



УДК 556.5; 551.465

## ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЗАДАЧАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СУДОХОДСТВА В УСТЬЯХ РЕК ВОЛГИ И ДОНА

**Землянов Игорь Владимирович**, зав. отделом информационного обеспечения морской и водохозяйственной деятельности, ФГБУ «ГОИН», Росгидромет

119034, г. Москва, Кропоткинский переулок, 6

**Горелиц Ольга Владимировна**, ст.н.с. отдела информационного обеспечения морской и водохозяйственной деятельности, ФГБУ «ГОИН», Росгидромет

119034, г. Москва, Кропоткинский переулок, 6

**Мигунов Дмитрий Алексеевич**, мл.н.с. отдела информационного обеспечения морской и водохозяйственной деятельности, ФГБУ «ГОИН», Росгидромет

119034, г. Москва, Кропоткинский переулок, 6

**Милютин Инга Юрьевна**, н.с. отдела информационного обеспечения морской и водохозяйственной деятельности, ФГБУ «ГОИН», Росгидромет

119034, г. Москва, Кропоткинский переулок, 6

---

*Работа выполняется в рамках Госзадания Росгидромета – Тема 5.5  
(Информационная карта НИОКТР 125031803974-3 от 18/11/2025)*

---

*Аннотация. Представлены результаты опытной эксплуатации согласованных гидродинамических моделей типа «река-море» для краткосрочного прогнозирования уровней воды в устьях рек Волги и Дона – ключевых узлах Международных транспортных коридоров (МТК). Интеграция речной и морской гидродинамических моделей открывает широкие возможности для оперативного управления навигацией в судоходных рукавах дельт рек в условиях сгонно-нагонных явлений на фоне современных колебаний уровня моря.*

*Ключевые слова: устья рек, гидродинамическое моделирование, судоходный рукав, уровень воды, расход воды.*

Устьевые области рек с давних времен являются центрами экономического и культурного развития, здесь сформировались крупнейшие города, научные и промышленные центры. Через устья рек проходят важнейшие торговые пути, соединяющие страны и континенты [1]. Сегодня дельты крупнейших рек нашей страны являются инфраструктурными узлами международных транспортных коридоров (МТК), в них обеспечиваются возможности транспортировки и перевалки различных грузов между рекой и морем.

В Транспортной Стратегии РФ до 2030г. с прогнозом на период до 2035г. сформулировано приоритетное развитие Международных транспортных коридоров (МТК) как одного из ведущих механизмов повышения транспортной связности территории Российской Федерации и увеличения объемов транзита грузов между Азией и Европой. По внутренним водным путям Европейской территории РФ идет

транспортировка грузов в рамках крупнейшего МТК «Север-Юг» с выходом к Трансарктическому транспортному коридору (ТТК) для соединения с перевозками по Северному морскому пути (СМП).

Ключевыми пунктами транспортных коридоров в пределах ЕТР являются устья рек Волги, Дона, Невы, Северной Двины, Печоры. В будущем рассматривается развитие портовой и сухопутной транспортной инфраструктуры в устьях рек Белого моря – Онеги, Мезени и Баренцева моря – Индиги. В этих условиях исследования современного гидрологического режима устьев рек, мониторинг уровней и расходов воды и развития русловых процессов на судоходных участках являются приоритетными задачами обеспечения безопасности судоходства.

В начале XXI в. в ходе активного освоения и использования устьевых областей рек и прибрежных акваторий, происходящего на фоне современных климатических изменений, неуклонно возрастает значение действующих государственных и ведомственных сетей наблюдения, а также регулярных специализированных экспедиционных исследований в устьях рек [2]. Но в последние десятилетия поток данных наблюдательной сети Росгидромета, данных ведомственных наблюдений и материалов полевых исследований сокращается.

Существующий объективный недостаток информации о гидрологическом режиме устьев рек восполняется за счет применения современных цифровых компьютерных технологий сбора, обработки и анализа данных, применения дистанционных методов исследования, развития гидродинамического моделирования для оценки текущих параметров и предупреждения о возникновении опасных гидрологических явлений [3, 4].

В настоящее время в Государственном океанографическом институте им. Н.Н.Зубова (ФГБУ «ГОИН») в рамках развития и внедрения современных технологий информационного обеспечения ведется разработка программно-технологических комплексов диагноза и прогноза гидрологических и гидрометеорологических условий в устьевых областях судоходных рек и прибрежной зоне морей. Программные комплексы разрабатываются в целях оперативного предоставления пользователям актуальной информации о гидрологическом режиме устьев рек и прогноза уровней воды в транзитной зоне река-море [5, 6, 7].

В основе комплексной технологии информационного обеспечения ФГБУ «ГОИН» лежит использование системы согласованных гидродинамических моделей «река-море». В качестве прототипов системы в режиме опытной эксплуатации действуют расчетно-модельные комплексы, разработанные для судоходного Азово-Донского морского канала (АДМК) в устье Дона и Волго-Каспийского морского судоходного канала (ВКМСК) в устье Волги [8, 9]. В составе каждого расчетно-модельного комплекса работают совместно речная двумерная гидродинамическая модель DELFT3D и морская гидротермодинамическая модель циркуляции INMOM [6, 10, 11, 12]. В работе используются синтетические цифровые модели рельефа (ЦМР) [13, 14], сформированные по данным различных источников геопространственной информации. Расчеты проводятся на криволинейной, ортогонализированной сетке с переменным шагом, пространственное разрешение – от 10 м в русловой части до 100-150м на пойменных пространствах и на устьевом взморье.

Расчетно-модельный комплекс РМК «Дон-модель» (Рисунок 1) объединяет гидродинамическую модель дельты р. Дон с моделью циркуляции Азовского моря. РМК «Дон-модель» предназначен для краткосрочного прогнозирования уровней воды по судоходному рукаву от створа в районе г. Аксай до устьевоего взморья в створе Таганрог-Очаковская коса. В качестве начальных условий задается расход воды в вершине устьевой области р.Дон, граничными условиями являются прогнозные значения уровня Азовского моря в створе сопряжения речной и морской моделей [4, 5, 15].

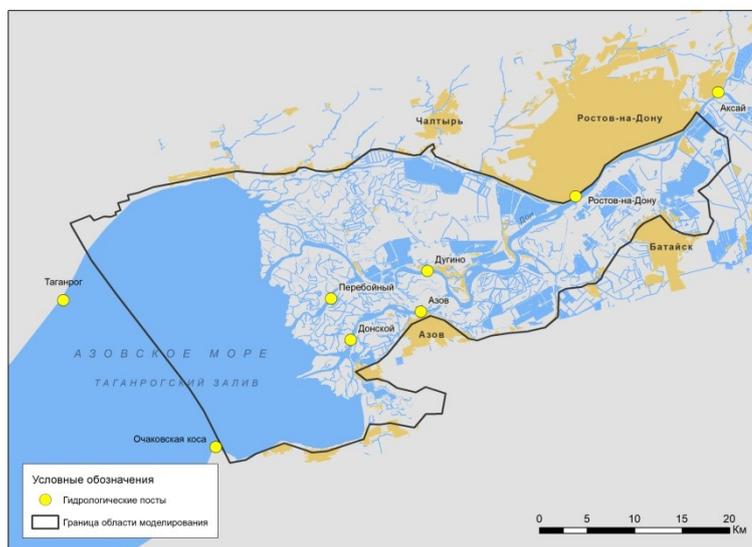


Рис.1. Область моделирования РМК «Дон-модель».

Расчетно-модельный комплекс РМК «ВКМСК-модель» (Рисунок 2) объединяет гидродинамическую модель западной части дельты р. Волги, включая акваторию Волго-Каспийского морского судоходного канала, с моделью циркуляции Каспийского моря. РМК «ВКМСК-модель» предназначен для краткосрочного прогнозирования уровней воды по трассе Волго-Каспийского морского судоходного канала от вершины дельты Волги у с.Верхнелебязье до его выхода на границу отмелей зоны устьевого взморья [9, 16]. В качестве начальных условий задается расход воды в вершине устьевой области р. Волги, граничными условиями являются прогнозные значения уровня Каспийского моря в створе сопряжения речной и морской моделей.

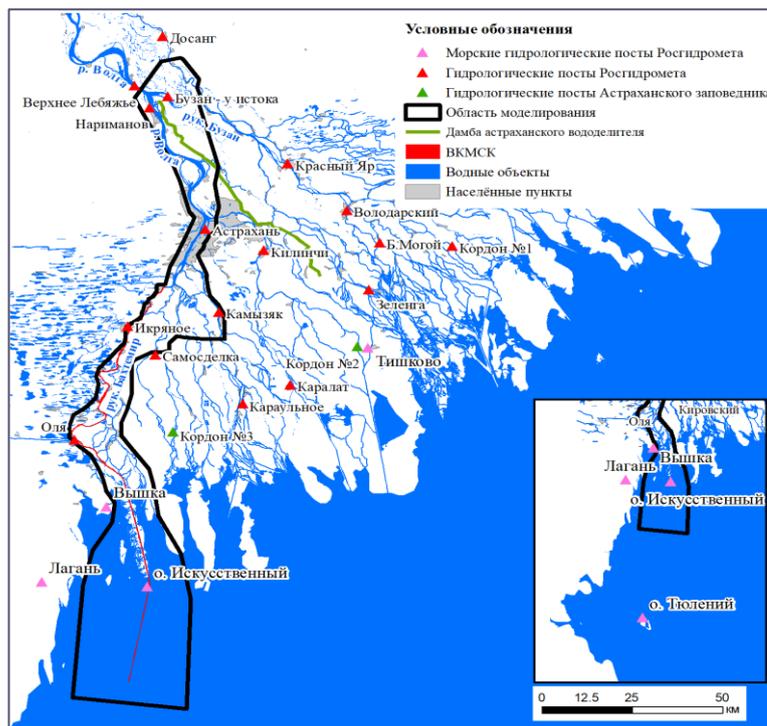


Рис.2. Область моделирования РМК «ВКМСК-модель».

Выходной информацией моделирования является прогноз ежечасных уровней воды. Для судоходного канала устьевой области р. Дон прогнозные значения фиксируются в контрольных точках – на гидрологических постах в г.Аксай, г.Ростов-на-Дону, г.Азов, г. Таганрог. Для судоходного канала устьевой области Волги прогноз

ежечасных уровней воды выдается в контрольных точках на гидрологических постах с.Верхнелебяжье, г.Астрахань, с.Оля (Рисунки 1, 2).

Оценка достоверности прогностических расчетов выполняется согласно РД 52.27.759–2011 «Наставление по службе прогнозов» [17] на основе сопоставления с фактическими значениями уровней воды в контрольных точках. Общая оправдываемость прогнозов выражается процентным отношением числа оправдавшихся прогнозов к общему числу прогнозов.

Начиная с 2020 г., ФГБУ «ГОИН» совместно с ФГБУ «Северо-Кавказское УГМС» проводит опытную эксплуатацию РМК «Дон-модель», в ходе которой налажена оперативная ежедневная передача результатов прогностических расчетов с суточной заблаговременностью. Помимо оперативных прогностических расчетов, по окончании периода навигации, проводятся ретроспективные расчеты для повышения качества моделирования [18].

Оценка качества прогноза уровней в устье Дона по результатам ретроспективных расчетов за безледный период апрель-ноябрь 2024г., выполненных с учетом актуальных уточнений, в том числе с расширенной расчетной сеткой, углубленными гирлами в устьях дельтовых рукавов, корректировкой прогнозных уровней моря, коэффициентов Шези и ветрового воздействия, показала хорошие результаты. Использованы все данные наблюдений, которые в контрольных точках выполняются в стандартные сроки (Таганрог, Аксай) и ежечасно (Азов, Ростов-на-Дону). Оправдываемость уточненного прогноза уровней в устье Дона для всех контрольных точек превышает 85% (Таблица 1).

Таблица 1

**Оценка оправдываемости прогноза уровней воды в устье р.Дон (2024 г.)**

Пост	Таганрог	Азов	Ростов	Аксай
$\bar{b}_{\Delta h}$ , м	0.30	0.31	0.27	0.23
$\delta$ допустимая ( $\pm$ ), м	0.20	0.21	0.18	0.16
$ \delta $ средняя, м	0.11	0.12	0.09	0.09
Число оправдавшихся прогнозов	826	4929	5186	445
Оправдываемость, %	86%	86%	90%	86%

Разработка РМК «ВКМСК-модель» ведется ФГБУ «ГОИН» с 2023 г. в условиях продолжительного падения уровня Каспийского моря. Оценка качества прогноза уровней в устье Волги выполняется в процессе тестирования РМК «ВКМСК-модель». В Таблице 2 представлены результаты оценки на примере предполоводного периода март-апрель 2024 г. Для расчетов использованы среднесуточные величины уровня воды, полученные по данным наблюдений в контрольных точках. Оправдываемость прогноза в контрольной точке Астрахань составила 73%, в в районе порта Оля – 64% (Таблица 2).

Таблица 2

**Оценка оправдываемости прогноза уровней воды в устье р.Волга (2024 г.)**

Пост	Верхнелебяжье	Астрахань	Оля
$\bar{b}_{\Delta h}$ , м	0,065	0,041	0,025
$\delta$ допустимая ( $\pm$ ), м	0,044	0,028	0,017
$ \delta $ средняя, м	0,036	0,025	0,014
Число оправдавшихся прогнозов	29	32	28
Оправдываемость, %	66	73	64

В ходе разработки и эксплуатации расчетно-модельных комплексов краткосрочного прогнозирования уровней воды определены актуальные проблемы, решение которых в первую очередь позволит повысить качество прогнозов:

- детализация руслового рельефа в дельтовых рукавах, рельефа поверхности пойменных островов и прибрежных территорий, в том числе урбанизированных, с учетом текущего антропогенного воздействия (дноуглубление, расчистки, сооружение дамб, строительство дорог, зданий и др.);

- детализация морской батиметрии, включая прибрежную зону устьевого взморья и далее в пределах морских границ расчетных областей моделирования.

Ближайшие перспективы развития комплексной технологии информационного обеспечения ФГБУ «ГОИН» для обеспечения судоходства с использованием системы согласованных гидродинамических моделей в зонах транзита «река-море»:

- эксплуатация РМК «Дон-Модель» в оперативном режиме;
- дальнейшая проработка РМК «ВКМСК-модель» и переход к опытной эксплуатации;

- разработка системы прогнозирования для устьевой области Невы – РМК «Нева-модель» – на основе согласованных гидродинамических моделей дельты р. Невы и Финского залива Балтийского моря с учетом функционирования Комплекса защитных Санкт-Петербурга от наводнений.

### Список литературы:

1. Михайлов В.Н. Устья рек России и сопредельных стран: прошлое, настоящее и будущее. М.: ГЕОС, 1997. – 413 с.
2. Землянов И.В., Горелиц О.В. Основные задачи реализации мониторинга водных объектов Нижней Волги. // В сб. «Водные ресурсы Волги. Настоящее, будущее, проблемы управления». Астрахань. Изд.дом «Астраханский университет». 2008. С.132-146
3. Горелиц О.В., Землянов И.В., Павловский А.Е., Поставик П.В., Синенко Л.Г., Ткаченко Ю.Ю. Дистанционные методы исследований в задачах мониторинга водных объектов. // в сб. «Исследования океанов и морей». Труды ГОИН. Вып.211. 2008. С.425-444
4. Землянов И.В., Мигунов Д.А., Горелиц О.В. Современные технологии цифровизации гидрометеорологического обеспечения для прогноза уровня на судоходных участках устьев рек // Гидротехника. 2025. № 1 (78). С. 15–23. EDN: JQUUKQ
5. Землянов И.В., Павловский А.Е., Милютина И.Ю., Кудряшов С.А., Горелиц О.В. Технология моделирования и прогноза уровней воды на основе согласованных моделей река-море на примере устьевой области реки Дон // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2024. № 2. С. 38–50. DOI: 10.35567/19994508-2024-2-38-50
6. Мигунов Д.А., Терский П.Н., Горелиц О.В., Раткович Е.Л. Современное распределение стока в дельте Волги – анализ и моделирование // Метеорология и гидрология, №12, 2023. С.69-81. DOI: 10.52002/0130-2906-2023-12-69-81
7. Sutherland, J., Walstra, D.J.R., Chesher, T.J., van Rijn, L. C., & Southgate, H.N. (2004). Evaluation of coastal area modelling systems at an estuary mouth // Coastal Engineering, 51(2), 119–142
8. Землянов И.В., Павловский А.Е., Милютина И.Ю., Горелиц О.В., Сапожникова А.А. Краткосрочный прогноз уровней воды в устьевой области р. Дон на основе гидродинамического моделирования // Водные ресурсы. 2022. Т. 49. № 5. С. 596–607. DOI: 10.31857/S0321059622050170
9. Д. А. Мигунов, П. Н. Терский, О. В. Горелиц. Двумерная гидродинамическая модель западной части Дельты Волги на основе комплекса Delft 3D - опыт разработки и первые результаты // Водные ресурсы в условиях глобальных вызовов: экологические проблемы, управление, мониторинг: Сборник трудов Всероссийской научно-

- практической конференции с международным участием. В 2-х томах, Ростов-на-Дону, 20–22 сентября 2023 года. Том 2. – Новочеркасск: ООО "Лик", 2023. – С. 292-296.
10. Delft Hydraulics, "Delft3D-FLOW User Manual Version 3.14," Delft, 2007. Режим доступа: <https://oss.deltares.nl/web/delft3d/> (дата обращения 20.05.2025)
  11. DELFT-3D – программный комплекс для гидродинамического моделирования с модулем DELFT3D-FLOW, разработанный институтом прикладных исследований в сфере поверхностного и подземного стока «Deltares». Режим доступа: <https://oss.deltares.nl/web/delft3d/> (дата обращения 20.05.2025)
  12. Гусев А.В., Дианский Н.А. Воспроизведение циркуляции Мирового океана и её климатической изменчивости в 1948-2007 гг. с помощью модели INMOM. Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2014. Т. 50. № 1. С. 3-15. DOI:10.7868/S0002351513060072
  13. Сайт компании-разработчика ЦМР Fathom. Режим доступа по ссылке: [www.fathom.global/product/fabdem/](http://www.fathom.global/product/fabdem/) (дата обращения 20.05.2023)
  14. Hawker, Laurence & Uhe, Peter & Paulo, Luntadila & Sosa, Jeison & Savage, James & Sampson, Christopher & Neal, Jeffrey. (2022). A 30m global map of elevation with forests and buildings removed. Environmental Research Letters. 17. 10.1088/1748-9326/ac4d4f.
  15. Фомин В.В., Дианский Н.А. Расчет экстремальных нагонов в Таганрогском заливе с использованием моделей циркуляции атмосферы и океана // Метеорология и гидрология. 2018. № 12. С. 69–80. EDN: VOGROA
  16. Фомин, В. В., Дианский, Н. А., Коршенко, Е. А., Выручалкина, Т. Ю., "Система оперативного диагноза и прогноза гидрометеорологических характеристик Каспийского моря и оценка точности прогнозов по данным натурных измерений", Метеорология и гидрология, № 9, С. 49-64, 2020. EDN: ORADBV
  17. РД 52.27.759–2011. Наставление по службе прогнозов. Раздел 3. Ч. III. Служба морских гидрологических прогнозов. М.: Триада ЛТД, 2011. 189 с.
  18. Землянов И.В., Павловский А.Е, Милютин И.Ю., Горелиц О.В. Источники ошибок прогноза сгонно-нагонных колебаний уровня при гидродинамическом моделировании устьевой области р. Дон // Метеорология и гидрология. 2024. № 11. С. 74–85. DOI: 10.52002/0130-2906-2024-11-74-85.

## **HYDRODYNAMIC MODELING IN THE TASKS OF ENSURING NAVIGATION AT THE MOUTHS OF THE VOLGA AND DON RIVERS**

Igor V. Zemlyanov, Olga V. Gorelits, Dmitrii A. Migunov, Inga Yu. Milyutina

*Abstract. The results of experimental operation of coordinated river-sea hydrodynamic models for short-term forecasting of water levels at the mouths of the Volga and Don rivers, key nodes of international transport corridors (ITCs), are presented. The integration of river and sea hydrodynamic models opens up wide opportunities for operational navigation management in navigable branches of river deltas under conditions of surge phenomena and modern sea level fluctuations.*

*Keywords: river mouths, hydrodynamic modeling, navigable channel, water level, water discharge.*