

УДК 532.543.2
DOI: 10.7868/S25000640220303

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЕТРОВОЙ СИТУАЦИИ В ТАГАНРОГСКОМ ЗАЛИВЕ НА УРОВЕНЬ ВОДЫ В ДЕЛЬТЕ ДОНА

© 2022 г. А.Л. Чикин¹, А.В. Клещенков¹, Л.Г. Чикина², А.М. Коршун³

Аннотация. Представлена математическая модель, объединяющая в себе две модели: модель гидродинамики Азовского моря и модель движения воды в основных рукавах дельты Дона. Предложенный подход позволяет по рассчитанным значениям уровня воды в принимающем водоеме определять гидродинамические характеристики руслового потока в основных рукавах дельты Дона в зависимости от ветровой ситуации в Азовском море и Таганрогском заливе. Это особо ценно для бесшовного анализа общей гидродинамики в устьевой области Дона, что может оказаться полезным в будущем для оценки транспорта общей взвеси, микропластика, интрузий соленых вод и исследования иных типов загрязнения.

Сравнение наблюдавшихся и расчетных значений уровня воды в исследованной области демонстрирует удовлетворительное качество получаемых результатов, что говорит о достаточной адекватности представленной модели, однако расчетные значения в основном несколько завышены по сравнению с зарегистрированными данными. Возможна дополнительная корректировка расчетных значений с помощью поправочных коэффициентов.

Предлагаемая методика может применяться и для других водоемов при совместном расчете течений в устьевых руслах и ветровых течений в принимающем водоеме.

Ключевые слова: неустановившееся течение, математическая модель, вычислительный эксперимент, сгонно-нагонные явления, течение в русле.

NUMERICAL STUDY OF THE INFLUENCE OF THE WIND SITUATION IN THE TAGANROG BAY ON THE WATER LEVEL IN THE DON RIVER DELTA

A.L. Chikin¹, A.V. Kleshchenkov¹, L.G. Chikina², A.M. Korshun³

Abstract. A mathematical model comprising a model of the hydrodynamics of the Sea of Azov and a model of water movement in the main branches of the Don delta. The proposed approach makes it possible to determine the hydrodynamic characteristics of the channel flow in the main branches of the Don delta, depending on the wind situation in the Sea of Azov and the Taganrog Bay, using the calculated values of the water level in the receiving reservoir. This is especially valuable for a seamless analysis of the general hydrodynamics in the mouth area of the Don, which may be useful in the future for assessing the transport of total suspended matter, microplastics, salt water intrusions, and the study of other types of pollution.

Comparison of the observed and calculated values of water levels in the study area demonstrates the satisfactory quality of the results obtained, which indicates sufficient adequacy of the presented model, however, the calculated values are generally somewhat overestimated compared to the observed data. Additional adjustment of the calculated values is possible with the help of correction factors.

¹ Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук (Federal Research Centre the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russian Federation), Российская Федерация, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41, e-mail: chikin1956@gmail.com

² Южный федеральный университет (Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russian Federation), Российская Федерация, 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42

³ Северо-Кавказский филиал Московского технического университета связи и информатики (North Caucasus Branch of Moscow Technical University of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russian Federation), Российская Федерация, 344002, г. Ростов-на-Дону, ул. Серафимовича, 62

The proposed method can also be applied to other water bodies in the joint calculation of currents in the mouth channels and wind currents in the receiving water body.

Keywords: unsteady flow, mathematical model, computational experiment, surge phenomena, flow in the channel.

ВВЕДЕНИЕ

Устьевая область Дона – ключевой район бассейна Азовского моря, где происходят сложные процессы взаимодействия речных и морских вод [1; 2]. Устьевая область Дона состоит из устьевого участка реки (от станицы Раздорской до вершины дельты в районе г. Ростова-на-Дону), дельты Дона и Таганрогского залива и характеризуется проявлением здесь сгонно-нагонных колебаний уровня воды [3–5].

Для основного русла Дона от станицы Раздорской до вершины дельты, состоящего только из одной открытой части, в статье [6] с помощью математической модели проведено численное исследование зависимости поверхностного уровня воды от расхода поступающей воды и уровня воды в принимающем водоеме. В работе [7] область расчета расширена до границы с Таганрогским заливом и включает в себя три основных рукава Дона: Старый Дон (судоходный рукав), Большую Каланчу, переходящую в Мокрую Каланчу, и Большую Кутерьму. При расчете течений в рукавах Дона в качестве входных данных используется уровень воды в принимающем водоеме – Таганрогском заливе, – а также расход поступающей в основное русло воды. Эти данные берутся, как правило, из наблюдений. Однако провести наблюдения и получить значения уровня во всех нужных точках, особенно в устьях основных рукавов дельты Дона, часто не представляется возможным. Для преодоления этой проблемы было предложено использовать модель гидродинамики Азовского моря для получения значений уровня воды в нужных точках при заданной ветровой ситуации. Таким образом происходит своего рода объединение модели гидродинамики Азовского моря и модели гидродинамики устьевого участка р. Дон.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Принцип работы объединенной модели следующий. Для заданной ветровой ситуации на каждом временном шаге рассчитываются скорости течения и величина уровня воды в Таганрогском заливе.

В связи с тем, что гидродинамика Таганрогского залива определяется гидродинамикой Азовского моря, расчет проводится для всего моря в целом. Кроме того, с вычислительной точки зрения такой подход существенно облегчает решение задачи, так как нет необходимости ставить граничные условия на открытой границе Таганрогского залива. Затем значения уровня воды, соответствующие точкам устьев основных рукавов Дона, передаются в модель руслового потока и производится расчет параметров течения в русле. Таким образом, имеется возможность наблюдать расчетные значения как в основных рукавах Дона, так и в точках принимающего водоема – Таганрогского залива.

Математическое представление объединенной модели моря и русла можно дать следующим образом. Движение воды в Азовском море описывается уравнениями мелкой воды:

$$\begin{aligned} \frac{du_s}{dt} - \Omega v_s &= -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + v_{xy} \left(\frac{\partial^2 u_s}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_s}{\partial y^2} \right) + \\ &+ \frac{\tau_{sx}}{H} - \frac{\tau_{bx}}{H}, \\ \frac{dv_s}{dt} + \Omega u_s &= -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + v_{xy} \left(\frac{\partial^2 v_s}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_s}{\partial y^2} \right) + \\ &+ \frac{\tau_{sy}}{H} - \frac{\tau_{by}}{H}, \\ \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial H u_s}{\partial x} + \frac{\partial H v_s}{\partial y} &= 0. \end{aligned}$$

Здесь $H = h + \zeta$, $h = h(x, y)$ – глубина мелководного слоя; $u_s = u_s(x, y, t)$, $v_s = v_s(x, y, t)$ – компоненты скорости; $\zeta = \zeta(x, y, t)$ – возмущение уровня воды; Ω – коэффициент Кориолиса; τ_{sx} , τ_{sy} – проекции на оси Ox и Oy силы трения ветра о поверхность водоема; τ_{bx} , τ_{by} – проекции на оси Ox и Oy силы трения жидкости о дно. Эти величины зависят от скорости ветра $\vec{W}_B = W_x; W_y$ и течения $\vec{W}_T = u_s; v_s$ и определяются так [8]:

$$\bar{\tau}_s = \gamma |\bar{W}_B| \bar{W}_B, \quad \bar{\tau}_b = \beta |\bar{W}_T| \bar{W}_T,$$

где β – коэффициент трения слоя жидкости о дно; γ – коэффициент трения ветра о свободную поверхность.

Гидродинамика в основных рукавах дельты Дона рассматривается как движение воды в открытом русле без распределенного бокового притока и задается следующей системой дифференциальных уравнений [9]:

$$\begin{cases} \frac{\partial W}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0, \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + \alpha_s \frac{\partial \left(\frac{Q^2}{W} \right)}{\partial x} + gW \left(\frac{\partial z}{\partial x} + \frac{Q|Q|}{K^2} \right) = 0, \end{cases}$$

где Q – расход воды, м³/с; t – время, с; W – площадь живого сечения, м²; z – уровень воды, м; x – координата, м; K – модуль расхода, м³/с; $g = 9,81$ – принятое значение ускорения свободного падения, м/с². Коэффициент $\alpha_s \geq 1$ учитывает неравномерное распределение скоростей по живому сечению потока. Для идеализированных русел рукавов с параболической формой поперечного сечения α_s обычно близок к единице. Модуль расхода K вычисляется

по формуле $K = WC\sqrt{R}$, здесь R – гидравлический радиус; C – коэффициент Шези, найденный по

формуле Маннинга $C = \frac{R^{\frac{1}{6}}}{n}$; n – шероховатость

дна. Шероховатость дна оценивалась по фактическим наблюдениям, выполненным в ходе экспедиционных работ на научно-исследовательском судне «Профессор Панов» в дельте Дона и на Нижнем Дону в 2020–2022 гг.

Задача решается конечно-разностными методами. Численная реализация представленных подмоделей подробно описана в работах [7; 10].

Предложенная комбинированная модель использовалась для расчета уровня воды в точках, соответствующих станциям наблюдения, находящимся как на устьевом взморье Дона, так и в основных рукавах дельты реки. Были рассмотрены различные ветровые ситуации разной продолжительности и в разное время года. Для каждого периода была использована своя ветровая ситуация. Расчетные и зарегистрированные значения уровня воды сравнивались для гидропостов (рис. 1):

– Азов, расположенного в русле Старый Дон в 16 км от его устья;

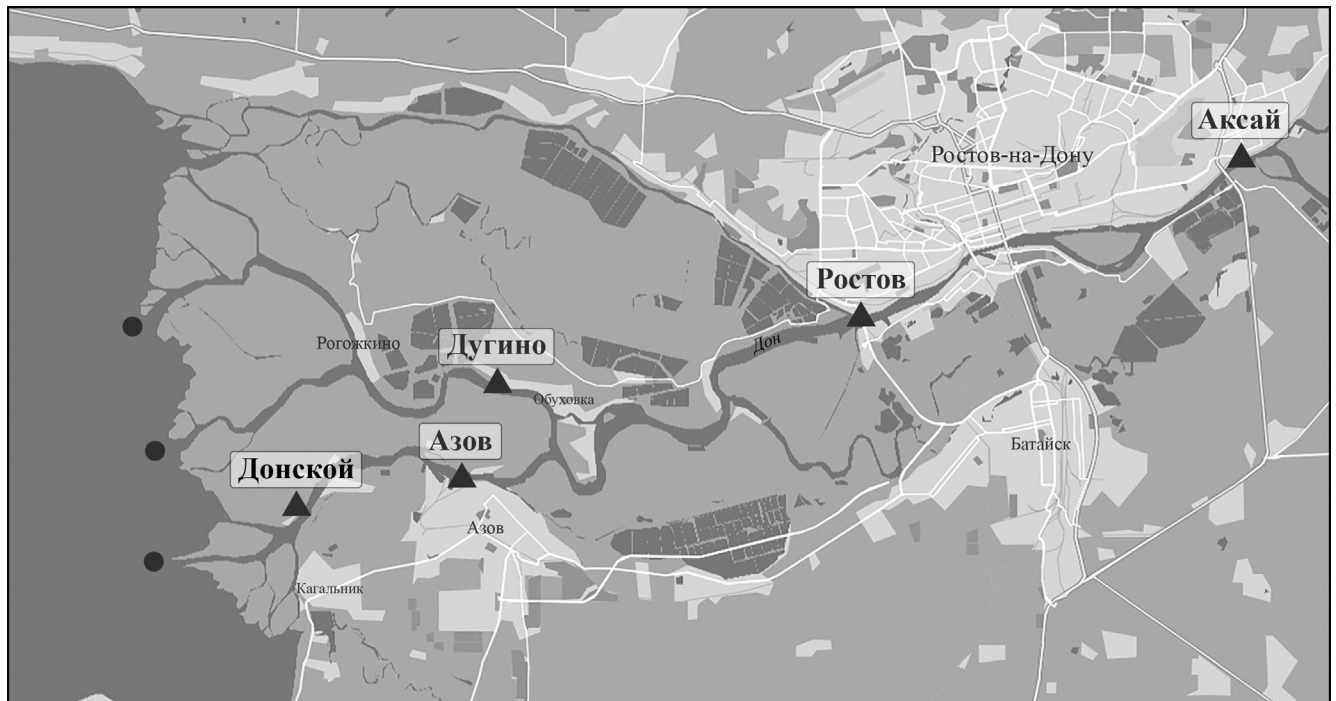


Рис. 1. Расположение гидропостов и расчетных точек уровней в устьях основных рукавов Дона. Гидропосты обозначены треугольниками, кружками обозначены расчетные точки, где задавались уровни для определения параметров течения в основных рукавах Дона.

Fig. 1. Location of gauging stations and calculated level points at the mouths of the main branches of the Don. The gauging stations are indicated by triangles, the circles indicate the calculated points where the levels were set to determine the flow parameters in the main branches of the Don.

- Дугино, расположенного в рукаве Большая Каланча;
- Ростов-на-Дону и Аксай, расположенных в основном русле Дона;
- Донской, расположенного в 4 км от устья рукава Старый Дон.

Значения величин уровня воды на гидропостах, зафиксированные 2 раза в сутки и затем усредненные, взяты из опубликованных данных Росгидромета [11]. На разных гидропостах и в разные периоды значения снимались с интервалами от 10 минут (Донской) до 2 раз в сутки (в 8:00 и 20:00) (Азов, Дугино, Ростов-на-Дону, Аксай).

Расчетные значения могут сниматься с любым интервалом времени. В приводимом вычислительном эксперименте значения снимались 8 раз в сутки (через каждые 3 часа). Затем полученные значения усреднялись двумя способами:

- 1) усреднялись все 8 значений за сутки;
- 2) усреднялись только 2 значения, соответствующие 8:00 и 20:00.

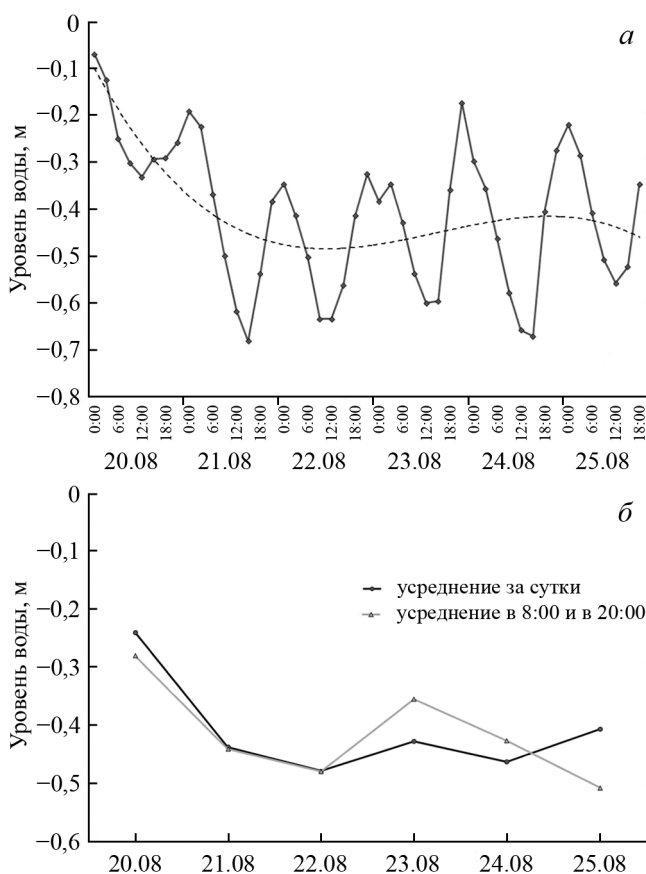


Рис. 2. Колебания уровня воды на гидропосту Донской в период 20–25.08.2019: *a* – зарегистрированные значения, снятые через каждые 3 часа; *b* – усредненные значения.

Fig. 2. Water level fluctuations at the Donskoy gauging station during 20–25 August 2019: *a* – observed values taken every 3 hours; *b* – averaged values.

Как показали расчеты, различие усредненных значений, полученных двумя способами, могут находиться в интервале от 10 до 40 %.

Сравнение зарегистрированных значений уровня воды на гидропосту Донской, снятых в период с 20.08 по 25.08.2019, с их усредненными величинами показало существенное различие. Наблюдавшиеся значения колебаний уровня воды на гидропосту Донской, снятые через каждые 3 часа, представлены на рисунке 2*a*. Те же, но усредненные за сутки значения колебаний уровня воды показаны на рисунке 2*b*. Различия же значений, полученных двумя разными методами усреднения, за этот период не превышают 10 %.

Сравнение графиков зарегистрированных и усредненных значений выявило, что линия тренда наблюдений подобна графикам усредненных значений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для оценки эффективности моделирования уровня воды при совместном использовании описанных выше гидродинамической модели Азовского моря и гидрологической модели русла был рассмотрен ряд типичных гидрологических ситуаций в устьевой области Дона.

В период с 11.10 по 28.10.2016 наблюдался ветер восточного направления, что привело к сгону воды в Таганрогском заливе. Вначале наблюдался слабый ветер 1–3 м/с, затем он усилился до 9–11 м/с. С 14.10 по 16.10.2016 ветер ослаб до 1–3 м/с, но затем снова начал набирать силу и 25–26.10.2016 достиг 10–12 м/с. После этого стал ослабевать и изменил направление на северо-восток – северо-северо-восток. Расчетные значения достаточно точно повторяют динамику колебаний уровня воды на станциях наблюдения и хорошо с ними согласуются как на гидропостах в Аксае и Ростове (рис. 3*a*), так и на гидропостах в Азове и Дугино (рис. 3*b*). Однако расчетные значения несколько завышены. Различия при разных методах усреднения в данный период не превышают 10 %.

В период с 11.05 по 18.05.2017 наблюдались ветры как восточных, так и западных направлений. Это приводило как к нагонам воды, так и к ее сгонам в Таганрогском заливе и к знакопеременным колебаниям уровня воды. С 11.05 по 14.05.2017 наблюдался ветер восточных направлений силой 4–5 м/с, а 15.05 он усилился до 6–7 м/с. По зарегистриро-

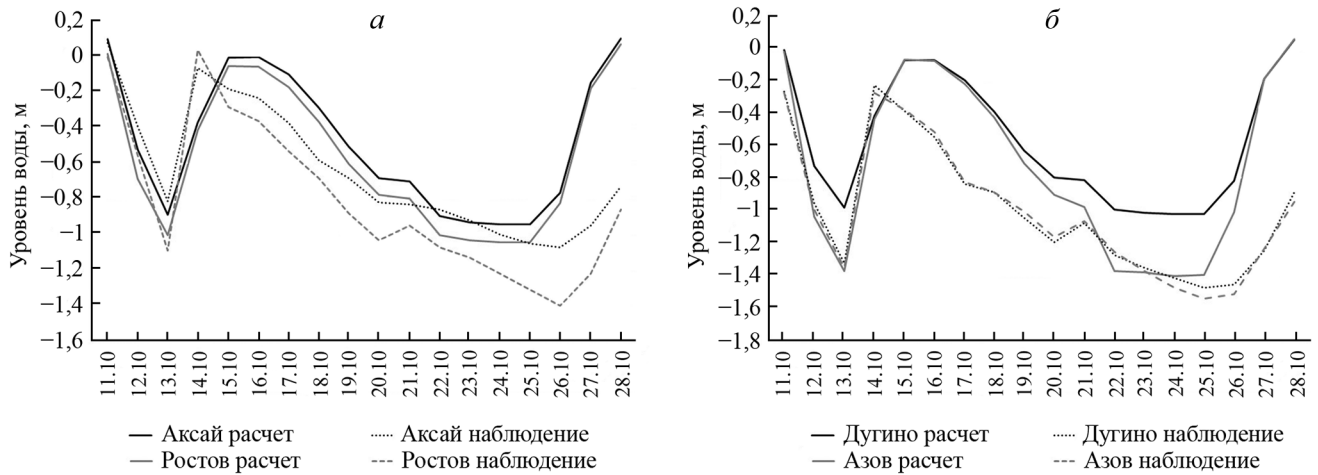


Рис. 3. Сравнение зарегистрированных и расчетных колебаний уровня воды в период 11–28.10.2016 на гидропостах: *а* – Ростов и Аксай; *б* – Азов и Дугино.

Fig. 3. Comparison of the observed and calculated fluctuations in the water level during 11–28 October 2016 at the gauging stations: *a* – Rostov and Aksay; *b* – Azov and Dugino.

ваным данным, это привело к некоторому сгону воды на гидропосту Взморье с 0,85 до –0,81 м, а на гидропосту Донском с 0,57 до –0,89 м и достижению уровней воды, характерных для значений сильной верховки (здесь и далее мы будем придерживаться определений ситуаций нагона и сгона, выполненных с использованием разработанной ранее классификации [12–14] с привязкой к Балтийской системе высот). Ветры западных направлений наблюдались 11.05 и 16.05–17.05.2017, скорость была 1–3 м/с, что привело к обычной низовке с подъемом воды до 0,75 м на гидропосту Взморье и 0,43 м на гидропосту Донском. Такая ветровая си-

туация хорошо соответствует динамике изменения уровня воды во всех четырех точках наблюдения (рис. 4). Усреднение расчетных значений проводилось по восьми значениям уровня, снятым в течение суток, и эти значения повторяют динамику колебаний уровня воды на станциях наблюдения, а также хорошо с ними согласуются. Расчетные значения на гидропостах Азов и Дугино несколько завышены. Надо заметить, что в данный временной период как зарегистрированные, так и расчетные значения уровня воды на последних двух гидропостах практически совпадают. Различия при разных методах усреднения в данный период не превышают 20 %.

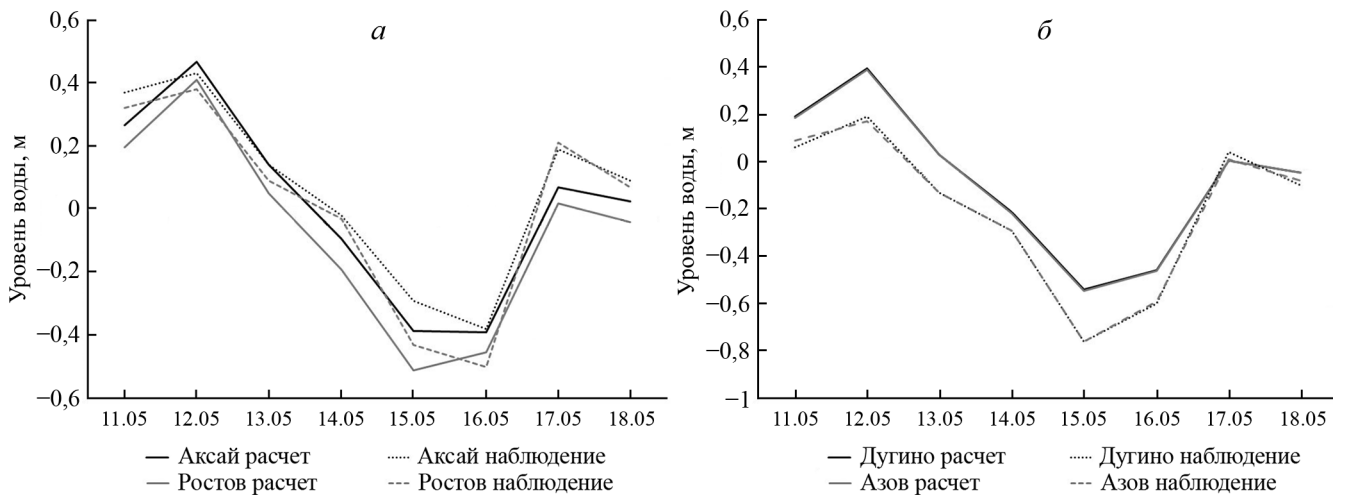


Рис. 4. Сравнение зарегистрированных и расчетных колебаний уровня воды в период 11–18.05.2017 на гидропостах: *а* – Ростов и Аксай; *б* – Азов и Дугино.

Fig. 4. Comparison of the observed and calculated fluctuations in the water level during 11–18 May 2017 at the gauging stations: *a* – Rostov and Aksay; *b* – Azov and Dugino.

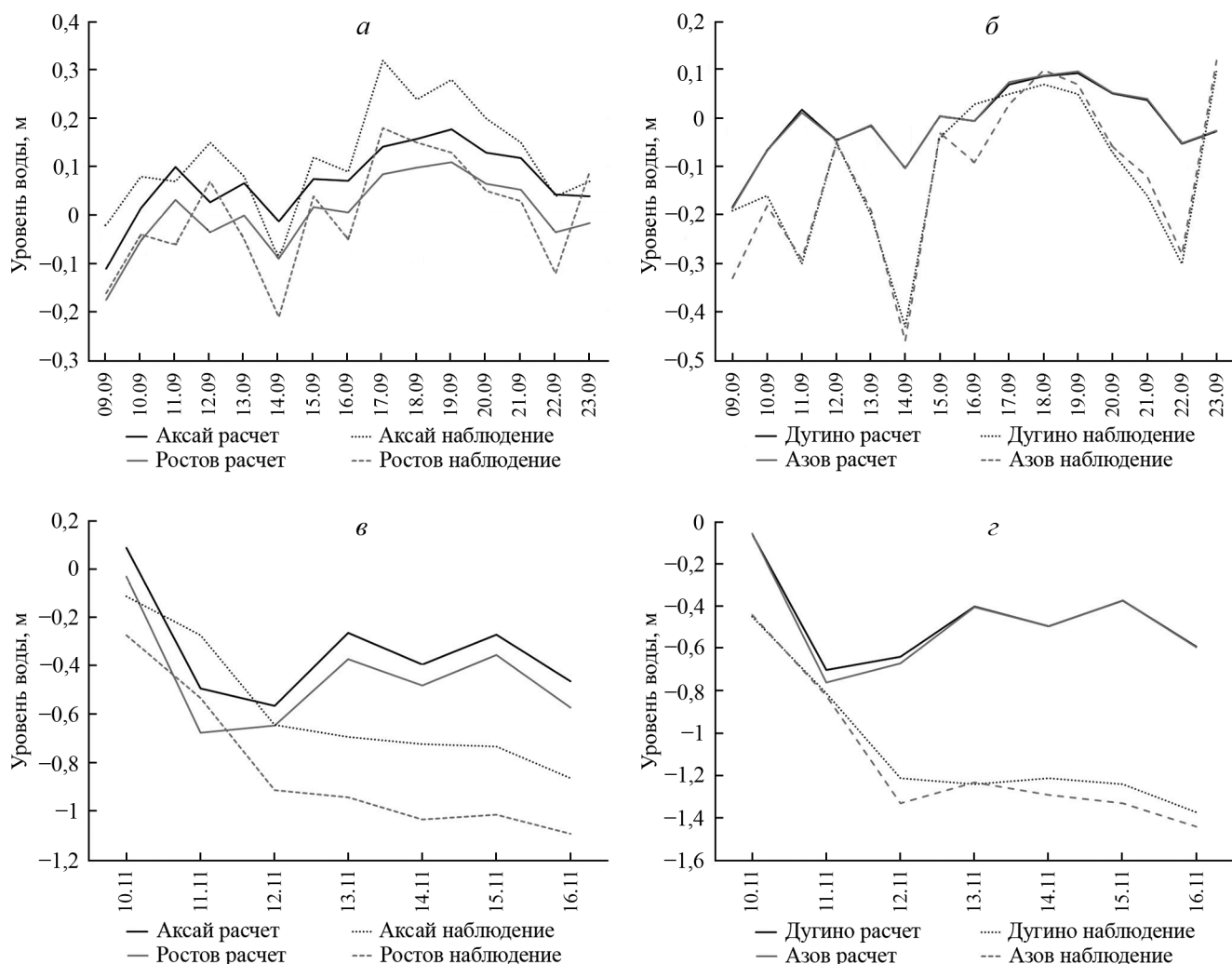


Рис. 5. Сравнение зарегистрированных и расчетных колебаний уровня воды в 2018 г. на гидропостах: а – Ростов и Аксай (09–23.09); б – Азов и Дугино (09–23.09); в – Ростов и Аксай (10–16.11); г – Азов и Дугино (10–16.11).

Fig. 5. Comparison of the observed and calculated water level fluctuations in 2018 at gauging stations: а – Rostov and Aksay (9–23 September); б – Azov and Dugino (9–23 September); в – Rostov and Aksay (10–16 November); г – Azov and Dugino (10–16 November).

В период с 08.09 по 23.09.2018 ветер менял направление с восточного на западное и наоборот, при этом сила ветра колебалась от 2–4 до 4–8 м/с. С 10.09 по 14.09.2018 наблюдался ветер 2–4 м/с преимущественно восточных направлений, что привело к обычной верховке. В период с 15.09 по 18.09.2018 наблюдался ветер 4–8 м/с преимущественно западных направлений, что привело к обычной низовке. Затем ветер сменился на восточные направления. Такое изменение ветровой ситуации хорошо коррелирует с поведением графиков уровней воды как в основном русле на гидропостах Ростов и Аксай (рис. 5а), так и в дельте Дона на гидропостах Азов и Дугино (рис. 5б). Однако на гидропостах Дугино и Азов расчетные значения существенно завышены. Усреднение расчетных значений проводилось

по восьми точкам. Различия при разных методах усреднения в данный период не превышают 30 %.

В течение всего периода с 10.11 по 16.11.2018 ветер имел преимущественно северо-восточное направление. В начале периода, до 12.11.2018, сила ветра была 5–9 м/с, затем ветер ослабел до 3–4 м/с, но были моменты усиления до 6–7 м/с. Зарегистрированные значения уровня показывают равномерное убывание, в то время как расчетные значения имеют пилообразный характер. Такое изменение уровней водной поверхности происходит на всех рассматриваемых гидропостах (рис. 5в, г). Отличие в поведении графиков объясняется, скорее всего, тем, что усреднение зарегистрированных данных проводилось по двум значениям, а расчетных – по восьми, что приводило к попаданию в них пиковых

значений. В рассматриваемом периоде расчетные значения существенно завышены на всех гидропостях. Различия при разных методах усреднения в данный период не превышают 20 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный нами подход к численному исследованию, который включает объединение модели гидродинамики Азовского моря и модели гидродинамики устьевое участка р. Дон, позволяет определять гидродинамические характеристики руслового потока в основных рукавах дельты Дона в зависимости от ветровой ситуации в Азовском море и Таганрогском заливе. Это особо ценно для бесшовного анализа общей гидродинамики в устьевой области Дона, что может оказаться полезным в будущем для оценки транспорта общей взвеси, микропластика, интрузий соленых вод и исследования иных типов загрязнения.

Сравнение наблюдавшихся и расчетных значений уровня воды в исследованной области демонстрирует удовлетворительное качество получаемых результатов, что говорит о достаточной адекватности представленной модели, однако расчетные значения в основном несколько завышены по сравнению с зарегистрированными данными. Возможна дополнительная корректировка расчетных значений с помощью поправочных коэффициентов.

Установлено, что при обработке наблюдавшихся значений уровня воды определение среднего за сутки его значения может существенно зависеть от способа усреднения наблюдений.

Предлагаемая методика может применяться и для других водоемов при совместном расчете течений в устьевых руслах и ветровых течений в принимающем водоеме.

Публикация подготовлена в рамках реализации ГЗ ЮНЦ РАН, № гр. проекта 122011900153-9.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бронфман А.М., Хлебников Е.П. 1985. *Азовское море. Основы реконструкции*. Л., Гидрометеиздат: 271 с.
2. *Гидрометеорология и гидрохимия морей. Том V. Азовское море*. 1991. СПб., Гидрометеиздат: 237 с.
3. Родионов Н.А. 1958. *Гидрология устьевой области Дона*. М., Гидрометеиздат: 98 с.
4. Остроумова Л.П. 2017. Исследование нагонных и сгонных явлений в морских устьях рек на примере устьевой области р. Дон. *Метеорология и гидрология*. 12: 69–82.
5. Симов В. Г. 1989. *Гидрология устьев рек Азовского моря*. М., Гидрометеиздат: 328 с.
6. Чикин А.Л., Клещенко А.В., Чикина Л.Г., Коршун А.М. 2017. Сгонно-нагонные колебания уровня воды устьевой области Дона: численное моделирование и сценарии изменения. *Наука Юга России*. 13(3): 39–49. doi: 10.23885/2500-0640-2017-13-3-39-49
7. Чикин А.Л., Клещенко А.В., Чикина Л.Г. 2021. Один из подходов к численному исследованию гидрологии дельтовой области Дона. *Водные ресурсы*. 48(5): 492–499. doi: 10.31857/S0321059621050072
8. Филиппов Ю.Г. 1970. Об одном способе расчета морских течений. В кн.: *Труды ГОИН. Вып. 103*. М.: 87–94.
9. Корень В.И. 1991. *Математические модели в прогнозах речного стока*. Л., Гидрометеиздат: 200 с.
10. Chikin A. L. 2005. A technique for evaluating flow parameters in water bodies with a highly heterogeneous depth. *Water Resources*. 32(1): 50–55. doi: 10.1007/s11268-005-0007-2
11. *Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО)*. URL: <https://gmvo.skniivh.ru/index.php?id=1> (дата обращения 22.06.2022).

12. Матишов Г.Г. 2015. Керченский пролив и дельта Дона: безопасность коммуникаций и населения. *Вестник Южного научного центра*. 11(1): 6–15.
13. Матишов Г.Г., Бердников С.В. 2015. Экстремальное затопление дельты Дона весной 2013 г. *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. 1: 111–118.
14. Матишов Г.Г. 2018. Дельта Дона в условиях климатических изменений и антропогенного воздействия. В кн.: *Дельты рек России: закономерности формирования, биоресурсный потенциал, рациональное хозяйствование и прогнозы развития: материалы международной молодежной научной конференции памяти члена-корреспондента РАН Д.Г. Матишова (г. Ростов-на-Дону, 4–6 сентября 2018 г.)*. Ростов н/Д, изд-во ЮНЦ РАН: 5–12.

REFERENCES

1. Bronfman A.M., Khlebnikov E.P. 1985. *Azovskoe more. Osnovy rekonstruktsii*. [Sea of Azov. Fundamentals of reconstruction]. Leningrad, Gidrometeoizdat: 271 p. (In Russian).
2. *Gidrometeorologiya i gidrokimiya morey. Tom V. Azovskoe more*. [Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas. Volume V. Sea of Azov]. 1991. St Petersburg, Gidrometeoizdat: 237 p. (In Russian).
3. Rodionov N.A. 1958. *Gidrologiya ust'evoy oblasti Dona*. [Hydrology of the mouth area of the Don River]. Moscow, Gidrometeoizdat: 98 p. (In Russian).
4. Ostroumova L.P. 2017. Investigation of surges in marine estuaries (a case study for the Don river mouth). *Russian Meteorology and Hydrology*. 42(12): 792–802. doi: 10.3103/S106837391712007X
5. Simov V.G. 1989. *Gidrologiya ust'ev rek Azovskogo morya*. [Hydrology of the mouths of the rivers of the Sea of Azov]. Moscow, Gidrometeoizdat: 328 p. (In Russian).

6. Chikin A.L., Kleshchenkov A.V., Chikina L.G., Korshun A.M. 2017. [Wind-driven water level variation of the mouth area of the Don: numerical modelling and change scenarios]. *Nauka Yuga Rossii*. 13(3): 39–49. (In Russian). doi: 10.23885/2500-0640-2017-13-3-39-49
7. Chikin A.L., Kleshchenkov A.V., Chikina L.G. 2021. Approach to Numerical Studies of the Hydrology an of Don Delta Area. *Water Resources*. 48(5): 646–653. doi: 10.1134/S0097807821050079
8. Filippov Yu.G. 1970. [On one method of calculating sea currents]. In: *Trudy GOIN. Вып. 103. [Proceedings of the State Oceanographic Institute. Iss. 103]*. Moscow: 87–94. (In Russian).
9. Koren' V.I. 1991. *Matematicheskie modeli v prognozakh rechnogo stoka. [Mathematical models in river runoff forecasts]*. Leningrad, Gidrometeoizdat: 200 p. (In Russian).
10. Chikin A.L. 2005. A technique for evaluating flow parameters in water bodies with a highly heterogeneous depth. *Water Resources*. 32(1): 50–55. doi: 10.1007/s11268-005-0007-2
11. *Avtomatizirovannaya informatsionnaya sistema gosudarstvennogo monitoringa vodnykh ob"ektov (AIS GMVO)*. [Automated information system for state monitoring of water bodies]. Available at: <https://gmvo.skniivh.ru/index.php?id=1> (accessed 22 June 2022). (In Russian).
12. Matishov G.G. 2015. [The Kerch Strait and the Don Delta: security of communications and population]. *Vestnik Yuzhnogo nauchnogo tsentra*. 11(1): 6–15. (In Russian).
13. Matishov G.G., Berdnikov S.V. 2015. [Extreme flooding of the Don River delta in spring 2013]. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya geograficheskaya*. 1: 111–118. (In Russian).
14. Matishov G.G. 2018. [The Don Delta under conditions of climate change and anthropogenic impact]. In: *Del'ty rek Rossii: zakonomernosti formirovaniya, bioresursnyy potentsial, ratsional'noe khozyaystvovanie i prognozy razvitiya: materialy mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchnoy konferentsii pamyati chlena-korrespondenta RAN D.G. Matishova. [Deltas of Russian rivers: patterns of formation, bioresource potential, rational management and development forecasts: materials of the International youth scientific conference in memory of Corresponding Member RAS D.G. Matishov (Rostov-on-Don, Russia, 4–6 September 2018)]*. Rostov-on-Don, Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences: 5–12. (In Russian).

Поступила 06.07.2022