ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА HEC-RAS ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ДЕЛЬТЫ ДОНА

Шевурдяев И.В., Бердников С.В., Клещенков А.В.

Южный научный центр РАН, Институт аридных зон ЮНЦ РАН, г. Ростов-на-Дону
ig71089@yandex.ru, berdnikov@ssc-ras.ru, geo@ssc-ras.ru

ВВЕДЕНИЕ

Естественные (природные) колебания характеристик гидрологического режима Дона и Азовского моря приводят к возникновению рисков негативного воздействия вод на население и объекты экономики. Как отмечено в Водной стратегии РФ [1], риск наводнений и иного негативного воздействия вод будет сохраняться и усиливаться в будущем в связи с учащением опасных гидрологических явлений в новых климатических условиях. Для устьевого участка Дона, в особенности его дельты, – это риски затопления в результате нагонов воды со стороны Таганрогского залива, увеличения случаев проникновения вод с относительно более высокой соленостью (на фоне низкого водного стока Дона), ухудшения качества вод, используемых для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения г. Азов и других населенных пунктов. Расчёты с помощью моделирования различных сценариев развития гидрологических явлений является актуальной задачей как для создания планов оперативного реагирования на опасные природные явления, так и для изучения гидрологических процессов в условиях дельты реки – отработки гипотез причин формирования гидрологических и связанных с ними явлений характерных для дельты Дона.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ HEC-RAS

В работе использовался программный комплекс (ПК) HEC-RAS, разработанный в Гидрологическом инженерном центре Института водных ресурсов Корпуса инженеров Военного департамента США (U.S. Army Corps of Engineers Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center) для гидрологического моделирования одномерных и двумерных водных потоков [2, 3, 4].

Двумерные гидрологические расчёты в HEC-RAS основаны на решении уравнения мелкой воды.

ПК HEC-RAS предоставляет следующие возможности:

- моделировать одномерные и двумерные гидрологические процессы (движение воды по речной сети и затопление территории) и их сочетания;

- выполнять расчёты как для уравнения Сен-Венана, так и диффузной волны для двумерных потоков;
- использовать алгоритм метода контрольных объёмов, что позволяет рассчитывать различные режимы потоков, в том числе гидравлический прыжок;
- применять регулярную и нерегулярную расчётные сетки;
- учитывать гидравлические свойства поверхности (обусловленные цифровой моделью местности/рельефа, шероховатостью поверхности и др.) для расчётных ячеек и их границ;
- проводить детальное картирование затопления бассейна и его анимацию;
- использовать множество процессоров при расчётах.

Гидрологическая модель дельты Дона

Для моделирования гидрологического режима дельты Дона в HEC-RAS использовалась оригинальная цифровая модель местности (ЦММ), разработанная на основе сочетания следующих материалов:

- ЦММ ASTER GDEM [5];
- ЕГСЕСР [6];
- топографических карт ГПЦ масштаба 1:25 000.

В расчётах использовалась нерегулярная расчётная сетка, покрывающая территорию дельты Дона (более 450 км²), содержащая более 92 тыс. ячеек. Она была разработана как регулярная сетка с шагом 100×100 м (рис. 1), осложнённая линиями, представляющими берега русел рек, дамбы, границы локальных водосборов и др. У восточной границы расчётной области (у западного моста Ростова-на-Дону) задаётся динамика стока Дона (в данном случае это постоянно 440 м³/с, 535 м³/с или 690 м³/с), на западной границе (в акватории Таганрогского залива) задаётся открытая граница при имитации затопления пустой дельты водой и динамика уровня при имитации нагона.

Взаимодействие расчётной сетки и земной поверхностью (представленной оригинальной ЦММ) обеспечивалось в ПК HEC-RAS.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Распределение стока по рукавам

На распределение и перераспределение стока по водотокам дельты влияют следующие факторы [7, 8, 9]: величина стока, поступающего в дельту, колебания уровня, морфометрические характеристики русел, рельеф дна взморья, а также ориентация рукавов относительно господствующих ветров и их местонахождение на пространстве дельты. При этом важно учитывать, что сгонно-нагонные явления вносят значительный вклад в гидрологический режим дельты и способствуют формированию здесь нестационарных водных потоков, которые по своей величине могут иногда превышать стоковую составляющую.

На основе разработанного районирования дельты Дона в HEC-RAS были проведены расчёты распределения стока по рукавам при различном расходе в вершине дельты (на входе района 1) в течение 30 дней при отсутствии нагонных явлений (рис. 2).

Рис. 2 – Схемы распределения расходов по рукавам при разных расходах в Дону (у западного моста), полевые наблюдения (оранжевым) и расчёты (серым, зелёным и синим)

Рис. 3 – Время добегаия по рукавам при расходе в Дону 440 м³/с.

Рис. 4 – Время добегаия по рукавам при расходе в Дону 535 м³/с.

Рис. 5 – Время добегаия по рукавам при расходе в Дону 690 м³/с.

При всех вариантах расхода быстрее всего добегает воды по Старому Дону и судоходному каналу (при низком варианте это 48 ч, среднем и высоком – 36 ч), дольше по Каланче и Кутерьме (при низком варианте 60 ч, среднем и высоком – 48 ч) и значительно дольше по Мёртвому Донцу (120 ч, 120 ч и 96 ч соответственно).

Как правило, опасные для экосистемы Таганрогского залива и дельты Дона подъемы уровня могут вызываться юго-западными воздушными потоками («черноморкой») над Азовским морем. Они возникают из-за значительных величин градиента давления и скорости ветра (15–20 м/с и более). Наиболее часто контрастные фронты образуются, когда циклоническая деятельность развивается над районом Балтийского моря, ложбина циклона направлена на Балканский полуостров или на северо-запад Черного моря. При этом Кавказ и Малая Азия заняты областью высокого давления, под влиянием которой находится юго-восток Черного моря [10].

Динамика затопления при нагонах

С использованием гидрологической модели HEC-RAS был проведён расчёт динамики затопления в дельте Дона при наложении экстремального нагона и повышенного расхода в Дону. Для этого в качестве динамики уровня в Таганрогском заливе (на западной границе расчётной области) был задан восстановленный ход уровня в Донском во время экстремального нагона 23–24 сентября 2014 г., в Дону был задан расход $690 \text{ м}^3/\text{с}$.

Полученная динамика затопления во время основных фаз затопления представлена на рис. 6.

Рис. 6 – Динамика уровня и схемы затопления дельты в основные фазы нагона.

ВЫВОДЫ

1. По результатам моделирования распределение стока мало зависит от изменения представленных расходов в Дону, в то же время полевые наблюдения показывают нестабильное распределение расходов по рукавам в дельте.
2. При всех вариантах расхода быстрее всего добегают воды по Старому Дону и судоходному каналу (при низком варианте это 48 ч, среднем и высоком – 36 ч), дольше по Каланче и Кутерьме (при низком варианте 60 ч, среднем и высоком – 48 ч) и значительно дольше по Мёртвому Донцу (120 ч, 120 ч и 96 ч соответственно).
3. Затопление дельты при нагоне по расчётам достигает максимальной площади на спаде уровня в Таганрогском заливе.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Русского географического общества (проект № 13-05-41528-РГО_а «Интегральная оценка эколого-геохимического состояния аквальных систем устьевой области Дона»).

Список литературы

1. Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года [Электронный ресурс]: Правительство Российской Федерации. Распоряжение от 27 августа 2009 г. № 1235-р (в ред. распоряжения Правительства РФ от 28.12.2010 N 2452-р). М., 2009 г. Доступ с сайта Министерства природных ресурсов и экологии РФ. Дата публикации 25 Мая 2012. URL: <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/detail.php?ID=128717> (дата обращения 01.08.2017).
2. HEC-RAS. Department of The Army Corps of Engineers Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/> (дата обращения 02.06.2017).
3. Hicks, F.E. and Peacock, T., 2005. Suitability of HEC-RAS for flood forecasting. Canadian Water Resources Journal, 30(2), pp.159-174.
4. Зонирование городской территории по паводковой опасности на примере города Крыма / И. В. Шевердяев // Устойчивое развитие особо охраняемых природных территорий. Сб. ст. III Всероссийской научно-практической конференции. 2016. С. 265-275.
5. ASTER Global Digital Elevation Map Announcement. URL: <https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp> [Online]
6. Атлас единой глубоководной системы Европейской части РФ. 2000. Т. 9. Ч. 1.
7. Матишов Г.Г. Климат, водные ресурсы и реконструкция гидротехнических сооружений с учетом интересов населения, рыболовства и сельского хозяйства, судоходства и энергетики. Доклад на расширенном заседании Президиума Южного научного центра РАН (г. Ростов-на-Дону, 25 мая 2016 г.) / Г.Г. Матишов. – Ростов н/Д: Издательство ЮНЦ РАН, 2016. – 64 с.
8. Краюшин В.В. Распределение воды по рукавам и протокам дельты Дона. // В кн.: Сб. Ростовской ГМО – Ростов-н/Д.: Изд-во Ростовской ГМО, 1966. – Вып. 4. – С.3–19.

9. Полонский В.Ф., Мишин Д.В., Беляев А.Г. Оценка современного состояния распределения стока воды и наносов в основных рукавах дельты реки Дон // Труды ГОИН.– СПб.: Гидрометеиздат, 2011.– Вып. 213.– 2011.- С. 313-326
10. Механизмы осолонения Таганрогского залива в условиях экстремально низкого стока Дона / Г. Г. Матишов, К. С. Григоренко, А. Ю. Московец // Наука юга России 2017. Т. 13. № 1. С. 35-43.

HEC-RAS USING FOR HYDROLOGIC REGIME MODELING ON THE DON'S DELTA

I.V. Sheverdyayev, S.V. Berdnikov, A.V. Kleschenkov

Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences,
Institute of Arid Zones SSC RAS

ig71089@yandex.ru, berdnikov@ssc-ras.ru, geo@ssc-ras.ru

Abstract. In this article HEC-RAS used in hydrological processes modeling in the Don's Delta. We use digital terrain model (DTM) which is made by combining Japan DTM, topographic maps and channel data of the united navigable deep water system of European part of Russia. Modeling mesh covers Don's Delta area and consists more than 92 thousands cells. We use HEC-RAS for modeling 3 aspects – flow distribution in the delta's channels, periods of water changes for channels and flood modeling by the wind surge.

Keywords. HEC-RAS, flow distribution, Don's Delta, hydrologic modeling, hydrologic regime, wind surge, flood modeling.

References

1. Water strategy of Russian Federation 2020. [Vodnaya strategiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2020 goda]. URL: <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/detail.php?ID=128717> [Online] (in Russian).
2. <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>
3. Hicks, F.E. and Peacock, T., 2005. Suitability of HEC-RAS for flood forecasting. Canadian Water Resources Journal, 30(2), pp.159-174.
4. Zoning of the urban area by the flood risk in example of Krymsk [Zonirovanie gorodskoy territorii po pavodkovoy opasnosti na primere goroda Krymska] / I. V. Sheverdyayev // Sustainable development of protected areas. Digest of III All-Russian conference 2016. pp. 265-275.
5. ASTER Global Digital Elevation Map Announcement. URL: <https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp> [Online]
6. Atlas of the united deep-water system of the European part of Russian Federation [Atlas yedinoi glubokovodnoy sistema Yevropeyskoy chaste RF]. 2000. T. 9. P. 1.
7. Matishov, G.G. Climate, water resources and repair hydraulic structures taking into the interests of the population, fisheries, agriculture, shipping and energy. Report at the enlarge meeting of the Presidium Southern Scientific Center of the RAS (Rostov-on-Don, 25 may 2016). [Klimat, vodnye resursy i rekonstruktsiya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy s uchetom interesov naseleniya, rybolovstva i sel'skogo khozyajstva, sudokhodstva i energetiki. Doklad na rasshirennom zasedanii Prezidiuma Yuzhnogo nauchnogo tsentra RAN] –Rostov-on-Don: SSC-RAS Publishing, 2016. – 64 pp.
8. Krayushin V. V. The distribution of water by channels of the Don's Delta [Raspreделение vody po rukavam i protokam delty Dona] // In digest of Rostov Hydrometeorology. Rostov-on-Don. 1966. No 4. pp. 3-19.

9. Polonskiy V.F., Mishin D.V., Belyaev A.G. The assessment of the modern condition of the flow distribution and silts in the main channel of the Don's Delta [Otsenka sovremennogo sostoyania raspredelenia stoka vody i nanosov v osnovnykh rukavakh delty reki Don] // Trudy GOIN. Saint-Petersburg: Gidrometeoizdat, 2011. No 213. 2011. pp.313-326.
10. G. G. Matishov, K. S. Grigorenko, A. Yu. Moskovets The mechanisms of Taganrog bay salting in conditions of extreme low Don's flow [Mekhanizmy osoloneniya Taganrogskego zaliva v usloviakh ekstremalno nizkogo stoka Dona] // Nauka yuga Rossii. 2017. T. 13. No 1. pp. 35-43.