат географических наук (Институт водных проблем РАН, Москва). \*E-mail: inerov@bk.ru

Хабаровска, нижний – от Хабаровска до впадения реки в Охотское море. Гидрологический режим Амура характеризуется неравномерным сезонным и многолетним стоком, что в первую очередь связано с муссонным типом климата. Основной фазой водного режима реки являются дождевые паводки [18]. На российской части бассейна сток р. Амур зарегулирован Зейским, Бурейским и Нижне-Бурейским водохранилищами с общим полезным объемом 42,817 км<sup>3</sup>.

Бассейн р. Амур является одним из самых паводкоопасных районов Российской Федерации. Влияние площади бассейна и разнообразие условий формирования стока на водосборе выражаются в существовании нескольких очагов формирования наводнений в среднем и нижнем течении Амура – Верхнеамурский, Зейско-Буреинский, Сунгарийский и Уссурийский. Их доли в стоке Амура крайне динамичны, при высокой степени синхронности развития и добегания паводочных волн, сформированных в разных областях водосбора Амура, являются причинами формирования катастрофических наводнений, возникающих в результате наложения паводковых волн [13, 18].

Одной из наиболее актуальных задач является оперативное информационно-аналитическое обеспечение деятельности по установлению оптимальных режимов пропуска паводков Бурейским, Нижне-Бурейским и Зейским водохранилищами с учетом гидрологического состояния участков нижних бьефов и требований по минимизации затопления объектов и территорий [13]. После катастрофического паводка 2013 г. создана значительная информационная и научно-методическая база для решения практических задач в области управления использованием и охраной водных ресурсов бассейна р. Амур [2, 3, 5, 10, 12, 14–16]. Разработаны автоматизированные системы мониторинга [4, 9, 17, 19–22] и технологии их интеграции с различными моделирующими системами [6–8]. Развитие данного направления связано с созданием и внедрением в практику деятельности Межведомственной рабочей группы по регулированию режимов работы Бурейского, Нижне-Бурейского и Зейского водохранилищ<sup>1</sup> новых методов по установлению оптимальных режимов пропуска паводков указанными водохранилищами с учетом гидрологического состояния участков нижних бьефов и требований по минимизации затопления объектов и территорий на основе гидродинамического моделирования.

Цифровая модель рельефа (ЦМР) русла и поймы является необходимой основой для создания 2D-3D гидродинамических моделей, и она должна характеризоваться высокой детальностью [25]. Это особенно актуально на пологих участках поймы с небольшими перепадами высот [23, 24]. Основным источником батиметрической информации для построения ЦМР крупных рек обычно являются данные лоций. Одной из трудоемких задач является приведение глубин и отметок, указанных на лоциях относительно так называемого проектного уровня воды, к действующей государственной системе высот, являющейся рабочей для гидродинамической модели. Вопрос этот крайне важен, поскольку оценка результатов моделирования уровня воды в створах гидрологических постов прямо зависит от точности (вертикальной ошибки) построения ЦМР.

При использовании гидродинамических моделей в оперативной практике одной из задач является учет влияния на гидрологический режим рек изменений геометрии русел и пойм на расчетных участках. Такие изменения могут быть вызваны вертикальными и горизонтальными деформациями русел естественного и антропогенного происхождения, например мероприятиями по улучшению или поддержанию судоходных условий, возведению регулирующих и защитных гидротехнических сооружений и т.п. Также должно быть учтено появление новых данных в результате проведения водных изысканий (промер глубин, съемка урезов воды, надводная съемка русловых образований и т.д.), которые осуществляются русловыми изыскательскими партиями.

---

<sup>1</sup> Офф. сайт Амурского бассейнового водного управления Федерального агентства водных ресурсов. – <http://amurbvu.ru/642-mezhvedomstvennaya-rabochaya-gruppa-po-regulirovaniyu-rezhimov-raboty-bureyskogo-i-zeyskogo-vodohranilisch>.

В статье рассматриваются вопросы построения цифровой модели рельефа русла и поймы р. Амур, включая его судоходные притоки: р. Зея (от створа Зейской ГЭС до устья), р. Бурей (от створа Нижне-Бурейской ГЭС до устья), р. Сунгари (от г. Цзямусы до устья), р. Усури (от с. Шереметьево до устья), р. Тунгуска (от с. Архангеловка до устья); технологии актуализации ЦМР для обеспечения гидродинамических моделей морфометрической информацией и ее использования для целей 2D гидродинамического моделирования.

### Технология построения цифровой модели рельефа

Основными информационными компонентами для построения ЦМР русла-поймы являются:

- пространственная конфигурация русла реки;
- батиметрические характеристики водотока;
- рельеф поймы и прилегающих к ней участков суши.

В качестве основного источника информации о батиметрии русел рек использовали лоцманские карты. На участках, где с момента издания лоцманских карт произошли существенные изменения в конфигурации русла и отсутствуют современные данные гидрографической съемки (рис. 1), для формирования актуальной конфигурации русел были использованы материалы космической съемки отечественными космическими аппаратами «Ресурс-П»<sup>2</sup> и «Канопус-В»<sup>3</sup>.

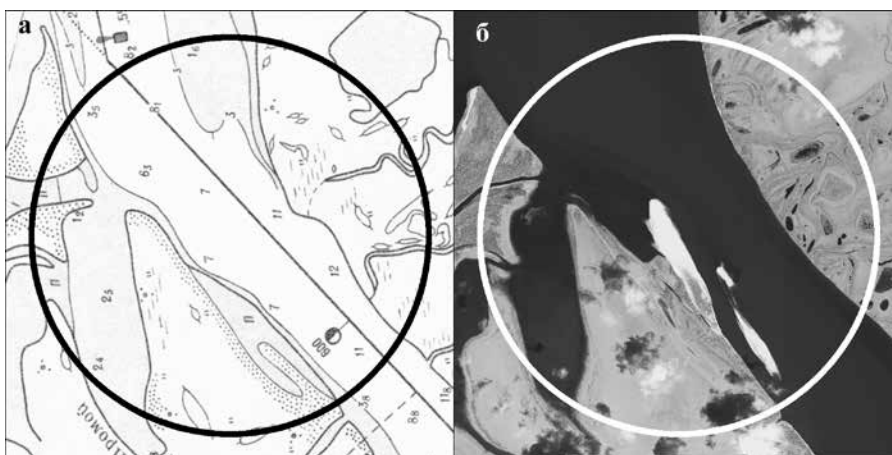


Рис. 1. Конфигурация на лоцманской карте (а) и актуальная конфигурация русла р. Амур (б) вблизи Комсомольска-на-Амуре

Для обеспечения гидрологической корректности ЦМР с помощью экстраполяции данных на основе морфометрического анализа, а также определения структуры поля скоростей потоков по спутниковым фотографиям (во время прохождения крупных паводков) генерировалась система структурных линий. В качестве основного источника информации о рельефе поймы и прилегающих к ней участков использована ЦМР WorldDEM™ (Airbus Defence and Space, Intelligence)<sup>4</sup> с разрешением 24 м.

<sup>2</sup> Официальный сайт НЦ ОМЗ. Космические аппараты типа «Канопус-В». – [http://www.ntsomz.ru/ks\\_dzz/satellites/kanopus\\_vulkan](http://www.ntsomz.ru/ks_dzz/satellites/kanopus_vulkan)

<sup>3</sup> Официальный сайт НЦ ОМЗ. Космические аппараты типа «Ресурс-П». – [http://www.ntsomz.ru/ks\\_dzz/satellites/resurs\\_p](http://www.ntsomz.ru/ks_dzz/satellites/resurs_p)

<sup>4</sup> Официальный сайт компании Esri. World Imagery. Проект ArcGIS Online (США). – <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=10df2279f9684e4a9f6a7f08febac2a9>; официальный сайт компании Airbus Defence and Space (Франция). WorldDEM™ – The New Standard of Global Elevation Models. Elevation Models. – <https://www.intelligence-airbusds.com/imagery/reference-layers/worlddem/worlddem-thematic-layers-and-derivatives/>

Работы по ЦМР включают следующие основные этапы:

1. Подготовка топографической основы территории для координатной привязки листов лоцманских карт и космических изображений;
2. Генерация ЦМР на основе данных Airbus WorldDEM4Ortho как для формирования модели рельефа поймы, так и для ортокоррекции космических изображений;
3. Сканирование и координатная привязка лоцманских карт;
4. Векторизация батиметрической информации с лоцманских карт;
5. Ортокоррекция космических изображений;
6. Векторизация контура береговой линии с космических изображений;
7. Формирование векторной модели русел рек;
8. Генерация поверхности проектного уровня в вертикальной системе координат БС77;
9. Трансформация 2D-объектов в 3D-объекты (вертикальная система координат БС77), уточнение Z-метрики фрагментов береговой линии с учетом уровня подъема воды на дату съемки конкретного участка русла;
10. Генерация ЦМР русла;
11. Объединение ЦМР русла и поймы.

Подготовка топоосновы включала координатную привязку растровых копий номенклатурных листов топографических карт открытого пользования масштабов 1 : 25 000, 1 : 50 000. На участках, для которых топографические карты отсутствовали, топографическая основа формировалась по высокодетальной ортофотомозаике «World Imagery» от ESRI [11]. Предоставленная компанией ESRI возможность доступа к набору данных Airbus WorldDEM4Ortho пользователям продуктов ESRI, находящихся на активной технической поддержке, позволила сгенерировать ЦМР повышенной (по сравнению с общедоступной SRTM30) детальности на поймы рек Зeya (включая устье р. Селемджа), Амур (с. Покровка – г. Комсомольск-на-Амуре), Усури (ниже г. Лесозаводск) (рис. 2).

Для целей последующей векторизации выполнена координатная привязка лоцманских карт р. Амур (от с. Покровка до г. Комсомольск-на-Амуре) и судоходных участков ее притоков. Высокодетальная съемка КА «Ресурс-П» была использована на участках Нижнего и фрагментарно Среднего Амура, на остальные участки русел была сформирована подборка снимков КА «Канопус-В» (пространственное разрешение 2,1 м). Это позволило актуализировать контур береговой линии.

Следующим шагом было формирование векторной модели русла. Под векторной моделью русла здесь понимается комплекс информации в векторном формате, позволяющей построить 3D-модель русла. Он включает: значения «проектных» уровней (нуль глубин) гидрологических постов; контуры береговой линии; даты съемки конкретного участка русла и информацию об уровне подъема воды на дату съемки конкретного участка русла; изобаты; отметки глубин и высоты осушки; банки; границы отмелей; структурные линии, формирующие линию нижнего уровня дна русла и морфоструктурные особенности русла, которые идентифицируются по отметкам глубин, а также вспомогательные метки, необходимые для генерации поверхности проектного уровня в зонах разрежения информации о батиметрии. Пример фрагмента векторной модели русла представлен на рис. 3.

Береговая линия, оцифрованная с каждого конкретного космического изображения, соответствует уровню воды на дату съемки. Поэтому Z-метрика (БС77) 3D-полилинии береговой линии была скорректирована с учетом информации о нуле ближайшего поста и разницы между текущим и проектным уровнями воды. 3D-полилинии изобат и дополнительных структурных линий были построены с учетом Z-метрики проектного уровня и информации о глубине. 3D-версия отметок глубин строилась аналогичным образом. ЦМР (матрица высот) была рассчитана на основе 3D векторной модели с пространственным разрешением 10 м с последующим комплексированием с ЦМР Airbus WorldDEM4Ortho (рис. 4).

Особого внимания заслуживает проблема построения поверхности проектного уровня воды (ППУВ). Проектный уровень воды (ПУВ) является основой для составления



Рис. 2. ЦМР на основе продукта WorldDEM4Ortho поймы рек Зeya, Амур, Уссури

технической документации русловых съемок, гидрологических и русловых исследований. ПУВ устанавливаются для всех опорных гидрологических постов. К ПУВ привязывают планы русловых съемок и материалы, относящиеся к лоциям рек. Все измеренные глубины для планов отдельных участков и карт водных путей приводятся к проектному уровню. Значение ПУВ дается относительно нуля графика опорного водомерного поста. Проектное дно находится ниже проектного уровня на величину, равную заданной глубине. Наличие расчетной ППУВ существенно облегчает и ускоряет процесс оперативной корректировки ЦМР. Если ППУВ построен в абсолютных отметках системы координат гидродинамической модели, то для расчета абсолютных отметок проектного дна значения глубин (относительно ППУВ), полученные в результате корректировки лоций или гидрографических работ, могут быть рассчитаны путем их простого вычитания от ППУВ.

Для построения ППУВ были отработаны две технологические схемы, применяющиеся при достаточном и недостаточном количестве данных для построения 3D поверхности стандартными средствами ГИС. Общим для них являются два исходных постулата: 1) начальной информацией являются значения проектного уровня на гидрологических постах, 2) предполагается линейный характер изменения ПУВ на участке между соседними гидрологическими постами.

При достаточном для построения ППУВ количестве данных сначала создается иерархическая система осевых 3D-полилиний для основного русла, рукавов и проток. Затем

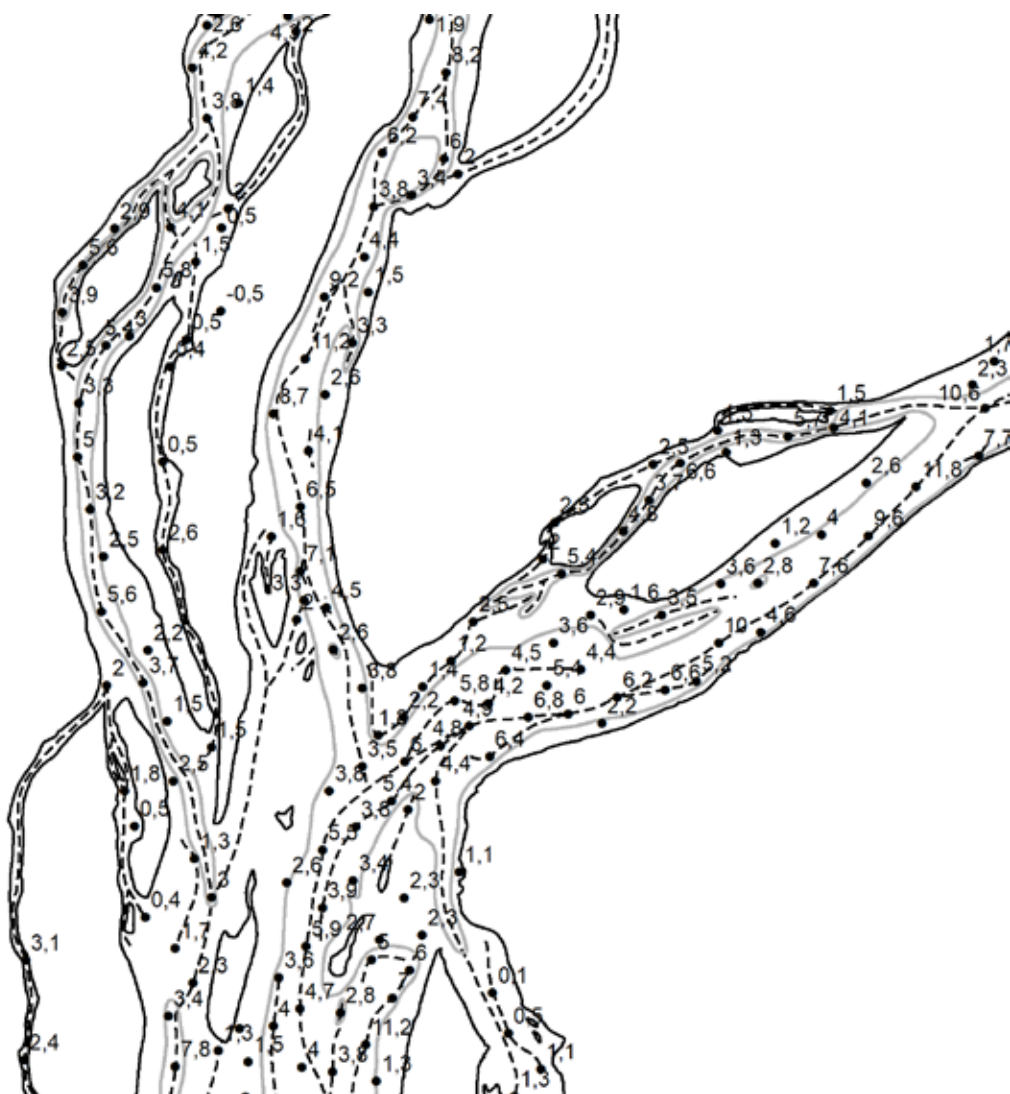


Рис. 3. Фрагмент векторной модели русла

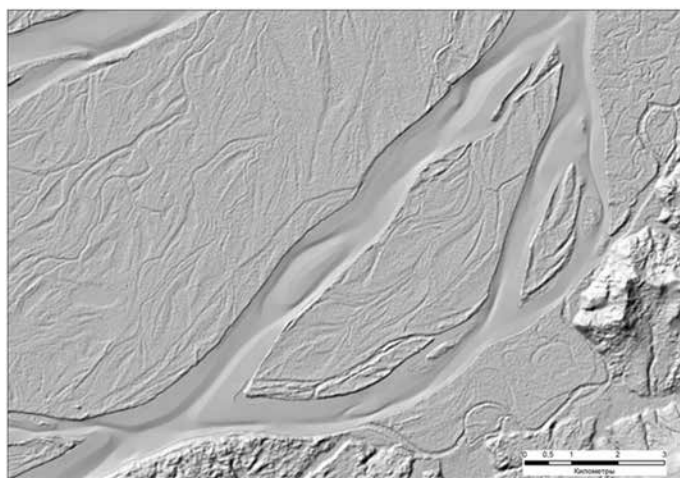


Рис. 4. Фрагмент растровой цифровой модели русла-поймы (в тенях)

осуществляется передача Z-метрики осевых линий по поперечным секущим русла на участки береговой линии. Полученные 3D-полилинии береговых и осевых линий используются в качестве основы для построения ППУВ методом естественной окрестности. Вторым вариантом построения ППУВ применялся при невозможности создать описанный выше набор пространственных данных (точек и линий), обеспечивающих корректное построение поверхности. В этом случае использовалось оригинальное программное приложение, реализующее «волновой» алгоритм построения ППУВ, входными данными для которого являются растры в формате ESRI ASCII, содержащие информацию о 2D-геометрии русла, линии направления основных потоков и абсолютных отметках вдоль линий главного русла.

## Результаты гидродинамического моделирования

Численные эксперименты выполнены с помощью двумерной гидродинамической модели Stream 2D CUDA<sup>5</sup> для рек Амур и Зея. Расчетная сетка (рис. 5) построена при помощи модифицированной версии программы «TRIANA» [1]. По руслу р. Амур и притокам строилась преимущественно четырехугольная криволинейная сетка, ячейки имеют вытянутую вдоль русла форму и максимально адаптированы по направлению течения, на геометрически сложных участках русла и поймы строилась треугольная сетка.

Количество ячеек поперек русла Амура варьировало от 5 до 16 с длинами сторон 50–190 м. На притоках количество ячеек поперек русла составило от 5 до 10 с длинами сторон 100–250 м. Протоки, имеющие ширину более 150 м, выделялись отдельными полигонами, сетка строилась преимущественно четырехугольная (1–2–3 ячейки поперек протоки с длиной ячейки 100–250 м), на некоторых протоках строилась треугольная сетка. Длина сторон ячеек вдоль основного русла, притоков и проток составляла от 100 до 650 м. Фрагмент расчетной сетки в районе Хабаровска представлен на рис. 6.

Дополнительно в модели были выделены автомобильные и некоторые железные дороги, идущие вдоль русла р. Амур, а также пересекающие его пойму. По дорогам строилась четырехугольная сетка в одну ячейку поперек с длиной стороны 100 м. Некоторые железные дороги, имеющие высокие отметки рельефа, предполагались непреливируемыми и не включались в расчетную сетку. Мосты через р. Амур и притоки выделялись отдельным полигоном с четырехугольной сеткой в одну ячейку шириной 100 м, размер ячеек вдоль моста соответствовал ячейкам русла. Острова, заросшие лесом, выделялись отдельными полигонами и покрывались треугольной сеткой, малые острова включались в русловые полигоны.

На пойме строилась треугольная сетка нерегулярной структуры. На территории РФ длина ячеек варьировала от 100 м (в местах примыкания дамб и автомобильных дорог) до 700 м (на удаленных от русел рек участках поймы), но в средней части пойм в основном длина стороны ячейки составила 500 м. На территории КНР вблизи русел, дамб и дорог длина ячейки была выдержана в пределах 500 м, на участках за дамбами строилась более грубая сетка с длинами сторон до 700–1000 м.

В модели для задания гидрографов (графиков изменения во времени расхода воды) определены входные границы по руслам р. Амур и его притоков (Зея, Буря, Сунгари, Усури и Селемджа). Значения коэффициентов шероховатости на различных участках русла и поймы откалиброваны в результате вариантных расчетов из условия наилучшего совпадения с имеющимися натурными данными (измеренные глубины и скорости течения

---

<sup>5</sup> Св-во о гос. регистрации программ для ЭВМ № 2017660266 от 20.09.2017. Программный комплекс STREAM 2D CUDA для расчета течений, деформаций дна и переноса загрязнений в открытых потоках с использованием технологий Compute Unified Device Architecture (на графических процессорах NVIDIA) / Алексюк А.И., Беликов В.В.

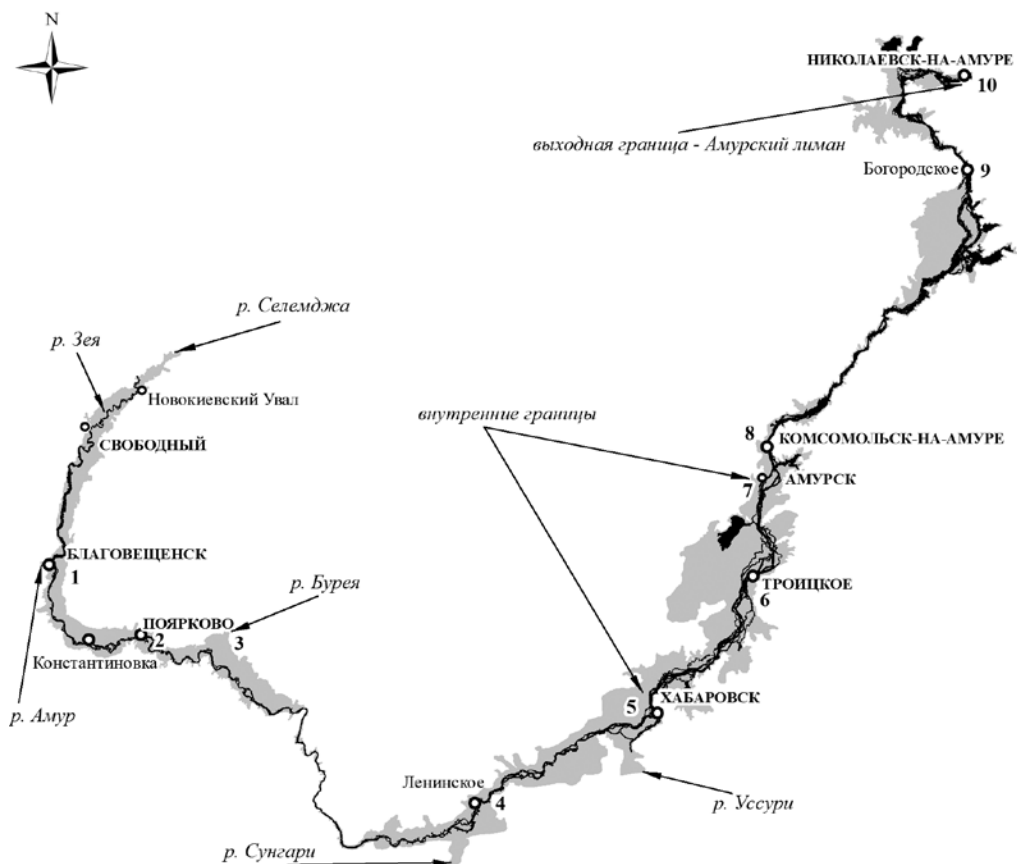


Рис. 5. Расчетная сетка для модели реки Амур: границы модели и контрольные точки

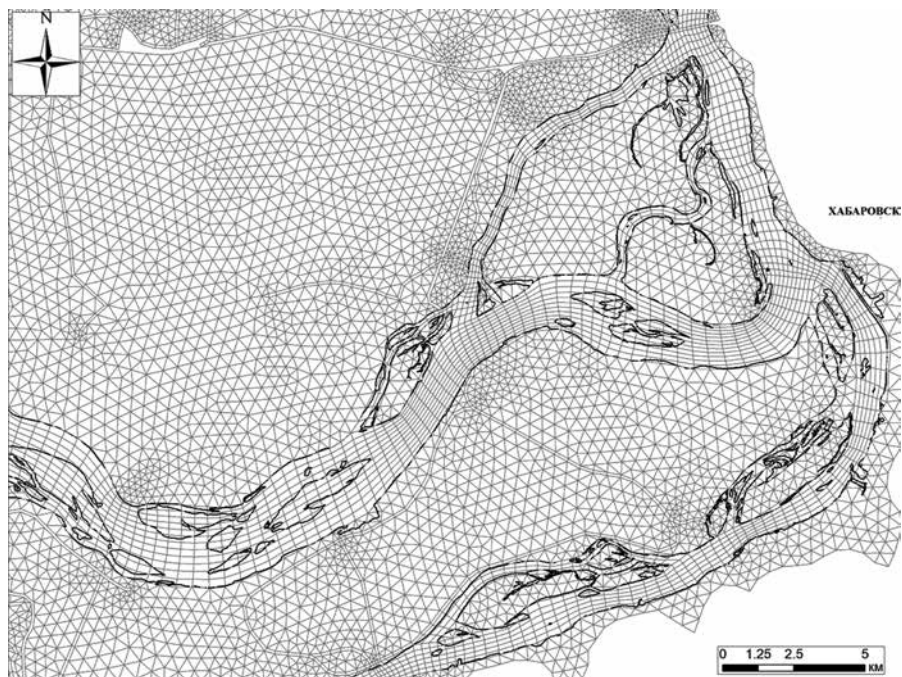


Рис. 6. Фрагмент расчетной гибридной сетки в районе Хабаровска



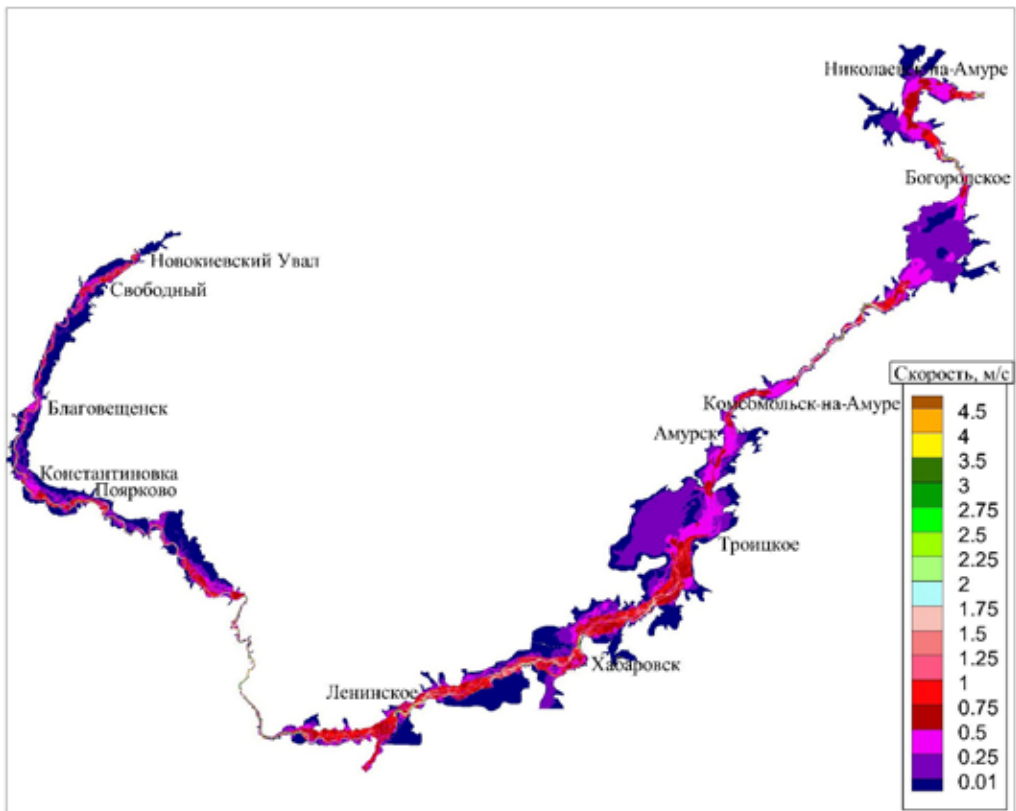


Рис. 7. Скорости течения воды при суммарном расходе воды 43 000 м<sup>3</sup>/с по руслу Амура у г. Хабаровск

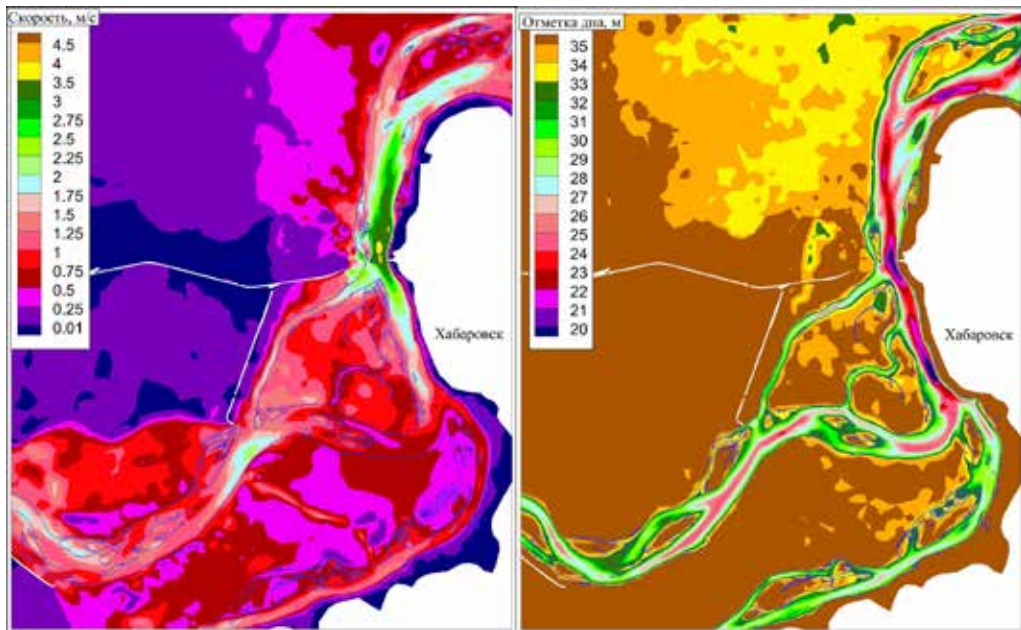


Рис. 8. Фрагмент поля скоростей течения и рельеф дна Амура в районе г. Хабаровск

в различных створах, уклоны водной поверхности на различных участках русла и поймы при разных расходах воды).

Для тестовых расчетов на входных границах задавался искусственный гидрограф, в котором расход в течение недели увеличивался до фиксированного максимального значения, а затем не изменялся. Максимальный суммарный расход воды в створе г. Хабаровск, приблизительно соответствующий наводнению 2013 г., составил 43 000 м<sup>3</sup>/с, а именно: по р. Амур у Благовещенска – 11 610 м<sup>3</sup>/с, по р. Зея – 12 900 м<sup>3</sup>/с, по р. Бурей – 2150 м<sup>3</sup>/с, по р. Сунгари – 12 900 м<sup>3</sup>/с, по р. Уссури – 3440 м<sup>3</sup>/с. На рис. 7 и 8 приведены поля скоростей течения.

## Заключение

Таким образом, на текущий момент построена ЦМР с разрешением 10 м русла-поймы р. Амур от с. Покровка до г. Комсомольск-на-Амуре, включая судоходные притоки: р. Зея (от с. Мазаново до устья), р. Уссури (от г. Лесозаводск до устья). В ближайшее время планируется включить участки р. Бурей (от створа Нижне-Бурейской ГЭС до устья), р. Сунгари (от г. Цязмусы до устья), р. Тунгуска (от с. Архангеловка до устья).

Отметим, что полученный опыт построения ЦМР русла подтвердил не только целесообразность привлечения для этих целей материалов космической съемки, но и необходимость использования именно мультитременных серий космических изображений. Такие мультитременные серии служат источником достаточно детальной информации о рельефе «переходной/трансграничной» зоны русло-пойма (осушаемый участок русла – затапливаемый участок прирусловой поймы). Для решения проблемы актуализации ЦМР разработаны новые подходы и программное обеспечение построения поверхности проектного уровня воды. Созданная ЦМР и технология ее построения особенно актуальны для больших трансграничных рек, таких как Амур. В перспективе они обеспечат основу для международного развития систем моделирования и прогнозирования гидрологического режима и экологического состояния водных объектов, различного рода сценарных расчетов и создания систем поддержки принятия решений и управления водными ресурсами, планирования развития территории на основе бассейнового принципа.

Создана двумерная гидродинамическая модель на основе STREAM-2D (р. Зея от створа Зейской ГЭС до устья, р. Амур от Благовещенска до Комсомольска-на-Амуре). Предполагается ее расширение на всю область, для которой построена актуализированная ЦМР. Результаты численных экспериментов показали, что модель пригодна для проведения систематических расчетов прохождения паводочной волны и перспективна для включения в систему управления водными ресурсами в бассейне Амура.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Беликов В.В. Вычислительный комплекс «TRIANA» – генератор сеток треугольных конечных элементов в произвольных плоских областях. М.: ГосФАП СССР, 1984. П007705.
2. Болгов М.В., Алексеевский Н.И., Гарцман Б.И., Георгиевский В.Ю., Дугина И.О., Ким В.И., Махинов А.Н., Шалыгин А.Л. Экстремальное наводнение в бассейне Амура в 2013 году: анализ формирования, оценки и рекомендации // География и природ. ресурсы. 2015. № 3. С. 17–26.
3. Борщ С.В., Бураков Д.А., Симонов Ю.А. Методика оперативного расчета и прогноза суточного притока воды в водохранилище Зейской ГЭС // Тр. ГУ ГМЦ РФ. 2016. Вып. 359. С. 106–127.
4. Бугаец А.Н., Гончуков Л.В., Соколов О.В., Гарцман Б.И., Краснопеев С.М. Автоматизированная информационная система гидрологического мониторинга и управления данными // Метеорол. и гидрология. 2017. № 3. С. 103–113.
5. Бугаец А.Н., Гончуков Л.В., Неров И.О., Соколов О.В., Мотовилов Ю.Г., Калугин А.С. Гидрологическая модель как web-сервисное приложение: опыт реализации на примере модели ECOMAG // 4-е Виноградовские чтения. Гидрология от познания к мировоззрению. С.-Пб.: С.-Пб. гос. ун-т, 2020. С. 48–53.

6. Бугаец А.Н., Мотовилов Ю.Г., Беликов В.В. и др. Построение интегрированной системы гидрологического моделирования с применением стандарта OpenMI для задач управления риском наводнений (на примере Среднего Амура) // Научное обеспечение реализации «Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года» / ФГБУН Ин-т вод. проблем РАН. 2015. С. 12–20.
7. Бугаец А.Н., Гончуков Л.В. Практические примеры использования стандарта OpenMI для создания интегрированных систем гидрологического моделирования // 2-е Виноградовские чтения. Искусство гидрологии. С.-Пб.: С.-Пб. гос. ун-т, 2015. С. 271–276.
8. Бугаец А.Н. Применение стандарта OpenMI для создания интегрированных систем гидрологического моделирования // Метеорол. и гидрология. 2014. № 7. С. 93–105.
9. Бугаец А.Н., Мотовилов Ю.Г., Гончуков Л.В., Соколов О.В., Гарцман Б.И., Калугин А.С., Морейдо В.М., Фингерт Е.А., Сучилина З.А. Разработка интегрированной системы гидрологического мониторинга на базе модели ECOMAG для бассейна р. Уссури // Водные ресурсы: новые вызовы и пути решения / Ин-т вод. проблем РАН; Рос. информ.-аналит. и науч.-исслед. водохозяйств. центр. Новочеркасск: Лик, 2017. С. 495–500.
10. Данилов-Данильян В.И., Гельфан А.Н., Мотовилов Ю.Г., Калугин А.С. Катастрофическое наводнение 2013 года в бассейне реки Амур: условия формирования, оценка повторяемости, результаты моделирования // Вод. ресурсы. 2014. Т. 41, № 2. С. 111–122.
11. Загрузка и использование цифровой модели рельефа Airbus WorldDEM4Ortho. – [https://blogs.esri-cis.com/2018/05/30/worlddem\\_for\\_ortho\\_airbus\\_for\\_esri\\_using/](https://blogs.esri-cis.com/2018/05/30/worlddem_for_ortho_airbus_for_esri_using/).
12. Калугин А.С., Мотовилов Ю.Г. Модель формирования стока для бассейна реки Амур // Вод. ресурсы. 2018. Т. 45, № 2. С. 121–132.
13. Макаров А.В., Неров И.О. К вопросу об информационно-аналитическом сопровождении деятельности межведомственной рабочей группы по регулированию режимов работы Бурейского, Нижне-Бурейского и Зейского водохранилищ при прохождении паводков в бассейне реки Амур // XIV Междунар. науч.-практ. симпози. и выставка «Чистая вода России»: сб. материалов. Екатеринбург, 2017. С. 68–72. – <https://wrm.ru/files/chvr2017.pdf>.
14. Мотовилов Ю.Г., Балыбердин В.В., Гарцман Б.И., Гельфан А.Н., Морейдо В.М., Соколов О.В. Краткосрочный прогноз притока воды в Бурейское водохранилище на основе модели ECOMAG с использованием метеорологических прогнозов // Вод. хоз-во России: проблемы, технологии, управление. 2017. № 1. С. 78–102.
15. Мотовилов Ю.Г., Данилов-Данильян В.И., Дод Е.В., Калугин А.С. Оценка противопаводкового эффекта действующих и планируемых водохранилищ в бассейне Среднего Амура на основе физико-математических гидрологических моделей // Вод. ресурсы. 2015. Т. 42, № 5. С. 476–491.
16. Неров И.О., Бугаец А.Н. Результаты и перспективы использования гидродинамической модели распространения паводочных волн в бассейне реки Амур // Вод. хоз-во России: проблемы, технологии, управление. 2017. № 6. С. 48–61.
17. Неров И.О., Бугаец А.Н., Краснопеев С.М., Мотовилов Ю.Г., Калугин А.С., Беликов В.В., Гончуков Л.В., Соколов О.В., Розанов В.В. Система информационного обеспечения гидрологического моделирования в бассейне реки Амур // Наука и инновационные технологии на службе водной безопасности: сб. науч. тр. / Сеть водохозяйственных организаций Восточной Европы, Кавказа, Центральной Азии. Ташкент, 2019. С. 230–237.
18. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 18. Дальний Восток. Вып. 1. Верхний и средний Амур (от истоков до с. Помпеевка). Л.: Гидрометеиздат, 1966. 782 с.
19. Borsch S., Khristoforov A., Krovotyntsev V., Leontieva E., Simonov Yu., Zatyagalova V. A basin approach to a hydrological service delivery system in the Amur River Basin // Geosciences. 2018. Vol. 8, iss. 3. 93.
20. Bugaets A.N., Gonchukov L.V., Sokolov O.V., Gartsman B.I., Krasnopeev S.M. Information system to support regional hydrological monitoring and forecasting // Water Resources. 2018. Vol. 45, suppl. iss. 1. P. 59–66.
21. Bugaets A., Gartsman B., Gelfan A., Motovilov Yu., Sokolov O., Gonchukov L., Kalugin A., Moreido V., Suchilina Z., Fingert E. The integrated system of hydrological forecasting in the Ussuri River Basin based on the ECOMAG model // Geosciences. 2018. Vol. 8, iss. 1. 5.
22. Krasnopeyev S.M., Shulkin E.V., Pashinskiy S.S. The system of spatial interpretation of hydrological information for automated information system of hydrological monitoring and data management of PRIMHYDROMET // 2018 3rd Russian-Pacific Conf. on Computer Technology and Applications (RPC), Vladivostok, Russia, 18–25 Aug. 2018. 5 p. DOI: 10.1109/RPC.2018.8482163.
23. Jarihani A.A., Callow J.N., McVicar T.R., Van Niel T.G., Larsen J.R. Satellite-derived Digital Elevation Model (DEM) selection, preparation and correction for hydrodynamic modelling in large, low-gradient and data-sparse catchments // J. Hydrol. 2015. Vol. 524. P. 489–506. DOI:10.1016/j.jhydrol.2015.02.049.
24. Jung H.C., Jasinski M.F. Sensitivity of a floodplain hydrodynamic model to satellite-based DEM scale and accuracy: Case study – the Atchafalaya Basin // Remote Sens. 2015. Vol. 7. P. 7938–7958. DOI: 10.3390/rs70607938.
25. Yamazaki D., Baugh C.A., Bates P.D., Kanae S., Alsdorf D.E., Oki T. Adjustment of a spaceborne DEM for use in floodplain hydrodynamic modeling // J. Hydrol. 2012. Vol. 436–437. P. 81–91. DOI:10.1016/j.jhydrol.2012.02.045.