

УДК 551.465, 551.506, 574.52
DOI: 10.7868/S25000640210204

НОВЫЕ ДАННЫЕ О РОЛИ ПОДЗЕМНЫХ И ЧЕРНОМОРСКИХ ВОД В АЗОВО-ДОНСКОМ БАССЕЙНЕ В ПЕРИОД МАЛОВОДЬЯ

© 2021 г. Академик Г.Г. Матишов^{1,2}, К.С. Григоренко¹,
Н.И. Булышева¹, А.Ю. Московец¹

Аннотация. Существенно расширена база наблюдений и выводы относительно режимов проникновения минерализованных вод в дельту Дона.

Пробы воды для гидрохимических анализов были взяты в период с 20.11.2020 г. по 8.03.2021 г. при максимальных сгонах и нагонах, в отдельных случаях отбор проб в реке производили послойно. Отобрана вода из магистрального водопровода Азова. Целенаправленный отбор проб предполагал выяснение природы грунтовых, речных и морских вод в дельте Дона, их сочетания при сгонно-нагонном режиме. Фиксация материала производилась при обычных условиях, при экстремальных колебаниях уровня моря, при резком возрастании доли подземных вод подо льдом, на обмелевшем взморье, в протоках при сгонах.

В ряде рукавов дельты в осенне-зимний период в условиях восточных ветров продолжительностью до 2–4 недель и скоростью более 6–10 м/с прекращается водообмен с Азовским морем и судоходным каналом р. Дон. После прекращения сообщения с рекой и морем протоки заполняются подземными водами. Построена модель эволюции типов стратификации солености морских и подземных вод в Свином гирле (дельта Дона) при чередовании сгонов и нагонов. Объяснены причины маловодья, при котором недостающие объемы компенсируются переносом вод из Черного моря, которые в трансформированном виде периодически заполняют дельту Дона и попадают в водозаборные системы Азова.

На Нижнем Дону и в Приазовье возник значительный дефицит пресной воды, в том числе питьевой, в крупных городах. Многие малые реки Приазовья в теплый период полностью прекращают сток. В условиях очевидной засухи всем отраслям сельхозпроизводства приходится соизмерять потребность в воде с имеющимися водными ресурсами.

Ключевые слова: дельта Дона, маловодье, изменения климата, ионный состав вод, сгонно-нагонные явления, подземный сток.

NEW DATA ABOUT THE FUNCTION OF UNDERGROUND AND BLACK SEA WATERS IN THE AZOV-DON BASIN DURING THE LACK OF WATER PERIOD

Academician RAS G.G. Matishov^{1,2}, K.S. Grigorenko¹, N.I. Bulysheva¹, A.Yu. Moskovets¹

Abstract. The base of observations and conclusions regarding the modes of penetration of saline waters into the Don River delta have been significantly expanded. Water samples for hydrochemical analyses were taken from 20 November 2020 to 8 March 2021 at maximum positive and negative water surges. In some cases, samples in the river were collected in layers. Water was taken from the main water pipeline in the city of Azov. Purposeful sampling involved elucidation of the nature of ground, river and sea waters, their combination under surge conditions. The fixation of the material was carried out under normal conditions, extreme fluctuations in sea level, with a sharp increase of groundwater percent under ice, on a shallow seashore, in canals during negative surge. It was shown that in some delta branches, in the autumn-winter period, under conditions of

¹ Федеральное исследовательское учреждение 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: matishov_ssc-ras@ssc-ras.ru

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

eastern winds, lasting up to 2–4 weeks and at a speed of more than 6–10 m/sec, water exchange with the Sea of Azov and the navigable canal of the Don River is stopped. After the cessation of water connection, the channels are filled with groundwater. The evolution pattern of the types of stratification of sea and ground waters salinity in the Svinee Arm of the Don River delta is constructed with alternating positive and negative surges. The reasons for the lack of water are explained, in which the missing volumes are compensated by the transfer of water from the Black Sea, which, in a transformed form, occasionally fill the Don River delta and enter the water intake systems of the city of Azov. In the Lower Don and Azov regions, there is a significant shortage of fresh water, including drinking water, in large cities. Many small rivers of the Azov region completely stop flowing during the warm period. In the face of obvious drought, all branches of agricultural production have to commensurate the need for water with the available water resources.

Keywords: Don River delta, lack of water, climate change, ion composition, tide-surge phenomena, underflow.

Маловодье – природный процесс, обусловленный внутривековой цикличностью климата – типичное для сухих степей явление. На рубеже XX и XXI веков снова начали преобладать годы с дефицитом влаги и засухой. Происходит опустынивание, сокращение запасов воды в бассейне р. Дон и осолонение Азовского моря. Маловодье и зарегулирование речного стока привело к необратимой трансформации естественных процессов, иссушению почвы, уменьшению количества мелких водоемов и водотоков.

Современное маловодье не единственное в гидрологической истории бассейна Дона (рис. 1) [1; 2]. Для Приазовья и Нижнего Дона типичными являются кратковременные (2–3 года и 7 лет) и внутривековые (1933–1944, 2008–2020 гг.) маловодные периоды. В период самых влажных лет прошлого столетия, в частности 1941–1942 гг., максимальные расходы воды в Дону в районе ст. Раздорской достигали 7–9 тыс. м³/с [3], а сток Дона составлял 52 км³. В период пуска Цимлянской ГЭС в 1952 г. средние минимальные расходы воды были 335 м³/с, а максимальные – 1200 м³/с. Минимально гарантированный судоходный попуск – 340 м³/с.

После зарегулирования Дона Цимлянской плотинной годовой сток воды объемом в 30 км³ являлся оптимальным для азовоморской экосистемы. Однако при наступившем после 2007 г. маловодье речной сток сократился примерно в 3 раза (до 11–16 км³). Минимальные расходы воды (280 м³/с в створе гидропоста «Раздорская», 18.11.2020 г.) стали нормой в течение года. Такое уменьшение стока стало замещаться затоком в Таганрогский залив из Черного моря вод соленостью 17 ‰ и объемами порядка 20 км³ [4].

До критической отметки обмелели Цимлянское и Краснодарское водохранилища. С момента их запуска 70 и 60 лет назад подобных ситуаций не воз-

никало. Стала характерной низкая водность и почти полное прекращение стока Миуса, Еи, Кагальника, Чумбурки и других малых рек. В 2018 г. на р. Миус с 9 по 31 августа расходы воды снизились до значений 0,6–1 м³/с (табл. 1). В 2020 г. уровень воды опускался на 1,5 м ниже средней позиции. Сельскохозяйственные культуры в степной зоне стали подвергаться воздушной засухе, что снижает урожайность. За 50 лет маловодья произошло заметное заиливание Таганрогского залива и дельты Дона. Несмотря на дноуглубление, заиливание Азово-Донского судоходного канала необратимо. При восточных ветрах (более 6–8 м/с) малые глубины на фарватере препятствуют движению морских судов в течение 2–3 недель.

Во время сгонно-нагонных процессов речные и морские воды при сходной величине солености имеют принципиально отличный химический состав [5]. В некоторых изолированных от судоходного канала протоках авандельты стали доминировать подземные воды. Однако до последних лет объем данных гидрохимического анализа был ограничен. Зачастую пробы воды были отобраны не по сезо-

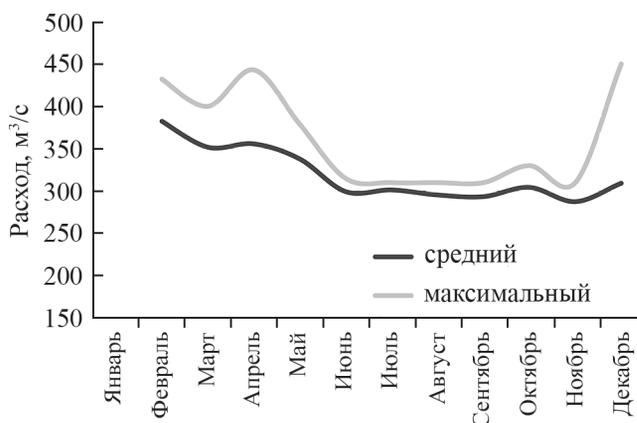


Рис. 1. Водность р. Дон в 2020 г. по данным работы [2].
Fig. 1. Water content of the Don River in 2020 according to [2].

Таблица 1. Среднемесячные, максимальные и минимальные расходы воды в р. Миус в 2018 г.
Table 1. Average monthly, maximum and minimum water discharges in the Mius River in 2018

Месяц Month	Расход воды, м ³ /с Water discharge, m ³ /s		
	Средний Average	Максимальный Maximum	Минимальный Minimum
Январь / January	4,17	9,36	3,16
Февраль / February	8,55	13,7	3,57
Март / March	21,4	40,3	9,79
Апрель / April	23,6	35,5	15
Май / May	9,95	15,6	6,17
Июнь / June	2,95	6,27	1,05
Июль / July	2,18	2,52	1,52
Август / August	0,88	1,52	0,6
Сентябрь / September	1,19	1,54	0,61
Октябрь / October	1,95	2,6	1,54
Ноябрь / November	2,33	3,26	2,11
Декабрь / December	2,77	3,55	1,63

нам и не привязывались к экстремальным стадиям сгонов и нагонов. Наши наблюдения произведены с учетом записей солености автоматическими гидрометеопостами. Специально была поставлена задача увеличить количество проб воды разной природы при максимальных верховках и низовках (ветер более 10–15 м/с).

В условиях нарастающей трансформации естественной термохалинной структуры водных масс в низовьях Дона и Таганрогском заливе ставилась задача изучить обстоятельства, при которых в одних случаях доминируют местные подземные воды со своим набором химических элементов, в других – черноморские воды. Целью исследования было выполнить предварительную типизацию вод по химическому составу, определить переходные режимы минерализации вод в протоках дельты.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В основу работы положены целенаправленные исследования воды при разных режимах и уровнях в Нижнем Дону и на взморье Таганрогского залива. Эксперимент охватывал период с 20.11.2020 г. по 8.03.2021 г. Для гидрохимических анализов отобрана вода при максимальных сгонах и нагонах. В отдельных случаях отбор проб в реке производили послойно. Взята также вода из магистрального водопровода Азова. В работе учтены анализы проб, собранных специалистами Южного научного центра Российской академии наук (ЮНЦ РАН) ранее, в 2018–2020 гг. [1; 5]. В 2020 г. на гидрометеопосту ЮНЦ РАН «Донской» (х. Дон-

ской, Азовский район Ростовской области) сотрудниками ЮНЦ РАН начались измерения солености непосредственно в русле Дона, гидрологический режим которого в меньшей степени зависит от подземного стока.

Целенаправленный отбор проб предполагал выяснение природы грунтовых, речных и морских вод, их сочетания при сгонно-нагонном режиме. Фиксацию материала производили при обычных условиях, при экстремальных колебаниях уровня моря, при резком возрастании доли подземных вод подо льдом, на обмелевшем взморье, в протоках при сгонах. На гидрометеопостах в с. Кагальник (Азовский район Ростовской области), х. Донской и др. получены термохалинные характеристики вод в режиме реального времени (рис. 2, 3).

Набор регистраторов среды включает измеритель течений AANDERAA RCM 9 LW, океанографические зонды (SBE-19, SBE-19 + V2, STD-90) и датчики электропроводности СОЛИС СЛ15-10Т. Дискретность измерений датчиков составляет 10 минут. За восемь лет в базе данных накоплено более 280 тыс. измерений.

Соленость рассчитана с помощью шкалы практической солености PSS-78 [6]. Во время двух-трехнедельных восточных ветров, когда взморье осушается на многие километры от берега, а обмелевшая авандельта сливается с плавнями вдоль островов, с квадрокоптеров DJI Phantom 3 Pro производилась детальная аэрофотосъемка и ландшафтные исследования прибрежной зоны и акватории.

Собраны данные по ежемесячным расходам воды в створе гидрологического поста «Раздор-

ская» с 1884 по 2020 г. Материалы опубликованы в гидрологических ежегодниках Росгидромета и других источниках [2; 7; 8].

В сборе материала и аналитических работах участвовали И.А. Мельников и Е.Г. Алешина, к.ф.-м.н. Г.В. Валов, к.г.н. А.В. Клещенков.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Водосборный бассейн Дона и малых рек Приазовья формируется в условиях аридного климата на территории сухих степей и отчасти умеренной зоны [9–11]. В обследованной части дельты Дона и прилегающей приазовской степи [4; 5] встречаются воды со следующей минерализацией: пресные, речные (0,4–2 г/л), слабосолоноватые (2–4 г/л), солоноватые (4–8 г/л) и высокосолоноватые (более 8 г/л). Кроме различий в общем количестве солей (г/л, или промилле) изученные воды отличаются разнообразием типов по химическому составу [12].

Гидрохимические показатели, в частности ионный состав воды, в протоках дельты Дона представлены следующим образом: речная вода при общей минерализации от 0,5–1 до 2 г/л содержит SO₄²⁻ от 100–300 до 615 мг/л, а Na⁺ + K⁺ – от 180 до 260–470 мг/л (табл. 2). Подземная (грунтовая) вода при общей минерализации от 2,8 до 6 г/л включает SO₄²⁻ порядка 1–2 г/л и Na⁺ + K⁺ на уровне 0,5–3,3 г/л.

Экспедиционные наблюдения в октябре 2020 г. показали, что общая минерализация вод в р. Северский Донец составила 1,25–1,35 г/л, в устье р. Маныч – 1,96 г/л, в устье р. Сал – 2,27 г/л, в р. Аксай – 1,19 г/л. Содержание ионов Cl⁻ в пробах достигло 0,17–0,37 г/л и Na⁺ + K⁺ – 0,24–0,45 г/л. На долю этих притоков приходится 30–35 % суммарного стока р. Дон. Минерализация Дона увеличивается с 0,61 г/л выше впадения р. Северский Донец до 0,85–0,92 г/л ниже впадения р. Маныч, то есть в 1,3–1,5 раза. Содержание ионов Cl⁻ увеличивается в 1,6 раза, ионов Na⁺ + K⁺ – в 1,8 раза.

Черноморская вода в условиях экстремальных низовок на взморье имеет общую минерализацию от 3 до 6–8 ‰ и более. Основные ионы содержат Cl⁻ на уровне от 1–1,6 до 3–4 г/л и Na⁺ + K⁺ – от 0,7–1 до 2,5 г/л. В общих чертах по количественному содержанию ионы морской воды располагаются в следующем порядке: Cl⁻ > SO₄²⁻ > HCO₃⁻ + CO₃²⁻; Na⁺ + K⁺ > Mg²⁺ > Ca²⁺, – а в речной карбонатной воде порядок противоположный.

Дата	Соленость поверхности	t пов	Соленость дна	t дна
2020-11-16 00:00:00	1,781	2,8	8,139	3,3
2020-11-16 00:10:00	1,748	2,8	8,014	3,4
2020-11-16 00:20:00	1,748	2,8	7,999	3,4
2020-11-16 00:30:00	1,795	2,8	8,041	3,4
2020-11-16 00:40:00	1,795	2,8	8,019	3,3
2020-11-16 00:50:00	1,804	2,8	7,982	3,4
2020-11-16 01:00:00	1,811	2,7	7,872	3,4
2020-11-16 01:10:00	1,812	2,7	7,898	3,3
2020-11-16 01:20:00	1,853	2,7	7,823	3,4
2020-11-16 01:30:00	1,837	2,7	7,771	3,4
2020-11-16 01:40:00	1,745	2,8	7,771	3,3
2020-11-16 01:50:00	1,673	2,8	7,785	3,4
2020-11-16 02:00:00	1,611	2,9	7,775	3,4
2020-11-16 02:10:00	1,601	2,9	7,799	3,4
2020-11-16 02:20:00	1,545	3	7,615	3,4
2020-11-16 02:30:00	1,593	3	7,658	3,3
2020-11-16 02:40:00	1,593	3	7,475	3,4
2020-11-16 02:50:00	1,593	3	7,471	3,4
2020-11-16 03:00:00	1,584	3	7,512	3,4
2020-11-16 03:10:00	1,481	3,1	7,501	3,4
2020-11-16 03:20:00	1,509	3,2	7,402	3,4
2020-11-16 03:30:00	1,426	3,3	7,350	3,4
2020-11-16 03:40:00	1,404	3,3	7,332	3,4
2020-11-16 03:50:00	1,445	3,4	7,341	3,5
2020-11-16 04:00:00	1,442	3,4	7,261	3,5
2020-11-16 04:10:00	1,354	3,5	7,274	3,5
2020-11-16 04:20:00	1,342	3,5	7,267	3,5
2020-11-16 04:30:00	1,354	3,5	7,174	3,5
2020-11-16 04:40:00	1,331	3,6	7,098	3,6
2020-11-16 04:50:00	1,331	3,6	7,163	3,7
2020-11-16 05:00:00	1,378	3,7	7,109	3,7
2020-11-16 05:10:00	1,369	3,7	6,983	3,8
2020-11-16 05:20:00	1,373	3,6	7,017	3,8
2020-11-16 05:30:00	1,278	3,8	6,923	3,9
2020-11-16 05:40:00	1,303	4	6,928	3,9
2020-11-16 05:50:00	1,282	4,1	6,926	3,9
2020-11-16 06:00:00	1,303	4	6,875	3,9
2020-11-16 06:10:00	1,307	3,9	6,777	3,9

Дата	Соленость поверхности	t пов	Соленость дна	t дна	Уровень воды, мБС
2020-11-24 01:40:00	1,324	1	5,043	1,3	0,005
2020-11-24 01:50:00	1,271	1,1	4,978	1,3	-0,002
2020-11-24 02:00:00	1,241	1,1	4,981	1,3	-0,004
2020-11-24 02:10:00	1,285	1,1	4,997	1,3	-0,029
2020-11-24 02:20:00	1,194	1,1	5,008	1,3	-0,014
2020-11-24 02:30:00	1,184	1,1	5,008	1,3	-0,015
2020-11-24 02:40:00	1,126	1,1	5,086	1,3	-0,030
2020-11-24 02:50:00	1,141	1,1	5,105	1,3	-0,029
2020-11-24 03:00:00	1,143	1,1	5,071	1,3	-0,041
2020-11-24 03:10:00	1,146	1,1	5,071	1,3	-0,047
2020-11-24 03:20:00	1,138	1,1	5,040	1,3	-0,041
2020-11-24 03:30:00	1,226	1,1	5,069	1,3	-0,067
2020-11-24 03:40:00	1,219	1,1	5,072	1,3	-0,053
2020-11-24 03:50:00	1,144	1,1	5,072	1,3	-0,056
2020-11-24 04:00:00	1,215	1,2	5,076	1,3	-0,065
2020-11-24 04:10:00	1,213	1,2	5,142	1,4	-0,065
2020-11-24 04:20:00	1,213	1,2	5,158	1,4	-0,065
2020-11-24 04:30:00	1,132	1,2	5,111	1,4	-0,056
2020-11-24 04:40:00	1,132	1,2	5,119	1,4	-0,089
2020-11-24 04:50:00	1,131	1,2	5,119	1,4	-0,076
2020-11-24 05:00:00	1,122	1,2	5,127	1,4	-0,106
2020-11-24 05:10:00	1,167	1,2	5,215	1,4	-0,111
2020-11-24 05:20:00	1,167	1,2	5,221	1,4	-0,121
2020-11-24 05:30:00	1,167	1,2	5,223	1,4	-0,145
2020-11-24 05:40:00	1,167	1,2	5,227	1,4	-0,134
2020-11-24 05:50:00	1,167	1,2	5,178	1,4	-0,137
2020-11-24 06:00:00	1,167	1,2	5,194	1,4	-0,137
2020-11-24 06:10:00	1,167	1,2	5,194	1,4	-0,150
2020-11-24 06:20:00	1,167	1,2	5,189	1,4	-0,152
2020-11-24 06:30:00	1,167	1,2	5,191	1,4	-0,163

Рис. 2. Записи системы наблюдения за температурой и соленостью с дискретностью 10 мин при переходах между типами стратификации I и II.

Fig. 2. Records of the system for observing temperature and salinity with a discreteness of 10 minutes during the transitions between stratification types I and II.

Морская вода Таганрогского залива относится к хлоридно-натриевой группе [12; 13]. На практике соленость морской воды рассчитывается по иону хлора. По степени минерализации воды подразделяются следующим образом: вблизи донского взморья – слабосолоноватые (2–4 ‰), в центральной части – солоноватые (4–8 ‰), далее до кос Долгая и Белосарайская – высокосолоноватые (8–13 ‰). В химическом составе преобладают хлоридные соединения (до 89 %). Указанная схема солевой структуры вод в акватории характерна в основном для безветренной погоды в Азовском море.

Дата	Соленость поверхности	t пов	Соленость дна	t дна
2020-11-15 13:40:00	1,565	2,6	4,535	2,7
2020-11-15 13:50:00	1,645	2,6	4,188	2,7
2020-11-15 19:20:00	1,884	2,4	8,365	3,1
2020-11-15 19:30:00	1,961	2,4	8,426	3,2
2020-11-15 19:40:00	1,945	2,5	8,391	3,2
2020-11-15 19:50:00	2,053	2,4	8,414	3,2
2020-11-15 20:00:00	0,063	2,4	8,455	3,2
2020-11-15 20:10:00	2,101	2,4	8,320	3,3
2020-11-15 20:20:00	2,123	2,4	8,319	3,3
2020-11-15 20:30:00	2,169	2,4	8,326	3,3
2020-11-15 20:40:00	2,144	2,4	8,327	3,2
2020-11-15 20:50:00	2,144	2,4	8,316	3,3
2020-11-15 21:00:00	2,145	2,4	8,302	3,3
2020-11-15 21:10:00	2,225	2,4	8,330	3,2
2020-11-15 21:20:00	2,227	2,4	8,357	3,2
2020-11-15 21:30:00	2,144	2,4	8,361	3,3
2020-11-15 21:40:00	2,082	2,5	8,361	3,3
2020-11-15 21:50:00	2,060	2,5	8,258	3,3
2020-11-15 22:00:00	2,112	2,5	8,255	3,3
2020-11-15 22:10:00	2,028	2,7	8,269	3,3
2020-11-15 22:20:00	1,927	2,8	8,268	3,3
2020-11-15 22:30:00	1,952	2,8	8,169	3,3
2020-11-15 22:40:00	1,899	2,9	8,177	3,3
2020-11-15 22:50:00	1,880	2,9	8,166	3,3
2020-11-15 23:00:00	1,879	2,9	8,167	3,3
2020-11-15 23:10:00	1,902	2,8	8,166	3,3
2020-11-15 23:20:00	1,789	2,9	8,221	3,3
2020-11-15 23:30:00	1,790	2,8	8,207	3,3
2020-11-15 23:40:00	1,677	2,9	8,069	3,3
2020-11-15 23:50:00	1,765	2,8	8,080	3,4
2020-11-16 17:00:00	1,927	0,5	5,698	1,6
2020-11-16 17:10:00	1,978	0,6	5,712	1,6
2020-11-16 17:30:00	1,923	0,6	5,814	1,5
2020-11-16 17:40:00	1,974	0,7	5,818	1,5
2020-11-16 18:50:00	2,025	0,6	5,825	1,4
2020-11-16 18:00:00	1,996	0,7	5,842	1,4
2020-11-16 18:10:00	2,117	0,6	5,871	1,3
2020-11-16 18:20:00	2,226	0,7	5,831	1,3
2020-11-16 18:00:00	2,197	0,6	5,862	1,2
2020-11-16 19:10:00	2,251	0,6	5,941	1,2
2020-11-16 19:20:00	2,250	0,7	5,961	1,2
2020-11-16 19:30:00	2,311	0,7	5,963	1,2
2020-11-16 19:40:00	2,356	0,6	5,963	1,2
2020-11-16 19:50:00	2,356	0,6	5,968	1,2
2020-11-16 20:00:00	2,438	0,6	5,931	1,1
2020-11-16 20:10:00	2,384	0,6	6,045	1,1
2020-11-16 20:20:00	2,423	0,6	6,041	1,1
2020-11-16 20:30:00	2,438	0,6	6,058	1,1
2020-11-16 20:40:00	2,338	0,6	6,058	1,1
2020-11-16 20:50:00	2,349	0,5	6,058	1,1
2020-11-16 21:00:00	2,456	0,5	6,079	1
2020-11-16 21:10:00	2,289	0,4	6,018	1
2020-11-16 21:20:00	2,383	0,4	6,026	1,1
2020-11-16 21:30:00	2,203	0,3	6,101	1,1
2020-11-16 21:40:00	2,163	0,2	6,103	1,1
2020-11-16 21:50:00	2,207	0,1	6,118	1,1

Рис. 3. Записи системы наблюдения за температурой и соленостью с дискретностью 10 мин при продолжительном наблюдении типа стратификации II.

Fig. 3. Records of the system for observing temperature and salinity with a discreteness of 10 minutes with long-term observation of type II stratification.

Речная вода, исходя из новейших исследований [4; 5], подразделяется на питьевую (0,4–1 ‰) и пресную (речную) (0,4–2 ‰). До зарегулирования донская вода в районе между Азовом и Багаевской относилась к кальциево-гидрокарбонатной группе [9]. Сейчас среднегодовая минерализация воды в створе Ростова-на-Дону составляет 0,7–1 г/л и имеет натриево-сульфатный состав [14]. В результате маловодья рукава, протоки и взморье длительное время заполняются водой с соленостью до 5 ‰ и более. Нередко наблюдается двухслойная стратификация с более соленой (3–5 ‰) придонной водой. В результате в течение года воды гирл в основном относятся к сульфатному классу натриевой группы.

В прошлую климатическую эпоху в течение большей части года в дельту и взморье до Очаковской косы происходило естественное проникновение пресной (0,5–0,9 ‰) воды [15]. В настоящее

время, в XXI веке, при западных ветрах наличие слабосоленоватых (2–4 ‰) азовоморских вод – характерное явление для Нижнего Дона [4]. Причина этого – уменьшение пресного стока Дона. Например, в октябре 2016 г. сбросы воды через Цимлянский гидроузел составляли всего 180 м³/с при нормальных расходах 350–400 м³/с. 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 [16]. В результате речной сток Дона стал неспособен постоянно создавать естественный фронт пресных вод в Таганрогском заливе.

С начала XXI века в условиях маловодья все чаще стали возникать ранее не отмечавшиеся явления стремительных адвекций черноморских вод. В течение каждого из последних лет многократно происходило заполнение дельты Дона типично черноморскими водами с соленостью до 10 ‰ (рис. 4, 5). Одновременно из внешней части Таганрогского залива гидрохимический барьер с перепадом солености более 5–6 ‰ сместился на 20–40 км вверх по дельте Дона. Такого рода галоклин разделяет ареалы пресноводной и морской фауны [17].

По нашим данным, воды в скважинах южного берега Дона, при сильных сгонах в р. Кагальник и Свином гирле, собственно в р. Дон и в Керченском проливе имеют преимущественно кальциево-сульфатный, натриево-сульфатный, натриево-хлоридный и смешанный состав (рис. 6). В анионном составе вод разной солености обычно преобладает Cl⁻, в катионном – Na⁺ и Ca²⁺. В подчиненном отношении находятся ионы SO₄²⁻, HCO₃⁻, CO₃²⁻, Mg²⁺, K⁺ [9; 18]. Вода сульфатная определяется по содержанию иона SO₄²⁻, при содержании SO₄²⁻ в количестве более 250 мг/л вода становится агрессивной.

Для подземных вод характерно высокое содержание хлоридов и доминирование сульфатов среди анионов, высокие концентрации кальция среди катионов (рис. 6). Ионный состав грунтовых вод существенно зависит от водоносного горизонта и состава дренируемых пород. Так, в водах скважины из с. Займо-Обрыв, расположенного в 7 км от с. Кагальник, доминируют сульфаты, катионы натрия и калия [5].

На исследуемой территории наблюдаются грунтовые воды двух видов: одни просачиваются из осадочных пластов коренного берега (рис. 7), а другие текут с возвышающихся при верховках островов собственно дельты. Таким образом, во время сгонов

Таблица 2. Ионный состав воды в протоках дельты Дона, полужирным шрифтом выделены преобладающие катионы и анионы
Table 2. Ionic composition of water in the channels of the Don River delta, the prevailing cations and anions are highlighted in bold

Место отбора проб Sampling point	Время отбора проб Sampling time	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 Water mineralisation, g/l	Уровень воды, мБС Water level, mBS
Речная вода / River water									
Река Кагальник Kagalnik River	27.02.1951	64,5	117	123,6	47,9	30,3	34,1	0,5	
Река Кагальник Kagalnik River	18.03.1954	67,6	31,7	99,5	32,5	19,6	31,8	0,3	
Река Дон, поверхность Don River, surface	19.03.2018	177	271	365	96	58	186	1,2	-0,8
Река Дон, дно Don River, bottom	19.03.2018	177	271	365	104	58	176	1,2	-0,8
Родник, о. Свиной Svinoi Island, spring	19.03.2018	177	283	432	112	78	166	1,2	-0,8
Свиное гирло, поверхность Svinoe arm, surface	22.11.2020 10:25	248,6	249	345,8	76,15	48,64	262	1,23	-0,1
Свиное гирло, поверхность Svinoe arm, surface	22.11.2020 10:30	226,9	246,5	326,6	76,15	41,34	251	1,17	-0,1
Свиное гирло, поверхность Svinoe arm, surface	22.11.2020 10:40	226,9	246,5	307,4	68,14	48,64	236	1,13	-0,1
Свиное гирло, поверхность Svinoe arm, surface	23.11.2020 10:20	241,1	239,2	345,8	80,16	48,64	248	1,2	-0,1
Свиное гирло, поверхность Svinoe arm, surface	23.11.2020 10:30	248,2	251,4	345,8	80,16	48,64	258	1,23	-0,1
Река Дон, порт Азов, Don River, port of Azov	15.02.2021 14:40	425,4	300,2	614,8	120,2	60,80	468	1,99	2,1
Колузаево, Koluzaevo	13.02.2021	212,7	288	403,5	112,2	51,07	233	1,30	2
Ростов-Арена Rostov-Arena	13.02.2021	191,4	292,9	345,8	112,2	46,21	200	1,19	2
Ростов-Арена Rostov-Arena	14.02.2021	205,6	305,1	365	108,2	51,07	220	1,26	1,6
Ростов-на-Дону, 29-я линия, понтон / Rostov-on-Don, 29 th Line, pontoon	13.02.2021	191,4	295,34	326,6	108,2	51,07	186	1,16	2
Грунтовые воды / Ground waters									
Река Кагальник Kagalnik River	25.10.1954	629,1	350,6	1161,6	166,9	153,8	640,2	3,1	
Река Кагальник Kagalnik River	1.10.1958	220,7	380,6	1350,7	194,4	155,3	435,1	2,8	
Река Сухой Кагальник, дно Sukhoi Kagalnik River, bottom	19.03.2018	709	378	1729	240	231	780	4,1	-0,8
Река Мокрый Кагальник, поверхность / Mokry Kagalnik River, surface	19.03.2018	620	378	1681	248	178	793	3,9	-0,8

Продолжение табл. 2

Место отбора проб Sampling point	Время отбора проб Sampling time	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 Water mineralisation, g/l	Уровень воды, мБС Water level, mBS
Река Мокрый Кагальник, дно Mokry Kagalnik River, bottom	19.03.2018	603	369	1681	240	195	751	3,8	-0,8
Свиное гирло, поверхность Svinoe arm, surface	19.03.2018	496	339	1249	200	134	614	3,0	-0,8
Свиное гирло, дно Svinoe arm, bottom	19.03.2018	620	373	1681	257	173	791	3,9	-0,8
Ерик Черепаший, поверхность Erik Cherepashiy, surface	19.03.2018	496	344	961	168	105	566	2,6	-0,8
Ерик Черепаший, дно Erik Cherepashiy, bottom	19.03.2018	532	354	1297	200	170	595	3,1	-0,8
Скважина, с. Кагальник Well bore, Kagalnik village	6.03.2018	744	488	1105	521	180	3267	3,3	-0,03
Скважина, с. Займо-Обрыв Well bore, Zaymo-Obryv village	16.08.2011	319	393	1249	216	127	506	2,8	
Скважина, 40 м, с. Кагальник, «Плоды Приазовья» / Well bore, 40 m, Kagalnik village, “Plody Priazov’ya” farm	12.2020	1390	180	20	1290		2500	5,39	
Свиное гирло, поверхность Svinoe arm, surface	20.11.2020 13:00	709	368,6	1585	224,5	175,1	836	3,9	-1,2
Свиное гирло, поверхность Svinoe arm, surface	20.11.2020 15:00	726,7	366,1	1585	256,5	204,3	747,5	3,89	-1,2
Свиное гирло, поверхность Svinoe arm, surface	01.12.2020	815,4	366,1	2305,4	304,6	240,8	1050	5	-1,2
Свиное гирло, дно Svinoe arm, bottom	01.12.2020	833,1	366,1	2353,5	320,6	243,2	1062,5	5,1	-1,2
Свиное гирло, дно Svinoe arm, bottom	02.12.2020	815,4	380,8	2353,5	344,7	277,3	956	5,1	-0,9
Свиное гирло, дно Svinoe arm, bottom	02.12.2020	815,4	375,9	2353,5	352,7	235,9	1029	5,1	-0,9
Свиное гирло, поверхность Svinoe arm, surface	06.12.2020	957,2	485,7	2737,7	384,8	301,6	1199	6	
Морские воды / Sea waters									
Гидрометеопост «Донской», поверхность / Hydrometeorost “Donskoy”, surface	05.02.2021 11:14	1861,1	251,4	720,6	116,2	163	1310,5	4,4	0,7
Гидрометеопост «Донской», дно Hydrometeorost “Donskoy”, bottom	05.02.2021 11:12	1949,8	253,8	672,4	120,2	175,1	1319	4,5	0,7
Свиное гирло, поверхность Svinoe arm, surface	05.02.2021 11:43	1683,9	273,4	816,5	120,2	150,8	1264,5	4,3	0,7
Свиное гирло, дно, Svinoe arm, bottom	05.02.2021 11:40	1683,9	278,3	768,5	120,2	170,2	1201,5	4,2	0,7

Окончание табл. 2

Место отбора проб Sampling point	Время отбора проб Sampling time	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 Water mineralisation, g/l	Уровень воды, мБС Water level, mBS
Свиное гирло, поверхность Svinoe arm, surface	13.02.2021	2020,6	275,8	912,6	152,3	187,3	1438	5	2,3
Свиное гирло Svinoe arm	14.02.2021 06:00	3332,3	253,8	1056,7	152,3	284,5	2229	7,3	2,3
Свиное гирло Svinoe arm	15.02.2021	2658,8	273,4	960,6	156,3	270	1737	6,06	0,4
Свиное гирло, поверхность Svinoe arm, surface	08.03.2021	1347,1	263,6	653,2	136,3	121,6	978	3,5	2,4
Свиное гирло, дно Svinoe arm, bottom	08.03.2021	1382,6	263,6	634	128,3	136,2	973	3,5	2,4
Азов, Западный микрорайон, водопроводная вода / Azov, Zapadnyy microdistrict, urban water	14.02.2021 11:00	2517	244,1	960,6	132,3	235,9	1725	5,81	1,6
Азов, Западный микрорайон, водопроводная вода / Azov, Zapadnyy microdistrict, urban water	14.02.2021 15:00	2056,1	239,2	1008,6	136,3	270	1348	5,06	1,7
Азов, Западный микрорайон, водопроводная вода / Azov, Zapadnyy microdistrict, urban water	14.02.2021 20:00	3474,1	246,5	1056,7	144,3	313,7	2276	7,51	0,9
Азов, Западный микрорайон, водопроводная вода / Azov, Zapadnyy microdistrict, urban water	14.02.2021 21:50	3757,7	258,7	1105	160,3	291,8	2531	8,1	0,8
Азов, Западный микрорайон, водопроводная вода / Azov, Zapadnyy microdistrict, urban water	15.02.2021 20:00	3474,1	239,2	1008,6	148,3	299,1	2273	7,44	0,3
Азов, Западный микрорайон, водопроводная вода / Azov, Zapadnyy microdistrict, urban water	16.02.2021 20:00	974,9	256,3	499,5	112,2	104,6	697,5	2,64	-0,15
Река Дон, порт Азов Don River, port of Azov	13.02.2021 14:00	1347,1	270,9	557,2	116,2	133,8	931	3,36	2,3
Река Дон, порт Азов Don River, port of Azov	14.02.2021 13:20	2871,5	256,3	912,6	140,3	255,4	1905	6,34	2,2
Рогожкино Rogozhkino	13.02.2021	2002,9	258,7	730,1	128,3	177,5	1373,5	4,67	2
Дугино Dugino	13.02.2021	1577,5	268,5	691,6	116,2	153,2	1122,5	3,93	2

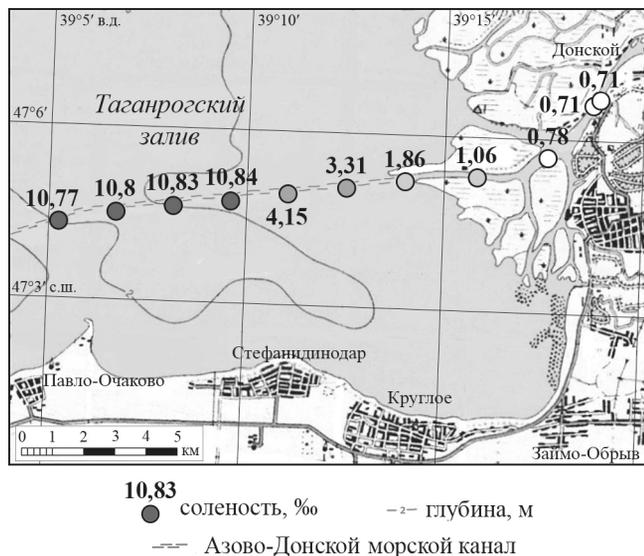


Рис. 4. Распределение солености на поверхности предустьевого взморья дельты Дона 17.12.2020.

Fig. 4. Distribution of salinity on the surface of the pre-estuarine seashore of the Don River delta on 17 December 2020.

аномально повышается доля минерализованного подземного стока. Результаты анализа воды из скважины на правом, невысоком (10 м), берегу протоки Сухой Кагальник показали следующее: содержание анионов (г/л): гидрокарбонатов HCO_3^- – 0,18, хлоридов Cl^- – 1,39, сульфатов SO_4^{2-} – 0,02; содержание катионов: $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ – 1,29, $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ – 2,5, сухой остаток (сумма солей) – 5,39 (табл. 2).

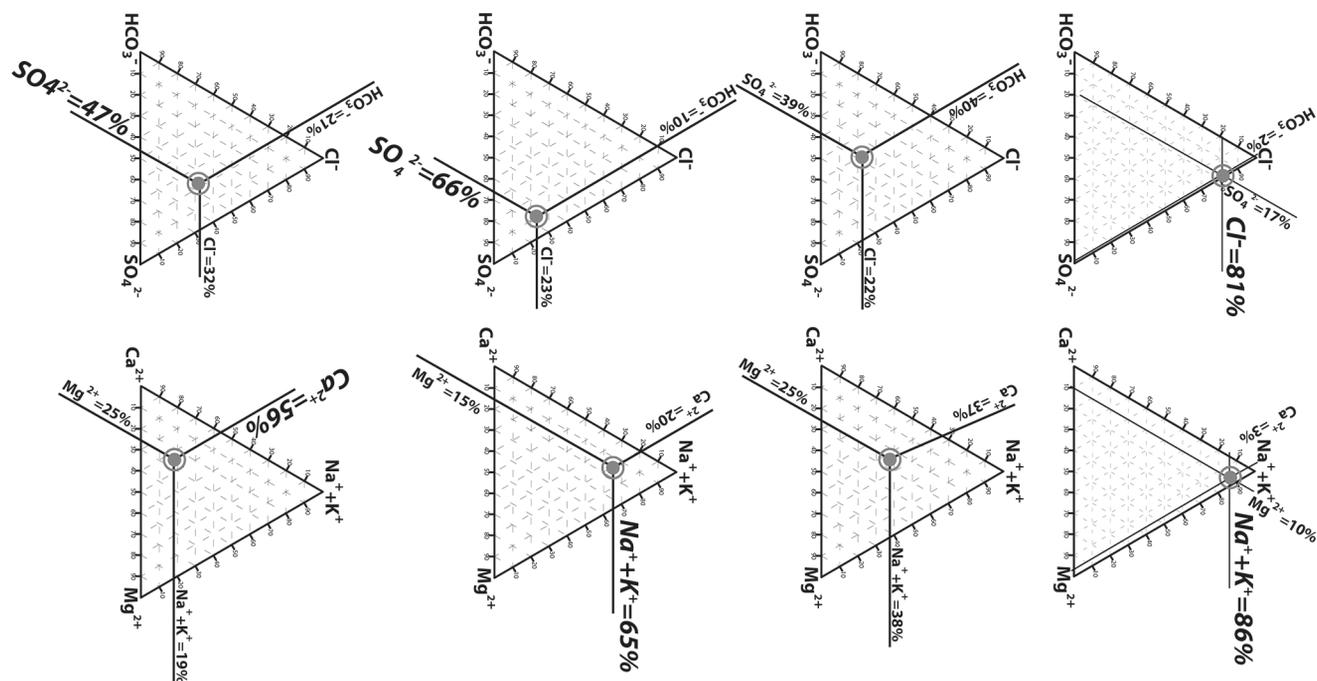
Географические особенности Свиного гирла, на котором с ноября 2020 г. до середины марта 2021 г. были сфокусированы наблюдения, имеют следующие геоморфологические черты: Свиное гирло соединяет между собой протоки Кагальника, Сухой Кагальник и Мокрый Кагальник, и Азово-Донской морской канал, по которому проходит основной сток р. Дон. Левый берег (по ходу течения Дона) является коренным обрывом (суглинки) высотой 14–17 м. Во время верховки Свиное гирло, как и большинство других рукавов авандельты, фактически изолировано от Азовского моря и судоходного канала. Взморье на 5–12 км осушается [5].

Во время сильных сгонов и снижения уровня воды на 2 м Свиное гирло отделяется 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. В результате Свиное гирло, длина которого 1,2 км, превращается в изолированную мелкую (глубина 30–50 см) лагуну (рис. 8).



Рис. 5. Изменение питания и ионного состава дельты Дона при разных уровнях воды.

Fig. 5. Changes in the types of feed and ionic composition of the Don River delta at different water levels.



Скважина, с. Кагальник, 06.03.2018 г., кальциево-сульфатный состав, минерализация 3,3 г/л
 Свиное гирло, дно, 01.12.2020 г., натриево-сульфатный состав, минерализация 5,1 г/л
 Дон, смешанный состав, минерализация 0,6 г/л
 Керченский пролив, натриево-хлоридный состав, минерализация 15–17 г/л

Рис. 6. Треугольники ионного состава в Азовском море, протоках и скважинах дельты Дона.
 Fig. 6. Triangles of ionic composition in the Sea of Azov, channels and wells of the Don River delta.

Анализ термохалинных закономерностей при экстремальных по продолжительности и величине сгона воды верховок позволяет представить процесс осолонения следующим образом. В осенне-зимний период в условиях восточных ветров продолжительностью до 2–4 недель и скоростью более 6–10 м/с в Свином гирле прекращается водообмен с Азовским морем и судоходным каналом р. Дон. Река Кагальник превращается в узкий ручей. Процесс минерализации и преобразования речных пресных водных масс в солоноватые воды происходит в 2 этапа. В первые дни сгона наблюдается двухслойная структура: тип I – пресная (0,6–1,5 ‰) вода в верхней части, внизу слабосоленая (2–4 ‰). Тонкий верхний слой воды (10–15 см) имеет соленость 0,6–1,3 ‰ в течение 1–2 дней. Соленость нижнего слоя воды (30–40 см) нарастает до 6–9 ‰ (осолоненная). Такой характер стратификации держится до 1–2 суток. II тип – соленость воды в Свином гирле сверху донизу становится однородной. В условиях самых сильных сгонов и обмеления гирл до 0,4–0,6 м вся толща воды становится солоноватой (до 6–8,5 ‰). Свиное гирло практически целиком заполняется минерализованными водами подземного стока.

В целом, будучи отрезанными от основного русла Дона, южные протоки (Сунжа, Свиное гирло) заполняются подземным стоком р. Кагальник. Наблюдения 2020 г. показали, что общее ухудшение водообмена между Доном и Свиным гирлом по причине дальнейшего заиливания перешейка между ними ведет к практически постоянному присутствию в Свином гирле минерализованных вод. Такой гидрохимический состав вод стал возникать и в летний сезон, чего раньше не наблюдалось. Пробы воды, отобранные 20.11.2020 г. (минерализация 4 г/л) и 06.12.2020 г. (минерализация 6 г/л), имеют одинаковый ионный состав: 12–14 % HCO₃²⁻, 23–27 % Cl⁻ и 60–65 % SO₄²⁻, 18–20% Ca²⁺, 14–16 % Mg²⁺ и 64–68 % Na⁺+K⁺, – то есть являются натриево-сульфатными. Описанный состав полностью совпадает с составом вод, отобранных в 2018 г. в протоках Сухой и Мокрый Кагальник (табл. 2).

Три основных катиона и три основных аниона расставлены в виде треугольной диаграммы (рис. 6). Треугольник ионного состава показывает процентное соотношение ионов, но не свидетельствует об общей минерализации. Диаграмма ил-



Рис. 7. Новые типы стратификации солености в дельте Дона.
Fig. 7. New types of salinity stratification in the Don River delta.



Рис. 8. Осушение протоки Свиное гирло при падении уровня воды на 1,5 м.
Fig. 8. Drainage of the Svinoe delta arm when the water level drops to 1.5 m.

люстрирует разницу между морской, речной, подземной водой, заполнявшей Свиное гирло в начале декабря 2020 г. Гидрохимические эпизоды такого рода, имевшие место на взморье в 2017–2020 гг. на протяжении 10–17 дней, требуют специального изучения.

Сопряженный анализ гидрохимического состава вод, непрерывных записей регистраторов солености (рис. 2, 3) с учетом различных режимов (стадий) сгонно-нагонных явлений и общей физико-географической обстановки в эпоху маловодья дает

основание классифицировать возникающие формы водных масс в устьевой области Дона (рис. 7).

В условиях западных ветров, в том числе экстремальных низовок, преобразование вод происходит по цепи последовательных гидрологических стадий. Пресная (речная) вода замещается перемешанной черноморской и речной водой и затем морской (до 10 ‰). 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 сгона

Таблица 3. Расчет аномалий сезонной температуры воздуха, годовых и максимальных среднемесячных расходов воды р. Дон у ст. Раздорская и в Приазовье

Table 3. Calculation of seasonal air temperature anomalies, annual and maximum average monthly water discharges in the Don River at Razdorskaya village and Azov region

Регион	Методика
<p>Расчет аномалий сезонной температуры воздуха в Приазовье / Calculation of seasonal air temperature anomalies in Azov region</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Вычисление среднемесячных температур воздуха на основе суточных значений на гидрометеостанциях / Calculation of month average temperature values based on the daily values at hydrometeorological stations (HMS) from the databases 2. Вычисление сезонных величин по годам на основе среднемесячных значений / Averaging monthly values on the HMS by years to seasonal values 3. Расчет средней сезонной температуры для Приазовья по годам путем осреднения данных трех гидрометеостанций (Таганрог, Геничеськ, Керчь) / Calculations of the average seasonal temperature of the Azov region, based on averaging of seasonal data from three HMS (Taganrog, Kerch, Genichesk) over the years 4. Расчет климатической нормы для рассматриваемого региона с помощью осреднения данных трех гидрометеостанций за период 1961–1990 гг. (принят Всемирной метеорологической организацией в качестве стабильного базового периода для долгосрочной оценки изменений климата) / The climatic norm for the Azov region is calculated on the basis of the year-averaged data of three HMS for the period 1961–1990 (adopted by the World Meteorological Organization as a stable base period for long-term assessment of climate change) 5. Аномалии зимней температуры по годам находили с помощью расчета разницы между сезонным значением температуры воздуха и климатической нормой / Anomalies of seasonal temperature over the years were found by calculating the difference between the seasonal temperature value and the climatic norm
<p>Расчет годовых и максимальных среднемесячных расходов воды р. Дон в ст. Раздорской / Calculation of annual and maximum monthly averaged discharges of the Don River in Razdorskaya</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Вычисление годовых расходов воды на основе средних месячных значений по данным из ежегодников Государственного водного кадастра / Calculation of annual values by average monthly data from the yearbooks of the State Water Cadastre 2. Анализ данных, выбор максимальных значений из средних месячных расходов для каждого года / Data analysis, selection of maximum values from average monthly discharges for each year

воды возникают самые опасные разрушительные нагоны (март 2013 г., сентябрь 2014 г.) [16]. Только ураганный юго-юго-западный ветер вдоль края взморья создает подпор донскому стоку, и в считанные (2–3) часа приморская зона донской дельты заливаются.

При восточных ветрах (экстремальных верховках) эволюция вод имеет следующий порядок: пресная → грунтовая (подземная) → черноморская (рис. 7). В отдельных случаях существует стратификация: питьевая (0,4–1 ‰) на поверхности и пресная (речная) (1–2 ‰) у дна. Солоноватая вода (2–4 ‰) как тип ранее на взморье и в авандельте не отмечалась. Своим происхождением вода с таким составом прежде всего обязана черноморской адвекции при крайне ограниченном донском стоке [4].

Методика расчета аномалий сезонной температуры воздуха в Приазовье, а также годовых и максимальных ежемесячных расходов р. Дон в ст. Раздорская показана в таблице 3 [1]. В результате анализа гидрометеорологических данных (1884–2020 гг.) выявлены внутривековые изменения климата и водности в Приазовье. Исследуемый период можно подразделить на три этапа: холодный (многоводный, 1884–1942 гг.), переходный (1942–1985 гг.) и теплый (маловодный, 1986–2020 гг.) [2]. В течение последних полутора веков циклы колебания средних температур воздуха зимой и водного режима в регионе Азово-Донского бассейна были синхронны. Вместе с тем в отдельные годы указанных интервалов возникали отклонения и аномальные скачки исследуемых параметров.

Исключением в ряду маловодных лет стала весна 2018 г. Ярким примером природно-техногенной аномалии на фоне продолжительного 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 составлял 10 апреля 345 м³/с, 28 апреля – 1503 м³/с, а к 6 мая увеличился до 1701 м³/с. Это привело в конце апреля – начале мая 2018 г. к формированию экстремальной волны половодья на Дону и экстремальному затоплению авандельты. Одновременный сброс воды из Цимлянского водохранилища и нагон со стороны моря приводит к опасным наводнениям, как, например, в марте 2013 г. [16].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящее исследование дополняет и уточняет ранее сделанные выводы [19; 20] о том, что начиная

с середины 50-х гг. прошлого века в Азово-Донской экосистеме независимо от общей климатической изменчивости стали нарастать негативные и разрушительные воздействия индустриальной природы. Самым заметным, явно причиняющим вред и приведшим к необратимым последствиям в бассейне Дона, стало гидротехническое зарегулирование реки на всем ее протяжении, от верховий до Азовского моря. Переломным в гидробиологическом развитии водоема явилось перекрытие в 1952 г. долины Дона Цимлянской плотиной, которая безвозвратно нарушила естественную ритмику речного стока.

Неучет свойств аридной зоны, природной внутривековой цикличности климата и возможностей саморегуляции степной реки в яркой форме проявился в первой четверти XXI века. Произошло нарушение и сокращение естественного пресного стока, баланса между речными и черноморскими водами, активизация адвекции в водную систему реки подземной среднеминерализованной (5,39 г/л) воды. Чрезмерное промышленное рыболовство в бассейне Азовского моря и Дона в XX веке привело к снижению количества рыбопромысловой продукции, замещению местной ихтиофауны чужеродными видами и необратимому перевылову всех ценных рыб.

Очевиден еще один негативный фактор, существовавший в XX веке, – это загрязнение речного дна угольным шлаком, который сбрасывали с пароходов в течение более ста лет. В современных илистых отложениях маркирующий слой шлака имеет толщину 5–10 см и протяженность в несколько десятков километров [1].

Не исключено, что при возможном экстраординарном уменьшении стока Дона соленые морские воды могут распространяться намного выше Азова и даже Ростова-на-Дону. Сложившаяся в настоящий период обстановка приводит к периодическому (во время сильных низовок) заполнению водопровода в Азове и других населенных пунктах солоноватой (4–8 ‰) водой; в отдельных случаях, как, например, 14.02.2021 г., зафиксирована высокосолоноватая (8–10 ‰) вода (рис. 6).

В период длительного действия стгонного явления повышается роль стока небольших речек, у которых водосборный участок находится в пределах коренного берега. Источниками питания таких речек в основном являются разгрузки высокоминерализованных грунтовых подземных вод. Для подтверждения данной гипотезы требуется проведение



Рис. 9. Протока Свиное гирло в сторону р. Кагальник и в сторону р. Дон.

Fig. 9. Svinoye delta arm in the direction of the Kagalnik River and in the direction of the Don River.

отбора вод в таких речках на протяжении действия сгонного ветра. На северном коренном берегу Дона к таким речкам относятся Донской Чулек, Мокрый Чалтырь. На южном коренном берегу это реки Сухой и Мокрый Кагальник, протоки Сунжа и Узьяк с многочисленными ручьями (рис. 9).

Для предупреждения стремительных черноморских адвекций в Таганрогский залив, заблаговременного оповещения о разрушительных паводках необходим гидрометеорологический мониторинг с опорой на обширную сеть (не менее 25–40) автоматических гидропостов на Нижнем Дону. Но в будущем возникает задача постановки экспериментальных исследований устойчивости к коррозии и разрушения металлов и других материалов под влиянием водных масс, разных по химическому составу. Важно учесть условия эстуарных и сгонно-нагонных процессов.

На Нижнем Дону и в Приазовье возник значительный дефицит пресной воды, в том числе питьевой, в крупных городах (Таганрог, Азов и др.). Многие малые реки Приазовья в теплый период полно-

стью прекращают сток. В условиях засухи всем отраслям сельхозпроизводства приходится соизмерять потребность в воде с имеющимися водными ресурсами. Очевидна нарастающая потеря доходов водопользователями.

Исследования осуществлены при финансовой поддержке проекта РФФИ № 18-29-05078 мк «Изучение воздействия организмов-деструкторов на металлы в зоне смешения речных и морских вод в широком диапазоне гидроклиматических условий», № 18-05-80010 Опасные явления «Исследование и прогноз опасных гидрометеорологических и геолого-геоморфологических процессов в районах функционирования стратегических объектов на Азово-Черноморском побережье (исторические и современные аспекты)» и в рамках реализации Государственного задания № гр. ААА-А-А18-118122790121-5 «Морские биогеосистемы юга России и их водосборы в условиях аридного климата, хозяйственного освоения и современных геополитических вызовов».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матишов Г.Г., Дашкевич Л.В., Титов В.В., Кириллова Е.Э. 2021. Анализ внутривековой природной изменчивости в Приазовье и на Нижнем Дону: причина маловодья. *Наука Юга России*. 17(1): 13–23. doi: 10.7868/S25000640210102
2. Информационная система по водным ресурсам и водному хозяйству бассейнов рек России. 2014. *Информационно-аналитический Центр Регистра и Кадастра*. URL: <http://gis.vodinfo> (дата обращения: 12.02.2021).
3. Симов В.Г. 1989. *Гидрология устьев рек Азовского моря*. М., Гидрометеиздат: 328 с.
4. Матишов Г.Г., Григоренко К.С. 2017. Причины осолонения Таганрогского залива. *Доклады Академии наук*. 477(1): 92–96. doi: 10.7868/S086956521731019X
5. Матишов Г.Г., Григоренко К.С. 2018. Маловодье и роль грунтовых вод в осолонении авандельты Дона. *Доклады Академии наук*. 483(4): 444–448. doi: 10.31857/S086956520003284-5
6. Мамаев О.И. 1987. *Термохалинный анализ вод Мирового океана*. Л., Гидрометеиздат: 296 с.
7. Ежегодники и обзоры. 2010–2019. *Гидрохимический институт*. URL: <http://gidrohim.com/node/44> (дата обращения: 20.02.2021).

8. Научно-прикладной справочник: Основные гидрологические характеристики водных объектов бассейна реки Дон. 2020. СПб., Свое издательство: 262 с.
9. Ресурсы поверхностных вод СССР, том 7. Донской район. 1973. Л., Гидрометеоздат: 459 с.
10. Ресурсы поверхностных вод СССР, том 8. Северный Кавказ. 1973. Л., Гидрометеоздат: 448 с.
11. Гидрометеорологический справочник Азовского моря. 1962. Л., Гидрометеоздат: 856 с.
12. Никаноров А.М. 2017. Гидрохимия и методы исследования качества вод суши. Ростов н/Д, изд-во ЮФУ: 572 с.
13. Бронфман А.М., Дубинина В.Г., Макарова Г.Д. 1979. Гидрологические и гидрохимические основы продуктивности Азовского моря. М., Пищевая промышленность: 288 с.
14. Никаноров А.М. 2011. Региональная гидрохимия. Ростов н/Д, НОК: 389 с.
15. Гаргопа Ю.М. 2003. Сопряженность крупномасштабных изменений биопродуктивности Азовского моря и гидрометеорологических условий ее формирования. *Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки*. 2: 78–82.
16. 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
17. Бергер В.Я. 1986. Адаптации морских моллюсков к изменениям солености среды. Л., Наука: 218 с.
18. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том V. Азовское море. 1991. СПб., Гидрометеоздат: 236 с.
19. Бронфман А.М., Хлебников Е.П. 1985. Азовское море. Основы реконструкции. Л., Гидрометеоздат: 272 с.
20. Никаноров А.М., Брызгалов В.А., Кондакова М.Ю. 2012. Реки России. Часть V. Реки Приазовья (гидрохимия и гидроэкология). Ростов н/Д, НОК: 316 с.
6. Mamaev O.I. 1987. *Termokhalinnyy analiz vod Mirovogo okeana*. [Thermohaline analysis of the waters of the World Ocean]. Leningrad, Gidrometeoizdat: 296 p. (In Russian).
7. [Yearbooks and Reviews]. 2010–2019. *Gidrokhimicheskiy institut*. Available at: <http://gidrohim.com/node/44> (accessed 20 February 2021). (In Russian).
8. *Nauchno-prikladnoy spravochnik: Osnovnye gidrologicheskie kharakteristiki vodnykh ob'ektov basseyna reki Don*. [Scientific and applied handbook: basic hydrological characteristics of water bodies of the Don River basin]. St Petersburg, Svoe izdatel'stvo: 262 p. (In Russian).
9. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR, tom 7. Donskoy rayon*. [Surface water resources of the USSR, volume 7. Don region]. 1973. Leningrad, Gidrometeoizdat: 459 p. (In Russian).
10. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR, tom 8. Severnyy Kavkaz*. [Surface water resources of the USSR, volume 8. North Caucasus]. 1973. Leningrad, Gidrometeoizdat: 448 p. (In Russian).
11. *Gidrometeorologicheskiy spravochnik Azovskogo morya*. [Hydro-meteorological reference book of the Sea of Azov]. 1962. Leningrad, Gidrometeoizdat: 856 p. (In Russian).
12. Nikanorov A.M. 2017. *Gidrokhiymiya i metody issledovaniya kachestva vod sushi*. [Hydrochemistry and methods of the quality of land waters investigating]. Rostov-on-Don, Southern Federal University: 572 p. (In Russian).
13. Bronfman A.M., Dubinina V.G., Makarova G.D. 1979. *Gidrologicheskie i gidrokhimicheskie osnovy produktivnosti Azovskogo morya*. [Hydrological and hydrochemical bases of the productivity of the Sea of Azov]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost': 288 p. (In Russian).
14. Nikanorov A.M. 2011. *Regional'naya gidrokhiymiya*. [Regional hydrochemistry]. Rostov-on-Don, NOK: 389 p. (In Russian).
15. Gargopa Yu.M. 2003. [Conjugation of large-scale changes in bio-productivity of the Azov Sea and the meteorological conditions of its formation]. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Estestvennye nauki*. 2: 78–82. (In Russian).
16. 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
17. 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).
18. *Gidrometeorologiya i gidrokhiymiya morey SSSR. Tom V. Azovskoe more*. [Hydro-meteorology and hydrochemistry of the seas of the USSR. Volume V. The Sea of Azov]. 1991. St Petersburg, Gidrometeoizdat: 236 p. (In Russian).
19. Bronfman A.M., Khlebnikov E.P. 1985. *Azovskoe more. Osnovy rekonstruksii*. [The Sea of Azov. Basics of reconstruction]. Leningrad, Gidrometeoizdat: 272 p. (In Russian).
20. Nikanorov A.M., Bryzgalov V.A., Kondakova M.Yu. 2012. *Reki Rossii. Chast' V. Reki Priazov'ya (gidrokhiymiya i gidroekologiya)*. [Rivers of Russia. Part V. Rivers of the Azov region (hydrochemistry and hydroecology)]. Rostov-on-Don, NOK: 316 p. (In Russian).

REFERENCES

1. Matishov G.G., Dashkevich L.V., Titov V.V., Kirillova E.E. 2021. [Analysis of intracentury environmental variability in the Sea of Azov and Lower Don regions: the cause of low water period]. *Nauka Yuga Rossii*. 17(1): 13–23. (In Russian). doi: 10.7868/S25000640210102
2. [Information system on water resources and water management of Russian river basins]. 2014 *Informatsionnaya sistema po vodnym resursam i vodnomu khozyaystvu basseynov rek Rossii*. Available at: <http://gis.vodinfo.ru> (accessed 12 February 2021). (In Russian).
3. Simov V.G. 1989. *Gidrologiya ust'ev rek Azovskogo morya*. [Hydrology of the river mouths of the Sea of Azov]. Moscow, Gidrometeoizdat: 328 p. (In Russian).
4. 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
5. Matishov G.G., Grigorenko K.S. 2018. Water scarcity and the role of groundwater in salinization of the Don Avandelta. *Doklady Earth Sciences*. 483(2): 1528–1533. doi: 10.1134/S1028334X18120073

Поступила 09.03.2021