

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА ПРИ РАСЧЕТЕ ЗОН ЗАТОПЛЕНИЯ

А.С. Коротин[✉], Е.В. Попов

*Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет,
Нижний Новгород, Россия*

[✉] antonkorotin@yandex.ru

Аннотация. В статье представлен комплексный подход к использованию компьютерной обработки материалов дистанционного зондирования земли для количественной оценки территорий, подвергающихся наводнениям. Приведён практический опыт использования предложенного алгоритма с применением ГИС для возможности получения данных о границах территорий на примере древесно-кустарниковой растительности, необходимых для учета при расчете возможных зон затопления на базе 3D-моделей рельефа при необходимой адаптации входной информации. При расчетах вегетационного индекса использовались возможности открытых программных продуктов и общедоступных материалов дистанционного зондирования с применением метода NDVI. Применение этапного подхода к определению зон затопления с применением единых исходных данных дистанционного зондирования позволило исключить ряд ошибок, связанных с особенностями получения производных элементов ДЗЗ, таких как трансформирование, привязка, коррекция и пр. Расчёт границ зон затопления выполнен путем определения линии пересечения поверхности рельефа с поверхностью, имитирующей уровень воды. Численно установлена зависимость качества определения границ зон затопления от уровня лесистости территории. Косвенно подтверждено наличие в открытых цифровых моделях рельефа остаточных артефактов, представляющих собой растительный покров.

Ключевые слова: геометрическое моделирование, спутниковые снимки, классификация изображений, цифровая модель рельефа, геоинформационные системы, зоны затопления, древесно-кустарниковая растительность

Для цитирования. Коротин А.С., Попов Е.В. Использование цифровых моделей рельефа при расчете зон затопления // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2025. Т. 25, № 1. С. 75–82. DOI: 10.14529/build250109

Original article
DOI: 10.14529/build250109

THE USE OF DIGITAL TERRAIN MODELS IN THE CALCULATION OF FLOOD ZONES

A.S. Korotin[✉], E.V. Popov

*Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering,
Nizhny Novgorod, Russia*

[✉] antonkorotin@yandex.ru

Abstract. The article presents an integrated approach to the use of computer processing of Earth remote sensing materials for the quantitative assessment of flood-prone areas. It provides the practical experience of using the proposed algorithm with GIS for obtaining data on the boundaries of territories on the example of tree and shrub vegetation. The algorithm can be helpful when calculating possible flooding zones based on 3D terrain models with the necessary adaptation of input information. When calculating the vegetation index, the authors applied the open software products and publicly available remote sensing materials using the NDVI method. The application of a step-by-step approach to the definition of flood zones using unified initial remote sensing data made it possible to eliminate a number of errors (transformation, binding, correction, etc.) related to the peculiarities of obtaining derived elements of remote sensing of the Earth. The calculation of the boundaries of the flood zones was performed by determining the line of intersection of the relief surface with the surface simulating the water level. The paper establishes the dependence of the quality of determining the boundaries of flood zones on the level of forest cover of the territory. It confirms the presence of residual artifacts representing vegetation cover in open digital relief models.

Keywords: geometric modeling, satellite images, image classification, digital terrain model, geoinformation systems, flood zones, tree and shrub vegetation

For citation. Korotin A.S., Popov E.V. The use of digital terrain models in the calculation of flood zones. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2025;25(1):75–82. (in Russ.). DOI: 10.14529/build250109

Введение

Использование моделей и сценариев развития событий в ГИС позволяют прогнозировать ситуации, которые могут возникнуть в окружающей природной среде после завершения строительства и в период эксплуатации уникальных объектов, и разработать мероприятия и рекомендации по охране окружающей природной среды в новых условиях [1]. Оперативность принятия решений на базе различных моделей зависит от скорости обработки данных и качества вводной информации. Использование открытых источников предполагает получение быстрых данных на обширные территории, к которым относятся материалы дистанционного зондирования Земли. В последнее десятилетие широкое распространение в области ГИС-технологий находят методы трехмерного моделирования природных и техногенных объектов, особенно рельефов местности. Для решения эколого-экономических проблем, связанных с последствиями наводнений, создаются специальные бассейновые геоинформационные системы (далее бассейновые ГИС), отличительной особенностью которых является наличие высоких требований к качеству отсчетной поверхности – поверхности рельефа. Данная поверхность на материалах дистанционного зондирования зачастую скрыта под растительностью, объектами строительства и пр. Точность такой поверхности влияет на результаты моделирования, так как даже небольшие изменения в геометрическом описании элемента поверхности могут сильно повлиять на траекторию водного объекта, исказить расчет зон затопления и подтопления, динамику развития крупных деградационных эрозионных процессов и т. д. [2, 3].

Для прогнозирования территорий, подвергающихся, в частности, затоплениям, необходимо их качественное распознавание и классификация. В силу этого классификация изображений природных и антропогенных объектов на спутниковых снимках остается актуальной задачей при построении карт [4, 5]. Так, в частности, в исследованиях, посвященных прогнозированию развития роста лесных массивов на неиспользуемых сельскохозяйственных землях, значительное место уделялось автоматизации [6]. Ряд исследований [7–11] описывает возможные способы распознавания на спутниковых снимках сельскохозяйственных культур. Выбор алгоритмов классификации зависит от вида классифицируемых природных ресурсов, технологических и технических возможностей.

Метод

Работа включала: создание цифровой модели рельефа с применением общедоступных ресурсов, моделирование зоны затопления и построения матрицы поверхности воды, создание зоны затопления путем вычисления линий пересечения поверхностей, расчет вегетационного индекса для отбора кластеров с лесными массивами, корректуру цифровой модели рельефа, верификацию модели и сопоставление результатов.

Создание цифровой модели рельефа

Цифровая модель рельефа (ЦМР) является одним из базовых элементов системы моделирования и определения зон затопления. С целью создания ЦМР был разработан Web-плагин на базе средств разработки Web-приложений: HTML5, JavaScript и пакета THREE_JS. В качестве исходных данных выступали результаты спутниковой радиолокационной съемки Земли, размещенные в открытом доступе (Shuttle Radar Topography Mission, SRTM), откорректированные путем исключения элементов растительности и приведенные к Балтийской системе высот с использованием методов, описанных в работе [12]. Обменными форматами файлов используемых матриц являются ARCGRID, а также ARCASCII и Geotiff [7, 13]. Материалы, представленные в виде регулярной матрицы высот, были использованы как исходные данные для построения поверхности (рис. 1).

Методы моделирования зон затопления и построения матрицы поверхности воды

Для построения зон затопления при наводнениях основными являются оперативная и прогнозическая информация об уровнях воды [14]. К решению задач по определению (расчету) зон затопления применяются два подхода – гидрологический и гидродинамический. Первый подход применяется на обширных территориях площадью более сотни квадратных километров, второй – на локальных участках местности [15, 16]. Каждый из указанных подходов опирается в своей основе на геометрические методы расчетов триангуляционных поверхностей, где в качестве структуры данных поверхность представляется набором узлов, ребер и треугольников. Использование подобной структуры данных позволяет увеличить скорость работы алгоритмов анализа триангуляционной модели и учитывать объем выпадающих осадков [17]. При дальнейшем исследовании будет применяться гидрологический подход.

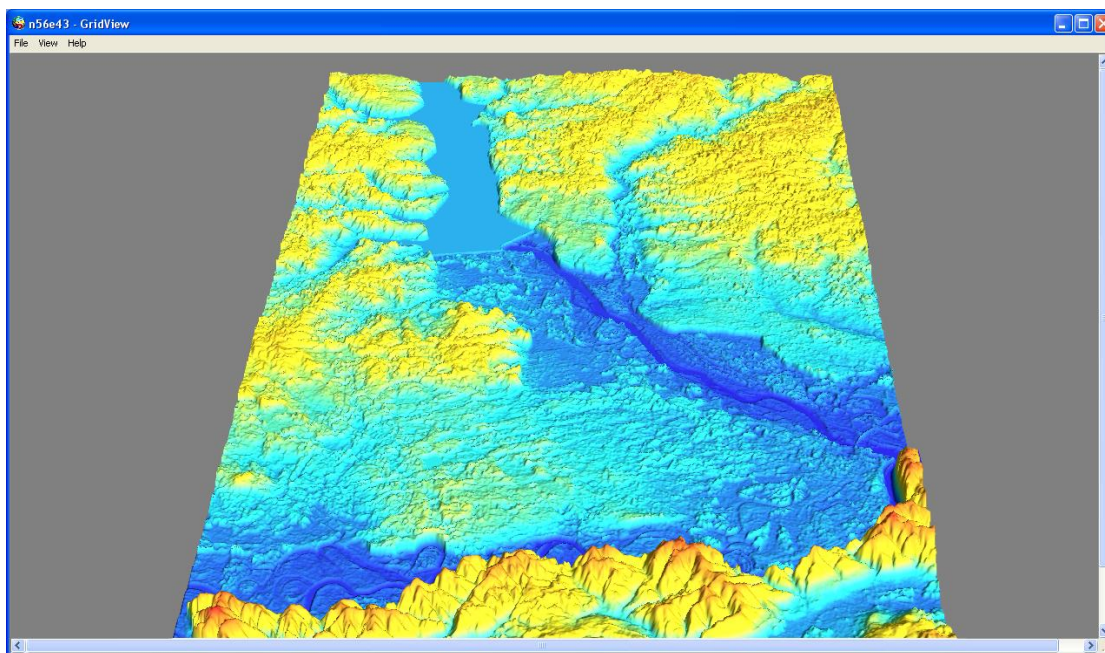


Рис. 1. Трехмерная модель рельефа местности в районе территории исследования

Модель зоны затопления может быть построена двумя способами [18]: интегральным (на участке вдоль выбранного объекта гидрографии) и дифференциальным (по набору отметок уровня воды на заданной территории).

1. При построении зоны затопления интегральным способом уровень подъема воды задается двумя точками на участке объекта гидрографии. В приведенных высотных моделях каждая из заданных точек выступает в качестве образующей вектора, который принадлежит равномерно выстраиваемой плоскости. Границы зон затопления определяются путем вычисления пересечения плоскости подъема уровня воды и поверхности рельефа. Значения уровня подъема воды описываются матрицей качеств (MTQ). Данный способ предполагает использование исключительно геометрических методов построений поверхностей и определение линий их пересечений.

2. Дифференциальный способ предполагает дискретное построение зоны затопления по набору точек. При этом значения уровней подъема воды в каждой из точек обуславливаются функцией, включающей особенности рельефа местности, состава грунтов, клима-

тических и погодных условий. Такая модель зоны затопления учитывает множество влияющих и изменяющихся во времени и пространстве факторов и является более точной, однако зависит от качества и объема данных в каждой точке пространства, что увеличивает время обработки данных.

В данной работе модель зоны затопления была построена путем пространственного трансформирования русла, интерполяции поверхности русла путем задания кривой свободной поверхности потока и экстраполяции полученного наклонного набора точек на максимальное расстояние для возможности вычисления линии пересечения поверхностей. Для моделирования зон затопления будет использоваться модифицированный интегральный способ, то есть с применением не плоскости, а поверхности, имитирующей поверхность воды.

Образующая кривая свободной поверхности потока матрицы качеств строилась при условии, что русло имеет прямой уклон дна. Для объективного учета данных строилась поверхность MTQ в виде регулярной сетки с дискретностью в 30 м, причем узлы сетки задавались в тех же диапазонах, что и узлы базовой модели рельефа (рис. 2).

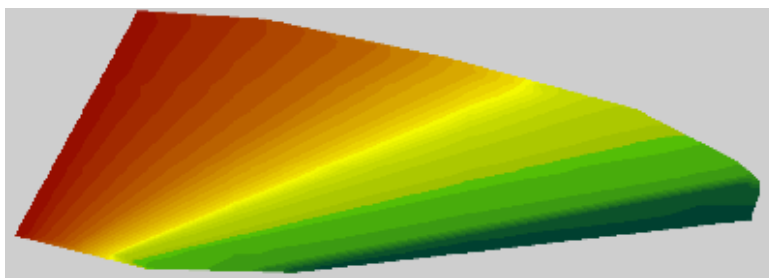


Рис. 2. Наклонная плоскость, имитирующая водную поверхность

В зависимости от того, как и с какой скоростью будет подниматься уровень воды в реке, можно создать и необходимое количество таких поверхностей.

Создание зоны затопления с применением программного обеспечения

Расчетные зоны строились по данным, полученным из части, восстановленной ЦМР в радиусе 5 км от существующей границы акватории с интервалом 0,5 метра (от отметки 60,5 до 70,0 м в точке размещения гидротехнического сооружения). На рис. 3 приведен фрагмент полученной карты зон затопления. По каждой из зон путем составления запросов определялись объекты, подверженные затоплению и подтоплению, образованию мелководий и т. д.

Для каждой из зон затопления были определены площади и ошибки определения площадей с учетом оценки точности, разработанной автором (рис. 4).

Расчет вегетационного индекса

В качестве источника информации в виде изображения использовались спутниковые сним-

ки Landsat 8, состоящие из семи спектральных каналов. Поканальная обработка проводилась с применением расширения GDALTools. Классификация проводилась исходя из условий обеспечения возможности отделить пиксели лесных массивов от сторонних пикселей (других объектов местности).

Как правило, контуры лесной растительности определяются с применением метода NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) [19]. Метод использует принцип отражения и поглощения световых лучей определенного спектра в видимом красном (VIS) и ближнем инфракрасном (NIR) диапазоне:

$$k_{NDVI} = \frac{(\lambda_{NIR} - \lambda_{VIS})}{(\lambda_{NIR} + \lambda_{VIS})},$$

где k_{NDVI} – вегетационный индекс, λ_{NIR} – коэффициент отражения в ближней инфракрасной зоне спектра, λ_{VIS} – коэффициент отражения в видимой красной зоне спектра.

Расчет вегетационного индекса опирается на особенности спектральной кривой отражения сосудистых растений в красной и инфракрасной области спектра: с увеличением густоты расти-

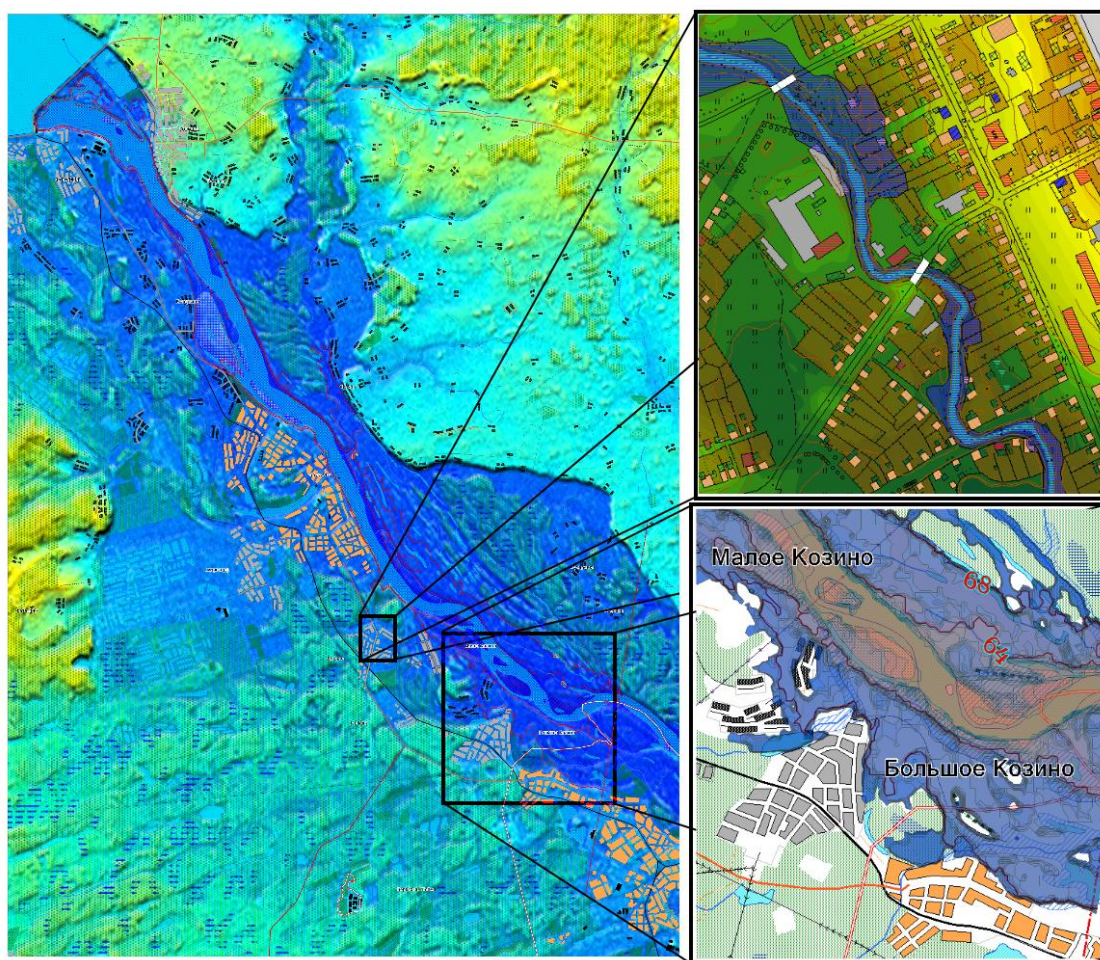


Рис. 3. Фрагмент карты зон затопления

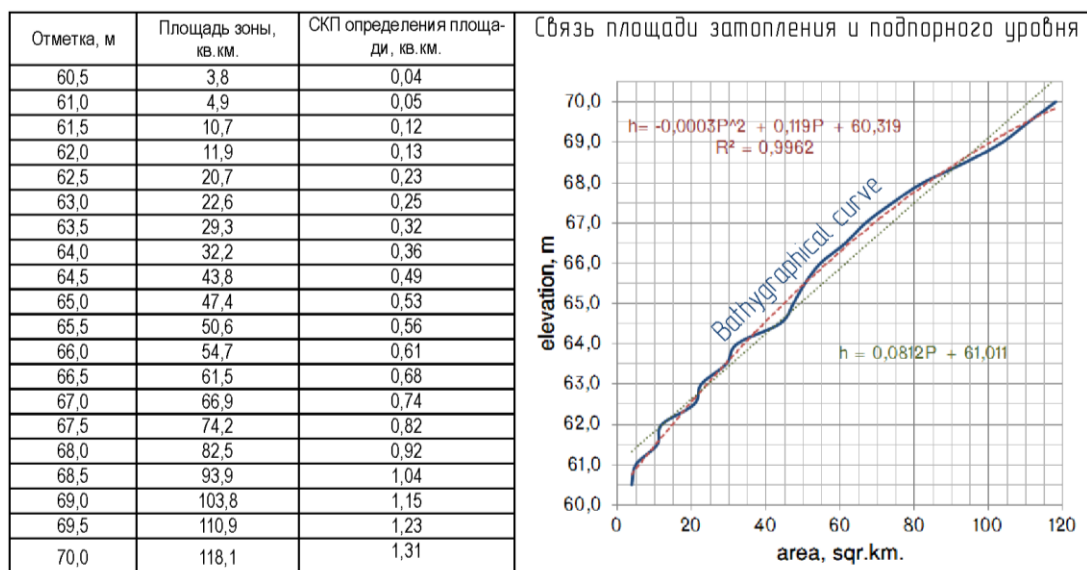


Рис. 4. Подпор, площадь зоны затопления и их связь

тельности уменьшается отражение в красной области спектра и увеличивается в инфракрасной. Отношение этих показателей друг к другу позволяет отделить растительные от прочих природных объектов. Использование нормализованной разности между минимумом и максимумом отражений позволяет уменьшить влияние освещенности снимка, облачности, дымки, поглощения радиации атмосферой и пр. На рис. 5 приведена последовательность решения задачи получения

контуров растительности в ГИС QGIS по космическим снимкам.

Результат определения полигонов растительности приведен на рис. 6. Расчетный процент лесистости исследуемой территории составил 10 %.

Верификация модели и сопоставление результатов

После включения в исходную цифровую модель рельефа территорий, занятых лесной расти-

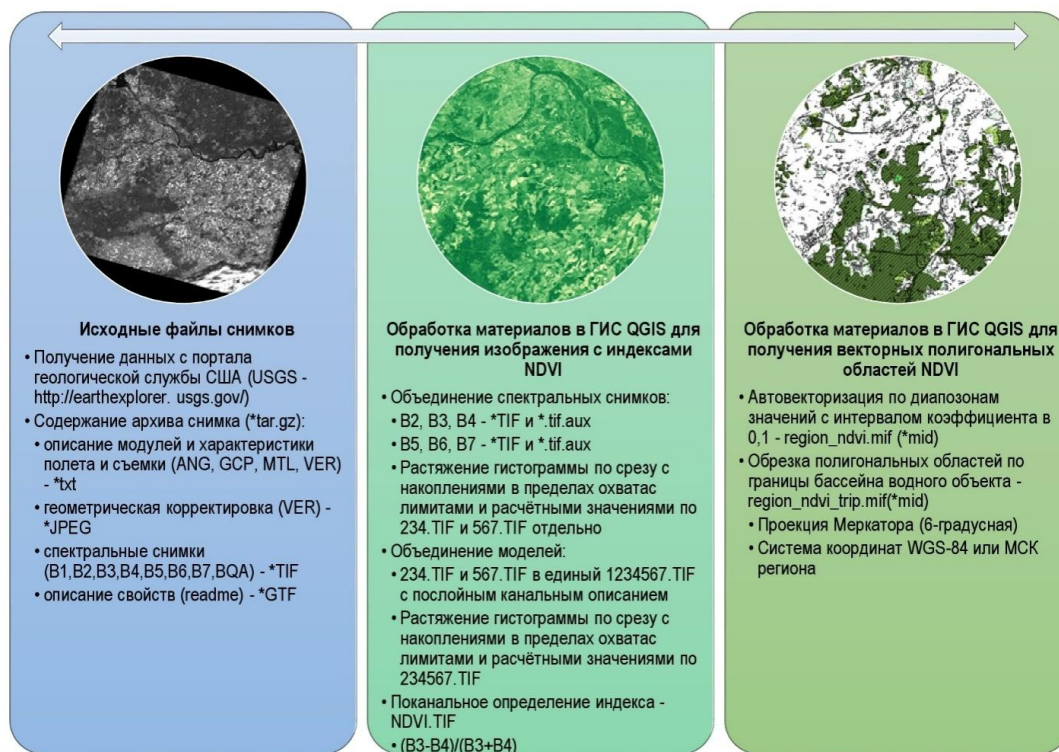


Рис. 5. Схема получения контуров высокоствольной растительности по индексу NDVI с использованием открытого ПО ГИС QGIS

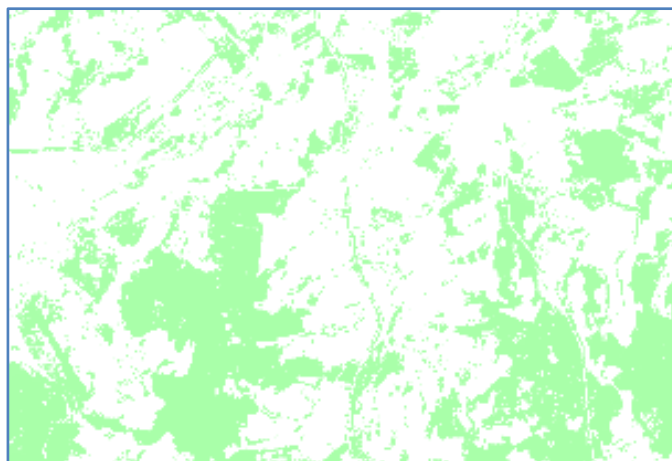


Рис. 6. Полигоны, полученные из NDVI на исследуемую территорию

Сравнение площадей зон затопления

Отметка, м	Площадь зоны, кв. км	Площадь зоны после корректуры, кв. км	Разности, кв. км	Процент прироста
60,5	3,8	4,0	+0,2	+4
61	4,9	5,2	+0,3	+6
61,5	10,7	11,5	+0,8	+7
62	11,9	12,9	+1,0	+9
62,5	20,7	21,4	+0,7	+3
63	22,6	24,6	+2,0	+9
63,5	29,3	29,7	+0,4	+1
64	32,2	35,0	+2,8	+9
64,5	43,8	46,2	+2,4	+5
65	47,4	49,5	+2,1	+4
65,5	50,6	53,5	+2,9	+6
66	54,7	56,3	+1,6	+3
66,5	61,5	66,2	+4,7	+8
67	66,9	67,9	+1,0	+1
67,5	74,2	77,4	+3,2	+4
68	82,5	84,9	+2,4	+3
68,5	93,9	99,3	+5,4	+6
69	103,8	109,1	+5,3	+5
69,5	110,9	115,4	+4,5	+4
70	118,1	126,7	+8,6	+7

тельностью, и проведения ее корректуры с применением метода, описанного в работе [20], анализ зон затопления был проведен повторно. Результат показал, что средний прирост площадей, подверженных затоплению, составил 5 % (см. таблицу). Подобный прирост площадей обусловлен уменьшением количества препятствий (артефактов) при построении траекторий пересечения поверхностей за счет понижения отметок модели рельефа на участках, занятых растительностью. Следует отметить, что максимальный процент прироста площади составил 9 %, что имеет достаточно высокий уровень корреляции с процентом лесистости и позволяет сделать вывод о практически полном исключении вторичного влияния растительности на морфометрию цифровой модели рельефа.

Заключение

Использование этапного подхода к определению зон затопления с применением единых исходных данных дистанционного зондирования позволяет исключить ряд ошибок, связанных с особенностями получения производных элементов ДЗЗ, таких как трансформирование, привязка, коррекция и пр.

Исключение участков растительности из состава цифровой модели рельефа обеспечивает повышение количественных показателей при расчете зон затопления в среднем до 5 %.

Предложенные методы и процедура позволяют увеличить скорость и повысить качество морфометрического анализа бассейнов водных объектов в необходимом и достаточном диапазоне для целей оценки территории и бассейна водного объекта в целом.

Список литературы

1. Чандра А.М., Гош С.К. Дистанционное зондирование и географические информационные системы. М.: Техносфера, 2008. 307 с.
2. Коротин А.С., Никольский Е.К. *Природные ресурсы в геоинформационной системе бассейна реки Кудьмы* // Великие реки–2013: тр. 15-й междунар. науч.-промыш. форума. Н.Новгород, 2013. Т. 3. С. 430–433.
3. Коротин А.С., Никольский Е.К. *Проект геоинформационной системы бассейна реки Кудьмы* // Великие реки–2013: тр. 15-й междунар. науч.-промыш. форума. Н.Новгород, 2013. Т. 3. С. 406–408.
4. Подольская Е.С. Использование данных дистанционного зондирования Земли из космоса для распознавания изображения дорог в лесном хозяйстве [Электронный ресурс] // Вопросы лесной науки. 2022. Т. 5, № 4. С. 3–21. URL: <https://jfsi.ru/5-4-2022-podolskaia/> (дата обращения: 15.06.2024).
5. Географические информационные системы и дистанционное зондирование GISLAB [Электронный ресурс]. URL: <https://gis-lab.info/qa/qgis-landsat-merge.html> (дата обращения 17.06.2024)
6. Габитова А.А. Дистанционное зондирование и ГИС в оценке лесозарастания неиспользуемых сельскохозяйственных земель [Электронный ресурс] // Успехи современного естествознания. 2022. № 11. С. 42–46. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=37926> (дата обращения: 17.06.2024).
7. Jarvis A. *Practical use of SRTM data in the tropics – Comparisons with digital elevation models generated from cartographic data*. Working Document, Vol.198/ A. Jarvis, J. Rubiano, A. Nelson, A. Farrow, M. Mulligan // Centro International de Agricultura Tropical (CIAT). 2004. P. 32.
8. Yafeng L., Xingang X., Wenbiao W., Yaohui Z., Guijun Y., Xiaodong Y., Yang M., Xiangtai J., Hanyu X. *Hyperspectral Estimation of Chlorophyll Content in Grape Leaves Based on Fractional-Order Differentiation and Random Forest Algorithm*. Remote Sens. 2024, 16(12), 2174; DOI:10.3390/rs16122174
9. Khan S.H., He X., Porikli F., Bennamoun M. *Forest Change Detection in Incomplete Satellite Images with Deep Neural Networks*. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 2017, 55, 5407–5423.
10. Bruzzone L., Fernández-Prieto D. *Automatic analysis of the difference image for unsupervised change detection*. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 2000, 38, 1171–1182.
11. Liu, M., Chai, Z., Deng, H., Liu, R. *A CNN-Transformer Network With Multiscale Context Aggregation for Fine-Grained Cropland Change Detection*. IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens. 2022, 15, 4297–4306.
12. Коротин А.С., Попов Е.В. *Реконструкция местности на основе откорректированных цифровых моделей рельефа*. В сб.: Проблемы машиноведения. Материалы III Международной научно-технической конференции. В 2 ч. Научный редактор П.Д. Балакин. 2019. С. 283–289.
13. Gorokhovitch Y., Voustianiouk A. *Accuracy assessment of the processed SRTM-based elevation data by CGIAR using field data from USA and Thailand and its relation to the terrain characteristic* // Remote Sensing of Environment. 2006. Vol. 110, no. 4, pp. 409–415.
14. Вишневская И.А. Компьютерная технология оценки зон затопления при наводнениях: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2006. 23 с.
15. Коваленко В.В. Моделирование гидрологических процессов. СПб: Гидрометеиздат, 1993. 250 с.
16. Роуч П. Вычислительная гидродинамика. М.: Мир, 1980. 616 с.
17. Мирза Н.С. Геометрический подход для решения задачи расчёта зон затопления. Томск: Томск. гос. ун-т, 2007. 8 с.
18. Сидоров Н.П. Расчет на одномерной модели речной сети зон затопления по максимальным уровням водпостов из опыта СКИОВО р. Сура // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2010. № 3. С. 42–55.
19. Черниковский Д.М., Сукачева В.Н. Оценка связей морфометрических характеристик рельефа с количественными и качественными характеристиками лесов на основе цифровых моделей рельефа ASTER и SRTM // Сибирский лесной журнал. 2017. № 3. С. 28–39.
20. Коротин А.С., Попов Е.В. Обработка цифровых моделей рельефа местности с целью повышения достоверности анализа морфометрии водных бассейнов // Программные системы и вычислительные методы. 2018. № 2. С. 67–83. DOI: 10.7256/2454-0714.2018.2.26383. URL: http://e-notabene.ru/ppsvm/article_26383.html.

References

1. Chandra A.M., Ghosh S.K. *Distancionnoe zondirovanie i geograficheskie informacionnye sistemy* [Remote sensing and geographic information systems]. Moscow, Technosphere, 2008. 307 p. (in Russ.)
2. Korotin A.S., Nikol'skij E.K. [Natural resources in the geographic information system of the Kudma River basin]. *Velikie reki–2013: trudy 15-y mezhdunarodnogo nauchno-promyshlennogo foruma* [Great Rivers–2013: Proceedings of 15 International Scientific and Industrial Forum]. N. Novgorod, 2013, vol. 3, pp. 430–433. (in Russ.)
3. Korotin A.S., Nikol'skij E.K. [The project of the geographic information system of the Kudma River basin]. *Velikie reki–2013: trudy 15-y mezhdunarodnogo nauchno-promyshlennogo foruma* [Great Rivers–2013: Proceedings of 15 International Scientific and Industrial Forum]. N. Novgorod, 2013, vol. 3, pp. 406–408. (in Russ.)
4. Podol'skaya E.S. [Using Earth remote sensing data from space to recognize the image of roads in forestry][Electronic resource]. *Voprosy lesnoy nauki* [Issues of forest science], 2022, vol. 5, no 4, pp. 3–21. (in Russ.) Available at: <https://jfsi.ru/5-4-2022-podolskaia> (accessed 16 June 2024).

5. Geograficheskie informacionnye sistemy i distancionnoe zondirovanie GISLAB [Geographic information systems and remote sensing GISLAB] [Electronic resource]. Available at: <https://gis-lab.info/qa/qgis-landsat-merge.html> (accessed 17 June 2024).
6. Gabitova A.A. [Remote sensing and GIS in the assessment of reforestation of unused agricultural land] [Electronic resource]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [The successes of modern natural science], 2022, no. 11, pp. 42–46. (in Russ.) Available at: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=37926> (accessed 17 June 2024).
7. Jarvis A., Rubiano J., Nelson A., Farrow A., Mulligan M. Practical use of SRTM data in the tropics – Comparisons with digital elevation models generated from cartographic data. Working Document, Vol.198. *Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)*, 2004. 32 p.
8. Yafeng L., Xingang X., Wenbiao W., Yaohui Z., Guijun Y., Xiaodong Y., Yang M., Xiangtai J., Hanyu X. Hyperspectral estimation of chlorophyll content in grape leaves based on fractional-order differentiation and random forest algorithm. *Remote Sens*, 2024, vol. 16(12), p. 2174; DOI:10.3390/rs16122174
9. Khan S.H., He X., Porikli F., Bennamoun M. Forest change detection in incomplete satellite images with deep neural networks. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens*, 2017, vol. 55, no. 9, pp. 5407–5423.
10. Bruzzone L., Fernández-Prieto D. Automatic analysis of the difference image for unsupervised change detection. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens*, 2000, vol. 38, no. 3, pp. 1171–1182.
11. Liu M., Chai, Z., Deng, H., Liu R. A CNN-Transformer network with multiscale context aggregation for fine-grained cropland change detection. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens*, 2022, vol. 15, pp. 4297–4306.
12. Korotin A.S., Popov E.V. [Terrain reconstruction based on corrected digital terrain models]. In: *Problemy mashinovedeniya. Materialy III Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii. V 2-kh chastyakh* [Problems of machine science. Materials of the III International Scientific and Technical Conference. In 2 parts]. Scientific ed. P.D. Balakin. 2019, pp. 283–289. (in Russ.)
13. Gorokhov Y., Voustianiouk A. Accuracy assessment of the processed SRTM-based elevation data by CGIAR using field data from USA and Thailand and its relation to the terrain characteristic. *Remote Sensing of Environment*, 2006, vol. 110, no. 4, pp. 409–415.
14. Vishnevskaya I.A. Komp'yuternaya tekhnologiya ocenki zon zatopleniya pri navodneniyah: Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk. [Computer technology for assessing flood zones. Abstract of cand. sci. diss.]. Moscow; 2006. 23 p. (in Russ.)
15. Kovalenko V.V. *Modelirovanie gidrologicheskikh processov* [Modeling of hydrological processes]. Saint Petersburg, Hydrometeoizdat, 1993. 250 p. (in Russ.)
16. Rouch P. *Vychislitel'naya gidrodinamika* [Computational fluid dynamics]. Moscow, World Publ., 1980. 616 p. (in Russ.)
17. Mirza N.S. *Geometricheskij podhod dlya resheniya zadachi raschyota zon zatopleniya* [A geometric approach to solving the problem of calculating flooding zones]. Tomsk, Publishing House of Tomsk State University, 2007. 8 p. (in Russ.)
18. Sidorov N.P. [Calculation on a one-dimensional model of the river network of flood zones according to the maximum levels of water posts from the experience of SKIOVO R. Sura]. *Vodnoe khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie* [Water management of Russia: problems, technologies, management], 2010, no. 3, pp. 42–55. (in Russ.)
19. Chernikhovskiy D.M., Sukacheva V.N. [Evaluation of the relationship of morphometric characteristics of relief with quantitative and qualitative characteristics of forests based on digital relief models ASTER and SRTM]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forest Journal], 2017, no. 3, pp. 28–39. (in Russ.)
20. Korotin A.S., Popov E.V. [Processing of digital terrain models for improving the reliability of the analysis of water basin morphometry]. *Programmnye sistemy i vychislitel'nye metody* [Software systems and computational methods], 2018, no. 2, pp. 67–83. (in Russ.) DOI: 10.7256/2454-0714.2018.2.26383. Available at: https://en.nbpublish.com/library_read_article.php?id=26383

Информация об авторах:

Коротин Антон Сергеевич, старший преподаватель кафедры геоинформатики, геодезии и кадастра, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, Нижний Новгород, Россия; antonkorotin@yandex.ru

Попов Евгений Владимирович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры инженерной графики и информационного моделирования, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, Нижний Новгород, Россия; popov_eugene@list.ru

Information about the authors:

Anton S. Korotin, Senior Lecturer at the Department of Geoinformatics of Geodesy and Cadastre, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Nizhny Novgorod; Russia; antonkorotin@yandex.ru

Evgeny V. Popov, Professor, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Engineering Graphics and Information Modeling, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Nizhny Novgorod; Russia; popov_eugene@list.ru

Статья поступила в редакцию 01.10.2024, принята к публикации 15.10.2024.

The article was submitted 01.10.2024, approved after reviewing 15.10.2024.