

УДК: 551.465, 551.506, 574.52
DOI: 10.7868/S25000640180306

ИЗМЕНЕНИЕ ВОДНОГО БАЛАНСА В БАССЕЙНЕ НИЖНЕГО ДОНА В УСЛОВИЯХ МАЛОВОДЬЯ

© 2018 г. Академик Г.Г. Матишов^{1,2}, А.В. Клещенков¹, К.С. Григоренко¹,
А.Ю. Московец¹, Е.Э. Кириллова¹

Аннотация. На основе базы данных автоматических гидрометеорологических станций, расположенных в дельте Дона и на предустьевом взморье Таганрогского залива, исследованы сезонные изменения режима минерализации дельты Дона. По результатам отбора проб на ионный состав установлено, что в холодное время года в гирлах, соединяющих протоки дельт Дона и Кагальника, растет доля подземного стока. Ярко выраженная аномалия выделяется длительным (более 500 часов) наличием слабосоленых вод. В отдельные моменты подо льдом в зависимости от температуры воздуха, розы ветров, речного стока в 300–350 м³/с у ст. Раздорской Ростовской области на постах фиксировалась соленость воды до 4,5–5,1 ‰ и более. Происходит заметное заиливание Таганрогского залива и дельты Дона. При сгонах поступление в залив менее минерализованных донских вод практически прекращается, значительные площади дна авандельты осушаются и водотоки оказываются отрезанными от основных рукавов Дона и заполняются солеными подземными водами. Такая ситуация является следствием маловодья в бассейне Дона. Изучено явление обратной низовки, которое наблюдается после прекращения действия сгонных ветров. Во время обратной низовки формируется водная поверхность с обратным уклоном, то есть уровень воды в Таганрогском заливе может превышать уровень воды в реке на достаточно протяженном участке: между пунктами наблюдения «Донской» (Таганрогский залив) и «Ростов» (выше дельты Дона), расположенными на расстоянии 40 км друг от друга, разница абсолютных отметок уровня воды составляет 24 см, а между пунктами «Взморье» (Таганрогский залив) и «Донской» (дельта Дона), находящимися в 15 км друг от друга, эта разница может достигать 40 см.

Ключевые слова: дельта Дона, сгонно-нагонные явления, динамика солености, маловодье Дона, аридизация климата.

WATER BALANCE CHANGES IN THE BASIN OF THE LOWER DON UNDER CONDITIONS OF LACK OF WATER

Academician RAS G.G. Matishov^{1,2}, A.V. Kleshchenkov¹, K.S. Grigorenko¹,
A.Yu. Moskovets¹, E.E. Kirillova¹

Abstract. Based on the database of automatic hydrometeorological stations located in the Don delta and on the pre-estuary seashore of Taganrog Bay, seasonal changes in the mineralization regimes of the Don delta are investigated. According to the results of sampling for the ionic composition, it was established that in the cold season, the proportion of underground runoff increases in the delta arms connecting Don and Kagalnik deltas. A pronounced anomaly is distinguished by the long-term (more than 500 hours) presence of slightly saline waters. Water salinity of 4.5–5.1 ‰ and more was registered at various junctions under the ice, depending on the temperature of the air, wind rose, river flow at 300–350 m³/s near the stanitsa Razdorskaya. There is a marked sedimentation of Taganrog Bay and the Don delta. During negative surges the delivery of less mineralized Don waters practically ceases, significant areas of the bottom of the avandelta are drained, the water channels are cut

¹ Федеральный исследовательский центр Южный научный центр РАН (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: klim_grig@mail.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

off from the main river arms of the Don, and are filled with salty groundwater. This situation is another consequence of the lack of water in the Don basin. In addition, the phenomenon of “backward positive surge” is investigated in the paper, this phenomenon occurs after the termination of the negative surges wind. The water surface with a reverse slope is formed, and the difference in absolute heights can reach 40 cm between the points of measurement of Vzmorye (Taganrog Bay) and Donskoy (delta of the Don), at a distance of 15 km. During the “backward positive surge”, the water level in Taganrog Bay may exceed the level of water in the river on a fairly long stretch, and between the observation points Donskoy (Taganrog Bay) and Rostov (above the Don delta), located 40 km away, the difference in absolute level marks can reach 24 cm.

Keywords: Don delta, tide-surge phenomena, salinity dynamics, Don lack of water, climate aridization.

ВВЕДЕНИЕ

Внутривековые колебания солёности в Азовском море детально изучены в XX веке [1]. Однако на первый взгляд известные процессы в начале XXI века все больше приобретают явно аномальные формы и еще мало изучены. Проявляется частое возрастание минерализации воды в дельте Дона от взморья до Ростова-на-Дону [2]. Максимальное значение солёности зимой 2017–2018 гг. достигло 7 ‰ при нагоне величиной 0,5 м. Для эстуарного по сути Таганрогского залива характерны сгонно-нагонные течения. Они определяют специфику экосистемных изменений, прямо влияют на ритм и график речного судоходства, успешность ведения рыбного хозяйства на взморье и в дельте Дона. Во время сгонов фарватер становится несудоходным.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для изучения физико-географических и гидрометеорологических процессов на мелководном взморье и в авандельте Южным научным центром РАН (ЮНЦ, Ростов-на-Дону) развернута оригинальная сеть мониторинга (рис. 1), в которую вошли стационары, морские причалы, автоматическая станция на бетонном острове в море, метеопосты на судоходном канале, протоках и ериках Дона, что позволяет ежедневно изучать динамику окружающей среды: термохалинный режим и колебания уровня воды в системе река – море, ледовый режим в зимнее время, миграцию и видовой состав рыб и птиц, гидробиологические особенности. Набор регистраторов среды включает: измеритель течений AANDERAA RCM 9 LW, океанографические зонды

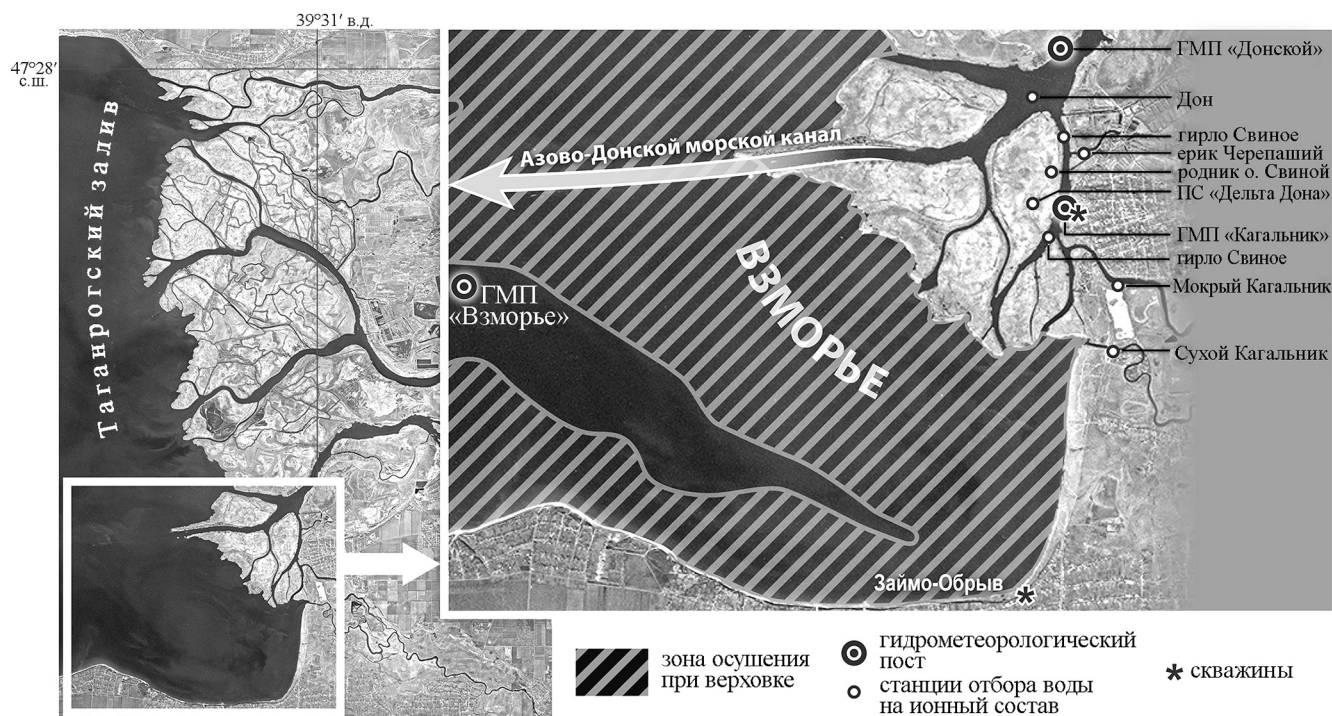


Рис. 1. Схема наблюдения термохалинного режима авандельты Дона.
Fig. 1. Plan of observation of the thermohaline regime of the Don avandelta.

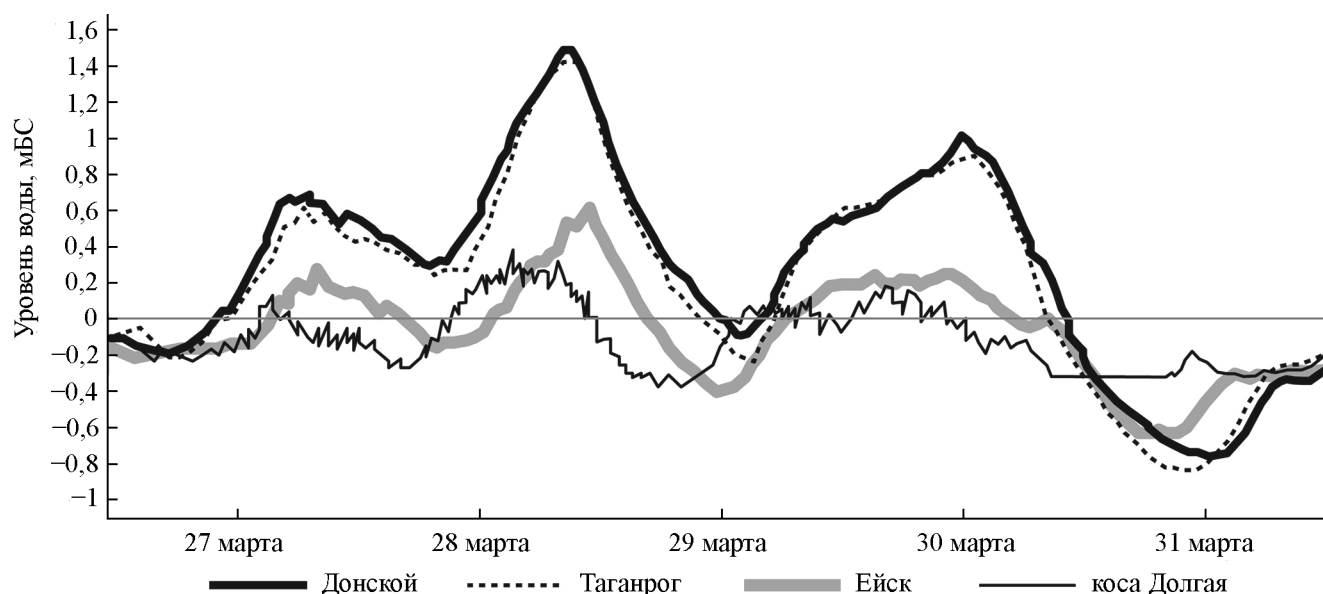


Рис. 2. Динамика уровня моря в период развития нагонной волны в Таганрогском заливе и в дельте р. Дон 27–31 марта 2017 г.
Fig. 2. Sea level during the development of the surging wave in Taganrog Bay and the Don River delta on March 27–31, 2017.

SBE-19, SBE-19+V2, CTD-90 и датчики электропроводности Солис СЛ15-10Т. Интервал между измерениями датчиков составляет 10 мин. За четыре года в базе данных было собрано более 220 тысяч измерений.

Одновременно с непрерывной регистрацией параметров водной среды при разных контрастах сгонно-нагонных явлений производился отбор проб воды на ионный состав при обычных условиях, экстремальных колебаниях уровня моря, подо льдом, на обмелевшем взморье, в протоках при сгонах.

Во время сгона 19 марта 2018 г. при понижении уровня воды на взморье на 1 м были отобраны 16 проб воды в протоках и родниках дельты Дона и р. Кагальник. Проведено сравнение проб воды из скважин коренного берега в с. Кагальник, из водоносного горизонта, расположенного на глубине 27 м, отобранной 6 марта 2018 г., и в с. Займо-Обрыв (в 7 км от с. Кагальник) – 16 августа 2011 г.

С причала х. Донской, расположенного в рукаве Старый Дон, в 7 км от морского края дельты, в придонном слое была выполнена постановка комплексного измерителя параметров течений AANDERAA RCM 9 LW с интервалом между измерениями 10 мин. Для выявления дальности проникновения осолоненных вод вверх по руслу р. Дон в г. Азове с причала речного порта, в 15 км от морского края дельты, производилось профилирование с помощью океанологического зонда CTD-90 с интервалом 1 ч.

В работе использованы данные экспедиции научно-исследовательского судна «Профессор Панов» по Нижнему Дону и Таганрогскому заливу 16–21 апреля 2018 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате исследований выявлены ранее не известные сочетания водных масс – грунтовых, речных и морских. Стали ясны комбинации сгонно-нагонного режима, при которых в водном балансе аванделы резко возрастает доля подземных вод. Для Приазовья и Нижнего Дона типичными являются кратковременные (2–3 года и 7 лет) и внутривековые (1933–1944, 2008–2018 гг.) маловодные периоды. В самые влажные годы сток Дона достигал 52 км³ [3]. После зарегулирования Дона Цимлянской плотиной годовой сток воды объемом в 30 км³ являлся оптимальным для азовоморской экосистемы. Однако при наступившем после 2007 г. маловодья речной сток сократился примерно в 3 раза (до 11–16 км³). Такое уменьшение стока стало возмещаться затоком в Таганрогский залив из Черного моря вод соленостью 17–18 ‰ и объемами порядка 20 км³ [2].

По уровню солености воды в авандельте и взморье подразделяются на питьевую – 0,4–1,0 ‰, пресную (речную) – 1,0–2,0 ‰, слабосоленоватую – 2,0–4,0 ‰, солонуватую – 4,0–8,0 ‰, высокосолонуватую (морскую) – 8,0–17,0 ‰ [2]. Теорети-

чески пределом проникновения соленых вод вверх по течению реки в случае полного прекращения стока является точка пересечения профиля дна реки и уровня поверхности принимающего водоема. Для Дона такой точкой является станица Раздорская, расположенная в 140 км от морского края дельты, которая также является естественной границей устьевой области Дона. Климатическая ситуация, при которой реки полностью прекращают сток, характерна для африканских территорий со значительным дефицитом влаги [4]. Проводя аналогии, можно сказать, что при возможном катастрофическом уменьшении стока Дона соленые морские воды могут распространиться намного выше г. Азова и даже г. Ростова-на-Дону.

В период с 17 по 31 марта 2017 г. была произведена серия наблюдений за нагонными явлениями, вызванными активностью средиземноморских циклонов (рис. 2).

Неустойчивое ветровое поле над акваторией Таганрогского залива способствовало развитию трех гребней нагонной волны. Периодичность колебаний уровня воды составила 1–1,5 суток.

Максимальный уровень воды наблюдался 28 марта 2017 г. в 20:00 и составил 1,54 м (Балтийская система высот). Общая величина колебаний уровня воды во время наблюдений достигла 2,3 м. Устойчивое ветровое поле с ветрами западного и юго-западного направлений способствовало разви-

тию обратных ветровых течений в восточной части Таганрогского залива и в дельте р. Дон (рис. 3). Также сложившаяся ситуация способствовала смещению фронта раздела соленых и морских вод к вершине Таганрогского залива и развитию интрузии в дельту Дона по Азово-Донскому морскому судоходному каналу.

Максимальное значение солёности воды 28 марта 2017 г. на расстоянии 7 км от морского края дельты составило 1,77 ‰, что в 2,5 раза больше характерного значения для речной воды в дельте Дона. На расстоянии 15 км от устья (г. Азов) солёность воды достигла 1,30 ‰. 27 и 30 марта также наблюдалось проникновение морских вод в дельту, с показателями солёности 1,0 и 1,46 ‰ соответственно. Максимальная скорость обратного ветрового течения составила 30–60 см/с, такие скорости характерны для стокового течения р. Дон в районе станицы Мелиховской (130 км выше устья Дона).

В Таганрогском заливе в период усиления ветра наблюдается активное изменение уклона водной поверхности и развитие нагонных волн. Синхронные изменения уровня воды на гидрологических постах «Взморье», «Донской» и «Ростов» показали развитие сгонно-нагонных колебаний уровня воды, или обратных низовок, на расстоянии до 40 км от морского края дельты. Определены уклоны водной поверхности, образующиеся в период действия обратных низовок. 13 февраля 2017 г. в период прохождения обратной нагонной волны уклон на

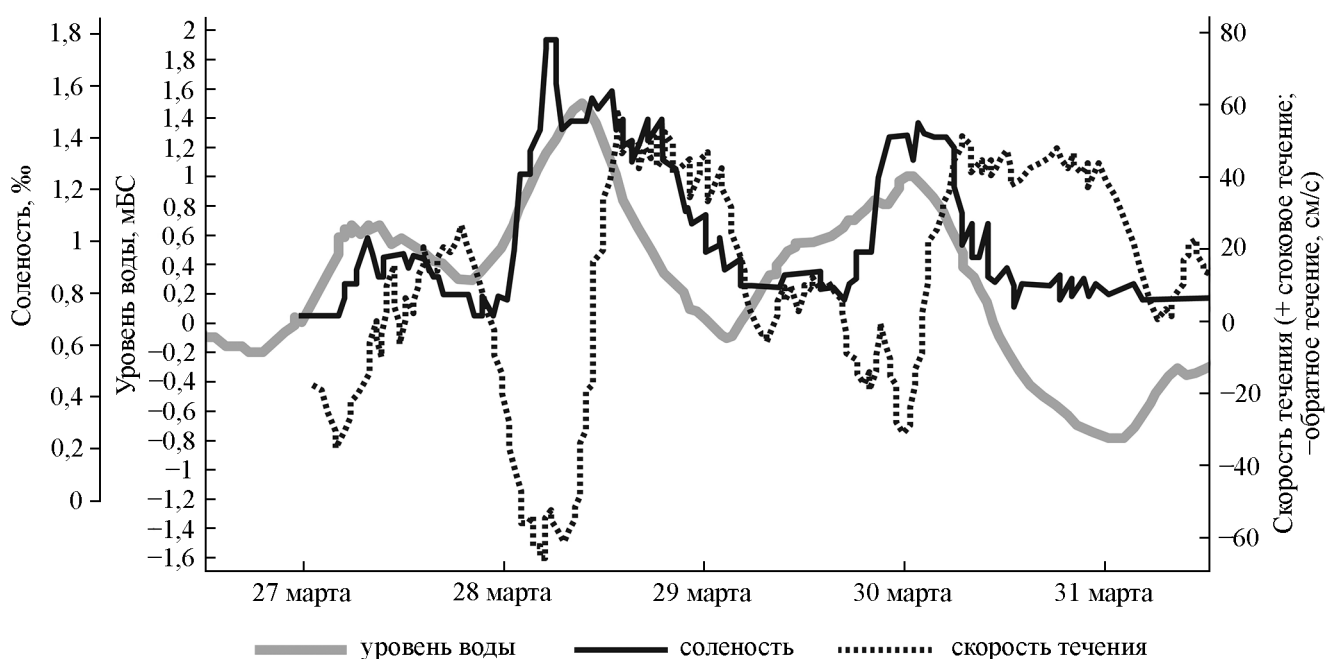


Рис. 3. Изменения уровня воды, солёности и скорости течений 27–31 марта 2017 г.
Fig. 3. Fluctuations in water level, salinity and current velocities on March 27–31, 2017.

участке «Взморье» – «Донской» (расстояние между пунктами наблюдений – 15 км) достигал 36 см, а на участке «Донской» – «Ростов» (расстояние между пунктами наблюдений – 40 км) – 24 см. При сравнении полученных значений уклонов водной поверхности с уклонами стокового течения можно определить примерную скорость потока, распространяющегося вверх по рукавам дельты Дона: на участке «Взморье» – «Донской» – 60–70 см/с, на участке «Донской» – «Ростов» – 20–30 см/с (рис. 4).

После затухания нагонных потоков, направленных вверх по течению (прямая волна), волна подпора речных вод начинает быстро продвигаться в сторону открытой части залива (отраженная волна).

Данные мониторинга позволяют сделать вывод, что чем чаще повторяемость нагонных колебаний уровня в дельте, тем больше морских вод проникает в рукава и протоки.

На устьевом взморье происходят сложные гидрохимические процессы при смешении вод разной природы. Донская вода в районе между Азовом и Багаевской относится к гидрокарбонатному классу кальциевой группы. Среднегодовая минерализация воды в створе г. Ростова-на-Дону составляет 0,6–0,8 г/л. Морские воды Таганрогского залива относятся к хлоридному классу натриевой группы. Минерализация изменяется от 3 г/л в районе Таганрога до 13 г/л в районе Бердянска. В результате маловодья рукава, протоки и взморье длительное время заполняются водой с соленостью до 5,0 ‰ и более. Нередко наблюдается двухслойная стратификация с более соленой (3,0–5,0 ‰) придонной водой. В результате воды гирл в течение года больше относятся к хлоридному классу натриевой группы.

Внутригодовое распределение стока воды практически выровнялось. За период наблюдений с 2015 до начала 2018 г. расходы воды у станции Раздорской по дням и месяцам во все сезоны варьируются слабо. В октябре 2016 г. сбросы воды через гидроузел составляли всего 180 м³/с при нормальных расходах 350–400 м³/с. В результате речной сток Дона стал не способен постоянно создавать естественный фронт пресных вод в Таганрогском заливе.

Минимально гарантированный судоходный попуск – 340 м³/с. В период самых влажных лет прошлого столетия, в частности в 1941–1942 гг., максимальные расходы воды в районе станции Раздорской достигали 7–9 тыс. м³/с [5]. При экстремальных верховках и, как следствие, падении уровня воды на 1,5 м даже относительно заметные сбросы воды из Цимлянского водохранилища (610 м³/с) мало

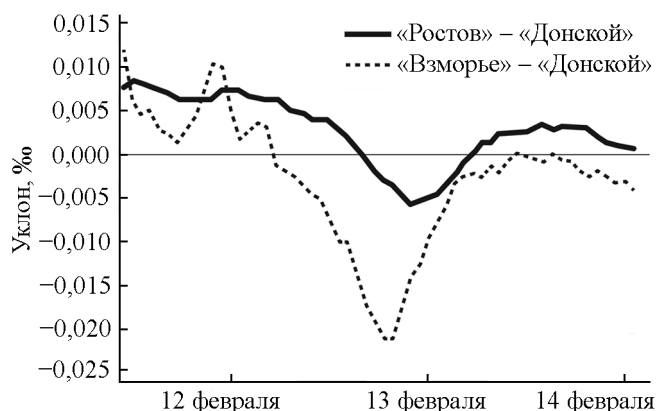


Рис. 4. Динамика трансформации уклона водной поверхности при развитии обратной низовки в устьевой области Дона 12–14 февраля 2018 г.

Fig. 4. Dynamics of the water surface slope transformation with the development of the “backward positive surge” in the estuary region of the Don on 12–14 February 2018

влияли на картину солености на взморье (в среднем 2,4 ‰). Доминирование черноморской воды в дельте является еще одним из признаков дефицита влаги в водосборном бассейне Дона.

В течение большей части года дельта и взморье до Очаковской косы заполнены пресной (0,5–0,9 ‰) водой. По мере развития нагонного течения (0,5–3 суток) в обстановке сильных и умеренных (10–20 м/с) юго-западных ветров в сторону дельты клином направлена адвекция соленых черноморских вод. С помощью непрерывных океанографических измерений установлено (рис. 5), что во время низовок, когда глубина воды возрастает на 2–3 м, в половине случаев происходит замещение воды на слабосоленоватую (2–4 ‰) или солоную (4–8 ‰).

Во все сезоны года ветры западных направлений на Азовском море сопровождаются подъемом уровня воды и закономерной миграцией проходных рыб на восток Таганрогского залива и в донскую дельту. У морского края дельты штормовые (до 20–30 м/с) юго-западные ветры приводят к подъему уровня воды на 3–4 м. В ситуации обратной низовки-черноморки после длительного стога воды возникают самые опасные разрушительные нагоны (март 2013 г., сентябрь 2014 г.). Только ураганный юго-юго-западный ветер вдоль края взморья создает подпор донскому стоку, и в считанные (2–3) часа приморская зона донской дельты залива.

В отдельных ситуациях отмечается стратификация воды в дельте Дона в виде резкого изменения солености в придонном слое ниже горизонта 1,5–2 м. Весной даже при сильных западных ветрах удвоенный сброс из Цимлянско-

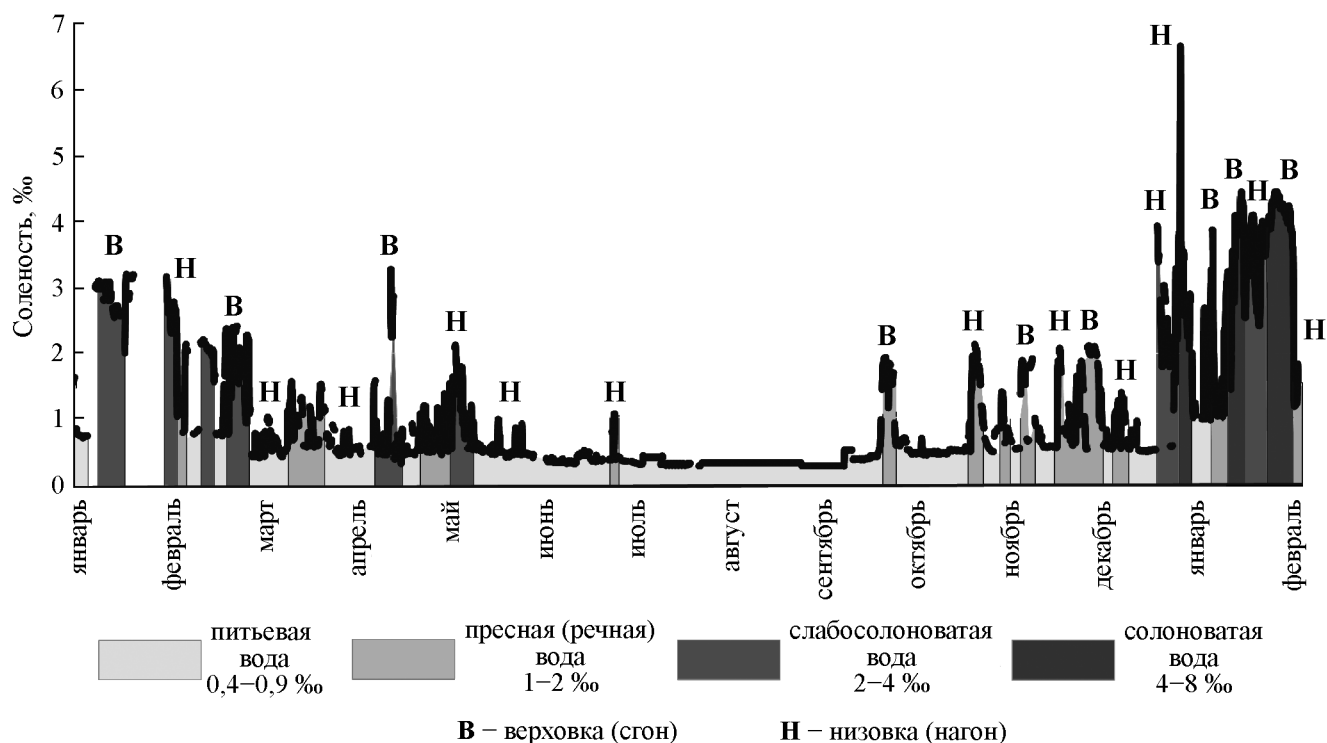


Рис. 5. Распределение солёности в дельте Дона в 2017–2018 гг.
Fig. 5. Distribution of the salinity of the Don delta in 2017–2018.

го водохранилища (у станции Раздорской 600–700 м³/с) может способствовать нахождению на взморье пресной (0,5–1,9 ‰) воды. В зависимости от погоды имеют место аномалии и кратковременные скачки солёности воды до 4,3–6,6 ‰ и больше. Для выяснения динамики гидрохимического режима и стратификации вод потребуется более детальная «томография» всего Таганрогского залива.

С октября по апрель во время резких сгонов воды и предельно малых (0,5–2,0 м) глубинах рукавов дельты Дона формируется два типа водных масс. При слабых верховках и снижении уровня воды на 0,2–0,5 м распространена пресная (0,7–1,7 ‰) вода [5]. Существует в отдельных случаях стратификация – питьевая (0,4–1,0 ‰) на поверхности и пресная (речная) (1,0–2,0 ‰) у дна.

Феномен существования слабосоленоватых (2,0–4,0 ‰) и солёноватых (4,0–8,0 ‰) вод наиболее заметен при экстремальных верховках (2015–2017 гг.), когда уровень воды достигал очень низких отметок (1,5 м). Осенью 2016 г. зафиксированы крайне малые сбросы воды из Цимлянского водохранилища (180–300 м³/с). В результате чрезвычайных по продолжительности ветровых сгонов Азово-Донской морской судоходный канал и многие протоки аванделъты оказались отрезанными от Таганрогского залива.

Анализ солёности в январе и феврале показал, что в зимние месяцы 2017 и 2018 гг. на постах сети мониторинга наблюдались более солёные воды, чем в другие сезоны. Ярко выраженная аномалия выделяется долговременным (более 500 часов) наличием слабосоленоватых вод. В отдельные моменты подо льдом (в зависимости от температуры воздуха, розы ветров, речного стока в 300–350 м³/с у станции Раздорской) на постах наблюдений была зафиксирована солёность воды до 4,5–5,1 ‰ и более.

В течение последних 50 лет маловодье привело к заметному заилению Таганрогского залива и дельты Дона. При двух-трехнедельных восточных ветрах взморье (куты) осушается на многие километры от берега, а обмелевшая аванделъта сливается с плавнями. В таких ситуациях в изолированные впадины на осушенных кутах по дну проток и гирл стекает в виде мелких ручьев вода из ериков и малых рек (Мокрый Кагальник, Сухой Кагальник, Черепаший, Безымянный и др.) (рис. 6), минерализация которых варьируется от 3,0 до 4,1 ‰ и более (табл. 1). С точки зрения геоморфологии наблюдаются грунтовые воды двух видов: одни просачиваются из осадочных пластов коренного берега (рис. 7), а другие текут от возвышающихся при верховках островов собственно дельты. Таким образом, во время сгонов аномально повышается доля минерализованного подземного стока и про-

исходит процесс замещения пресной воды Дона солоноватыми грунтовыми водами окружающей местности.

Исследования показали, что крупные рукава дельты – Мокрый Кагальник, Сухой Кагальник, – а также Свиное гирло, соединяющее реки Кагальник и Дон, и ерик Черепаший во время сильных сгонов заполняются водами со схожим ионным составом, существенно отличающимся от ионного состава вод Дона и родника, стекающего с о. Свиной, а общая минерализация воды в пробах, отобранных в устьевой области р. Кагальник, в 4 раза выше, чем в р. Дон и в роднике о. Свиной.

В грунтовых водах из скважин и в водах р. Кагальник общая минерализация 3–4 ‰. Подземным водам характерно высокое содержание хлоридов и доминирование сульфатов среди анионов, высокие концентрации кальция среди катионов (табл. 1). Ионный состав грунтовых вод существенно зависит от водоносного горизонта и состава дренируемых пород. Так, в водах скважины из с. Займо-Обрыв доминируют сульфаты, катионы натрия и калия.

Протоки р. Кагальник – Сухой Кагальник и Мокрый Кагальник, – и Азово-Донской морской канал, по которому проходит основной сток р. Дон, соединены между собой Свиным гирлом. Эта протока отделена от Дона мелководным порогом. Этот порог намывается при дноуглублении в судоходном канале. При экстремальных сгонах порог мелеет и водообмен между Доном и Свиным гирлом практически прекращается. При падении уровня воды в дельте складывается ситуация, когда протоки Мок-

Обнажившееся дно Таганрогского залива



Экстремальный сгон в дельте Дона, 24.10.2016 г.



Пересохшее русло р. Кагальник



Рис. 6. Осушение Таганрогского залива и подземные источники во время экстремального сгона.

Fig. 6. Taganrog Bay shallowing and underground water sources during the extreme negative surge.

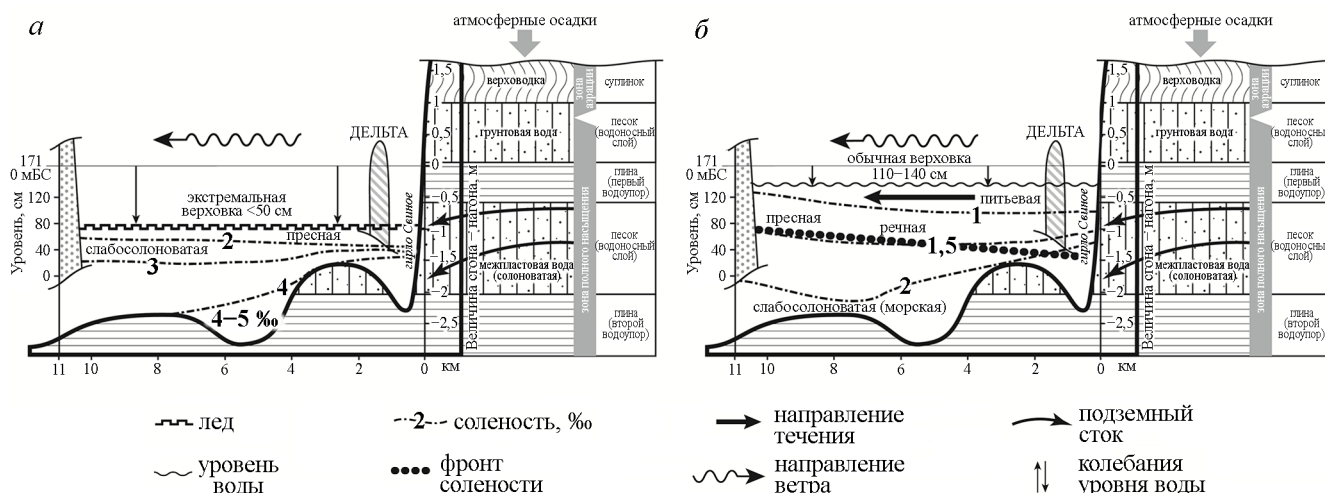


Рис. 7. Влияние подземного стока на уровень минерализации дельты Дона: а – доминирование подземных вод во время сильной верховки; б – формирование двухслойной стратификации солёности во время обычной верховки.

Fig. 7. Influence of underground flow on the mineralization of the Don delta: а – the dominance of groundwaters during a strong upswing; б – the formation of a two-layer stratification of salinity during the usual upswings.

Таблица 1. Ионный состав воды в протоках дельты Дона во время экстремального сгона и скважинах сел Кагальник и Займо-Обрыв
Table 1. Ionic composition of water in the river arms of the Don delta during the extreme negative surge and wells of Kagalnik and Zaymo-Obryv settlements

Место отбора проб Place of sampling	Cl ⁻ мг/л mg/l	HCO ₃ ⁻ мг/л mg/l	SO ₄ ²⁻ мг/л mg/l	Ca ²⁺ мг/л mg/l	Mg ²⁺ мг/л mg/l	Na ⁺ + K ⁺ мг/л mg/l	Общая минерализация, г/л* / Total mineralization, g/l *
Сухой Кагальник, дно Sukhoi Kagalnik, bottom 19.03.2018	709	378	1729	240	231	780	4,1
Мокрый Кагальник, поверхность Mokryi Kagalnik, surface 19.03.2018	620	378	1681	248	178	793	3,9
Мокрый Кагальник, дно Mokryi Kagalnik, bottom 19.03.2018	603	369	1681	240	195	751	3,8
Свиное гирло, поверхность Svinoe channel, surface 19.03.2018	496	339	1249	200	134	614	3,0
Свиное гирло, дно Svinoe channel, bottom 19.03.2018	620	373	1681	257	173	791	3,9
Ерик Черепаший, поверхность Cherepashiy channel, surface 19.03.2018	496	344	961	168	105	566	2,6
Ерик Черепаший, дно Cherepashiy channel, bottom 19.03.2018	532	354	1297	200	170	595	3,1
Село Кагальник, скважина Kagalnik settlement, well 6.03.2018	744	488	1105	521	180	3267	3,3
Село Займо-Обрыв, скважина Zaymo-Obryv settlement, well 16.08.2011	319	393	1249	216	127	506	2,8
Дон, поверхность Don River, surface 19.03.2018	177	271	365	96	58	186	1,2
Дон, дно Don River, bottom 19.03.2018	177	271	365	104	58	176	1,2
Остров Свиной, родник Svinoy Island, spring 19.03.2018	177	283	432	112	78	166	1,2
Остров Свиной, колодец Svinoy Island, well 6.05.2018	514,03	1061,75	864,54	336,67	111,87	597,50	3,49
Остров Свиной, колодец Svinoy Island, well 10.05.2018	815,35	1208,20	1921,20	448,90	165,38	1170,00	5,73
Павло-Очаковская коса Pavlo-Ochakovskaya spit 8.05.2018	797,63	248,96	288,18	176,35	51,07	489,50	2,05

Примечание. * – по нормативам [10] питьевая вода не может иметь общую минерализацию больше 1 г/л.

Note. * – according to the regulations [10] drinking water can not have a total mineralization greater than 1 g/l.

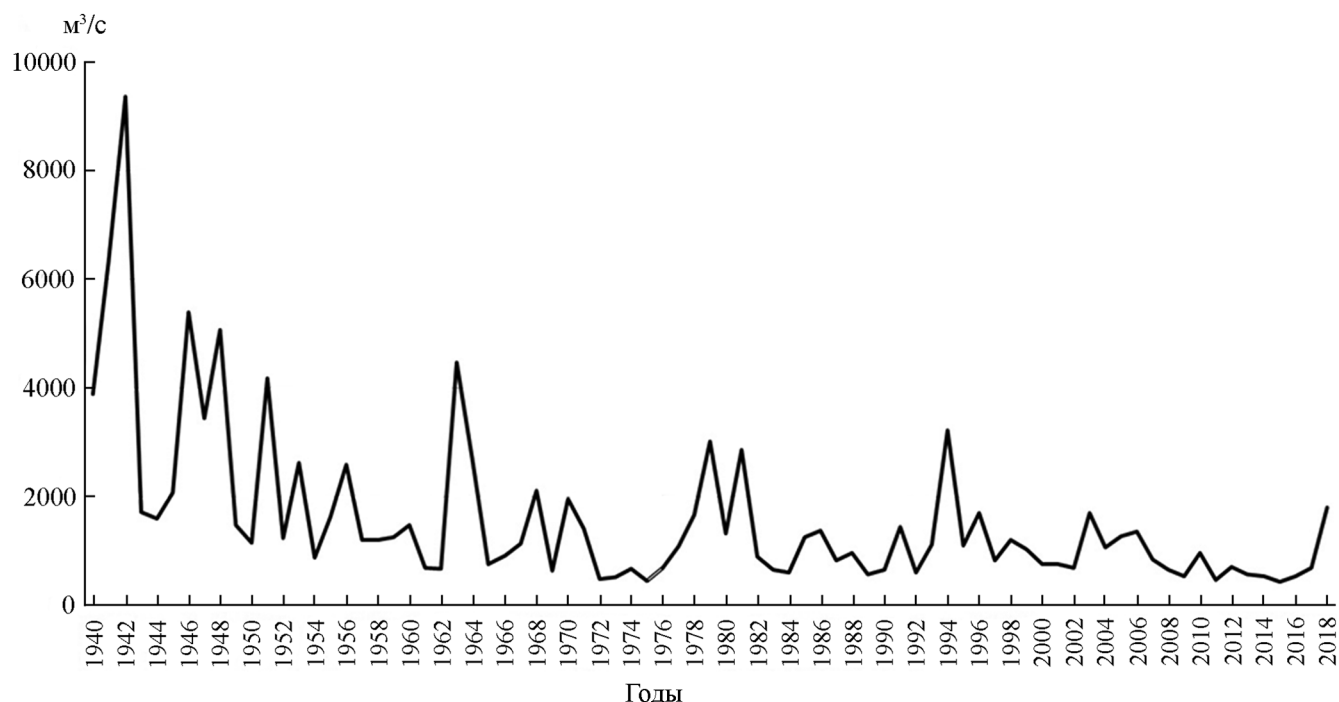


Рис. 8. Максимальный весенний расход р. Дон в ст. Раздорской, 1940–2018 гг. (по [12], с дополнениями).

Fig. 8. The maximum spring flow rate of the Don River in Razdorskaya 1940–2018 years (by [12], with additions).

рый Кагальник, Сухой Кагальник и Свиное гирло практически целиком заполняются минерализованными водами подземного стока.

В эпоху зарегулирования Дона Цимлянской плотиной (с 1952 г.) ключевым показателем внутривековой природной ритмики в Азово-Донском бассейне и устьях приазовских рек стала степень минерализации и химического состава воды в дельте Дона и Таганрогском заливе. Солоноватая водная масса (4,0–8,0 ‰) как тип ранее на взморье и в авандельте не отмечалась [2]. Своим происхождением вода с такой соленостью прежде всего обусловлена черноморской адвекцией при крайне ограниченном донском стоке. При сгонно-нагонных процессах речные и морские воды при сходной солености имеют принципиально отличный химический состав [6; 7]. Такого рода гидрохимические эпизоды на взморье, которые по продолжительности зимой 2017–2018 гг. достигли 17 дней, требуют специального изучения.

По нормативам питьевая вода может иметь общую минерализацию до 1 г/л [8; 9]. Заполнения рукавов и проток донской дельты на протяжении четверти года (в совокупности) слабосоленой и солоноватой водой вызывают тяжелые последствия для забора питьевой воды для городов Приазовья, а также для аквакультуры и рыбного хозяйства. Частые периоды обмеления (наиболее неблагопри-

ятные условия для нерестовых миграций рыб) сопровождаются проникновением слабосоленых и солоноватых, в том числе и минерализованных, грунтовых вод. В результате вода такой природы закачивается в водопроводы населенных пунктов Нижнего Дона. Эта же водопроводная вода поступает в установки замкнутого цикла водоснабжения, используемого в искусственном рыбоводстве, что осложняет развитие аквакультуры в Приазовье: если проходные рыбы, например осетровые, могут жить как в морской, так и в пресной воде, то речная фауна (окуневые рыбы) обитает только в пресной (питьевой) воде, и в соленой воде при адаптации страдает система осморегуляции пресноводных рыб [10].

Исключением из ряда маловодных лет стала весна 2018 г. (рис. 8). Ярким примером природно-техногенной аномалии на фоне многолетнего маловодья на Дону стала ситуация, когда избыток воды от весеннего паводка привел к аварийным попускам воды из Цимлянского водохранилища. Среднесуточный объем сброса в р. Дон 10 апреля составил 345 м³/с, 28 апреля – 1503 м³/с, а к 6 мая увеличился до 1701 м³/с. Начиная с 4 мая 2018 г. фактический приток воды в бассейне Среднего Дона (станция Казанская) достиг 1670 м³/с, при расходах воды в р. Медведица 610 м³/с, в р. Хопёр – 1250 м³/с. Исходя из этого обстоятельства, с учетом уточненного максимального расхода воды

(по верхнему пределу прогноза 3000 м³/с) и продолжающегося половодья на р. Хопёр до конца второй декады мая, органы власти приняли решение о необходимости комплексного сброса воды через Цимлянский гидроузел: с 5 мая – 1600 м³/с, с 6 мая – 1700 м³/с, с 7 мая – 1800 м³/с. Это привело к формированию максимальной волны половодья в конце апреля – начале мая 2018 г. в р. Дон и подъему уровня воды до отметок, которые не регистрировались на Дону более 15 лет.

Во время экспедиции сотрудников ЮНЦ на научно-исследовательском судне «Профессор Панов» 28 апреля 2018 г. была отмечена паводковая волна, по нашим расчетам, высотой более 1 м, возникшая при резком подъеме уровня воды из-за сброса из Цимлянского водохранилища. Скорость течения, измеренная в нескольких точках с борта судна в районе станицы Багаевской, изменялась в диапазоне 1,8–2,2 м/с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Маловодье и зарегулирование речного стока привело к необратимым трансформациям естественных процессов в экосистеме донской дельты и Таганрогского залива, в прошлом богатых промысловыми видами рыб [11]. Резко сократились весенние паводки и общий объем пресного стока. Донские гирла и протоки в течение года стали примерно на 17 % заполняться слабосоленовой (2–4 ‰) и на 4 % солоноватой (4–8 ‰) водой. Смещения нижнего предела хорогалиникума (изогалины 4–5 ‰) в сторону донской дельты являются неблагоприятными для солоноватоводной донной фауны и ихтиофауны вследствие уменьшения площади и акватории, пригодных для их обитания. Периодически возникающие непривычные для местной флоры и фауны концентрации и химический состав солей в воде способствуют угнетению биоты и изменению естественной экосистемы взморья [12].

В результате экстремальных сбросов воды из Цимлянского водохранилища (особенно в период с 17 апреля по 8 мая 2018 г.) на Дону ниже Кочетовского гидроузла нанесен значительный ущерб сельхозугодьям. В зоне подтопления оказались луга, земли вокруг станицы Багаевской, хутора Арпачин и другие прибрежные пункты. Отметим, что Росгидромет не смог заблаговременно спрогнозировать динамику наполнения Цимлянского водохранилища, что привело к экстремальным сбросам воды и затоплению обширных территорий.

Исследования, проведенные в Таганрогском заливе, показали значительное снижение солености в восточной части залива. Если весной 2017 г. в районе порта Таганрог средние значения солености были более 6 ‰, то через год, в период исследований, эти показатели не превышали 2 ‰.

Указанные факты неожиданного половодья при объемах попуска воды до 1500–2000 м³/с у станицы Раздорской убеждают исследователей в том, что для предупреждения последствий разрушительных паводков необходима обширная сеть (не менее 150–200) гидропостов на Нижнем Дону для осуществления гидрометеорологического мониторинга. При определении местоположения автоматических постов наблюдения должны быть учтены геоморфологические особенности русла р. Дон от Цимлянского водохранилища до Азовского моря. При принятии решений о попусках воды из Цимлянского водохранилища важно учитывать режим нагонных явлений, так называемых черноморок, возникающих при сильных юго-западных ветрах и приводящих к наводнениям в дельте Дона. Наложение сброса воды из Цимлянского водохранилища и нагона со стороны моря приводит к катастрофам, как, например, в марте 2013 г., когда ущерб для жителей Дона составил более 1 млрд руб. [13].

Не исключено, что весенний паводок 2018 г. и интенсивное наполнение Цимлянского водохранилища – это сигнал о наступлении нового климатического цикла и окончании периода маловодья. Решение о строительстве Багаевского гидроузла было принято в пик маловодья в бассейне Дона, когда расходы воды у станицы Багаевской не превышали 500 м³/с. При возможном многоводье (с расходом воды более 1200 м³/с) теряется смысл сооружения еще одной – самой нижней – плотины в цепи плотин на р. Дон.

БЛАГОДАРНОСТИ

В сборе материала и аналитических работах участвовали И.А. Мельник и Е.Г. Алешина (ЮНЦ РАН). Публикация подготовлена в рамках реализации ПФИ Президиума РАН 1.52 «Обеспечение устойчивого развития Юга России в условиях климатических, экологических и техногенных вызовов (ГЗ ЮНЦ РАН, № гр. проекта АААА-А18-118011990324-5)» и в рамках проекта «Современное состояние и многолетняя изменчивость прибрежных экосистем южных морей России» (№ государственной регистрации 01201363187).

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., Григоренко К.С., Московец А.Ю. 2017. Механизмы осолонения Таганрогского залива в условиях экстремально низкого стока Дона. *Наука Юга России*. 13(1): 35–43. doi: 10.23885/2500-0640-2017-13-1-35-43
3. 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.
4. Михайлов В.Н., Исупова М.В. 2008. Экстремальное осолонение эстуариев рек Западной Африки. *Водные ресурсы*. 35(4): 387–405.
5. Матишов Г.Г., Григоренко К.С. 2017. Причины осолонения Таганрогского залива. *Доклады Академии наук*. 477(1): 92–96. doi: 10.7868/S086956521731019X
6. Шишкина Л.А. 1974. *Гидрохимия*. Л., Гидрометеоздат: 288 с.
7. Никаноров А.М. 2011. *Региональная гидрохимия*. Ростов н/Д, НОК: 389 с.
8. ГОСТ Р 51232-98 Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества.
9. СанПиН 2.1.4.10749-01 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения.
10. Хлебович В.В. 1974. *Критическая соленость биологических процессов*. Л.: Наука, 235 с.
11. Матишов Г.Г., Ермолаев А.И. 2017. *Мир каравайки и взморья глазами донских казаков*. Ростов н/Д, изд-во ЮНЦ РАН: 224 с.
12. Бергер В.Я. 1986. *Адаптации морских моллюсков к изменениям солености среды*. Л., Наука: 218 с.
13. Матишов Г.Г. 2016. Экологические и социально-экономические последствия реконструкции гидротехнических сооружений на Нижнем Дону. *Наука Юга России*. 12(4): 41–49.
2. Matishov G.G., Grigorenko K.S., Moskovets A.Yu. 2017. [The salinization mechanisms in the Taganrog Bay under the conditions of the Don River extremely low runoff]. *Nauka Yuga Rossii*. 13(1): 35–43. doi: 10.23885/2500-0640-2017-13-1-35-43. (In Russian).
3. 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 hydraulic structures, taking into account interests of the population, fisheries and agriculture, shipping and energy]. Rostov-on-Don, Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences Publishers: 64 p. (In Russian).
4. Mikhailov V.N., Isupova M.V. 2008. Hypersalinization of river estuaries in West Africa. *Water Resources*. 35(4): 367–385.
5. Matishov G.G., Grigorenko K.S. 2017. Causes of salinization of the Gulf of Taganrog. *Doklady Earth Sciences*. 477(1): 1311–1315. doi: 10.1134/S1028334X17110034
6. Shishkina L.A. 1974. *Gidrokimiya*. [Hydrochemistry]. Leningrad, Gidrometeoizdat: 288 p. (In Russian).
7. Nikanorov A.M. 2011. *Regional'naya gidrokimiya*. [Regional hydrochemistry]. Rostov-on-Don, NOK: 389 p. (In Russian).
8. GOST R 51232-98 Voda pit'evaya. Obshchie trebovaniya k organizatsii i metodam kontrolya kachestva. [GOST R 51232-98 Drinking water. General requirements for organization and quality control methods]. (In Russian).
9. SanPiN 2.1.4.10749-01 Pit'evaya voda. Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu vody tsentralizovannykh sistem pit'evogo vodosnabzheniya. Kontrol' kachestva. Gigienicheskie trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti sistem goryachego vodosnabzheniya. [SanPiN 2.1.4.1074-01 Drinking water. Hygienic requirements for water quality of centralized drinking water supply systems. Quality control. Hygienic requirements for ensuring the safety of hot water systems]. (In Russian).
10. Khlebovich V.V. 1974. *Kriticheskaya solenost' biologicheskikh protsessov*. [Critical salinity of biological processes]. Leningrad, Nauka: 235 p. (In Russian).
11. Matishov G.G., Ermolaev A.I. 2017. *Mir karavayki i vzmor'ya glazami donskikh kazakov*. [The world of the karavayka and the seashore through the eyes of the Don Cossacks]. Rostov-on-Don, Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences Publishers: 224 p. (In Russian).
12. Berger V.Ya. 1986. *Adaptatsii morskikh mollyuskov k izmeneniyam solenosti sredy*. [Adaptations of marine mollusks to changes in salinity of the environment]. Leningrad, Nauka: 218 p. (In Russian).
13. Matishov G.G. 2016. [Ecological and socio-economic effects of hydro-technical facilities' reconstruction in the Lower Don region]. *Nauka Yuga Rossii*. 12(4): 41–49. (In Russian).

REFERENCES

1. Gershanovich D.E., Goptarev N.P., Zatuchnaya B.M., Simonov A.I. (ed.). 1991. *Gidrometeorologiya i gidrokimiya morey SSSR. Tom V. Azovskoe more*. [Hydrometeorology and Hydrochemistry of the Seas of the USSR. Volume V. Azov Sea]. Saint-Petersburg, Gidrometeoizdat: 236 p. (In Russian).

Поступила 20.05.2018