

УДК 624.131.6:004.6

Фисенко Борис Викторович

ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова»
Россия, Саратов¹
Доцент кафедры «Геодезия, гидрология и гидрогеология»
Кандидат технических наук
E-Mail: fb79@mail.ru

Бондаренко Юрий Вячеславович

ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова»
Россия, Саратов
Профессор кафедры «Геодезия, гидрология и гидрогеология»
Доктор сельскохозяйственных наук

Афонин Владимир Викторович

ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова»
Россия, Саратов
Доцент кафедры «Геодезия, гидрология и гидрогеология»
Кандидат сельскохозяйственных наук

Киселева Юлия Юрьевна

ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова»
Россия, Саратов
Аспирант кафедры «Геодезия, гидрология и гидрогеология»

**Обоснование использования радарной
интерферометрической съемки Земли (shuttle radar
topographic mission) при инженерно-гидрологическом
моделировании речных бассейнов**

¹ ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ им. Н. и. Вавилова», Россия, 410012, г. Саратов, Театральная пл., 1.

Аннотация. Целью работы является оценка возможности использования цифровых моделей рельефа при инженерно-гидрометеорологическом моделировании речных бассейнов с оценкой их достоверности и точности, определяемой действующими в области инженерной гидрологии нормативными документами. Обоснована возможность использования цифровой модели рельефа, созданной по данным радарной интерферометрической съемки поверхности Земли - Shuttle radar topographic mission (SRTM), в качестве базовой пространственно-координированной поверхности для решения прикладных задач инженерной гидрологии. Установлено, что цифровая модель рельефа отвечает требованиям достоверности (современности) и точности для картографических масштабов от 1:25000 и мельче, действующих в сфере инженерно-гидрометеорологических изысканий, нормативных документов. Сделан вывод, что данные могут быть использованы для определения морфометрических характеристик речных бассейнов рек, расположенных в равнинных и слаборасчлененных районах с площадями водосборов от 10 км² и более, а также для создания ортофотоснимков высокого разрешения для решения задач определения структуры и морфологических характеристик речных водосборов. В то же время, при использовании цифровых моделей рельефа для решения задач инженерно-гидрологического моделирования речных бассейнов, необходимым является учет структуры и расчлененности их поверхности для снижения систематических составляющих вертикальных и горизонтальных ошибок.

Ключевые слова: цифровая модель рельефа; инженерная гидрология; речной бассейн; моделирование; точность.

Идентификационный номер статьи в журнале 169TVN314

Пространственное моделирование в настоящее время является одним из наиболее перспективных методов изучения географо-технических систем и позволяет проводить комплексное изучение их структур, особенностей функционирования и тенденций изменения под действием факторов различного генезиса. Не являются исключением и речные системы, которые в современных условиях целесообразно рассматривать как эпизодически или постоянно контролируемые геотехнические системы [4] и моделирование которых приобретает все большее значение при решении как научно-исследовательских, так и инженерно-гидрологических задач [1,5].

Под инженерно-гидрологическим геоинформационным моделированием будем понимать процесс построения и анализа модели географической поверхности – речного бассейна для определения его пространственных характеристик, закономерностей структуры и пространственно-временных связей между факторами, определяющими гидрологические и гидравлические процессы с количественной оценкой их проявлений.

Учитывая специфику такого моделирования, все определяемые в результате его проведения количественные морфометрические и гидрологические характеристики речных бассейнов должны соответствовать условиям достоверности в соответствии с действующими в сфере инженерно-гидрометеорологических изысканий нормативными документами: СП 47.13330.2012 - Инженерные изыскания для строительства², СП 11-103-97 - Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства³, СП 33-101-2003 - Определение основных расчетных гидрологических характеристик⁴.

В настоящее время наиболее эффективным и целесообразным является создание таких моделей в геоинформационных средах с использованием общедоступных глобальных покрытий - цифровых моделей рельефа (далее ЦМР), позволяющих не только оперативно оперировать большими объемами данных, но и успешно сочетать пространственные и геостатистические методы при их анализе.

Несмотря на успехи научно-исследовательского применения пространственного моделирования речных систем, задача включения его в инструментарий инженерной гидрологии является нерешенной. Основными причинами этого являются недоверие инженеров-гидрологов к «репрезентативности» исходных пространственных данных и отсутствие унифицированного методико-технологического подхода к самой процедуре инженерно-гидрологического геоинформационного моделирования.

Решение вопросов, связанных с обоснованием репрезентативности исходных пространственных данных применительно к инженерно-гидрологическому моделированию, исследователями либо обходилось стороной, либо носило эпизодический характер. А в подавляющем большинстве работ возможность использования цифровых моделей рельефа для получения расчетных гидрологических характеристик признавалась априори.

Вместе с тем, именно репрезентативность исходных данных и определяет успешность применения результатов геоинформационного моделирования в инженерно-гидрологической практике.

² Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. СП 47.13330.2012. Изд. Офф.: М.: Госстрой, 2013. 115 с.

³ Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства. СП 11-103-97. Изд. Офф.: М.: Госстрой, 1997. 34 с.

⁴ Определение основных расчетных гидрологических характеристик. СП 33-101-2003. Изд. Офф.: М.: ФГУП ЦПП, 2004. 74 с

Таким образом, обоснование возможности использования цифровых моделей рельефа с оценкой их репрезентативности, определяемой действующими в области инженерной гидрологии нормативными документами, является одной из задач геоинформационного инженерно-гидрологического моделирования и целью нашей работы.

Применимость цифровых моделей рельефа при определении количественных морфометрических показателей, дающих представление о форме, размерах и пространственном положении водосбора и качественно-количественных морфологических показателей, характеризующих особенности строения его поверхности, предусматривает выполнение следующих условий по их репрезентативности:

- условия достоверности ЦМР с позиции отражения современного состояния рельефа местности;
- условия точности ЦМР для сопоставления с картами стандартного масштабного ряда;
- условия возможного совместного использования ЦМР с космоснимками высокого разрешения для решения задач определения морфологических характеристик.

В соответствии с указаниями СП 33-101-2003 к основным морфометрическим характеристикам относят: площадь водосбора, гидрографическую длину и средневзвешенный уклон русла, среднюю высоту водосбора, средний уклон склонов, густоту речной сети.

Необходимо отметить, что морфометрические характеристики с некоторой долей допущения следует отнести к группе относительно неизменных - (статичных) характеристик.

Для достижения необходимой точности инженерно-гидрологических расчетов требуется, чтобы гидрологические наблюдения и гидрографические характеристики водных объектов соответствовали одному и тому же периоду.

СП 33-101-2003 предусматривает однозначное определение морфометрических и морфологических характеристик только с использованием «новейших топографических карт», масштабы которых выбирают в зависимости от характера рельефа водосбора и его площади. Так, для рек, расположенных в равнинных и слаборасчлененных районах с площадью водосборов более 200 км², - это карты масштаба 1:100000, 200 - 50 км² - 1:50000, от 50 до 10 км² - 1:25000, менее 10 км² - 1:10000. Причем все используемые карты в обязательном порядке должны отображать современное состояние всех природных объектов местности, использующихся для определения гидрографических характеристик, т.е. быть достоверными.

Сроки периодического обновления топографических карт определяются их масштабом и варьируются от 5 лет для карт масштаба 1:10000 и крупнее до 15 лет для карт масштабов 1:50000 и мельче.

Однако проведенный нами анализ показывает, что практически все картографические материалы не обновлялись на протяжении 25 – 75 лет. Так, наиболее часто используемые топографические карты масштаба 1:100000 относительно хорошо изученных территорий отображают состояние местности на 1980 - 1990 гг., недостаточно и неизученных – на 1940 – 1950 гг.

Не может быть подвержен сомнению тот факт, что за прошедший период в большей или меньшей степени подверглись изменениям количественные морфометрические

показатели водосборов, оказывающие влияние на формирование их гидрологического режима.

Вместе с тем, вышеуказанным нормативным документом признается целесообразность использования современных материалов дистанционного зондирования земной поверхности для установления достоверности исходных топографических карт, особенно при изучении водосборов малых рек.

В настоящее время наиболее используемым общедоступным источником пространственных данных является радарная интерферометрическая съемка поверхности Земли, осуществленная в 2000 г. с борта космического корабля «Shuttle» - Shuttle radar topographic mission (далее SRTM).

Результатом съемки стало создание цифровых моделей рельефа – цифровых картографических представлений непрерывных значений высот поверхности Земли в узлах регулярной сетки, координаты которых географически привязаны к общему вертикальному datumу [9].

Цифровая модель рельефа, построенная по данным SRTM, представлена файлами в системе координат WGS-84/EGM96, географически соответствующими одной эллипсоидальной трапеции размером 1x1 градуса и структурно представляет собой матрицу с шагом сетки 3x3 угловых секунды дуги для SRTM DEM (URL: <http://www.cgiar-csi.org/data/srtm-90m-digital-elevation-database-v4-1>) и 1x1 угловых секунды – для SRTM X-SAR DEM (URL: <https://centaurus.caf.dlr.de>), разрешением 90 и 25 м соответственно и охватом территории суши от 60 с. ш. до 54 ю. ш.

Применительно к процессу инженерно-гидрологического моделирования, цифровая модель рельефа, построенная по данным SRTM, является базовой пространственно-координированной поверхностью. В отличие от топографических карт, данная поверхность содержит большой объем информации, который может быть использован при определении морфометрических характеристик водосборов. Вместе с тем, точность их определения напрямую зависит от точности используемой цифровой модели рельефа.

При решении задач определения точности данных SRTM, необходимо учитывать тот факт, что они представляют непрерывные значения высот не действительной поверхности Земли, а осредненных высот отражающей поверхности (снежного покрова, уровня воды, поверхности деревьев и кустарников, застройки и т.п.).

Таким образом, оценка точности пространственных данных может осуществляться лишь с возможно максимальным учетом особенностей отражающей поверхности, а, в частности ее географического положения, характера расчлененности местности, экспозиции склонов, структура территории и т.п. [9].

В спецификациях цифровых моделей рельефа указывается, что с доверительной вероятностью 90% абсолютная горизонтальная ошибка должна составлять менее 20 м, а абсолютные вертикальные ошибки менее 16 и 6 м соответственно [6,10].

Анализ результатов интерполирования высот поверхности цифровых моделей рельефа в заданных точках топографической поверхности с известными отметками на территории Евразии, позволяет констатировать с доверительной вероятностью 90% о диапазоне абсолютных вертикальных ошибок от 0,9 до 5,4 м и абсолютной горизонтальной ошибке – 8,8 м [3,8,11].

Необходимо констатировать, что если значения абсолютных горизонтальных ошибок при различных характеристиках поверхности (лес, вода, сельскохозяйственные поля, городская застройка) характеризуются относительным постоянством и практически не

меняются, то значения абсолютных вертикальных ошибок достигают своего максимума на лесистых и занятых водными объектами территориях [7].

На величину абсолютной вертикальной ошибки также существенно влияет экспозиция склонов рельефа, экспериментальными данными показано, что она также достигает своих наибольших значений на склонах южной экспозиции, где отклонение антенны спутника SRTM от вертикали достигает 59° , что приводит к возрастанию ошибки сканирования поверхности земли [9].

При этом значительная часть этих ошибок включает систематическую составляющую, учет которой может существенно увеличить точность пространственных данных. Необходимо также принимать во внимание, что значения вертикальных ошибок разнятся в зависимости от характера местности, имея минимальные значения при плоскоравнинном и максимальные при горном рельефе [9].

Рассматривая цифровую модель рельефа, как альтернативу топографическим картам, будем считать удовлетворяющей ее требованиям точности инструкции по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов⁵, если расхождения в плановом положении модельных точек и соответствующих точек на карте не превышают абсолютной горизонтальной погрешности измерений на топографических картах, составляющих 0,5 мм в масштабе карты (от 50 м для масштаба 1:100000 до 12,5 м для масштаба 1:25000). Средние расхождения высот не должны превышать 1/2 высоты сечения рельефа (от 10 м для масштаба 1:100000 до 2,5 м для масштаба 1:25000).

Принимая во внимание эмпирические значения абсолютных вертикальных и горизонтальных ошибок радарной интерферометрической съемки поверхности Земли, можно констатировать, что цифровые модели рельефа полностью отвечают требованиям точности для картографических масштабов от 1:25000 и мельче и могут быть использованы для определения морфометрических характеристик речных бассейнов для последующего определения расчетных гидрологических характеристик.

Немаловажным с позиции решения гидрологических задач, является также возможность использования цифровых моделей рельефа для создания ортофотоснимков высокого разрешения, вплоть до масштаба 1:1000 [2,7].

Проведенная нами оценка возможности использования радарной интерферометрической съемки поверхности Земли (SRTM) и созданных по ее данным цифровых моделей рельефа при инженерно-гидрологическом моделировании речных бассейнов позволяет сделать следующие выводы:

1. Цифровые модели рельефа, построенные по данным SRTM и отражающие состояние местности на 2000 г, отвечают требованиям достоверности (современности) и точности для картографических масштабов от 1:25000 и мельче, действующих в сфере инженерно-гидрометеорологических изысканий, нормативных документов;

2. Цифровые модели рельефа могут быть использованы для определения морфометрических характеристик речных бассейнов рек, расположенных в равнинных и слаборасчлененных районах с площадями водосборов от 10 км² и более, а также для оперативных и рекогносцировочных целей для рек с площадями водосборов менее 10 км²;

⁵ Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов.: М.: ЦНИИГАиК, 2002. 48 с.

3. Цифровые модели рельефа являются пространственно-координированной поверхностью при создании ортофотоснимков высокого разрешения для решения задач определения структуры и морфологических характеристик водосборов малых рек.

В то же время необходимо констатировать, что при использовании цифровых моделей местности для решения задач инженерно-гидрологического моделирования речных бассейнов, обязательным является учет структуры и расчлененности их поверхности для снижения систематических составляющих вертикальных ошибок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондаренко Ю.В., Фисенко Б.В., Афонин В.В., Ткачев А.А., Карпушкин А.В., Киселева Ю.Ю. Алгоритм принятия решений по снижению вероятности возникновения гидрологических чрезвычайных ситуаций // Научный журнал «Научное обозрение». - 2012. - № 6 - С. 285 – 289;
2. Карионов Ю.И. Оценка точности матрицы высот SRTM // Геопрофи. – 2010. - №1 – С. 48-51;
3. Оньков И.В. Оценка точности высот SRTM для целей ортотрансформирования космических снимков высокого разрешения // Геоматика. - 2011. - № 3 - С. 40-46;
4. Фисенко Б.В., Бондаренко Ю.В., Афонин В.В., Апатина Т.И. Малые речные системы – объект мониторинга для целей природообустройства // Научный журнал «Научное обозрение». - 2013. - № 11 - С. 24 – 26;
5. Фисенко Б.В. Совершенствование параметров противоэрозионных инженерно-мелиоративных рубежей на водосборах малых рек Саратовского Правобережья. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова. Саратов, 2006. 19 с;
6. Farr, T. et al. The Shuttle Radar Topography Mission// Reviews of Geophysics.2007. Vol. 45. p.33;
7. Hengl Tomislav, I. Reuter Hannes. Geomorphometry Concepts, Software, Applications. Amsterdam, Netherlands ; Oxford, UK ; Boston [Mass.] : Elsevier, 2009. 772 p.;
8. Karwel A.K., Ewiak I. Estimation of the accuracy of the SRTM terrain model on the area of Poland // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B7. Beijing. 2008. pp. 169–172;
9. Li, Z., Zhu, Q. Gold, Digital Terrain Modelling: Principles and Methodology, CRC Press. 2005. 344 p.;
10. Maune, D.F., Kopp, S.M., Crawford, C.A. & Zervas, C.E. Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM Users Manual, 2-nd edition. : Maryland: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2007. 655 p.;
11. Rodriguez, E., C.S. Morris, J.E. Belz, E.C. Chapin, J.M. Martin, W. Daffer, S. Hensley. An assessment of the SRTM topographic products. Technical Report JPL D-31639.: Pasadena, California: Jet Propulsion Laboratory, 2005. 143 p.

Рецензент: Слюсаренко Владимир Васильевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Техносферная безопасность и подъемно-транспортные машины», ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова», Россия, Саратов.

Boris Fisenko

Saratov State Agrarian University in honor of N.I. Vavilov
Russia, Saratov
E-Mail: fb79@mail.ru

Yury Bondarenko

Saratov State Agrarian University in honor of N.I. Vavilov
Russia, Saratov

Vladimir Afonin

Saratov State Agrarian University in honor of N.I. Vavilov
Russia, Saratov

Yulia Kiseleva

Saratov State Agrarian University in honor of N.I. Vavilov
Russia, Saratov

Management practice of shuttle radar topographic mission for river basins applied hydrology modeling

Abstract. The purpose of work is estimation of possibility of use of digital elevation models for applied hydrology modeling and an assessment of their reliability and the accuracy, determined by normative documents existing in the field of applied hydrology. The possibility of using a digital elevation model, created according to Shuttle radar topographic mission (SRTM), for river basins hydrology modeling is considered. Found that a digital elevation model, meets the requirements of reliability and accuracy for mapping from 1:25000 scale and smaller, active in the field of engineering and meteorological research, regulatory documents. Concluded that digital elevation model can be used to determine the morphometric characteristics of river basins located in the lowland areas and weak shared with a catchment area of 10 km² and more, as well as for creating high-resolution orthoimages used for determination of the morphological characteristics of river basins.

At the same time, when using digital elevation models for the solution of problems of engineering-hydrological modeling of the river basins, the accounting of structure and a relief for decrease in systematic vertical and horizontal mistakes is obligatory.

Keywords: digital elevation models; applied hydrology; river basin; modeling; accuracy.

Identification number of article 169TVN314

REFERENCES

1. Bondarenko Y., Fisenko B., Afonin V., Tkachyov A., Karpushkin V. Kiselyova Y. Algorithm of decision-making on decrease in probability of emergence of hydrological emergency situations//the Scientific magazine "Scientific Review". - 2012 . - No. 6 - Page 285 – 289;
2. Karionov Y. Estimation of the accuracy of a matrix of heights of SRTM//Geopro. – 2010 . - No. 1 – Page 48-51
3. Onkov I.V. Estimation of the accuracy of heights of SRTM for an ortotransformirovaniye of space pictures of high resolution//Geomatika. - 2011. - No. 3 - Page 40 – 46;
4. Fisenko B, Bondarenko Y. Afonin ., Apatina T. Small river systems – object of monitoring for environmental engineering//the Scientific magazine "Scientific Review". - 2013. - No. 11 - Page 24 – 26;
5. Fisenko B. Improvement of parameters of antierosion engineering and meliorative boundaries on reservoirs of the small rivers of the Saratov Right bank. The thesis abstract on competition of a scientific degree of Candidate of Technical Sciences / The Saratov state agrarian university in honor of N. I. Vavilov. Saratov, 2006. 19 p.;
6. Farr, T. et al. The Shuttle Radar Topography Mission// Reviews of Geophysics. 2007. Vol. 45. p.33;
7. Hengl Tomislav, I. Reuter Hannes. Geomorphometry Concepts, Software, Applications. Amsterdam, Netherlands ; Oxford, UK ; Boston [Mass.] : Elsevier, 2009. 772 p.;
8. Karwel A.K., Ewiak I. Estimation of the accuracy of the SRTM terrain model on the area of Poland // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B7. Beijing. 2008. pp. 169–172;
9. Li, Z., Zhu, Q. Gold, Digital Terrain Modelling: Principles and Methodology, CRC Press. 2005. 344 p.;
10. Maune, D.F., Kopp, S.M., Crawford, C.A. & Zervas, C.E. Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM Users Manual, 2-nd edition. : Maryland: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2007. 655 p.;
11. Rodriguez, E., C.S. Morris, J.E. Belz, E.C. Chapin, J.M. Martin, W. Daffer, S. Hensley. An assessment of the SRTM topographic products. Technical Report JPL D-31639.: Pasadena, California: Jet Propulsion Laboratory, 2005. 143 p.