

Моделирование водосборных областей реки Донская Царица

Мария Олеговна Шатровская✉, м.н.с., e-mail: shatrovskayam@vfanc.ru, ORCID: 0000-0002-3202-4184, лаборатория агротехнологий и систем земледелия в агролесоландшафтах –

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН), e-mail: info@vfanc.ru, 400062, пр. Университетский, 97, г. Волгоград, Россия

Николай Олегович Шатровский, студент – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный университет» (ВолГУ), ob.otdel@volsu.ru, 400062, пр. Университетский, д. 100, г. Волгоград, Россия

В статье представлены результаты моделирования водосбора реки Донская Царица, которые необходимы при создании адаптивных агролесомелиоративных комплексов, противостоящих деградированию и опустыниванию земель. Картографирование и моделирование водосборных площадей малых рек, одной из которых является река Донская Царица, представляют собой современные и доступные инструменты изучения особенностей формирования поверхностного стока, его характера, направления и площади. Актуальность исследовательской работы обусловлена тем, что моделирование водосбора современными инструментами изучено недостаточно, а имеющиеся методики используют в основе классические методы изучения, которые зачастую не отличаются достаточной точностью. Объект исследования расположен сразу в двух районах Волгоградской области (Светлоярский и Калачовский) и является левым притоком реки Дон, впадающим в Цимлянское водохранилище. С помощью геоинформационных технологий моделирование позволяет определить ряд показателей поверхностного стока, а также провести измерения характеристик рельефа водосбора реки Донская Царица. Результатом исследования стало моделирование водосборных областей на территории бассейна реки Донская Царица и создание на основе цифровой модели местности карты рельефа водосбора и карты направления его стока. В результате выполненного исследования был выявлен перепад высот, который составил 154 м, при преобладающем северном (25,4% ячеек) и западном (15,8% ячеек) направлении стока. Анализ картографических данных выявил 379 водосборных областей в пределах реки Донская Царица. Площадь водосбора по результатам моделирования составила 1563,5 км².

Ключевые слова: моделирование водосбора, водосбор, поверхностный сток, рельеф, ГИС

Исследование выполнено в рамках Государственного задания ФНЦ агроэкологии РАН «Теория и принципы формирования адаптивных агролесомелиоративных комплексов сухостепной зоны юга РФ в контексте климатических изменений» (№ 122020100312-0)

Поступила в редакцию: 15.08.2022

Принята к печати: 07.09.2022

В настоящее время проблема моделирования водосборных областей, и как следствие, и стока приобретает все большую значимость в вопросе гидрологических характеристик рек, что способствовало разработке и применению на практике множества методов. Но стоит заметить, что для реализации проекта по моделированию водосбора реки необходим ряд физико-географических характеристик объекта исследования. В прошлом такие исследования базировались на ручных трудоемких измерениях, включающих анализ топографических материалов, в частности карт. В настоящий момент движимые безостановочным прогрессом информационные технологии позволяют получить необходимые параметры при помощи современных географических информационных систем (ГИС), что несомненно ускоряет и упрощает работу исследователей. Развитие информационных систем в совокупности с технологическим прогрессом позволяют отодвинуть традиционные методы на задний план, поскольку современные методы являются более передовыми, точными и менее пропотливыми.

Все это ставит приоритетной задачей разработку и освоение методик использования ГИС при установлении как физико-географических, так и гидрологических параметров поверхностного стока крупных и малых рек. В данном направлении создание общего информационного пространства, учитывающего все нюансы, является наиболее значимым вектором развития геоинформационных систем.

Для решения таких задач, как моделирование водосбора реки, комплектуются локальные географические информационные системы, имеющие под собой основу из базы данных, что позволяет создавать цифровые карты с тематическими слоями изучаемой проблемы. Работа с данными ведется непосредственно в ГИС среде, с использованием встроенных и дополнительно установленных инструментов [3].

Геоинформационная система предполагает создание внушительного по характеристикам инструмента для сбора, анализа и систематизации большого объема данных, что позволяет отслеживать и проанализировать процессы, происходя-

щие на водосборной площади [5].

Информация, содержащаяся в картах, имеет различное тематическое содержание и степень генерализации [6]. При выявлении необходимого для моделирования набора исходной картографической информации должны быть решены задачи как устранения несопоставимости отдельных показателей, так и учета различной степени их значимости для регионального и топологического уровня исследований [8, 12].

Цель исследования заключалась в изучении особенностей рельефа и определении направления стока водосборной области реки Донская Царица, посредством моделирования при помощи ГИС, в частности с использованием таких программы как QGIS и ArcGIS.

Материалы и методы. Геоинформационные исследования особенностей водосбора реки Большая Царица основывались на методиках, представленных в работах Б.В. Виноградова, К.Н. Кулика, А.С. Рулева и В.Г. Юферова [2, 4, 6].

В большинстве ГИС наличествуют морфометрические и гидрологические элементы моделирования, использующие цифровые модели рельефа в качестве исходных данных. Одной из подобных является ГИС ArcGIS, имеющая широкий набор функций и возможностей, позволяющий рассчитать количество водосборных областей и их общую площадь [18]. Помимо этого, использование ArcGIS обусловлено еще и тем, что данная программа предлагает построение пирамидальных слоев для более быстрой обработки растровых данных при открытии растра с цифровой моделью местности (ЦММ) [10]. Наиболее целесообразным является использование алгоритмов, разработанных специально для построения цифровой модели рельефа (ЦМР) с учетом, в том числе, и требований гидродинамической модели [1]. Использование ЦМР является порой единственным и элементарным решением для анализа процессов, протекающих на объекте исследования.

Картографические источники используются в ГИС как для территориальной привязки, так и для получения данных об объекте исследования [15]. Картографические источники – это, помимо графических, фотографических и текстовых данных, еще и космокарты. Современный уровень развития компьютерной картографии обеспечивает оперативное наглядное представление пространственных данных, накапливаемых в информационных системах [9,11]. Объекты гидрографии, водные системы, а также связанные с ними явления и процессы традиционно являются одними из ведущих элементов содержания географических карт [13].

Моделирование водосбора реки Донская Царица проводилось с использованием ESRI ArcGIS, поскольку эта ГИС, единственная из всех существующих при открытии растра с ЦММ или ЦМР, позволяет в разы ускорить процесс обработки значи-

тельных по объемам данных [7, 10].

Для более корректного результата при моделировании и анализе водосбора следует соблюдать определенную последовательность действий [14, 16], включающую в себя ряд этапов. В геоинформационной среде разрабатываются слои с описанием характеристик объектов исследования, где обозначается граница исследуемого водосбора. Первостепенным является построение на основе ЦМР модели местности с использованием инструментов SRTM ArcSecond изолинейной карты высот. На следующем этапе идет построение карты направления стока. Стоит заметить, что растр с направлением стока необходим на всех этапах моделирования, поскольку на его основе впоследствии возможно будет рассчитать такие параметры, как: суммарный сток, расчет длины водотоков, выполнить идентификацию водотоков и т.д. Заключительным этапом данной работы стало создание карты водосборных областей малых водотоков на основе построения водоразделов с корректировкой по точкам устьев. Примечательно, что точки устьев создаются вручную на основе данных ЦММ.

Совокупный анализ имеющейся на данный момент информации дает возможность создавать электронные карты с учетом возможных изменений на водосборной площади, что в совокупности с цифровой моделью рельефа, данными космоснимков, различными математическими моделями и иной атрибутивной информацией позволит спрогнозировать и обеспечить мониторинг поверхностного стока реки Донская Царица.

Для моделирования поверхностного стока водосбора была выбрана река Донская Царица, являющаяся левым притоком реки Дона (рисунок 1). Территория исследования имеет следующие координаты крайних точек: 48°27' с.ш. 43°28' в.д.; 48°37' с.ш. 43°53' в.д.; 48°19' с.ш., 44°17' в.д.; 48°14' с.ш., 44°09' в.д. Исток реки расположен у хутора Северный (48°19' с. ш. 44°06' в. д.), а устье – у посёлка Ляпичев, где река впадает в Цимлянское водохранилище (48°30' с. ш. 43°29' в. д.).

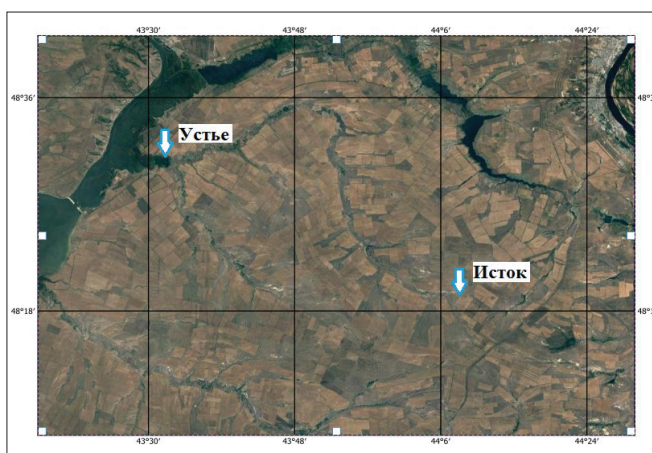


Рисунок 1. Космоснимок реки Донская Царица

Результаты и обсуждение. Первичный этап моделирования подразумевал выделение водосбора реки Донская Царица. Данные о высотах были получены благодаря SRTM ArcSecond, являющейся цифровой моделью местности с пространственным разрешением, составляющим 30 м [17]. ЦММ была создана на основе данных с портала Earthexplorer, разработанного геологической службой США.

Растр водосбора реки Донская Царица с направлениями стока был построен на территории в 2 тайла SRTM ArcSecond. Далее обработка данных заключалась в ручном выделении точек водотоков Донской Царицы на подготовленной ранее ЦММ.

Прежде чем приступить к анализу водосбора

Донской Царицы, необходимо исследовать рельеф изучаемой территории. Для водосбора реки Донская Царица была создана изолинейная модель распределения высотных отметок, основанная на ЦММ SRTM ArcSecond местности с дискретной классификацией высот через 20 м (рисунок 2). По результатам моделирования площадь водосбора составила 1563,5 км². Наибольшая высота над уровнем моря – 182 м, и наименьшая – 28 м. Перепад высот равен 154 м. Выявлен диапазон распределения высот в пределах водосбора, где диапазоны от 100 до 120 м занимают 328,2 км², что составляет 21,0% территории и диапазоны от 80 до 100 м, занимающие 327,1 км², что равно 20,9% территории водосбора.

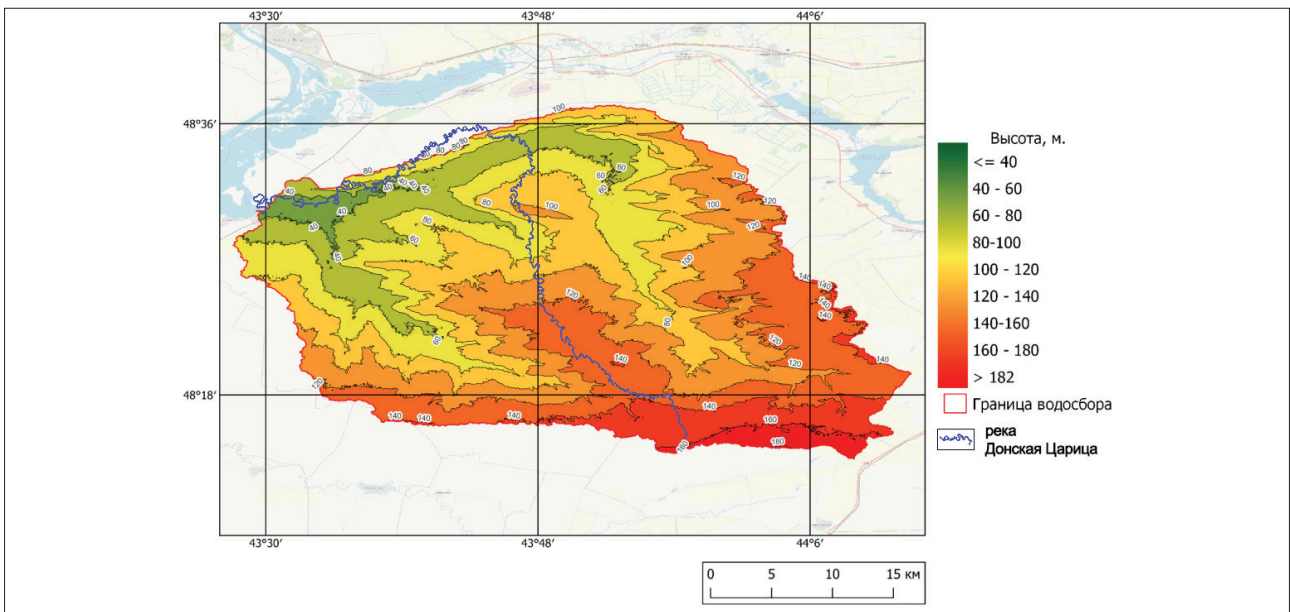


Рисунок 2 – Карта изолинейного распределения высотных отметок водосбора реки Донская Царица

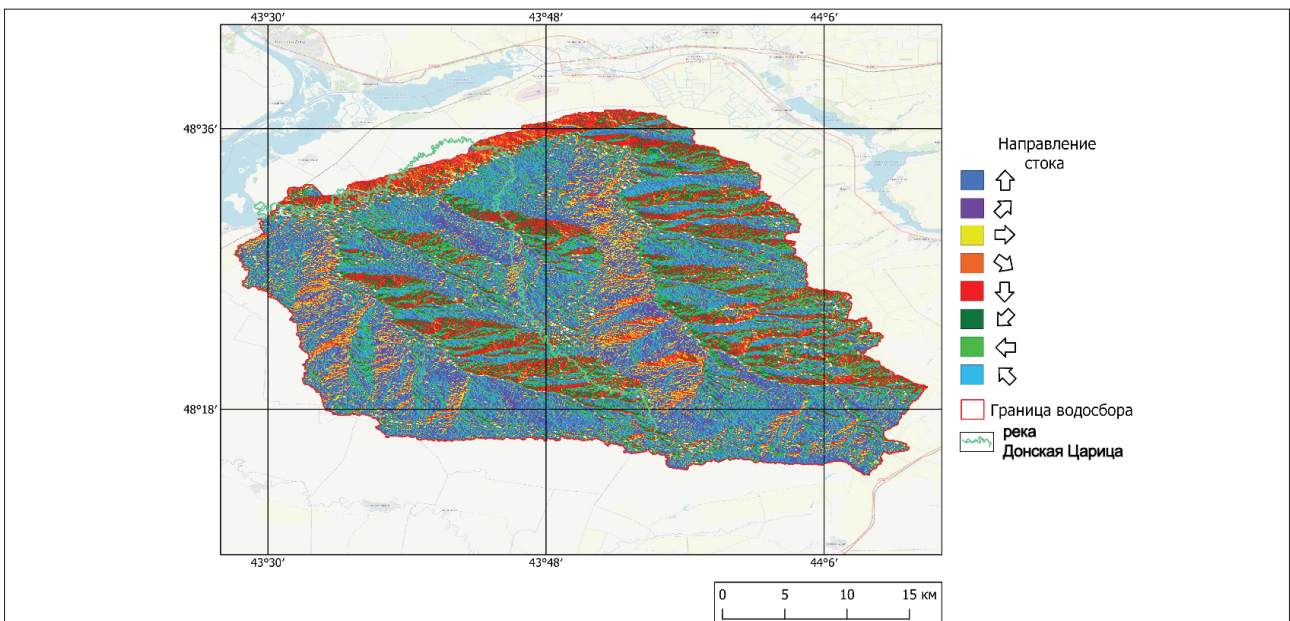


Рисунок 3 – Карта направления стока водосбора реки Донская Царица

Важным этапом моделирования является построение направления стока (рисунок 3). Так, в процессе исследования выявлены ключевые направления стока – северное и западное, на которые пришлось 25,4% и 15,8% ячеек соответственно. Стоит заметить, что растр с направлением стока является необходимым условием при характеристике водосбора и одним из начальных этапов в моделировании таких параметров как длина водостока и суммарный сток.

Корректируя водоразделы по точкам устьев, производилось моделирование водосборных областей реки Донская Царица. Точки устьев были заложены с использованием в основе ЦММ. Точность моделирования напрямую зависит от количества точек устьев (чем больше точек будет использовано в работе, тем результат будет точнее). Данный принцип позволяет произвести моделирование водосборных областей наиболее корректно (рисунок 4).

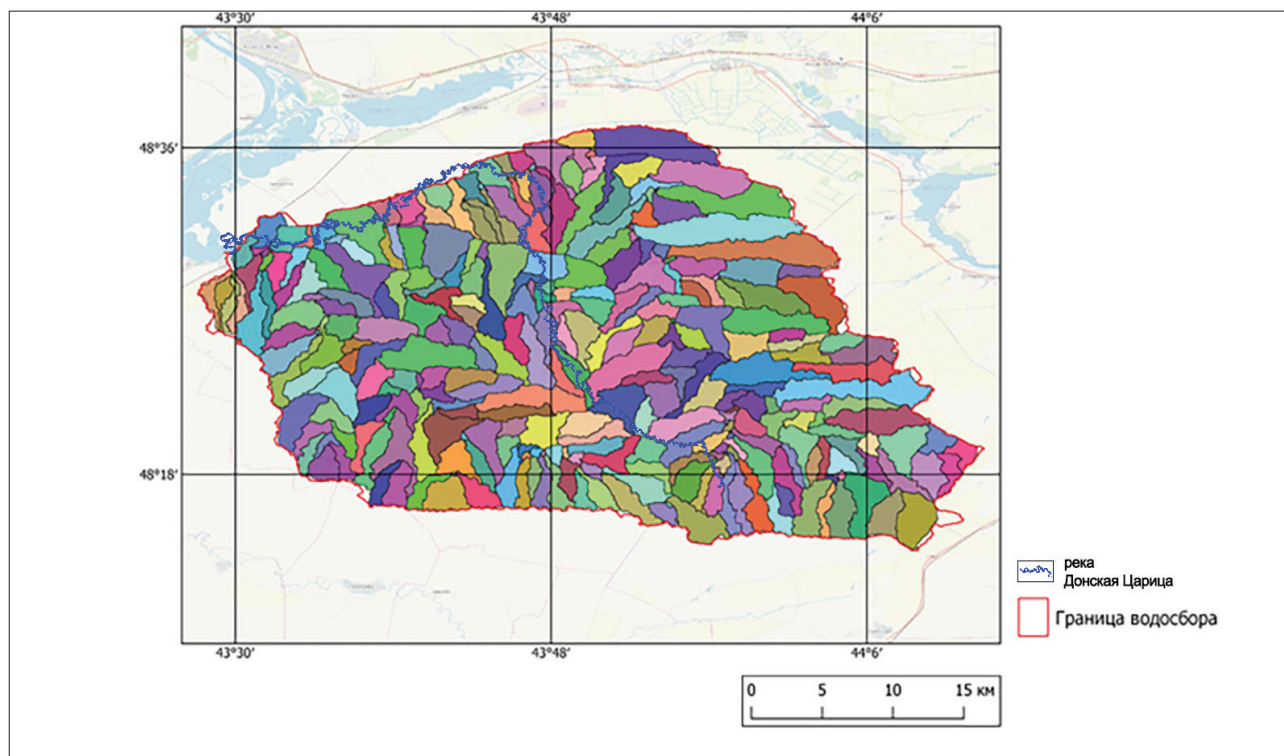


Рисунок 4 – водосборные области реки Донская Царица

В результате моделирования водосборных областей реки Донская Царица установлены 379 водосборных областей.

Дальнейшие исследования, направленные на гидрологическое моделирование поверхностного стока, сводятся к идентификации и построению водотоков. А финальным этапом такого моделирования является вычисление длины линии стока, что позволит вычислить время заполнения бассейна.

Выводы. Таким образом, опираясь на результаты исследования и моделирования водосбора реки Донская Царица, можно утверждать, что большая часть площади имеет высоты в диапазоне от 80 до 100 м (327,1 км² – 20,9% территории) и от 100 до 120 м (328,2 км² – 21,0% территории), перепад высот составляет 154 м. Преобладающее направление стока на водосборе – северное (25,4% ячеек) и западное (15,8% ячеек). Выявлено в пределах водосбора реки Донская Царица 379 водосборных областей, при общей площади водосбора 1563,5 км².

Применение ГИС технологий и различного ин-

струментария, в том числе ArcGIS и QGIS, позволяет обеспечить эффективное решение как научных, так прикладных задач, связанных с моделированием, анализом и прогнозированием поверхностного стока на водосборах.

Литература:

1. Беликов, В.В. Несибсоновская интерполяция – новый метод интерполяции значений функций на произвольной системе точек // Журнал вычислительной математики и математической физики. 1997. Т. 37. № 1. С. 11-17.
2. Виноградов Б.В. Аэрокосмический мониторинг экосистем. – М: Наука, 1984. 380с.
3. Влацкий В.В. Моделирование речного стока с использованием ГИС технологий // Вестник Оренбургского государственного университета. 2010. № 9(115). С. 104-109.
4. Геоинформационные технологии в агроресомелиорации / В.Г. Юферев, К.Н. Кулик, А.С. Рулев, К.Б. Мушаева, А.В. Кошелев, З.П. Дорохина, О.Ю. Березовикова. – Волгоград. ВНИАЛМИ, 2010. 102 с.
5. Гусева А.В. Геоинформационные системы // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2013. № 55. С. 50-55.

6. Кулик К.Н., Рулев А.С., Юферев В.Г. Дистанционно-картографическая оценка деградационных процессов в агроландшафтах юга России // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. Наука и высшее профессиональное образование. 2009. № 4. С. 12-25.

7. Бугаец А.Н. Разработка методов определения структурно-гидрографических характеристик по данным ЦМР для гидрологического моделирования. – Санкт-Петербург, 2011. 28 с.

8. Гостищев В.Д., Пономаренко Т.С., Рыжаков А.Н., Брева А.В. Гидрологические расчеты и результаты компьютерного моделирования прохождения максимальных расходов в русле реки Темерник // Гидрометеорология и экология. 2018. № 2(89). С. 89-98.

9. Кондратьев С.А., Голосов С.Д., Крейман К.Д., Игнатова Н.В. Моделирование гидрологических процессов и массопереноса в системе водосбор-водоем // Водные ресурсы. 1998. Т. 25. № 5. С. 571-580.

10. Лайкин, В.И. Геоинформатика: учебное пособие. – Комсомольск-на-Амуре: АмГПУ, 2010. 159 с

11. Мирная Д.С., Романова Д.С., Ариничева И.В. Математическое моделирование гидрологических процессов речного потока / Будущее науки: Сборник научных статей 8-й Международной молодежной научной конференции. – Курск, 2020. С. 29-32.

12. Неботова Д.В. Функциональный метод для целей моделирования гидрологических процессов / Земля и

Человек. Актуальные вопросы современного состояния окружающей среды: Сборник статей. – Санкт-Петербург: Российский государственный гидрометеорологический университет, 2020. С. 151-153.

13. Полянин В.О. Ландшафтно-гидрологический подход к моделированию стока воды с речного водосбора. – Москва, 2003. 181 с.

14. Фисенко Б.В., Ткачев А.А., Аникина Е.В., Орлова Е.В. Оценка точности цифровой модели местности Саратовской области / Геоинформационные технологии в сельском хозяйстве, природообустройстве и защите окружающей среды: материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Саратов, 2017. С. 142-145.

15. Юферев В. Г., Ткаченко Н.А. Картографирование и моделирование агроландшафтов с использованием геоинформационных систем // Научно-агрономический журнал. 2020. № 4 (111). С. 23-28. DOI 10.34736/FNC.2020.111.4.005.23-28.


16. Mark D.M: Network Models in Geomorphology. Modelling Geo-morphological Systems, 2002. 1. 73-97.

17. ASTER GDEM. URL: <https://sovzond.ru/products/spatial-data/digital-models/aster-gdem/> (дата обращения 22.03.2022)

18. ESRI ArcGIS. URL: <https://www.arcgis.com/index.html> (дата обращения 21.03.2022)

DOI: 10.34736/FNC.2022.118.3.005.37-42

Modeling of the Drainage Areas of the Donskaya Tsaritsa River

Mariya O. Shatrovskaya , Junior Researcher, e-mail: shatrovskayam@vfanc.ru, ORCID: 0000-0002-3202-4184, Laboratory of Agricultural Technologies and farming systems in agroforest landscapes – Federal State Budget Scientific Institution «Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences» (FSC of Agroecology RAS), e-mail: info@vfanc.ru, 400062, Universitetskiy Prospekt, 97, Volgograd, Russia

Nikolaj O. SHatrovskij, student – Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Volgograd State University», ob.otdel@volsu.ru, 400062, 100 Universitetsky Ave., Volgograd, Russia

Abstract. The article presents the results of modeling the catchment area of the Donskaya Tsaritsa River, which are necessary for the creation of adaptive agroforestry complexes that resist land degradation and desertification. Mapping and modeling of catchment areas of small rivers, one of which is the Donskaya Tsaritsa River, are actual and accessible tools for studying the features of the surface runoff formation, its nature, direction and area. The relevance of the research work is due to the fact that the catchment area modeling with actual tools has not been studied enough, and the available methods are based on classical methods of study, which often do not differ in sufficient accuracy. The studied object is located in two districts of the Volgograd region (Svetloyarsky and Kalachovsky) and is a left tributary of the Don River flowing into the Tsimlyanskoye reservoir. With the help of geoinformation technologies, modeling makes it possible to identify a number of surface runoff indicators, as well as to measure the characteristics of the Donskaya Tsaritsa River catchment area relief.

The result of the study was the catchment areas modeling on the territory of the Donskaya Tsaritsa River basin and the creation of a digital terrain model of the catchment relief map and a map of its flow direction. As a result of the performed study, a height difference was revealed, which amounted to 154 m, with the predominant northern (25.4% of cells) and western (15.8% of cells) flow direction. The analysis of cartographic data revealed 379 catchment areas within the Donskaya Tsaritsa River. The catchment area according to the simulation results was 1563.5 km².

Keywords: watershed modeling, watershed, surface runoff, relief, GIS

The study was carried out within the framework of the State task of the Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences “Theory and principles of the adaptive agroforestry complexes formation in the dry steppe zone of the south of the Russian Federation in the context of

climate change" (122020100312-0)

Received: 15.08.2022

Accepted: 07.09.2022

References:

1. Belikov V.V. *Nesibsonovskaya interpolyatsiya - novyy metod interpolyatsii znachenij funktsij na proizvol'noj sisteme toчек* [Non-Sibson interpolation - a new method of function values interpolation on a random system of points]. *Zhurnal vychislitel'noj matematiki i matematicheskoy fiziki* [Journal of Computational Mathematics and Mathematical Physics]. 1997. T. 37. 1. pp. 11-17.

2. Vinogradov B.V. *Aerokosmicheskij monitoring ekosistem* [Aerospace monitoring of ecosystems]. M. «Nauka» Publ. house. 1984. 380 p.

3. Vlatskiy V.V. *Modelirovanie rechnogo stoka s ispol'zovaniem GIS tekhnologij* [River flow modeling using GIS technologies]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Orenburg State University]. 2010. 9(115). pp. 104-109.

4. Yuferev V.G., Kulik K.N., Rulev A.S., Mushaeva K.B., Koshelev A.V., Dorokhina Z.P., Berezovikova O.Yu. *Geoinformatsionnye tekhnologii v agrolesomeliorsii* [Geoinformation technologies in agroforestry melioration]. 2010. Volgograd. VNIALMI Publ. house. 102 p.

5. Guseva A.V. *Geoinformatsionnyesistemy* [Geoinformation systems]. *Gornyy informatsionno-analiticheskij byulleten'* [Mining information and analytical bulletin] (scientific and technical journal). 2013. 5. pp. 50-55.

6. Kulik K.N., Rulev A.S., Yuferev V.G. *Distantsionno-kartograficheskaya otsenka degradatsionnykh protsessov v agrolandshaftakh yuga Rossii* [Remote cartographic assessment of degradation processes in agricultural landscapes of southern Russia]. *Izvestiya Nizhnevolskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proceedings of the Lower-Volga agrouniversity complex: Science and higher professional education]. 2009. 4. pp. 12-25.

7. Bugaets A.N. *Razrabotka metodov opredeleniya strukturno-gidrograficheskikh kharakteristik po dannym TSMR dlya gidrologicheskogo modelirovaniya* [Development of methods for determining structural and hydrographic characteristics according to DEM data for hydrological modeling]. Saint Petersburg. 2011. 28 p.

8. Gostishchev V.D., Ponomarenko T.S., Ryzhakov A.N., Breeva A.V. *Gidrologicheskie raschety i rezul'taty komp'yuternogo modelirovaniya prokhozheniya maksimal'nykh raskhodov v rusle reki Temernik* [Hydrological calculations and results of computer modeling of the passage of maximum flow rates in the Temernik riverbed]. *Gidrometeorologiya i ekologiya* [Hydrometeorology and ecology]. 2018. 2(89). pp. 89-98.

9. Kondrat'ev S.A., Golosov S.D., Krejman K.D., Ignat'eva N.V. *Modelirovanie gidrologicheskikh protsessov i massoperenosa v sisteme vodosbor-vodoem* [Hydrological processes and mass transfer modeling in the catchment-reservoir system]. *Vodnye resursy* [Water resources]. 1998. T. 25, 5. pp. 571-580.

10. Lajkin V.I. *Geoinformatika* [Geoinformatics]: a textbook. – Komsomolsk-on-Amur: ASUHP Publ. house. 2010. 159 p

11. Mirnaya D.S. Romanova D.S. Arinicheva I.V. *Matematicheskoe modelirovanie gidrologicheskikh protsessov rechnogo potoka* [Mathematical modeling of hydrological processes of river flow]. *Budushchee nauki* [The future of science]: Compilation of scientific articles of the 8th International Youth Scientific Conference. Kursk. 2020. pp. 29-32.

12. Nebotova D.V. *Funktsional'nyy metod dlya tselej modelirovaniya gidrologicheskikh protsessov* [Functional method for the purposes of hydrological processes modeling]. *Zemlya i Chelovek. Aktual'nye voprosy sovremennogo sostoyaniya okruzhayushchej sredy* [Earth and Man. Topical issues of the current state of the environment]: A compilation of articles. Saint Petersburg. RSHU Publ. house. 2020. pp. 151-153.

13. Polyaniy V.O. *Landshaftno-gidrologicheskij podkhod k modelirovaniyu stoka vody s rechnogo vodosbora* [Landscape-hydrological approach to water flow from a river catchment modeling]. Moscow. 2003. 181 p.

14. Fisenko B.V., Tkachev A.A., Anikina E.V., Orlova E.V. *Otsenka tochnosti tsifrovoy modeli mestnosti Saratovskoy oblasti* [Estimation of digital terrain model of Saratov region accuracy]. *Geoinformatsionnye tekhnologii v sel'skom khozyajstve, prirodoobustroytve i zashchite okruzhayushchej sredy* [Geoinformation technologies in agriculture, environmental management and environmental protection]: materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference. Saratov. 2017. pp. 142-145.

15. Yuferev V.G., Tkachenko N.A. *Kartografirovaniye i modelirovanie agrolandshaftov s ispol'zovaniem geoinformatsionnykh sistem* [Mapping and modeling of agricultural landscapes using geoinformation systems]. *Nauchno-agronomicheskij zhurnal* [Scientific Agronomy Journal]. 2020. 4 (111). pp. 23-28. DOI 10.34736/FNC.2020.111.4.005.23-28.

16. Mark D.M. *Network Models in Geomorphology. Modeling Geo-morphological Systems*. 2002. 1. 73-97.

17. ASTER GDEM. URL: <https://sovzond.ru/products/spatial-data/digital-models/aster-gdem/> (Accessed 03/22/2022)

18. ESRI ArcGIS. URL: <https://www.arcgis.com/index.html> (Accessed 03/21/2022)

Цитирование. Шатровская М.О., Шатровский Н.О. Моделирование водосборных областей реки Донская Царица // Научно-агрономический журнал. 2022. №3(118). С. 37-42. DOI: 10.34736/FNC.2022.118.3.005.37-42

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования, ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Citation. Shatrovskaya M.O., Shatrovskiy N.O. Modeling of the Drainage Areas of the Donskaya Tsaritsa River. *Scientific Agronomy Journal*. 2022. 3(118). pp. 37-42. DOI: 10.34736/FNC.2022.118.3.005.37-42

Author's contribution. Authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. Authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. Authors declare no conflict of interest.