

Геоинформатика. 2022. № 4. С. 28–35.  
*Geoinformatika*. 2022;(4):28–35.

Материалы VI Всероссийской конференции ITES-2022

Научная статья

УДК 004.550

<https://doi.org/10.47148/1609-364X-2022-4-28-35>

## Потенциал материалов ДЗЗ для восстановления высокодетальной ЦМР затапливаемой зоны прирусловой поймы крупных рек

© 2022 г. — Сергей Михайлович Краснопеев<sup>1, a)</sup>, Игорь Олегович Неров<sup>2, b)</sup>, Андрей Николаевич Бугаец<sup>1, c)</sup>

<sup>1</sup> ФГБУН Тихоокеанский институт географии ДВО РАН; Россия, г. Владивосток

<sup>2</sup> ФГБУ Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов, Дальневосточный филиал; Россия, г. Владивосток

<sup>a)</sup>sergeikr@tigdvo.ru, <sup>b)</sup>inerov@bk.ru, <sup>c)</sup>andreybugaets@yandex.ru

**Аннотация:** Представлены результаты применения материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для решения задачи построения высокодетальной ЦМР затапливаемых участков поймы, с целью повышения точности численного гидродинамического моделирования для прогноза распространения паводковой волны и обеспечения деятельности по смягчению масштабов негативного воздействия вод в бассейне р. Амур, являющегося одним из самых паводкоопасных районов Российской Федерации. Материалы космической съёмки отечественными космическими аппаратами «Ресурс-П» и «Канопус-В» позволили зафиксировать актуальную конфигурацию русла р. Амур, а использование мультитременной серии космических изображений совместно с результатами гидрологического мониторинга уровня воды наблюдательной сетью Росгидромета повысил степень корректности воспроизведения рельефа дна русла и затапливаемых участков прирусловой поймы. Результаты эксперимента на модельном участке в районе с. Троицкое (нижнее течение р. Амур), характеризующемся незначительными перепадами высот, позволяют утверждать, что мультитременные серии космических изображений с учётом результатов гидрологического мониторинга уровня воды наблюдательной сетью Росгидромета могут служить источником достаточно детальной информации о рельефе затапливаемого участка прирусловой поймы крупных рек.

**Ключевые слова:** цифровая модель рельефа, дистанционное зондирование Земли, поймы крупных рек

*Для цитирования:* Краснопеев С.М., Неров И.О., Бугаец А.Н. Потенциал материалов ДЗЗ для восстановления высокодетальной ЦМР затапливаемой зоны прирусловой поймы крупных рек // Геоинформатика. — 2022. — № 4. — С. 28–35. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2022-4-28-35>.

VI All-Russian Conference ITES-2022

Original article

## The potential of remote sensing materials to restore of a highly detailed DEM of the floodable part of the river floodplain of large rivers

© 2022 — Sergey M. Krasnopeyev<sup>1, a)</sup>, Igor O. Nerov<sup>2, b)</sup>, Andrey N. Bugaets<sup>1, c)</sup>

<sup>1</sup>Federal State Budgetary Institution of Science the Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (PGI FEB RAS); Vladivostok, Russia

<sup>2</sup>Federal State Budgetary Institution Russian Research Institute for Integrated Use and Protection of Water Resources, Far Eastern Branch; Vladivostok, Russia

<sup>a)</sup>sergeikr@tigdvo.ru, <sup>b)</sup>inerov@bk.ru, <sup>c)</sup>andreybugaets@yandex.ru

**Abstract:** The results of the application of remote sensing data are presented to solve the problem of constructing a highly detailed DEM of floodable part of the river floodplain in order to improve the accuracy of numerical hydrodynamic modeling. Hydrodynamic modeling is necessary to predict the spread of a flood wave and to ensure activities to mitigate the scale of the negative impact of waters in the Amur River basin, which is one of the most flood-prone areas of the Russian Federation. Remote sensing image data acquired from domestic spacecraft "Resurs-P" and "Canopus-V" allowed to fix the actual configuration of the Amur riverbed, and the use of a time series of satellite images together with the results of hydrological monitoring of the water level by the observation network of Roshydromet increased the degree of correctness of reproducing the relief of the floodable part of the river floodplain. The results of the experiment on a model site in the area of the village of Troitskoye (lower course of the Amur River), characterized by minor height changes, allow us to assert that a time series of satellite images, taking into account the results of hydrological monitoring of the water level by the observation network of Roshydromet, can serve as a source of sufficiently detailed information about the relief of the flooded area of the river floodplain of large rivers.

**Key words:** digital elevation model, remote sensing, floodplain of large rivers

*For citation:* Krasnopeyev S.M., Nerov I.O., Bugaets A.N. The potential of remote sensing materials to restore of a highly detailed DEM of the floodable part of the river floodplain of large rivers. *Geoinformatika*. 2022;(4):28–35. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2022-4-28-35>. In Russ.

## Введение

Одним из самых паводкоопасных районов Российской Федерации является бассейн р. Амур.

Он характеризуется наличием нескольких очагов формирования наводнений — Верхнеамурский, Зейско-Бурейнский, Сунгарийский и Уссурийский. Их доли в стоке Амура крайне динамичны. Высокая степень синхронности развития и добегания паводочных волн, сформированных в разных областях водосбора Амура, как правило, является причиной формирования катастрофических наводнений [1, 2]. Так, в результате катастрофического наводнения на Дальнем Востоке в 2013 г. общий объём ущерба составил 527 миллиардов рублей [3], а размер ущерба, нанесённого паводком в Иркутской области в 2019 году оценили в 35 миллиардов рублей [4].

Для минимизации наносимого наводнениями социально-экономического и экологического ущерба, необходимо, в первую очередь, усовершенствовать методы оценки опасности, риска и возможных размеров будущих наводнений. Такие инструменты активно разрабатываются. В качестве примера можно указать следующие:

- «Информационная система промышленного уровня для мониторинга, прогнозирования и раннего оповещения наводнений в бассейне р. Амур» («ГИС Амур») [5].
- «Геоинформационная система чрезвычайных ситуаций» («ГИСЧС.РФ») [6].
- «Сервис управления рисками опасных природных процессов» — цифровая онлайн платформа <https://geoinsurance.ru>, предоставляющая доступ сотрудникам страховых компаний, органам исполнительной власти и другим заинтересованным организациям [7].

Помимо усовершенствования методов оценки опасности, риска и возможных размеров будущих наводнений, необходимо повысить заблаговременность и точность прогнозов формирования и развития наводнений а также разработать инструменты, обеспечивающие возможность выработки научно-обоснованных методов и средств планирования и реализации надежных и экономически эффективных структурных мероприятий — строительства водохранилищ, защитных дамб, изменения морфометрии русел и т.п. Применительно к бассейну р. Амур одной из наиболее актуальных задач является оперативное информационно-аналитическое обеспечение деятельности по установлению оптимальных режимов пропусков паводков Бурейским, Нижне-Бурейским и Зейским водохранилищами. Работа в том направлении уже ведется [8].

В качестве инструментов решения подобной задачи рассматриваются численные 2D-3D гидродинамические модели русловых потоков, в комплексе с:

- автоматизированными системами гидрометеорологического мониторинга,
- математическими моделями формирования речного стока на водосборе,
- мезомасштабными метеорологическими моделями,
- моделями функционирования водохозяйственных систем и экологического риска.

Но подобные численные гидродинамические модели речных течений требуют задания так называемых «граничных условий». Важнейшим из них является цифровая модель рельефа (ЦМР) русла-поймы реки, которая должна характеризоваться высокой степенью детальности [9]. Это особенно актуально на пологих участках поймы с небольшими перепадами высот [10].

## Материалы и методы

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. Уссури (от с. Шереметьево до устья); р. Тунгуска (от с. Архангелька до устья) подробно описаны в [11].

В данной статье рассматривается вопрос построения высокодетальной ЦМР затопляемых участков поймы крупных рек, необходимой для обеспечения гидродинамических моделей корректной морфометрической информацией, и роли материалов ДЗЗ в решении данной задачи. Затопляемые участки поймы характеризуются, как правило, небольшими перепадами высот. Такие формы рельефа крайне затруднительно зафиксировать на топографических картах. Кроме того, отсутствует сплошное покрытие территории крупномасштабными топографическими картами.

Альтернативой могли бы служить материалы аэрофотосъёмки или воздушно лазерного сканирования. Однако, такое решение требует проведения комплекса полевых и камеральных работ, сопряжённых с финансовыми затратами. В качестве более эффективного предложено решение, основанное на картировании урезов воды по мультिवременной серии космических изображений и результатам гидрологического мониторинга уровня воды наблюдательной сетью Росгидромета. Мультिवременная серия космических изображений формировалась на основе снимков высокого и сверхвысокого разрешения с отечественных космических аппаратов «Канопус-В» и «Ресурс-П», соответственно.

Вообще, материалы ДЗЗ (как оптические, так и радарные) являются важнейшим источником оперативной и актуальной информации о конфигурации русла и о морфометрических характеристиках как самого русла, так и прилегающей поймы, особенно затопляемой ее части. Лоцманские карты, имеющиеся в открытой продаже, к сожалению, не

отражают актуальные данные гидрографических съемок.

Так, например, в процессе работы над ЦМР русла-поймы р. Амур и ее судоходных притоков были выявлены факты значимых изменений в конфигурации русла; отсутствие на лоцманской карте ряда проток, оказывающих существенное влияние на гидродинамику течения; изменения конфигурации русла, существенно влияющего на режим течения. Кроме того, имеют место заметные изменения положения береговой линии при колебаниях уровня в 1,5-2 м на участках с небольшими глубинами (рис. 1).

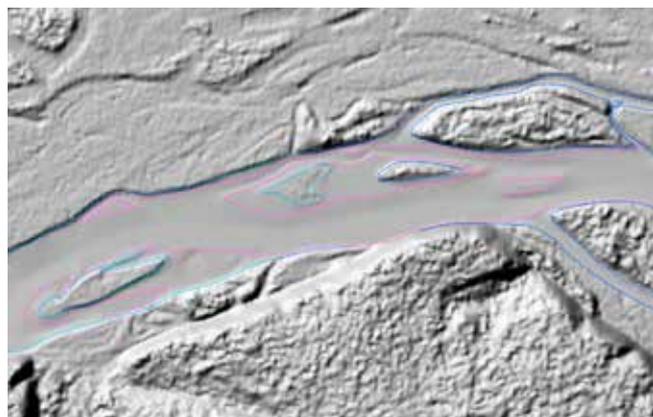
Мультивременные серии космических изображений достаточно широко используются на практике для мониторинга русловых процессов [12, 13]. В нашем же случае решается задача генерации береговой линии в форме 3D-объекта в государственной системе высот, БС77.

Район исследования включал участки прирусловой поймы в районе населенных пунктов, расположенных от г. Хабаровск ниже по течению до г. Амурск (рис. 2). Для выбора модельного участка были сформулированы следующие критерии:

- пологий участок прирусловой поймы с небольшими перепадами высот;
- наличие достаточного количества снимков (не менее 5) на данный участок прирусловой поймы;
- даты съёмки должны соответствовать моментам, уровни подъёма воды в которые позволяют сформировать максимально широкий диапазон значений;
- в границах данного участка должен располагаться водомерный пост.

Ориентируясь на сформулированные выше критерии выбора, в качестве модельного был выбран участок в районе с. Троицкое.

**Рис. 1.** Фрагмент цифровой модели русла-поймы р. Амур (в тенях) на участке Джалинда-Черняево. Перепад уровня – 1,5 м  
*Fig. 1. A fragment of a digital model of the riverbed-floodplain of the Amur River (in the shadows) on the Dzhalinda-Chernyaevo section. Level changes – 1,5 m*



Для данного участка удалось сформировать временную последовательность из 10 изображений, соответствующих диапазону перепада уровней воды в 549 см. В таблице 1 приведена информация об идентификаторах изображений, датах съёмки, относительных (относительно нуля поста, НП) и абсолютных (в балтийской системе высот 1977 г., БС77) уровнях подъёма воды.

На рис. 3 показана рабочая область и плотность покрытия модельного участка космическими изображениями.

На рис. 4 показаны снимки, формирующие временную серию и относительные уровни (см) на дату съёмки.

Одной из трудоемких задач является формирование 3D-образа береговой линии в 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.

Для формирования 3D-образа береговой линии знания абсолютного значения уровня воды на гидрологическом посту недостаточно. Необходима дополнительная информация об уклоне водной поверхности на рассматриваемом участке, для вычисления которого нужны некоторые неизменные или медленно меняющиеся характеристики конкретного водотока.

**Рис. 2.** Схема расположения потенциальных модельных участков

*Fig. 2. The location of potential model sites*

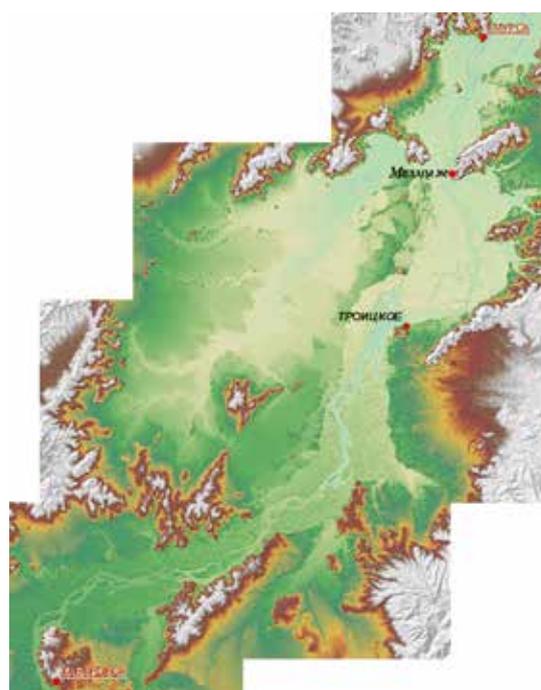


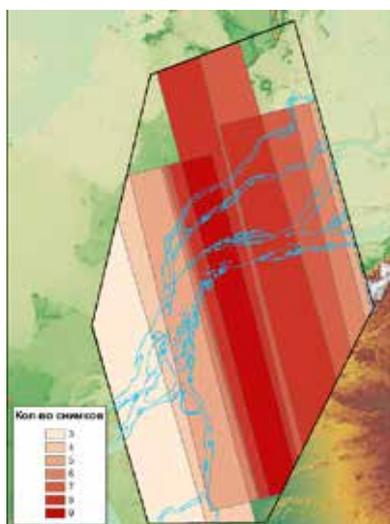
Табл. 1. Мультивременная серия изображений

Tab. 1. Time series of satellite images

КА	Идентификатор снимка	Дата съёмки	Над НП, см	Абс, м БС77
«Канопус-В»	fr_KV5_01917_01914_01_3NP2_08_T_S_401120_011019	02.05.2019	<b>-106</b>	19,46
«Канопус-В»	fr_KV5_01843_01838_01_3NP2_08_T_S_422114_230719	27.04.2019	<b>-94</b>	19,58
«Канопус-В»	fr_KVIK_04690_04689_03_3NP2_20_T_S_431613_240718	19.05.2018	<b>-17</b>	20,31
«Ресурс-П»	0041_0472_15996_1_05991_07	01.05.2016	<b>26</b>	20,78
«Канопус-В»	fr_KV4_02342_02340_01_3NP2_20_T_S_283615_241218	05.07.2018	<b>87</b>	21,39
«Канопус-В»	fr_KV6_04497_04495_02_3NP2_20_T_S_495015_190120	19.10.2019	<b>150</b>	22,02
«Канопус-В»	fr_KV5_02432_02430_01_3NP2_20_T_S_283915_051019	05.06.2019	<b>203</b>	22,55
«Канопус-В»	fr1_KV3_03388_03386_01_3NP2_20_T_S_314111_311018	12.09.2018	<b>245</b>	22,97
«Канопус-В»	fr_KV3_02961_02961_02_3NP2_83_T_S_201513_231018	15.08.2018	<b>364</b>	24,16
«Канопус-В»	fr_KV3_09126_09124_01_3NP2_12_T_S_280610_081219	25.09.2019	<b>443</b>	24,95

Рис. 3. Рабочая область и плотность покрытия модельного участка изображениями

Fig. 3. Working area and coverage density of the model area with images

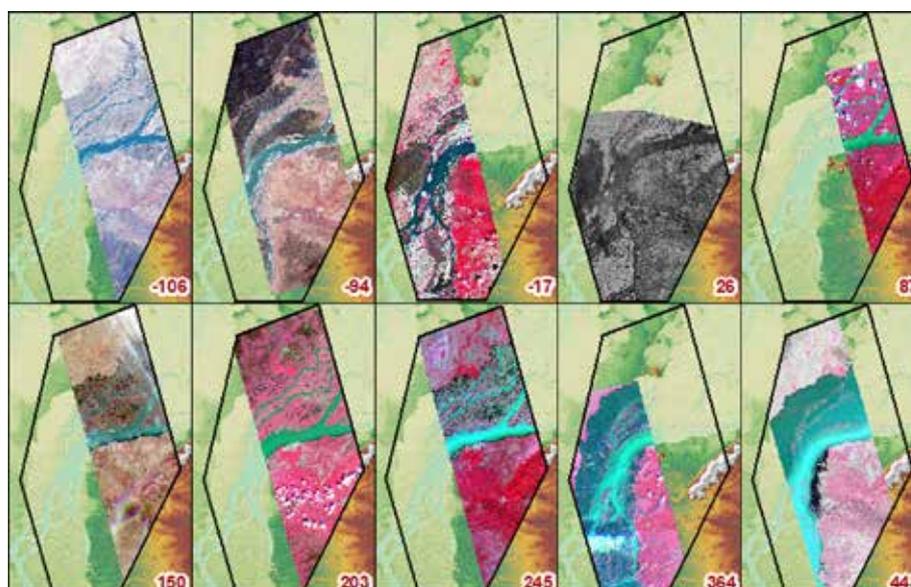


Одной из таких характеристик является, так называемая поверхность проектного уровня воды (ППУВ), от которой даются отметки глубин на лоцманских картах внутренних водных путей. Проектный уровень воды (ПУВ) является основой для составления технической документации русловых съемок, гидрологических и русловых исследований. Значение ПУВ дается относительно нуля графика опорного водомерного поста. ПУВ устанавливается для всех опорных гидрологических постов, а значение нуля поста вычисляется в государственной системе высот.

Зная проектные уровни на смежных гидрологических постах и взяв, в качестве рабочего, предположение о линейном характере изменения проектного уровня воды на рассматриваемом участке, можно вычислить уклон и построить поверхность проектного уровня воды [11]. Тогда формирование 3D-образа береговой линии можно реализовать путём проектирования 2D-образа береговой линии на

Рис. 4. Снимки, формирующие временную серию и относительные уровни (см) на дату съёмки

Fig. 4. Images forming a time series and relative levels (cm) on the date of shooting



поверхность проектного уровня и «подъёма» её на величину, равную превышению рабочего уровня воды над проектным уровнем:

$$H_{\text{абс}}(x, y) = H_{\text{пр}}(x, y) + \Delta H, \quad (1)$$

где  $H_{\text{абс}}(x, y)$  – Z-метрика 3D-образа береговой линии;  $H_{\text{пр}}(x, y)$  – поверхность проектного уровня;  $\Delta H$  – превышение текущего уровня воды над проектным уровнем.

Поскольку профиль береговой линии характеризуется высокой степенью изрезанности, а следовательно и неравномерностью вертикального профиля, то для построения цифровых 3D-образов береговых линий потребовалась её сегментация (рис. 5). ППУВ и информация об уровне подъема воды относительно нуля поста на дату съемки позволяют определить отметки высот начальной и конечной точек сегмента в государственной системе высот. Тогда согласно принятой гипотезе о линейном характере изменения уровня воды, можно будет воспользоваться процедурой преобразования 2D-образа береговой линии в 3D-образ.

**Рис. 5.** Пример сегментация береговой линии

*Fig. 5. An example of the segmentation of the coastline*



**Рис. 6.** Диапазон изменения положения линии уреза воды (затапливаемая зона прирусловой поймы)

*Fig. 6. The range of changes in the position of the water cut line (Floodable area of the riverine floodplain)*



**Результаты**

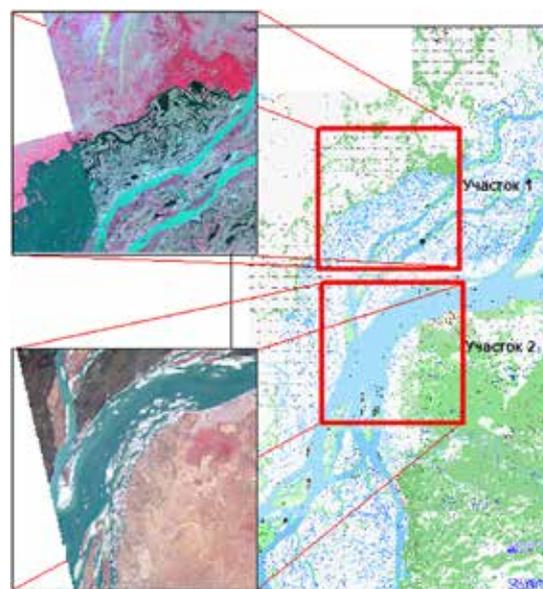
Анализ пространственного изменения положения береговой линии в зависимости от динамики уровня воды позволил определить размеры затапливаемого участка поймы. При перепаде уровня воды на рассматриваемом участке в 549 см, соответствующий диапазон изменения положения линии уреза воды на рассматриваемом участке достигает 6 км (рис. 6).

Совокупность 3D-образов береговых линий, соответствующих различным уровням подъема воды, позволила восстановить детальный рельеф затапливаемого участка прирусловой поймы. В рассматриваемом эксперименте использовался ортотрансформированный панхроматический снимок «Ресурс-П» с разрешением 0,7 м и снимки «Канопус-В», комплексированные из ортотрансформированных панхроматического и многоспектрального, с разрешением 2,1 м.

Для демонстрации результатов выбраны 2 участка, указанные на рис. 7.

**Рис. 7.** Участки, выбранные для демонстрации результатов

*Fig. 7. Areas selected to demonstrate the results*



На рис. 8 для участков № 1 и № 2, демонстрируется ЦМР, вычисленная по результатам мониторинга положения береговой линии и гидрологического мониторинга уровня воды наблюдательной сетью Росгидромета (1, 4), с топографической основой масштаба 1:25 000 в версии для открытого пользования (2, 5), а также с общедоступной ЦМР SRTM30 с разрешением 30 м (3, 6).

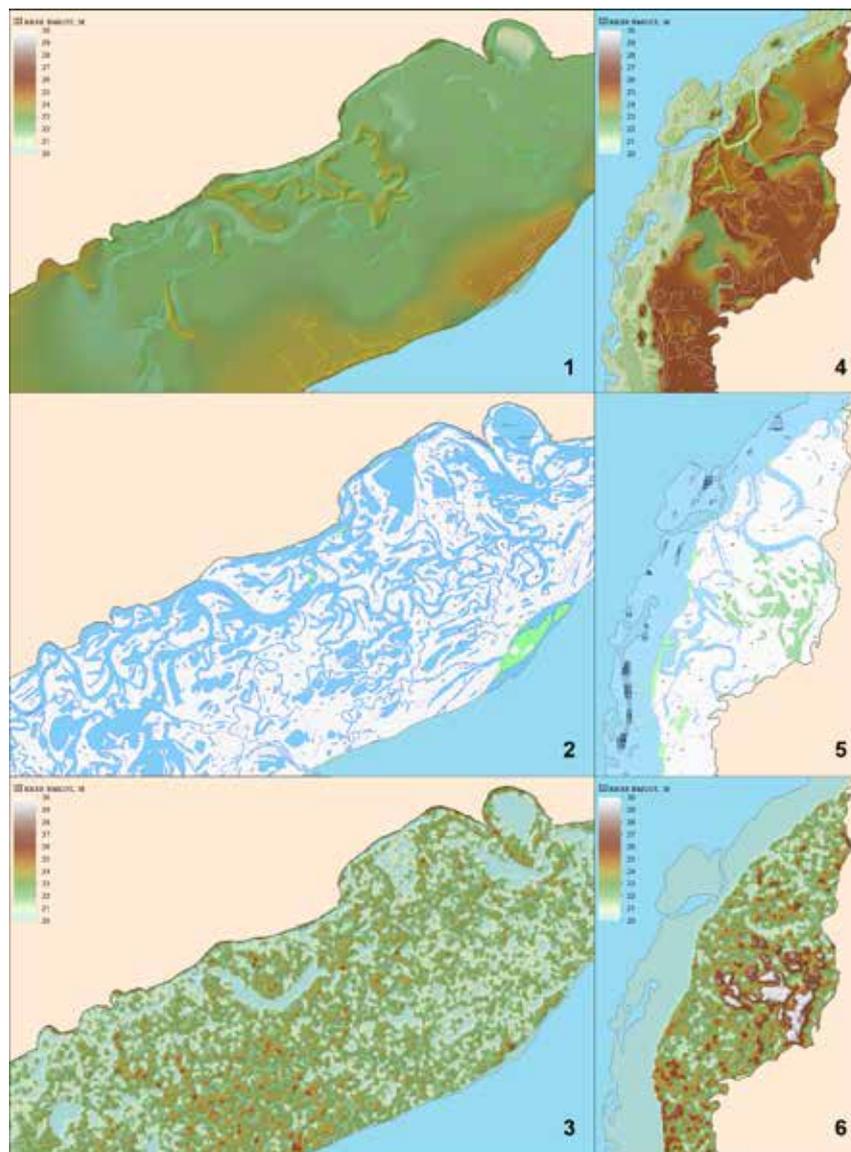
### Заключение

В настоящее время ЦМР русла и поймы является ключевым компонентом для создания систем гидродинамического моделирования русловых потоков, пространственного анализа структуры течений, прогноза уровней воды и потенциальных зон затопления. Точность подобных расчетов и прогно-

зов напрямую зависит от корректности представления рельефа дна и поймы водотоков. В представленном исследовании продемонстрирован потенциал материалов ДЗЗ для восстановления высокодетальной ЦМР затопляемой зоны прирусловой поймы. Полученные результаты эксперимента на модельном участке в районе с. Троицкое (нижнее течение р. Амур), характеризующемся незначительными перепадами высот, позволяют утверждать, что мультитременные серии космических изображений с учётом результатов гидрологического мониторинга уровня воды наблюдательной сетью Росгидромета могут служить источником достаточно детальной информации о рельефе затопляемого участка прирусловой поймы крупных рек.

**Рис. 8.** Сравнение ЦМР, вычисленной по результатам мониторинга положения береговой линии (1, 4), с информацией о рельефе, предоставляемой топографическими картами масштаба 1 : 25 000 в версии для открытого пользования (2, 5) и общедоступной ЦМР SRTM30 (3, 6)

*Fig. 8. Comparison of the DEM calculated from the results of monitoring the position of the coastline (1, 4) with the relief information provided by 1:25 000 scale topographic maps in the public version (2, 5) and the available at no charge SRTM30 DEM (3, 6)*



## Список источников

1. 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 // Чистая вода России: сб. материалов XIV Междунар. науч.-практ. симпоз. и выставки (Екатеринбург, 18–20 апреля 2017 г.). – С. 68–72. – Режим доступа: <https://wrm.ru/files/chvr2017.pdf> (дата обращения 15.11.2022).
2. Ресурсы поверхностных вод СССР. – Т. 18. Дальний Восток / Под ред. А.П. Муранова. – Вып. 1. Верхний и средний Амур (от истоков до с. Помпеевка). – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 782 с.
3. Наводнение на Дальнем Востоке в 2013 году [Электронный ресурс] // РИА Новости. – 20.07.2014. – Режим доступа: <https://ria.ru/20140720/1016605356.html> (дата обращения 15.11.2022).
4. Ясакова Е. Ущерб от наводнений в Иркутской области оценили в 35 млрд. рублей [Электронный ресурс] // Российская газета. – 22.08.2019. – Режим доступа: <https://rg.ru/2019/08/22/reg-sibfo/ushcherb-ot-navodnenij-v-irkutskoj-oblasti-ocenili-v-35-mlrd-rublej.html> (дата обращения 15.11.2022).
5. ГИС «МЕТЕО ДВ». Геоинформационный портал Дальневосточного региона РФ [Электронный ресурс] / ФГБУ «Дальневосточное УГМС». – Режим доступа: <https://meteo-dv.ru> (дата обращения 15.11.2022).
6. Геоинформационная система моделирования паводка разработана в Новосибирске [Электронный ресурс] // Интерфакс-Россия. – 27.01.2017. – Режим доступа: <https://www.interfax-russia.ru/moscow/novosti-mchs/geoinformacionnaya-sistema-modelirovaniya-pavodka-razrabotana-v-novosibirsk> (дата обращения 15.11.2022).
7. Новиков А.А., Киречко М.В. Использование данных ДЗЗ и гидрологических наблюдений в цифровой онлайн платформе «Сервис управления рисками опасных природных процессов» [Электронный ресурс] // Дистанционное зондирование Земли из космоса в России. – 2020. – Вып. 1 – С. 56–62. – Режим доступа: [https://www.roscosmos.ru/media/pdf/dzz/dzz-2020-01\\_n.pdf](https://www.roscosmos.ru/media/pdf/dzz/dzz-2020-01_n.pdf) (дата обращения 15.11.2022).
8. 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. – Вып. 13. – Ташкент: НИЦ МКВК, 2019. – С. 230–237.
9. Yamazaki D., Vaughn C.A., Bates P.D., Kanae S., Alsdorf D.E., Oki T. Adjustment of a spaceborne DEM for use in floodplain hydrodynamic modeling // Journal of Hydrology. – 2012. – Vol. 436–437. – pp. 81–91. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2012.02.045.
10. 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 Sensing. – 2015. – Vol. 7. – Iss. 6. – pp. 7938–7958. DOI: 10.3390/rs70607938.
11. Неров И.О., Краснопеев С.М., Бугаец А.Н., Беликов В.В., Глотко А.В., Борисова Н.М., Васильева Е.С., Кралевацкая Ю.В. Опыт создания цифровой модели рельефа для гидродинамических расчетов в бассейне р. Амур // Вестник Дальневосточного отделения РАН. – 2021. – № 6 (220). – С. 45–55. DOI: 10.37102/0869-7698\_2021\_220\_06\_04.
12. Кравцова В.И., Вахнина О.В., Харьковец Е.Г. Особенности методики дистанционных исследований дельт северных рек (на примере дельты Енисея) // Геоинформатика. – 2019. – № 4. – С. 54–64.
13. Кравцова В.И., Вахнина О.В., Лебедева С.В., Харьковец Е.Г., Чалова Е.Р. Методика исследований динамики дельт приливных северных рек по космическим снимкам (на примере Северной Двины) // Геоинформатика. – 2022. – № 1. – С. 17–31. DOI: 10.47148/1609-364X-2022-1-17-31.

## References

1. Makarov A.V., Nerov I.O. On the issue of information-analytical support of activity of the interdepartmental working group on regulation of work at the Bureya, and Zeya Nizhne-Bureiskaya reservoirs during the passage of floods in the Amur River basin. In: Clean Water of Russia: proceedings of the XIV International Scientific and Practical Symposium and Exhibition (Ekaterinburg, 18-20 April 2017). p. 68–72. Available at: <https://wrm.ru/files/chvr2017.pdf> (accessed 15.11.2022).
2. Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Vol. 18. Dal'nii Vostok. Muranov A.P. (ed.). Iss. 1. Verkhniy i sredniy Amur (ot istokov do s. Pompeevka). [Surface water resources of the USSR. Vol. 18. Far East. Iss. 1. Upper and Middle Amur (from the origins to the village of Pompeevka)]. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1966. 782 p.
3. Navodnenie na Dal'nem Vostoke v 2013 godu [Flooding in the Far East in 2013]. RIA Novosti. 20.07.2014. Available at: <https://ria.ru/20140720/1016605356.html> (accessed 15.11.2022).
4. Yasakova E. Ushcherb ot navodnenii v Irkutskoi oblasti otsenili v 35 mlrd. rublei [Damage from floods in the Irkutsk region was estimated at 35 billion]. Rossiyskaya Gazeta. 22.08.2019. Available at: <https://rg.ru/2019/08/22/reg-sibfo/ushcherb-ot-navodnenij-v-irkutskoj-oblasti-ocenili-v-35-mlrd-rublej.html> (accessed 15.11.2022).
5. GIS "METEO DV". Geoinformation System of the Far Eastern region of the Russian Federation. Available at: <https://meteo-dv.ru/en/> (accessed 15.11.2022).
6. Geoinformatsionnaya sistema modelirovaniya pavodka razrabotana v Novosibirsk [The flood modeling geographic information system is developed in Novosibirsk]. Interfax-Russia. 27.01.2017. Available at: <https://www.interfax-russia.ru/moscow/novosti-mchs/geoinformacionnaya-sistema-modelirovaniya-pavodka-razrabotana-v-novosibirsk> (accessed 15.11.2022).
7. Novikov A.A., Kirechko M.V. Ispol'zovanie dannykh DZZ i gidrologicheskikh nablyudeni v tsifrovoi onlain platforme «Servis upravleniya riskami opasnykh prirodnykh protsessov» [The use of remote sensing data and hydrological observations in the digital online platform "Service for Risk Management of hazardous natural processes"]. Distantionnoe zondirovanie Zemli iz kosmosa v Rossii. 2020;1:56–62. Available at: [https://www.roscosmos.ru/media/pdf/dzz/dzz-2020-01\\_n.pdf](https://www.roscosmos.ru/media/pdf/dzz/dzz-2020-01_n.pdf) (accessed 15.11.2022).
8. Nerov I.O., Bugaets A.N., Krasnopeev S.M., Motovilov Yu.G., Kalugin A.S., Belikov V.V., Gonchukov L.V., Sokolov O.V., Rozanov V.V. System of information support of hydrological modeling in the basin of the Amur river. In: Nauka i innovatsionnye tekhnologii na sluzhbe vodnoi bezopasnosti. Iss. 13. Tashkent: NITS MKVK; 2019. pp. 230–237.

9. 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. *Journal of Hydrology*. 2012;436–437:81–91. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2012.02.045.
10. 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 Sensing*. 2015;7(6):7938–7958. DOI: 10.3390/rs70607938.
11. Nerov I.O., Krasnopeyev S.M., Bugaets A.N., Belikov V.V., Glotko A.V., Borisova N.M., Vasileva E.S., Krolevetskaya Yu.V. Experience in digital terrain model generation for hydrodynamic modeling in the Amur River Basin. *Vestnik of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2021;220:45–55. DOI: 10.37102/0869-7698\_2021\_220\_06\_04.
12. Kravtsova V.I., Vachnina O.V., Kharkovetz E.G. Features of remote sensing techniques for study the dynamics of northern river deltas (using the example of the Yenisei river delta). *Geoinformatika*. 2019;4:54–64.
13. Kravtsova V., Vachnina O., Lebedeva S., Charkovets E., Chalova E. Features of the methodology for studying the dynamics of tidal rivers deltas in the northern regions using satellite images (the Northern Dvina as example). *Geoinformatika*. 2022;1:17–31. DOI: 10.47148/1609-364X-2022-1-17-31.

Статья поступила в редакцию 02.11.2022, одобрена после рецензирования 04.11.2022, принята к публикации 09.12.2022.  
The article was submitted 02.11.2022; approved after reviewing 04.11.2022; accepted for publication 09.12.2022.

### Информация об авторах

#### Краснопеев Сергей Михайлович

Кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник

Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения РАН

690041 Владивосток, ул. Радио, д. 7

e-mail: sergeikr@tigdvo.ru

ORCID ID: 0000-0001-8409-7062

SCOPUS ID: 244809700

Researcher ID: K-2970-2018

SPIN: 9063-6187

#### Неров Игорь Олегович

Заведующий водохозяйственным отделом

Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов, Дальневосточный филиал

690014 Владивосток, проспект Красного Знамени, д. 66

e-mail: inerov@bk.ru

SPIN: 6387-7650

#### Бугаец Андрей Николаевич

Кандидат технических наук, руководитель лаборатории

Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения РАН

690041 Владивосток, ул. Радио, д. 7

e-mail: andreybugaets@yandex.ru

WOS Research ID: Q-5730-2016

SCOPUS ID: 6507642073

SPIN: 1441-0287

### Information about authors

#### Sergey M. Krasnopeyev

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Leading Researcher

Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (PGI FEB RAS)

7, Radio str., Vladivostok, 690041, Russia

e-mail: sergeikr@tigdvo.ru

ORCID ID: 0000-0001-8409-7062

SCOPUS ID: 244809700

Researcher ID: K-2970-2018

SPIN: 9063-6187

#### Igor O. Nerov

Head of the Water Management Department

Russian Research Institute for Integrated Use and Protection of Water Resources, Far Eastern Branch

66, Krasnoe Znamya Ave., Vladivostok, 690014, Russia

e-mail: inerov@bk.ru

SPIN: 6387-7650

#### Andrey N. Bugaets

Phd in technical sciences, head of the laboratory

Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (PGI FEB RAS)

7, Radio str., Vladivostok, 690041, Russia

e-mail: andreybugaets@yandex.ru

WOS Research ID: Q-5730-2016

SCOPUS ID: 6507642073

SPIN: 1441-0287