УДК 551.465/506(470.61)
DOI: 10.23885/2500-0640-2017-13-1-35-43

МЕХАНИЗМЫ ОСОЛОНЕНИЯ ТАГАНРОГСКОГО ЗАЛИВА В УСЛОВИЯХ ЭКСТРЕМАЛЬНО НИЗКОГО СТОКА ДОНА

© 2017 г. Академик Г.Г. Матишов^{1, 2}, К.С. Григоренко³, А.Ю. Московец¹

Аннотация. Экосистема Азовского моря значительно зависит от естественной цикличности водности выпадающих в него рек. Характерным явлением для устьевой области Дона являются сгоны и нагоны воды, в зависимости от преобладающего направления ветра. Однако в последние годы термохалинный режим дельты Дона претерпевает аномальные трансформации с связи с маловодьем Дона. Причины сгонов воды аномального масштаба и осолонения Азовского моря в 2015–2016 гг. исследованы с помощью базы данных автоматических гидрометеорологических станций, расположенных в дельте р. Дон и на предустьевом взморье Таганрогского залива. Появление солоноватых вод (4–8 ‰) в авандельте Дона – совершенно новое, неизученное явление, возникающее в результате снижения объемов вод, поступающих в Азовское море с р. Дон, и замещения их недостатка высокосолоноватыми (морскими) водами Черного моря. В связи с этим формируются новые, ранее не наблюдавшиеся типы стратификации водных масс в дельте Дона. Аномальными являются ситуации, когда величина нагона превышает 3–4 м, а воды соленостью более 5 ‰ проникают высоко вверх по течению, попадая в водозаборы питьевой воды г. Азова. Во время экстремально низких сгонов 2015–2016 гг. отмечено появление ранее не наблюдавшихся в устьевой области Дона солоноватых (4–5 ‰) вод. На основе наблюдаемых гидрологических явлений выстроена взаимосвязь между соленостью, фиксируемой на гидрологических постах в дельте и на предустьевом взморье, и расходами воды, измеряемыми на посту в ст. Раздорская. Рассматриваются некоторые социально-экономические последствия замещения пресных вод солеными в устьевой области Дона.

Ключевые слова: термохалинная структура, Дон, Таганрогский залив, Азовское море, сгонно-нагонные явления, осолонение, цикличность климата.

THE SALINIZATION MECHANISMS IN THE TAGANROG BAY UNDER THE CONDITIONS OF THE DON RIVER EXTREMELY LOW RUNOFF

Academician RAS G.G. Matishov^{1, 2}, K.S. Grigorenko³, A.Yu. Moskovets¹

Abstract. The ecosystem of the Sea of Azov significantly depends on the natural cyclicity of water content of the rivers flowing into it. A typical phenomenon of the Don River mouth area is storm surges and tides, depending on the prevailing wind direction. However, the thermohaline regime in the Don River delta in recent years undergoes abnormal transformation due to the Don River decreased water content. Using automatic hydro-meteorological stations' database, located in the Don delta and along the Taganrog Bay seashore close to the Don mouth, the reasons for the anomalous scale of water negative storm surges and tides and salinization of the Sea of Azov in 2015–2016 are studied. The registration of brackish water (4–8 ‰) in the front-delta of the Don is a completely new, unexplored phenomenon that occurs as a result of reducing the volume of water entering the Sea of Azov with the Don River, and the replacement of water and reduction of water shortage by highly brackish (sea) water from the Black Sea. In this regard, new, not previously observed, types of water masses' stratification form in the Don delta. Abnormal situations are when the storm surge value exceeds 3–4 meters, and water with salinity of higher than 5 ‰ penetrate high upstream areas, entering drinking water intakes of the city of Azov. During the extremely low negative storm surges of 2015–2016 the appearance of brackish (4–5 ‰) waters, previously not observed in the mouth area of the Don, was registered. Based on the observed hydrological phenomena, the relationship between salinity, recorded at the gauging stations in the

¹ Южный научный центр Российской академии наук (Southern Scientific Centre, Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russian Federation), Российская Федерация, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41, e-mail: matishov_ssc-ras@ssc-ras.ru

² Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра Российской академии наук (Murmansk Marine Biological Institute, Kola Scientific Centre, Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russian Federation), Российская Федерация, 183010, г. Мурманск, ул. Владимирская, 17

³ Институт аридных зон Южного научного центра Российской академии наук (Institute of Arid Zones, Southern Scientific Centre, Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russian Federation), Российская Федерация, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41

delta and along the seashore close to the mouth, and water consumption, measured at the gauging station in the stanitsa of Razdorskaya, has been formed. Some socio-economic consequences of replacement of fresh water with saline water in the mouth of the Don River are considered.

Keywords: thermohaline structure, Don River, Taganrog Bay, Sea of Azov, tide – storm surge phenomena, salinization, climate cyclicity.

ВВЕДЕНИЕ

На протяжении последних десяти лет в бассейне Азовского моря стали развиваться ранее не отмечавшиеся взаимосвязанные явления. В их числе осолонение Таганрогского залива, обмеление русла Дона, экстремальные сгоны воды на взморье и зарастание аванделты, миграция представителей азовоморской фауны в дельту Дона и др. Во второй половине XX века все очевиднее становится дефицит водных ресурсов и критическое состояние воспроизводства всех ценных рыб в Азово-Донском бассейне. Гидрологические процессы все больше стали приобретать явно аномальные формы.

К числу важнейших факторов, определяющих гидрологическую и гидроэкологическую обстановку в устьевой области Дона, относятся сгонно-нагонные колебания уровня воды. Нагоны вызываются сильными западными ветрами (низовками), сгоны – восточными (верховками). Экстремальный сгон на взморье – характерное явление. Но в настоящее время размах колебаний уровня воды возрос до не наблюдавшихся значений, как по амплитуде сгона, так и по продолжительности циклов.

Для Азовского моря характерна высокая степень зависимости океанологических условий от речного стока. Объем воды Азовского моря составляет, по разным оценкам, от 290 до 320 км³ [1], что всего в 5–6 раз превышает суммарный годовой сток двух впадающих в него крупных рек – Дона и Кубани. Под воздействием стока Дона формируются опресненная водная масса Таганрогского залива и гидрологический фронт, разделяющий воды речного и морского генезиса.

Рис. 1. Максимальный среднемесячный расход воды р. Дон в ст. Раздорской за период 1940–2015 гг.

Fig. 1. The maximum average monthly consumption of the Don River water as registered in the area of the stanitsa of Razdorskaya for the period of 1940–2015

Во второй половине XX века вследствие естественных климатических изменений увлажнения и гидротехнического строительства участились годы с аномально низким стоком (рис. 1). В октябре 2015 и 2016 гг. наблюдались случаи необычайного обмеления Дона, вызванного сочетанием самых низких попусков на Цимлянском гидроузле (180–300 м³/с) и продолжительных действий восточных ветров.

Для понимания закономерностей и сути происходящих изменений Южный научный центр РАН (ЮНЦ РАН) проводит регулярные сезонные океанографические и гидробиологические съемки от Ростова-на-Дону до Керченского пролива. Отслеживаются также береговые и ледовые процессы, взаимодействие речных вод и морских вод Таганрогского залива. В последние 3 года важным элементом мониторинга солености, уровня воды и других параметров среды стали стационарные гидрометеорологические посты в дельте Дона (Кагальник, о. Донской). База данных, полученных с гидрометеопостов, содержит более 150 тыс. измерений.

Целью данного исследования была оценка изменений солености водной толщи устьевого взморья и устья Дона при сгонных и нагонных явлениях на фоне пониженного речного стока. Знание этих закономерностей необходимо для предотвращения деградации водной экосистемы, стабилизации ситуации на водозаборах и разработки мероприятий по оптимизации гидрологического режима в Азово-Донском бассейне.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работа основывается на результатах наблюдений, регулярно проводимых на двух гидрометеорологических постах (ГМП) «Взморье» и «Кагальник». Пост «Взморье» размещен на бетонном основании в 11 км от берега (рис. 2). Измерения проводились с использованием измерителя параметров течений AANDERAA RCM 9 LW (с получасовым интервалом измерения скорости и направления течения, электропроводности, температуры воды, гидростатического давления), океанографический зонд CTD-90 (определение гидростатического давления, температуры воды, электропроводности, солености).

Рис. 2. Район исследований
Fig. 2. Research area

Для обработки данных использовали средства статистической обработки Microsoft Excel, Matlab. В качестве базы океанографических данных использована электронная версия «Атласа климатических изменений...» [2]. Внутривековая динамика донского стока была рассчитана за период с 1940 по 2016 г. [3].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для Азовского моря характерны колебания солёности воды разного временного масштаба, от внутривековых до кратковременных, обусловленных сгонно-нагонными явлениями [4]. За столетний период наблюдений установлено, что в зависимости от изменчивости залива (объема) вод черноморского происхождения и речного стока изменения солёности происходили в интервале от 8 до 14 ‰.

Таганрогский залив с равнинным дном и глубинами до 7–9 м является водоемом эстуарного типа, преобразованным естественными (волнение, течения) и техногенными (дноуглубление) факторами. Солёность воды в заливе нарастает от 0,5 ‰ в авандельте Дона до 8 ‰ у Должанской косы. При восточных ветрах взморье осушается до изобаты 1,5–2 м и дно залива обнажается.

Азовское море наряду с Каспийским и Черным морями относится к солоноватоводным (до 14–17 ‰) бассейнам. В зависимости от солёности мы выделяем следующие типы вод: питьевая – 0,4–1 ‰, пресная (речная) – 0,4–2 ‰, слабосоленая – 2–4 ‰, солёная – 4–8 ‰, высокосоленая (морская) – 8–17 ‰.

Зоной критической солёности (хорогалинной зоной) является диапазон 5–8 ‰ [5–7 и др.], который представляет в большинстве случаев и зоогеографический барьер на стыке пресноводной и морской фаун [8]. Азовское море не является исключением,

большинство представителей солоноватоводной понто-каспийской и южноевропейской пресноводной фауны не заходят в нем за изогалину 5 ‰ или по меньшей мере не размножаются в водах с более высокой солёностью.

Анализ всей базы данных ЮНЦ РАН, с опорой на непрерывные термохалинные записи гидрозондов и постоянную регистрацию колебаний уровня воды в дельте и на взморье, приводит к ряду выводов. Помимо классического вида гидрологического разреза, обычно соответствующего безветренной погоде и низовке (рис. 3а), выделяется еще ряд типов распределения водных масс (рис. 3б–е).

При маловетренной тихой погоде или при слабых переменных западных и восточных ветрах на взморье на 10–12 км вглубь Таганрогского залива формируется однородная водная масса с солёностью 0,45–0,95 ‰ от поверхности до дна. В отдельных случаях в сторону моря в речной по происхождению воде солёность может возрастать до 1,9 ‰.

Стандартно выглядит гидрологический разрез при одно-двухдневных западных ветрах (10–16 м/с) и подъеме уровня воды на 1–2 м. Солёность воды на взморье варьирует от 1,5 до 3 ‰, а в реке от 0,8 до 2 ‰. В такие моменты заметна разница солёности воды на 11-километровом разрезе река – взморье на величину 1–2 ‰. В заливе солёность воды может в течение получаса нарастать, в отдельных случаях скачкообразно, до 3,3 ‰.

Для дельты Дона и восточной части Таганрогского залива наиболее характерны слабосоленые воды (до 2–3,5 ‰). Они клином распространяются вверх по течению в обстановке умеренных и сильных ветров (10–20 м/с) юго-западных румбов, которые приводят к подъему уровня моря на 0,2–1,5 м и увеличению глубины на взморье до 3–6 м. Вода активно перемешивается и часто становится однородной по солёности от поверхности до дна.

Общая закономерность на взморье состоит в том, что изначально пресная (0,6–1,6 ‰) вода по мере развития нагонного течения (0,5–3 суток) замещается слабосоленой водой. В отдельных ситуациях отмечается стратификация водной толщи. Это выражено в виде скачка солёности в придонном слое, ниже горизонта 1,5–2 м. Такие случаи наблюдались через 1–5 часов после пика подъема в период устойчивого падения уровня воды. Вертикальный градиент солёности меняется от 0,5 до 2,5 ‰.

Ранее на взморье и в авандельте Дона солоноватые водные массы (4–8 ‰) как самостоятельный тип вод отмечены не были. Своим происхождением вода с такими свойствами связана с аномальной черноморской адвекцией при крайне ограниченном донском речном стоке. Штормовые (до 20–30 м/с)

Рис. 3. Типы стратификации солености воды в условиях маловодья Дона и аномальной черноморской адвекции при обычных условиях (а) и ярко выраженных сгонно-нагонных ситуациях (б-е). Типы вод в зависимости от солености: 0,4–1 ‰ – питьевая, 0,4–2 ‰ – пресная (речная), 2–4 ‰ – слабосоленоватая, 4–8 ‰ – солоноватая, 8–17 ‰ – высокосоленоватая (морская)

Fig. 3. Types of stratification of water salinity under the conditions of the Don River low water content and the Black Sea anomalous advection under regular conditions (a) and in pronounced tide-storm surge situations (b-e). Types of water depending on salinity: 0.4–1 ‰ – drinking, 0.4–2 ‰ – fresh (river), 2–4 ‰ – slightly saline, 4–8 ‰ – brackish, 8–17 ‰ – highly saline (marine)

юго-юго-западные ветры формируют экстремальные нагоны и подъем уровня воды в дельте на 3–4 м. В Таганрогском заливе воды с указанной величиной солености обычно располагаются на 90 км западнее, на разрезе кос Сазальницкая – Кривая (рис. 4а).

На востоке Таганрогского залива в 2014–2016 гг. постоянно возникали гидродинамические условия для устойчивого затока более соленой воды из южной части Азовского моря. В результате на акватории вдоль разреза коса Очаковская – Таганрог во все сезоны фиксировалась соленость воды

от 4–6 до 8–11 ‰. Эти величины в несколько раз выше среднегодовых (1,2–1,6 ‰) значений [1]. В режиме спада ветрового течения на взморье возвращается слабосоленоватая и пресная вода. Кроме нетипичной солёности имеют место инверсии стратификации вод, внедрения в солёноватые воды линз пресной воды.

В условиях маловодья Дона, во время экстремальных сгонов воды и при предельно малых (0,5–2 м) глубинах на взморье и в донской дельте наиболее распространена относительно пресная (0,7–1,5 ‰) вода. При верховках более заметным становится феномен наличия слабосоленоватой (2–4 ‰) воды, то есть причиной затока в дельту солёноватых вод не всегда является сильный нагон. При осушении взморья и мелких проток возможно влияние на среду солёноватых подземных вод. Не исключена связь с остаточным стоком осолоненных вод после нагонных явлений.

Обычно при восточных ветрах в Таганрогском заливе господствуют континентальные факторы – величина и режим речного стока. И дельта, и взморье до Очаковской косы заполнены пресной (0,5–0,9 ‰) водой. Однако в последние 15 лет гидрологическая засуха привела к истощению водосборный бассейн Дона. Пониженный речной сток в условиях ветрового сгона (на 1–1,5 м ниже нормы) позволяет свободно распространяться черноморской адвекции вплоть до Ростова-на-Дону (рис. 4б). В результате во все сезоны года взморье, рукава и протоки постоянно и длительное время заполняются водой с солёностью от 1 до 5 ‰. Нередко наблюдается двухслойная стратификация с более солёной (3–5 ‰) придонной водой.

Сгонно-нагонные явления Азовского моря имеют вид одноузловой сейши [1], период колебаний

которой, согласно данным уровнемерных постов ЮНЦ РАН и результатам численного моделирования [9], составляет 10–12 часов.

Экстремальный сгон и обмеление дельты Дона в условиях аридизации климата в чрезвычайном виде проявился в 2015 и 2016 гг. (рис. 5). В 2015 г. крайне неблагоприятный естественный режим водности Дона был усугублен необходимостью заполнения объемов Цимлянского водохранилища, сбросы через гидроузел на протяжении всего октября составляли всего 180 м³/с при нормальных расходах 350–400 м³/с. Осенью 2016 г. в результате крайне малых сбросов воды из Цимлянского водохранилища и экстремальных ветровых сгонов воды вдоль Азово-Донского судоходного фарватера две недели держался критический дефицит речной воды (табл. 1).

В 2016 г. одно-двухнедельные серии сгонов прерывались промежутками кратковременного действия (2–3 дня) ветров юго-западной и западной составляющих, что приводило к сильным нагонам с подъемом уровня воды на 1 м. Наиболее низкому уровню воды во время сгона предшествовало колебание (раскачивание) уровня с увеличивающейся амплитудой во время каждого цикла изменения направления ветра. В 2016 г. уровень воды под напором устойчивого восточного ветра за двое суток упал на 2,43 м и продержался на этой отметке рекордные 16 дней, пока направление ветра не изменилось на западное.

Этот сгон чрезвычайного масштаба был вызван продолжительным действием сильного восточного ветра на фоне маловодья перекрытого плотиной Дона (сбросы через Цимлянский гидроузел составляли всего 310 м³/с). Затем уровень воды в

Рис. 4. Распределение солёности на разрезе вдоль Азовского моря (а) и миграция солёных черноморских вод вверх по Дону (б)

Fig 4. Distribution of salinity along the Sea of Azov transect (а) and the migration of saline Black Sea water up the Don River (б)

Таблица 1. Характеристики расходов воды в ст. Раздорской (1940–2014 гг.)
Table 1. Water consumption characteristics in the stanitsa of Razdorskaya (1940–2014)

Показатель Characteristics	Максимальный расход, тыс. м³/с Maximum consumption, thousand m³/s		Минимальный расход, тыс. м³/с Minimum consumption, thousand m³/s		Средний расход, тыс. м³/с Average consumption, thousand m³/s	
	Диапазон Range	Среднее Average	Диапазон Range	Среднее Average	Диапазон Range	Среднее Average
Пик расхода, 1941–1942 гг. Peak consumption rate, 1941–1942	6,3–9,3	7,8	0,17–0,31	0,24	1,5–1,7	1,6
Максимальное увлажнение Maximum humidification	от 1,3–2,8 до 5,4 from 1.3–2.8 to 5.4	3,2	от 0,14–0,4 до 0,64 from 0.14–0.4 to 0.64	0,393	0,9–1,2	1,1
Среднее увлажнение Average humidification	0,6–1,7	1,2	0,2–0,45	0,325	0,5–0,85	0,7
Засуха Drought	от 0,4–1,1 до 1,5 / from 0.4–1.1 to 1.5	1,0	0,17–0,499	0,335	0,3–0,5	0,4

устьевой области Дона резко перешел из крайнего низкого положения (ниже на 1,43 м относительно нормального уровня), в крайнее верхнее (на 0,5 м выше относительно нормального уровня) в результате действия умеренной низовки. Аналогичное явление наблюдалось в сентябре 2014 г., когда экстремальный сгон стремительно сменился невиданным нагоном воды, а амплитуда колебаний уровня воды превысила 4 м [10], и в марте 2013 г. [11; 12].

Существует ведомственный регламент объемов суммарной гарантированной водоотдачи из Цимлянского водохранилища [13]. Запасы речной воды должны расходоваться на попуски, необходимые для поддержания судоходных глубин ниже створа Цимлянской плотины. Минимально гарантированный судоходный попуск – 340 м³/с. В эпоху самых влажных лет XX столетия, в частности в 1941–1942 гг. [14], максимальные расходы воды в районе ст. Раздорской достигали 7000–9000 м³/с и выше (табл. 1).

Для Приазовья и Нижнего Дона маловодные периоды (с 2–3- и 7-летним циклами) (как, например, в 1933–1940 гг.) являются типичными. В XXI веке усилились тенденции аридизации климата и сокращение сбросов воды вниз по р. Дон через Цимлянский гидроузел. В маловодные годы изъятие для нужд Цимлянского водохранилища речной воды (примерно 1/12 части (24 км³) от объема азовской воды) приводит в Азовском море к усилению подкачивания воды черноморской адвекции (рис. 6).

В 2015 г. объем половодья на Цимлянском водохранилище не превышал величины 4 км³ (35 % от нормы), а максимальный расход составил 790 м³/с (1/4 нормы). В 2015 г. водные ресурсы Цимлянского водохранилища не обеспечивали гарантированные навигационные пропуски для целей судоходства.

Все экстремальные сгоны последних лет характеризуются закономерной связью между уровнем воды в Дону и направлением ветра. Ситуации в 2015 и 2016 гг. различались по особенностям атмосферной циркуляции. В 2015 г. происходили более частые смены преобладающих ветров, за счет чего случилась серия очень сильных, но относительно коротких сгонов. В 2016 г. рекордно продолжительный антициклон вызвал двухнедельный непрерывный восточный ветер. В результате произошел экстремальный сгон воды на Нижнем Дону. Для 2016 г. характерен более длинный период колебаний направления и скорости ветра, от 5 до 14 суток, тогда как в 2015 г. он составил 1–5 суток.

В результате многолетних океанографических наблюдений ЮНЦ РАН в рукавах и протоках Нижнего Дона и на взморье Таганрогского залива, в условиях естественного климатического маловодного цикла, приводящего к трансформации термохалинного режима Азовского моря, выявлены новые, ранее не изученные гидрохимические тенденции, включая эпизоды осолонения воды в реке до 5–10 раз, сложное динамическое сочетание прес-

ных, слабосоленоватых и соленоватых (до 5–7 ‰) водных масс. В зависимости от интенсивности адвекции вод черноморского генезиса, компенсирующих недостаток речного стока на акватории река – море, и ветровых течений формируются пять основных типов водных масс. Между ними есть подтипы, в зависимости от ветрового режима.

Зимой подо льдом формирование водных масс происходит по тем же закономерностям, что и в безледный период. Из наблюдений следует вывод о том, что нет прямой корреляции между сгонно-нагонными течениями и повышением солености воды. Существует почти в равной степени возможность роста солености и ее отсутствия.

Доминирование воды черноморского генезиса в дельте является одним из признаков аридизации и дефицита влаги в водосборном бассейне Дона. Наблюдения показывают, что сток Дона уже не способен создавать фронт пресных вод в Таганрогском заливе. Характерным стало то, что даже во время сгонов фиксируется повышение солености до

3–5 ‰ на гидрометеорологических постах в дельте Дона. Природа этого явления близка к механизму морского апвеллинга.

В последние годы в Таганрогском заливе по целому ряду признаков резко возросла роль азово-черноморского компенсационного течения, возмещающего явный дефицит речной воды. Компенсирующие потоки морской воды могут возникать прежде всего вследствие нарушения равновесия вод за счет убыли объема донского стока. Кроме того, критичен отток воды из дельты и взморья под воздействием сильной сгонно-нагонной циркуляции во все сезоны. В самые влажные годы сток Дона достигал 52 км^3 (рис. 6). После зарегулирования Дона сброс воды в Азовское море объемом в 30 км^3 является относительно оптимальным для экосистемы Азовского моря. В последние годы речной сток уменьшился примерно в 3 раза (до 11 км^3), его уменьшение возмещается заток из Черного моря в Азовский бассейн соленой (до 17–18 ‰) воды объемом порядка 20 км^3 (рис. 6).

Рис. 5. Формирование аномального сгона воды в дельте Дона в условиях маловодья (2015–2016 гг.)

Fig. 5. Formation of abnormal negative storm surge in the Don River delta in dry years/under low water content conditions (2015–2016)

Рис. 6. Замещение стока Дона водами черноморского происхождения при различных объемах речного стока (1942–2015 гг.)
Fig. 6. Replacement of the Don River water runoff with the Black Sea water at different volumes/levels of river runoff (1942–2015)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Причины беспрецедентных преобразований в дельте и на взморье кроются во внутривековой цикличности климата (30, 60 лет) и наложившихся деструктивных обстоятельствах, нараставших после перекрытия долины Дона Цимлянской плотиной в 1952 г. Обмеление судоходного канала, рукавов и протоков дельты приобретает катастрофический характер для рыбного хозяйства, судоходства и забора питьевой воды для полуторамиллионного населения городов Ростова-на-Дону, Таганрога и Азова.

Маловодье Дона влечет за собой долгосрочные последствия. В классическом понимании и по нормативам питьевая вода должна иметь минерализацию от 0,2 до 0,5 г/дм³ [15]. Потеря нескольких десятков кубокилометров пресной речной воды вызывает невиданную адвекцию воды черноморского генезиса в сторону донской дельты. Сегодня в Дону пресная вода содержит до 1–2 г/дм³ солей, однако в связи с проникновением соленых (до 5–6 ‰) вод во все рукава и протоки реки актуальным является вопрос о перестройке или модификации водозаборных систем г. Азова. В будущем предстоит выявить термохалинные предвестники скачков солености воды, экстремальных низовок и верховок на Нижнем Дону.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гершанович Д.Е., Гоптарев Н.П., Затучная Б.М., Симонов А.И. (ред.). 1991. *Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том V. Азовское море*. СПб., Гидрометеоздат: 236 с.
2. Матишов Г.Г., Бердников С.В., Жичкин А.П., Макаревич П.Р., Дженюк С.Л., Кулыгин В.В., Яицкая Н.А., Поважный В.В., Швердяев И.В., Кумпан С.В., Третьякова И.А., Цыганко-

В связи с трансформацией в XXI веке экосистемы взморья и дельты Дона необходимо пересмотреть нормативы водопользования для всех отраслей, связанных с водными и биологическими ресурсами. Климат, его внутривековая цикличность, безусловно, главный определяющий фактор в судьбе Азовского моря и реки Дон, перекрытой Цимлянской плотиной. Все ранее зримо не проявлявшиеся физико-географические явления предстоит учитывать при прогнозировании приазовской погоды, а также миграций и запасов промысловых рыб. Строительство Багаевского гидроузла при отсутствии резервов водных ресурсов в бассейне Дона не приведет к желаемым результатам.

Исследования проведены в рамках темы НИР «Анализ динамики природных систем на основе мегабаз данных за многолетний (19–20 века) период наблюдений для выявления и прогнозирования экстремальных природных феноменов, опасных для социально-экономического развития густонаселенных территорий юга России», № госрегистрации ЦИТИС 01201450487 для Г.Г. Матишова, А.Ю. Московца и темы НИР «Современное состояние и многолетняя изменчивость прибрежных экосистем южных морей России» № госрегистрации ЦИТИС 01201363187 для К.С. Григоренко.

Перевод на английский язык выполнен Р.Г. Михалюком.

ва А.Е. 2014. *Атлас климатических изменений в больших морских экосистемах Северного полушария (1878–2013). Регион 1. Моря Восточной Арктики. Регион 2. Чёрное, Азовское и Каспийское моря*. Ростов н/Д, изд-во ЮНЦ РАН: 256 с.

3. Матишов Г.Г., Гаргопа Ю.М., Бердников С.В., Дженюк С.Л. 2006. *Закономерности экосистемных процессов в Азовском море*. М., Наука: 304 с.

4. Матишов Г.Г., Гаргопа Ю.М. 2005. Внутривековые флуктуации термохалинной структуры и биопродуктивности Азовского моря в условиях глобальных изменений климата и антропогенных воздействий. *Вестник Южного научного центра*. 1(3): 43–50.
5. Хлебович В.В. 1974. *Критическая соленость биологических процессов*. Л., Наука: 235 с.
6. Бергер В.Я. 1986. *Адаптации морских моллюсков к изменениям солености среды*. Л., Наука: 216 с.
7. Сафьянов Г.А. 1996. *Геоморфология морских берегов*. М., изд-во МГУ: 400 с.
8. Мордухай-Болтовской Ф.Д. 1960. *Каспийская фауна в Азово-Черноморском бассейне*. М. – Л., изд-во АН СССР: 288 с.
9. Матишов Г.Г., Инжебейкин Ю.И. 2009. Численные исследования сейшевых колебаний уровней Азовского моря. *Океанология*. 49(4): 485–493.
10. Матишов Г.Г. 2015. Случаи экстремальной адвекции соленых вод в дельту Дона и льда в Керченский пролив. *Доклады Академии наук*. 465(1): 99–103. doi: 10.7868/S0869565215310229
11. Матишов Г.Г., Чикин А.Л., Бердников С.В., Шевердяев И.В., Клещенков А.В., Кириллова Е.Э. 2014. Экстремальное затопление дельты Дона весной 2013 г.: хронология, условия формирования и последствия. *Вестник Южного научного центра*. 10(1): 17–24.
12. Матишов Г.Г., Чикин А.Л., Бердников С.В., Шевердяев И.В. 2014. Экстремальное наводнение в дельте Дона (23–24 марта 2013 г.) и факторы, его определяющие. *Доклады Академии наук*. 455(3): 342–345. doi: 10.7868/S0869565214090229
13. *Основные положения Правил использования водных ресурсов. Гос. производ. ком. по орошаемому земледелию и водному хозяйству РСФСР. Госземводхоз РСФСР. Упр. по регулированию и использованию водных ресурсов*. 1965–1969. М. 15 томов.
14. Матишов Г.Г. 2016. *Климат, водные ресурсы и реконструкция гидротехнических сооружений с учетом интересов населения, рыболовства и сельского хозяйства, судоходства и энергетики*. Ростов н/Д, изд-во ЮНЦ РАН: 64 с.
15. Какая должна быть вода? Нормативы на питьевую воду. *o8ode.ru*. URL: http://www.o8ode.ru/article/onew/sanitary/What_should_be_water (дата обращения: 02.03.2017).
- Rostov-on-Don, Southern Scientific Centre RAS Publishers: 256 p. (In Russian).
3. Matishov G.G., Gargopa Yu.M., Berdnikov S.V., Dzhenyuk S.L. 2006. *Zakonomnosti ekosistemnykh protsessov v Azovskom more*. [Regularities of ecosystem processes in the Sea of Azov]. Moscow, Nauka: 304 p.
4. Matishov G.G., Gargopa Yu.M. 2005. [The Sea of Azov thermohaline structure and bio-productivity intra-secular fluctuations under conditions of climate global changes and anthropogenic impacts]. *Vestnik Yuzhnogo nauchnogo tsentra*. 1(3): 43–50 (In Russian).
5. Khlebovich V.V. 1974. *Kriticheskaya solenost' biologicheskikh protsessov*. [Critical salinity of biological processes]. Leningrad, Nauka: 235 p. (In Russian).
6. Berger V.Ya. 1986. *Adaptatsii morskikh mollyuskov k izmeneniyam solenosti sredy*. [Adaptations of marine molluscs to changes in salinity]. Leningrad, Nauka: 216 p. (In Russian).
7. Safyanov G.A. 1996. *Geomorfologiya morskikh beregov*. [Geomorphology of sea coasts]. Moscow, Moscow University Press: 400 p. (In Russian).
8. Mordukhay-Boltovskoy F.D. 1960. *Kaspiyskaya fauna v Azovo-Chernomorskom bassejne*. [Caspian fauna in the Azov-Black Sea basin]. Moscow – Leningrad, Academy of Sciences of the USSR Publ.: 288 p. (In Russian).
9. Matishov G.G., Inzhebeikin Yu.I. 2009. Numerical study of the Azov Sea level seiche oscillations. *Oceanology*. 49(4): 445–452. doi: 10.1134/S0001437009040018
10. Matishov G.G. 2015. Extreme saline water advection into the Don River delta and ice advections into Kerch strait. *Doklady Earth Sciences*. 465(1): 1154–1158. doi: 10.1134/S1028334X15110057
11. Matishov G.G., Chikin A.L., Berdnikov S.V., Sheverdyayev I.V., Kleshchenkov A.V., Kirillova E.E. 2014. [Extreme flooding of the Don Delta in spring 2013: chronology, formation conditions, and consequences]. *Vestnik Yuzhnogo nauchnogo tsentra*. 10(1): 17–24. (In Russian).
12. Matishov G.G., Chikin A.L., Berdnikov S.V., Sheverdyayev I.V. 2014. [The extreme flood in the Don River delta, March 23–24, 2013, and determining factors]. *Doklady Earth Sciences*. 455(1): 360–363. doi: 10.1134/S1028334X14030295
13. *Osnovnye polozheniya Pravil ispol'zovaniya vodnykh resursov. Gosudarstvennyy proizvodstvennyy komitet po oroshaemому zemledeliyu i vodnomu khozyaystvu RSFSR. Goszemvodkhoz RSFSR. Upravlenie po regulirovaniyu i ispol'zovaniyu vodnykh resursov*. [The main regulations of the Rules for the use of water resources. State Production Committee for Irrigated Agriculture and Water Management of the RSFSR. Goszemvodkhoz of the RSFSR. The Office for Regulation and Use of Water Resources]. 1965–1969. Moscow. 15 volumes. (In Russian).
14. Matishov G.G. 2016. *Klimat, vodnye resursy i rekonstruktsiya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy s uchetom interesov naseleniya, rybolovstva i sel'skogo khozyaystva, sudokhodstva i energetiki*. [Climate, water resources and reconstruction of hydro-technical structures, taking into account the interests of the population, fisheries and agriculture, shipping and energy]. Rostov-on-Don, Southern Scientific Centre RAS Publishers: 64 p. (In Russian).
15. [What should the water quality be like? Drinking water standards]. *o8ode.ru*. Available at: http://www.o8ode.ru/article/onew/sanitary/What_should_be_water (accessed 2 March 2017).

REFERENCES

1. Gershanovich D.E., Goptarev N.P., Zatuchnaya B.M., Simonov A.I. (Eds.). 1991 *Gidrometeorologiya i gidrokimiya morey SSSR. Tom V. Azovskoe more*. [Hydrometeorology and Hydrochemistry of the Seas of the USSR. Volume V. The Sea of Azov]. St. Petersburg, Gidrometeoizdat: 236 p. (In Russian).
2. Matishov G.G., Berdnikov S.V., Zhichkin A.P., Makarevich P.R., Dzhenyuk S.L., Kulygin V.V., Yaitskaya N.A., Povazhniy V.V., Sheverdyayev I.V., Kumpan S.V., Tret'yakova I.A., Tsygankova A.E. 2014. *Atlas klimaticheskikh izmeneniy v bol'shikh morskikh ekosistemakh Severnogo polushariya (1878–2013). Region 1. Morya Vostochnoy Arktiki. Region 2. Chernoe, Azovskoe i Kaspiyskoe morya*. [Atlas of Climatic Changes in Large Marine Ecosystems of the Northern Hemisphere (1873–2013). Region 1. The Eastern Arctic Seas. Region 2. The Black Sea, the Sea of Azov, and the Caspian Sea].

Поступила 25.01.2017