

ПРОБЛЕМЫ ВОД СУШИ

УДК 551.465, 551.506, 574.52

КАЧЕСТВО ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ ДЕЛЬТЫ ДОНА В УСЛОВИЯХ МАЛОВОДЬЯ

© 2023 г. Академик РАН Г. Г. Матишов^{1,2}, К. С. Григоренко^{1,*}

Поступило 30.05.2023 г.
После доработки 05.06.2023 г.
Принято к публикации 05.06.2023 г.

Маловодье и зарегулирование речного стока Дона привело к необратимой трансформации естественных гидрологических и гидрохимических процессов. В конце 2022 г., несмотря на дефицит речной воды, в регионе приступили к прокладке водовода в Донбасс мощностью до 300 тыс. кубометров воды в сутки. Достаточно ли запасов водных ресурсов на все возрастающие хозяйственные нужды в течение всего года? Работа основывается на целенаправленном изучении химического состава воды при разных режимах и уровнях моря на Таганрогском взморье залива и дельты Дона. Эксперимент охватывает период с 02.12.2022 г. по 30.01.2023 г. и отдельные измерения, для сравнения, 21.02; 30.03; 17.04.2023 г. Всего выделено три типа ионного состава, характерного для протоки Свиное гирло дельты Дона. Морской – с доминированием (более 80%) суммарного содержания ионов натрия и калия, хлоридов и солёностью до 7–9 г/л. Донским водам соответствуют низкая минерализация (менее 2 г/л), повышенная доля $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ (50–60%), близкое количество SO_4^{2-} и HCO_3^- (по 30–40%). С 2018 г. регулярно, при понижении уровня, регистрируется присутствие грунтовых вод. Это солончатые воды с содержанием солей более 5 г/л. Для них типично высокое содержание натрия и калия (более 60%) и сульфат-ионов (60–80%). Наблюдения показывают, что дефицит пресной питьевой воды будет нарастать, и по мере возрастающего ее изъятия, ускоряться во времени. Будет происходить ее замещение (до 5–7 г/л) минерализованной грунтовой и черноморской водой. В каких их соотношениях в водопроводы будут закачиваться (перераспределяться по сезонам) слабосолончатые (2–4 г/л) и солончатые (4–8 г/л) воды, еще предстоит исследовать.

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

DOI: 10.31857/S2686739723601151, EDN: MNVKXX

Маловодье и зарегулирование речного стока Дона привели к необратимой трансформации естественных гидрологических и гидрохимических процессов. Из-за снижения уровня воды меньше проектных отметок грузоперевозки в Азово-Донском бассейне по итогам навигации 2022 г. упали на 32.7% — до 5.9 млн тонн. В связи с запуском нового крупного водовода из дельты Дона в Донбасс, и тем самым — масштабным на-

ращиванием объемов изъятия речной воды, поставлена задача проанализировать данные [1] о водных ресурсах и водном балансе в бассейне Дона. Не менее важным было исследовать возможные изменения химического состава речной воды в связи с маловодьем, а также гидрохимические преобразования вод в реальном времени на взморье Дона (рис. 1).

Водный баланс Азово-Донской водной системы играет важнейшую роль в формировании закономерностей динамики солевого состава воды и концентрации биогенов. В эстуарной зоне Дона встречаются воды со следующей минерализацией: пресные, речные (0.4–2 г/л), слабосолончатые (2–4 г/л), солончатые (4–8 г/л) и высокосолончатые (более 8 г/л). Кроме различий в общем количестве солей (г/л) изученные воды отлича-

¹Южный научный центр Российской академии наук, Ростов-на-Дону, Россия

²Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра Российской академии наук, Мурманск, Россия

*E-mail: Klim_grig@mail.ru



Рис. 1. Схема отбора гидрохимических проб в дельте Дона.

ются разнообразием типов по химическому составу.

Нижний Дон и Таганрогский залив Азовского моря образуют эстуарный водоем с рядом специфических физико-географических особенностей [2], связанных отчасти с обособленностью от Мирового океана. *Первая* — это ураганные затопления, "низовки" (потопы 09.1914 г. и 24.09.2014 г.). Уровень воды в авандельте поднимается на 2.4–2.8 м и более. *Вторая* — экстремальные сгоны воды на взморье до 1.5–1.6 м при восточных ветрах (10–20 м/с). Размах колебаний уровня в реке от условно нулевого до 4 м и более (рис. 2). *Третья* — резкая трансформация водного и экосистемного режима Дона после ввода Цимлянского гидроузла (плотины) в 1952 г. [1]. Происходит активный процесс заболачивания и обмеления рукавов, постепенное их заполнение новейшими илистыми наносами, мощностью до 1–2 м [3].

Ранее проведенные работы [4, 5] показали, что юг дельты (Свиное гирло) и близлежащие протоки при падении уровня воды практически целиком заполняются минерализованными водами подземного стока. В первые дни сгона наблюдается двухслойная стратификация солености: 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 сут. II тип — соленость воды в Свином гирле сверху донизу становится однородной. В условиях самых сильных сгонов и обмеления гирл, глубины дна, до 0.4–0.6 м вся толща воды становится солоноватой (до 6–8.5‰).

Из-за недостатка водных ресурсов в речном бассейне Дона периодически возникает дефицит пресной, в том числе питьевой, воды в крупных городах: Ростове, Таганроге, Азове и др. В течение года при экстремальных сгонах и нагонах гидрографическая сеть (гирла, протоки, рукава) Нижнего Дона и взморья заполняются трансформированными солеными водами подземного и черноморского происхождения [4, 5]. Нередко указанные воды закачиваются в водозаборные системы городов Приазовья. Водоканалом мероприятия для понижения минерализации воды при нагонах (морские соли) и при сгонах (соли грунтового питания) не предусмотрены.

В конце 2022 г., несмотря на дефицит речной воды, в регионе приступили к прокладке водово-

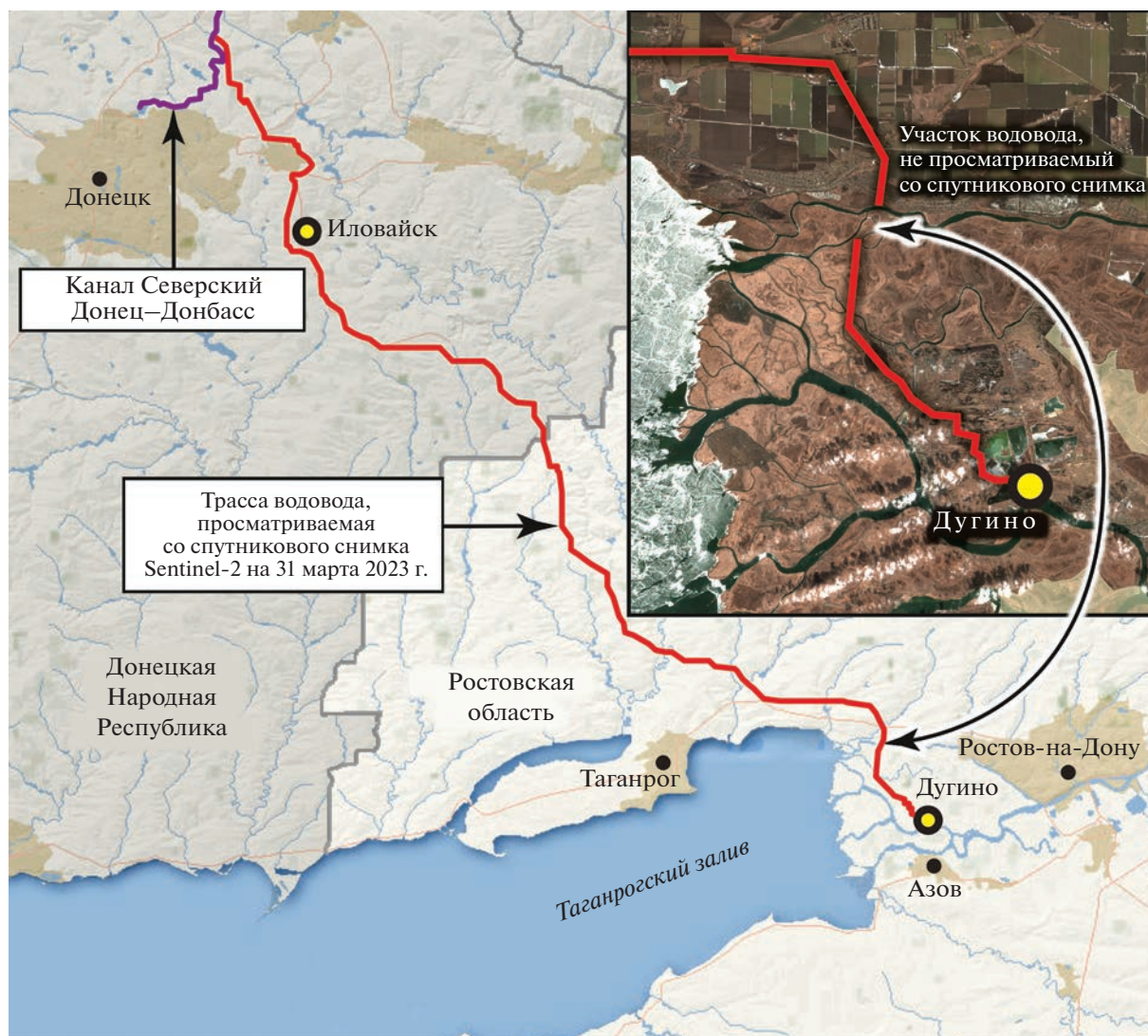


Рис. 2. Картограмма водовода Ростов–Донбасс.

да в Донбасс, мощностью до 300 тыс. кубометров воды в сутки. Водовод проходит от рукава Каланча, по заболоченным участкам Донского заповедника, через ерик Лагутник, канал Рыбхоз и реку Мертвый Донец. Затем – к станции “Танаис”, на правом крутом берегу Дона (рис. 3). Водовод дотянут до Северского Донца (притока Дона) – самой крупной реки в Донбассе.

Возникает вопрос, достаточно ли запасов качественной влаги в речном бассейне на все возрастающие хозяйственные нужды, в течение всего года? Крайне важно представлять по сезонам вариации химического состава речной воды, уровень ее минерализации, и, в целом, качество питьевой воды с учетом взмучивания при господствующих ветрах восточных румбов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работа основывается на целенаправленном изучении химического состава воды при разных режимах и уровнях моря на Таганрогском взморье залива и дельты Дона. Эксперимент охватывает период с 02.12.2022 г. по 30.01.2023 г. и отдельные измерения, для сравнения, 21.02; 30.03; 17.04.2023 г. Работы в основном произведены в зимний период в обстановке типичных для этого сезона сильных сгонов донской воды в Азовское море. Эксперимент был направлен на выявление, в реальном режиме времени, химических преобразований в водной среде южной части дельты Дона.

В качестве реперной точки, для которой накоплено больше всего наблюдений, выбраны причалы на БНЭБ “Кагальник” в Свином гирле

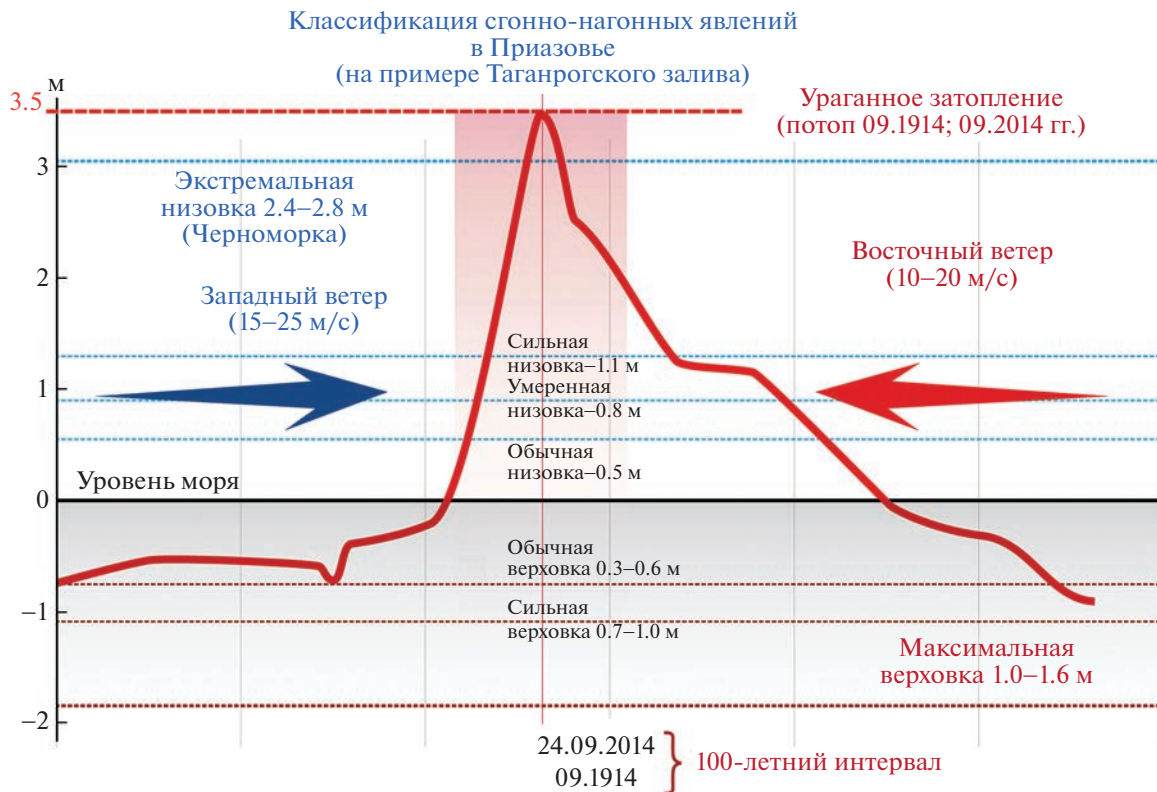


Рис. 3. Классификация сгонно-нагонных явлений в Приазовье (на примере Таганрогского залива).

(рис. 1). Важно подчеркнуть, что пробы воды одномоментно отбирались в шести–семи точках на юге дельты: в гирле Свиное, протоках Сунжа, Кривое, Кагальник, Сухой Кагальник и Мокрый Кагальник, в нескольких ериках и Азово-Донском судоходном канале, по которому проходит основной сток р. Дон. Во время двух–трех-недельных восточных ветров, когда взморье осушается на многие километры от берега, а обмелевшая аванделъта сливается с плавнями вдоль островов, на дне осушаются родники. Наглядная динамика уровня воды в реке, минерализация и ионный состав представлены в табл. 1. Всего было отобрано порядка 40 проб (рис. 4).

Образцы отбирались при разном уровне воды, от минимального (31 см уровнемерной рейки), до максимального, во время сильного нагона (247 см рейки). Перепад уровня составил 216 см. 12 января пробы отбирались из-под льда, в условиях подъема уровня воды при низовке. Минерализация вод измерена лабораторным методом.

Ранее уже отмечалось [4, 5], что в период длительного действия сгонного явления повышается роль стока небольших рек, у которых водосборный участок находится в пределах коренного берега. Источниками питания таких рек, в основном, являются разгрузки высокоминерализованных

подземных (грунтовых) вод. Для подтверждения данной гипотезы требуется проведение дополнительных работ, что и сделано в новом исследовании.

Для определения местоположения водовода “Дугино–Донбасс”, его топографических особенностей на взморье, были использованы спутниковые снимки Sentinel 2 за март и апрель 2023 г. (пространственное разрешение 10 м). Водовод проходит в сторону Танаиса, в 3–5 км от береговой линии аванделъты. От точки закачки воды у Дугино до мониторингового полигона на южном крае дельты 15–20 км (рис. 3). Оцифровку траектории водовода на космоснимках провели И.В. Шевердяев и В.В. Кулыгин.

В сборе гидрологического материала и в аналитических работах участвовали М.М. Чеха, к.г.н. А.В. Клещенко, Е.Г. Алешина. В гидрохимической лаборатории ЮНЦ РАН проведен анализ содержания кислорода, биогенных элементов, ионного состава, растительных пигментов, органического вещества. В работе учтены анализы проб, собранных специалистами в прошлые годы.

В сеть постов Южного научного центра РАН входят восемь автоматических гидрометеорологических комплексов, расположенных на разных участках устьевой области Дона, а также в бассейне р. Западный Маныч. Посты оборудованы ме-

Таблица 1. Ионный состав проб воды в дельте Дона

Место отбора	Cl ⁻ , мг/л	HCO ₃ ⁻ , мг/л	SO ₄ ²⁻ , мг/л	Ca ²⁺ , мг/л	Mg ²⁺ , мг/л	Na ⁺ + K ⁺ , мг/л	Общая минерализация, г/л	Уровень воды, см ур-ной рейки
Родниковая вода, Ростов-на-Дону [6]	126–553.2	419.2–805.5	586.8–1824.3	177.9–453.4	69.6–205.1	203.9–538.2		
БНЭБ “Кагальник”, поверхность, 25.05.2022	850.8	312.4	1873.2	180.4	177.5	1113	4.5	201
БНЭБ “Кагальник”, дно, 25.05.2022	886.3	314.9	1873.2	204.4	162.9	1139	4.6	201
Свиное гирло, возле берега, 25.05.2022	850.8	292.9	1825.1	192.4	165.4	1090	4.4	201
БНЭБ “Кагальник”, 10:30 2.12.2022	744.5	454.0	2401.5	336.7	239.6	1048.5	5.2	32
Причал НИС “Профессор Панов”, 10:50 2.12.2022	744.5	466.2	2209.4	328.7	214.0	1016	5.0	31
Свиное гирло, протока, 11:00 2.12.2022	726.7	441.8	2497.6	312.6	211.6	1168.5	5.4	31
БНЭБ “Кагальник”, 9:30 07.12.2022	744.5	471.1	2497.6	344.7	265.1	1043	5.4	80
Причал НИС “Профессор Панов” 9:10 07.12.2022	744.5	458.9	2689.7	336.7	245.6	1188	5.7	79
Свиное гирло, протока, 9:00 07.12.2022	726.7	471.1	2593.6	296.6	270.0	1130.5	5.5	78
БНЭБ “Кагальник”, 9:00, 09.12.2022	212.7	300.2	576.4	128.3	63.3	283	1.6	152
Причал НИС “Профессор Панов”, 9:50, 09.12.2022	202.1	305.1	576.3	128.3	73.0	257.5	1.5	151
Свиное гирло, протока, 9:30, 09.12.2022	202.1	302.7	528.3	140.3	51.1	261.5	1.5	150
БНЭБ “Кагальник”, 12.12.2022	163.1	270.9	422.7	104.2	38.9	236.0	1.2	145
Причал НИС “Профессор Панов”, 12.12.2022	156.0	275.8	384.2	108.2	43.8	198.0	1.2	145
Свиное гирло, протока, 12.12.2022	163.1	275.8	384.2	100.2	48.64	203.0	1.2	145
БНЭБ “Кагальник”, 10:30, 14.12.2022	248.2	300.2	480.3	120.2	48.6	298	1.5	231
Причал НИС “Профессор Панов” 10:00, 14.12.2022	248.2	322.2	461.1	112.2	53.5	297	1.5	236
Свиное гирло, 14.12.2022	255.2	285.6	461.1	112.2	55.9	282	1.5	226
Свиное гирло, 31.12.2022 13:30	163.1	258.7	288.2	104.2	41.3	156.0	1.0	180
Свиное гирло, дно, 31.12.2022 13:30	163.1	266.1	384.24	96.2	55.9	189.0	1.2	180
БНЭБ “Кагальник”, 02.01.2023 14:08	226.9	268.5	365.03	96.2	51.1	235.0	1.2	247
Причал НИС “Профессор Панов”, 10.01.2023, 16:10	780.0	446.7	2305.4	284.6	211.6	1143	5.2	70

Таблица 1. Окончание

Место отбора	Cl ⁻ , мг/л	HCO ₃ ⁻ , мг/л	SO ₄ ²⁻ , мг/л	Ca ²⁺ , мг/л	Mg ²⁺ , мг/л	Na ⁺ + K ⁺ , мг/л	Общая минерализация, г/л	Уровень воды, см ур-ной рейки
БНЭБ “Кагальник”, 10.01.2023, 16:00	531.6	319.7	1440.9	176.4	160.5	706	3.3	70
Дон, Азов (протока Азовка) 11.01.2023	241.1	351.5	614.8	144.3	65.7	319	1.7	44
Причал НИС “Профессор Панов”, 11.01.2023	1666	512.6	2497.6	328.7	250.5	1760	7.0	50
БНЭБ “Кагальник”, 11.01.2023	1666	512.6	2497.6	328.7	274.8	1710	7.0	50
Свиное гирло, 11.01.2023	1630	502.8	1873.2	312.6	260.2	1406	6.0	50
Протока Кривое, 11.01.2023	2375	751.8	1392.9	320.6	194.6	1908	6.9	50
Протока Сунжа, 11.01.2023	1453	497.9	2065.3	280.6	218.9	1504	6.0	50
Ерик Орнитологический, 11.01.2023	1134	654.1	1248.8	248.5	116.7	1168	4.6	50
Р. Кагальник, 11.01.2023	1666	522.3	2593.6	320.6	255.4	1814	7.2	50
БНЭБ “Кагальник”, фонтан из-под льда, 12.01.2023	1630	541.9	2209.4	408.8	250.5	1497	6.5	60
х. Дугино – Каланча 12.01.2023 14:38	170.1	349.0	461.1	124.3	58.4	228	1.4	90
Ерик Дугин 12.01.2023 15:08	354.5	288.0	211.3	104.2	58.4	228	1.2	90
Дон-х. Колузаево 12.01.2023 15:29	198.5	363.8	422.7	136.2	55.9	224	1.4	90
Мертвый Донец 12.01.2023 15:48	191.4	380.8	595.6	164.3	58.4	276	1.7	90
Ручей балки Кульбакина, 12.01.2023, 16:05	230.4	483.3	1104.7	276.6	87.6	410.5	2.6	90
Родник, Мертвый Донец, 12.01.2023, 16:10	212.7	400.3	1537.0	280.6	114.3	529	3.1	90
БНЭБ “Кагальник”, 16.01.2023	191.4	300.2	441.9	148.3	34.1	233.0	1.4	180
БНЭБ “Кагальник” 07.02.2023	638.1	424.7	1585.0	280.6	165.4	759.0	3.9	60
БНЭБ “Кагальник”, 08.02.2023	779.9	495.5	2209.4	304.6	240.8	1028.0	5.1	40
БНЭБ “Кагальник”, 21.02.2023	276.6	297.8	518.7	128.3	58.4	307.0	1.6	300
БНЭБ “Кагальник”, 21.02.2023, 14:10	241.1	300.2	461.1	124.3	63.2	248.0	1.4	391
БНЭБ “Кагальник”, 21.02.2023, 16:35	255.2	290.5	499.5	128.3	65.7	264.0	1.5	391
Порт Азов, 21.02.2023, 17:40	184.3	297.8	345.8	116.2	51.1	182.0	1.2	391
БНЭБ “Кагальник”, 30.03.2023	234.0	249.0	403.5	136.3	63.2	177.0	1.3	174
БНЭБ “Кагальник”, 17.04.2023, 9:10	744.5	407.6	1392.9	248.5	201.9	692.0	3.7	90

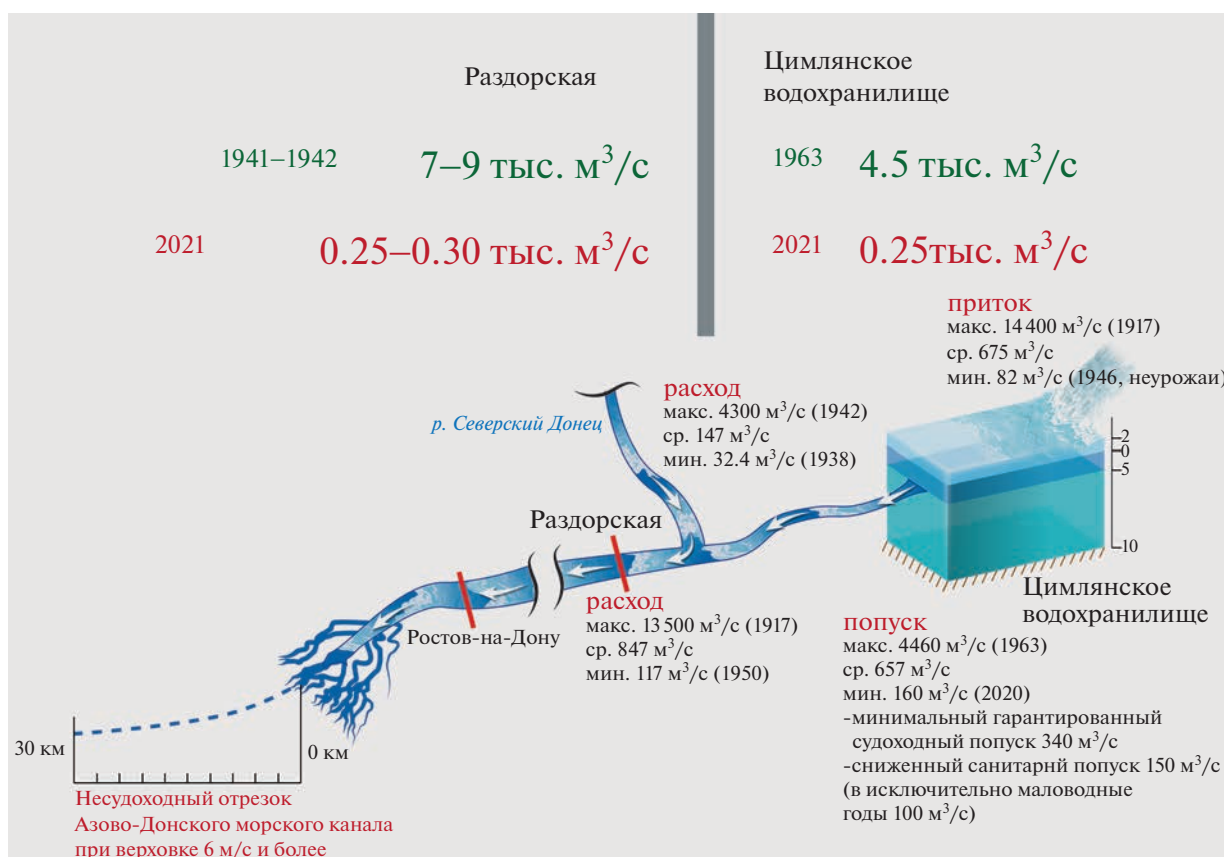


Рис. 4. Аридизация бассейна Дона в XX–XXI вв.

теостанциями М–49М, лазерными уровнемерами и датчиками электропроводности Солис СЛ15–10Т. Дискретность измерений 10 мин. На сегодняшний день в базу данных входит более 400 тысяч измерений гидрологического режима дельты Дона.

ВНУТРИВЕКОВЫЕ КОЛЕБАНИЯ ВОДНОСТИ. ВОДОЗАБОР

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.) [3]. Существует общее понимание изменчивости притока речных вод в Азовском море [2, 6, 7].

Суммарный естественный сток рек, впадающих в Азовское море, оценивался до 43.5 км³/год, в том числе р. Дон в створе станица Раздорская – 27.9 км³/год, р. Кубань в створе г. Краснодар – 13.5 км³/год, малые реки восточного и северного Приазовья – 2.1 км³/год [8]. Наиболее многовод-

ным был 1963 г. (52.8 км³). В то же время четырежды (1969, 1972, 1973, 1975 гг.) суммарный годовой сток рек Дон и Кубань почти достигал естественного минимума (соответственно 21.4; 21.9; 22.1; 21.9 км³), равного 20.7 км³.

Объемы же всего Азовского моря (323 км³), соответственно, в 10 и 9 раз превышают суммарную величину годового притока донских и кубанских вод. Общий сток рек Дон и Кубань в условно естественный период в среднем составлял около 40 км³/год при колебаниях в отдельные годы от 21.9 (1935 г.) до 67.7 км³ (1915 г.) и коэффициенте вариации 0.29 [7, 9, 10]. Годовое поступление в Азовское море донских и кубанских вод в среднем составило 30.5 км³ при межгодовых колебаниях от 23.1 (1984 г.) до 35.4 км³ (1988 г.). К 1975 г. антропогенное снижение притока речных вод в Азовское море составило 10 км³/год, или 23% нормы, а к 1985 г. – уже около 12–14 км³/год, или 33% нормы.

Дон относится к рекам с преимущественно снежным питанием (снеговое – 67%, подземное – 30%, дождевое – 3%). После зарегулирования в 37 случаях (78.7%) весенний сток был маловодным [8]. Впоследствии зарегулирования Дона

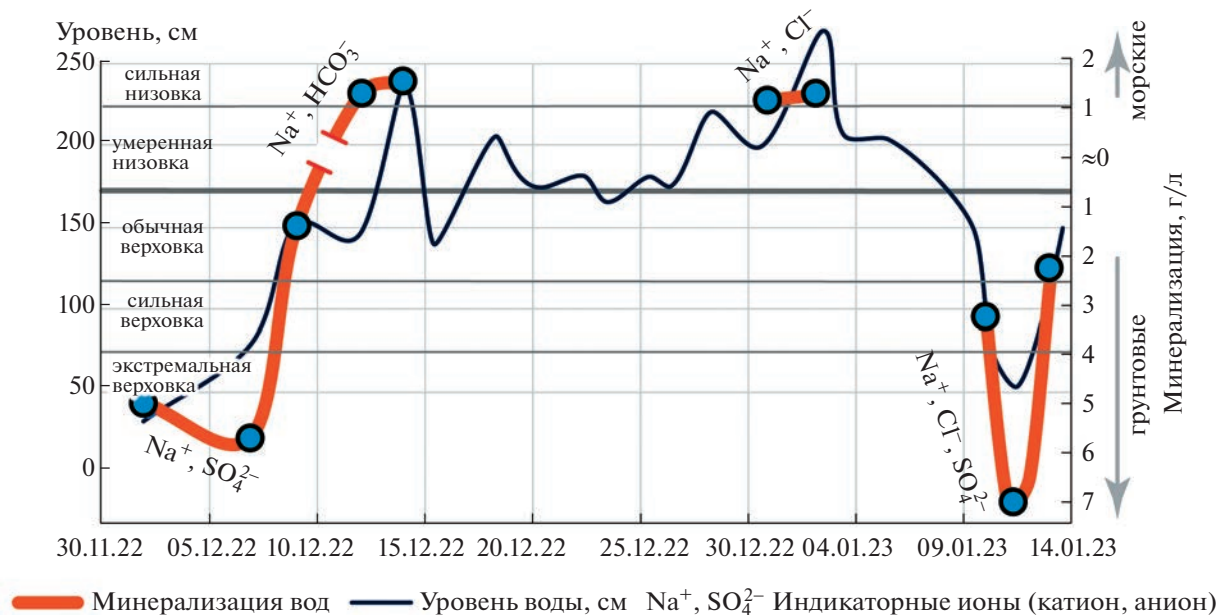


Рис. 5. Изменения минерализации, уровня воды и индикаторных ионов в южных протоках дельты Дона со 2 декабря 2022 г. по 16 января 2023 г.

Цимлянской плотиной годовой сток воды объемом в 30 км^3 являлся оптимальным для азовоморской экосистемы. Однако при наступившем после 2007 г. маловодье речной сток сократился примерно в 3 раза (до $11\text{--}16 \text{ км}^3$) [1].

Современное маловодье не единственное в гидрологической истории бассейна Дона (рис. 3). В изменениях естественного суммарного годового стока рек Дон и Кубань прослеживаются циклы: типичные — 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 $7\text{--}9 \text{ тыс. м}^3/\text{с.}$, а сток Дона составлял 52 км^3 . В период пуска Цимлянской ГЭС в 1952 г. средние минимальные расходы воды были $335 \text{ м}^3/\text{с.}$, а максимальные — $1200 \text{ м}^3/\text{с.}$ Минимально гарантированный судоходный попуск — $340 \text{ м}^3/\text{с.}$ По данным Донского бассейнового водного управления в 2020–2022 гг. сброс воды через Цимлянский гидроузел колебался в следующих характерных пределах: $150\text{--}205 \text{ м}^3/\text{с.}$; $180\text{--}255 \text{ м}^3/\text{с.}$; $200\text{--}280 \text{ м}^3/\text{с.}$ Затопление нижнедонской поймы отмечалось лишь в 1963, 1979, 1981 и 1994 г. Весенний сток по объему в основном отвечал экологическим особенностям воспроизводства полупроходных и проходных рыб.

В 1969 г. весна оказалась впервые катастрофически маловодной, а через 2 года последовало известное крупное неблагоприятное событие — ма-

ловодная пятилетка (1972–1976 гг.). Вновь маловодье повторилось в 1983 и особенно в 1984 г. [6, 8]. К маловодным отнесены 2009, 2011, 2014 и 2015 г. В 2015 г. объем половодья на Цимле не превышал величины 4 км^3 (35% от нормы), а максимальный расход — $790 \text{ м}^3/\text{с.}$ (т.е. четверть нормы).

Современное и потенциальное водопотребление можно представить следующим образом. Весенний сток, вследствие роста безвозвратных изъятий и сезонного регулирования Цимлянским водохранилищем, в среднем понизился до 8.0 км^3 , или в 2.4 раза, что лишь на 1.2 км^3 превышает естественный минимальный сток.

Водопотребление Ростова-на-Дону в 2013 г. составило $0.2 \text{ км}^3/\text{год.}$, или около 500 тыс. м^3 в сутки (планом развития города до 2025 г. предусмотрено увеличение до $0.3 \text{ км}^3/\text{год.}$) [11], водопотребление г. Азова и Таганрога — $0.03 \text{ км}^3/\text{год.}$ (около 80 тыс. $\text{м}^3/\text{сутки}$). Водозабор из рукава Мокрая Каланча является основным для города и расположен в районе х. Дугино. Новый донбасский водозабор в х. Дугино рассчитан на подачу $280\text{--}300 \text{ тыс. м}^3/\text{сутки}$ или более $0.1 \text{ км}^3/\text{год.}$ Для ориентира, в 1972–1976 гг. годовой и сезонный (март–май) сток р. Дон (станция Раздорская) составлял, соответственно, 12.3 и 3.4 км^3 воды (рис. 5). Все вышеперечисленные потребители (без воды на мелиорацию) могут изымать до $0.5 \text{ км}^3/\text{год.}$ [10, 12].

Следует отметить, что избыток воды от весеннего половодья может приводить к аварийным

Речные воды (0.6–2 г/л)	
Анионы $\text{SO}_4^{2-} \approx 40\%$ $\text{HCO}_3^- \approx 40\%$ $\text{Cl}^- \approx 20\%$	Катионы $\text{Na}^+ + \text{K}^+ \approx 35\%$ $\text{Ca}^{2+} \approx 35\%$ $\text{Mg}^{2+} \approx 30\%$
Грунтовые воды (до 2–8 г/л)	
$\text{SO}_4^{2-} \geq 65\%$	$\text{Na}^+ + \text{K}^+ \geq 65\%$
Морские воды (4–6 г/л)	
$\text{Cl}^- \geq 80\%$	$\text{Na}^+ + \text{K}^+ \approx 85\%$

Рис. 6. Индикаторные ионы южных рукавов дельты Дона.

попускам воды из Цимлянского водохранилища. Среднесуточный объем сброса в р. Дон в 2018 г. 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 к формированию экстремальной волны половодья на Дону и затоплению авандельты. Одновременный сброс воды из Цимлянского водохранилища и нагон со стороны моря приводят к опасным наводнениям, как, например, в марте 2013 г. [15].

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

Подземные (грунтовые) воды. Как уже ранее отмечалось [4, 5], при экстремальных восточных ветрах (верховках) водообмен многих рукавов и протоков дельты с Доном и Таганрогским заливом прекращается.

В целом для подземных вод характерны высокое содержание хлоридов и доминирование сульфатов среди анионов, высокие концентрации кальция среди катионов (рис. 3). Ионный состав грунтовых вод существенно зависит от водоносного горизонта и состава дренируемых пород [13].

Начальный период наблюдений, 2 декабря 2022 г., соответствовал стадии экстремальной верховки и глубине дна в реке 30–35 см, т.е. на 150 см ниже нормального уровня (рис. 3). В этих условиях обнажаются большие площади дна взморья Дона. Участки разгрузки верхних водоносных слоев берегов рек становятся различимы визуально. Для солоноватых вод грунтового типа (минерализация более 2–8 г/л) при таком уровне зафиксировано резкое преобладание сульфат-ионов среди группы анионов с содержанием: SO_4^{2-} – 2497.6 мг/л; Cl^- – 726.7 мг/л и 441.8 мг/л – HCO_3^- . Среди катионов наибольшее содержание получено для натрия и калия (1043 мг/л). Содержание ионов Mg^{2+} и Ca^{2+} составило 265.1 и

344.7 мг/л соответственно. Такой же ионный состав имеют воды из скважин, пробуренных на берегах в бассейне р. Кагальник.

Пробы воды, отобранные 25 мая 2022 г., имеют минерализацию более 4 г/л. Состав натриево-сульфатный, характерный для грунтовых вод верхних горизонтов устья Дона.

В условиях частой нециклической смены гидрологической обстановки и перепадов уровня воды от сильных нагонов к сильным сгонам водотоки наполняют солоноватые воды смешанного состава. Подземный сток разбавляется стекающей с островов морской водой. Максимальное содержание, в таких случаях, имеет ион Na^+ . Доля ионов Cl^- среди анионов может сравниться с ионами SO_4^{2-} . Гидрокарбонат-ионов содержится сравнительно небольшое количество.

Вторая серия проб отобрана 7 декабря 2022 г. при уровне воды 78–80 см уровнемерной рейки. Воды отличались ярко выраженным натриево-сульфатным составом, процентное соотношение ионов аналогично предыдущему. Содержание ионов составило: SO_4^{2-} – 2689.7 мг/л; Cl^- – 744.5 мг/л; HCO_3^- – 458.9 мг/л; $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ – 1188 мг/л; Ca^{2+} – 336.7 мг/л; Mg^{2+} – 245.6 мг/л. Пробы воды, отобранные 20.11.2020 г. (минерализация 4 г/л) и 16.12.2020 г. (минерализация 6 г/л), имеют одинаковый ионный состав: 12–14% HCO_3^- , 23–27% Cl^- и 60–65% SO_4^{2-} , 18–20% Ca^{2+} , 14–16% Mg^{2+} и 64–68% $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, –т.е. являются натриево-сульфатными. Описанный состав полностью совпадает с составом вод, отобранных в 2018 г. в протоках Сухой и Мокрый Кагальник (табл. 1).

Морская вода относится к хлоридно-натриевой группе. В химическом составе преобладают хлоридные соединения (до 89%) [4, 5]. По мере развития нагонного течения (0.5–3 сут) в обстановке сильных и умеренных (10–20 м/с) юго-западных ветров в сторону дельты клином направлена адвекция соленых черноморских вод.

В период наблюдений имели место два кратковременных нагона воды (рис. 3). Сильная низовка 14 декабря привела к росту уровня воды до 236 см. В подобных условиях подпор соленых морских вод формируется в прорези Азово-Донского морского канала и протоке Старый Дон. Пресный сток при этом заполняет боковые рукава, в том числе, Свиное гирло, где производился отбор проб воды. Минерализация выросла незначительно, до 1.5 г/л, соотношение ионов, характерное для донских вод, не изменилось. Концентрации ионов составили SO_4^{2-} – 480.3 мг/л; Cl^- – 248.2 мг/л; HCO_3^- – 300.2 мг/л; $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ – 298 мг/л; Ca^{2+} – 120.2 мг/л; Mg^{2+} – 48.6 мг/л. При понижении уровня воды до 180 см 31 декабря химический состав вод сохранился. До 1–1.2 г/л понизилась минерализация (рис. 3, табл. 1).

В начале января (02.01.2023) наблюдалась сильная низовка (247 см). В пробах, отобранных в этот день, влияния вод с морским типом минерализации не обнаружено. С понижением уровня в последующие дни (10–12 января) до 50–70 см рейки резко выросла доля сульфатов (до 2496.6 мг/л). При этом соленые морские воды, покрывшие острова дельты Дона при нагоне, стекали через мелкие ерики в основные рукава. Образовались солоноватые воды (содержание солей до 5.2 г/л) смешанного – грунтового и морского типов минерализации (рис. 3, табл. 1). Характерной чертой таких вод является высокое содержание хлорид ионов (1666 мг/л в точках у коренного берега и 2375 мг/л в наиболее удаленной к морю протоке Кривое гирло). Концентрации остальных ионов, соответственно, равны: HCO_3^- – 512.6 мг/л; $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ – 1710 мг/л; Ca^{2+} – 328.7 мг/л; Mg^{2+} – 274.8 мг/л.

Речные (пресные) воды. С ослаблением ветра нормализуются колебания уровня воды. Донской сток вытесняет морские и подземные воды. Минерализация понижается до 1 г/л. Растет содержание гидрокарбонатов в группе анионов. В отдельных случаях существует стратификация: питьевая (0.4–1‰) – на поверхности и пресная (речная) (1–2‰) – у дна [5]. В дельте Дона значительные запасы (объемы) пресной воды находятся в глубоких понижениях дна (до 15–20 м), в частности, Костиная яма у пос. Дугино.

Серия измерений закрыта 16 января 2023 г. при уровне воды 180 см и донском типе минерализации (1.4 г/л). Воды имели следующий ион-

ный состав: SO_4^{2-} – 441.9 мг/л; Cl^- – 191.4 мг/л; HCO_3^- – 300.2 мг/л; $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ – 233.0 мг/л; Ca^{2+} – 148.3 мг/л; Mg^{2+} – 34.1 мг/л. (рис. 3).

Для речных вод Дона в настоящее время характерен натриево-гидрокарбонатный состав. Ранее, 20–30 лет назад, основным был кальциево-гидрокарбонатный состав [8, 14].

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

Дефицит пресной питьевой воды будет нарастать, и по мере возрастающего ее изъятия, ускоряться во времени. Будет происходить ее замещение (до 5–7‰) минерализованной грунтовой и черноморской водой. В каких их соотношениях в водопроводы будет закачиваться (перераспределяться по сезонам) слабосоленоватая (2–4 г/л) и солоноватая (4–8 г/л) водная масса, предстоит исследовать.

Настоящее исследование дополняет и уточняет ранее сделанные выводы о том, что маловодье – природный процесс, обусловленный внутривековой цикличностью климата – типичное явление для сухих степей [5]. Дефицит воды усилился нерациональным водопользованием. По опыту наблюдений за питьевой водой в Азове, Таганроге и Ростове-на-Дону можно предположить, что по донецкому водоводу Донбасс будет снабжаться солоноватой водой во время стояния экстремально низких или высоких уровней, часто наблюдаемых в дельте Дона.

В работе представлены новые результаты исследования изменений гидрохимического режима дельты Дона в условиях аридизации климата. Раскрыта динамика изменений характерных типов минерализации при быстрых перепадах уровня воды.

Максимальная минерализация вод составила 7 г/л (солоноватые воды) 11 января 2023 г. Анализ изменения типов минерализации проведен по данным в табл. 1. Всего выделено три типа ионного состава, характерного для протоки Свиное гирло. Морской – с доминированием (более 80%) ионов натрия, хлорид-ионов и минерализацией до 7–9 г/л. Донским водам соответствует низкая минерализация (менее 2 г/л), повышенная доля $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ (50–60%), близкое количество SO_4^{2-} и HCO_3^- (по 30–40%). С 2018 г. регулярно, при понижении уровня, регистрируется присутствие вод грунтового типа. Это солоноватые воды с содержанием солей более 5 г/л. Для них типично высокое содержание натрия и калия (более 60%) и сульфат–ионов (60–80%). При частых перепадах уровня воды могут возникать смеси вод разного происхождения: морской и грунтовой, грунтовой и речной или смесь всех типов вод. Такие комби-

нации отличаются друг от друга своеобразным содержанием того или иного индикаторного иона и минерализацией.

Для Нижнего Дона характерно сложное сочетание вод с разным химическим составом. Воды Цимлянского водохранилища максимально распреснены. Крупные притоки, такие как Северский Донец, слабосолоноватые Сал и Маныч ощутимо увеличивают минерализацию донских вод. В полноводные годы такое влияние было незаметно. Аномальное маловодье Дона приводит к формированию ранее неизвестных геохимических зависимостей на разных участках бассейна. Еще раз подчеркнем, что сложившаяся в настоящий период обстановка приводит к периодическому (во время сильных “низовок” и экстремальных верховок) заполнению водопровода в г. Азове, Таганроге, Ростове-на-Дону и других населенных пунктах солоноватой (4–8‰) водой. В отдельных случаях, как например, 14 февраля 2021 г., зафиксирована высокосолоноватая (8–10‰) вода.

Необходима более обширная сеть мониторинга в дельте и целенаправленные исследования, т.к. неизвестно, как осолонение бассейна проявляется в районах забора воды для городского водоснабжения. Восстановление утраченной сети гидропостов позволит своевременно приспособиться к дефициту водных ресурсов, а также получить обоснованные рекомендации для природопользования в современных условиях.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Публикация подготовлена в рамках выполнения темы НИР ГЗ ЮНЦ РАН “Изучение гидроклиматических особенностей периодически пересыхающих акваторий юга России в контексте глобального углеродного цикла” № госрегистрации 122103100027-3 и НИР “Анализ исторических данных с целью обоснования системы мониторинга биогеохимических циклов в бассейне Азовского моря с учетом региональных особенностей” (Соглашение № 72-223/ВИПГЗ-23 от 03.04.2023 г. между ИО РАН и ЮНЦ РАН в рамках Консорциума 2).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матишов Г.Г. Климат, водные ресурсы и реконструкция гидротехнических сооружений с учетом интересов населения, рыболовства и сельского хозяйства, судоходства и энергетики / Доклад на расширенном заседании Президиума ЮНЦ РАН (г. Ростов-на-Дону, 25 мая 2016 г.). Ростов н/Д, Изд-во ЮНЦ РАН, 2016. 64 с.
2. Матишов Г.Г., Абраменко М.И., Гаргона Ю.М., Буфетова М.В. Новейшие экологические феномены в Азовском море (вторая половина XX века). Т. V. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2003. 441 с.
3. Матишов Г.Г., Дашкевич Л.В., Титов В.В., Кириллова Е.Э. Анализ внутривековой природной изменчивости в Приазовье и на Нижнем Дону: причина маловодья // Наука юга России. 2021. Т. 17. № 1. С. 13–23.
4. Матишов Г.Г., Григоренко К.С. Маловодье и роль грунтовых вод в осолонении аванделты Дона // ДАН. 2018. Т. 483. № 4. С. 442–446.
5. Матишов Г.Г., Григоренко К.С. Гидрохимический состав воды на взморье и аванделте Дона в условиях маловодья (XX–XXI вв.) // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2021. Т. 499. № 2. С. 193–202.
6. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 5. Азовское море / Под ред. Гоптарева Н.П. и др. СПб.: Гидрометеиздат, 1991. 234 с.
7. Гаргона Ю.М. Крупномасштабные колебания в системе Азовского моря // в сборнике: Новейшие экологические феномены в Азовском море (вторая половина XX века). Т. V. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2003. С. 14–221.
8. Бронфман А.М., Хлебников Е.П. Азовское море. Основы реконструкции. Л., Гидрометеиздат, 1985. 272 с.
9. Панов В.Д., Лурье П.М., Ларионов Ю.А. Климат Ростовской области: вчера, сегодня, завтра // Известия Ростовской-на-Дону государственной академии строительства. 2006. С. 487.
10. Сорокина В.В., Ивлиева О.В., Лурье П.М. Динамика стока на устьевых участках рек Дон и Кубань во второй половине XX века // Вестник Южного научного центра РАН. 2006. Т. 2. № 2. С. 58–67.
11. Годовой отчет акционерного общества “Водоканал города Ростова-на-Дону” за 2014 год: Акционерное общество “Водоканал Ростова-на-Дону”; ген. дир. Петухов О. Е. Ростов-на-Дону, 2015. 56 с.
12. Официальный портал правительства Ростовской области. URL: <http://www.donland.ru>. (дата обращения 03.05.2023).
13. Ресурсы поверхностных вод СССР, Т. 7. Донской район. Л., Гидрометеиздат, 1973. 459 с.
14. Никаноров А.М. Региональная гидрохимия: Учебное пособие. Ростов/Д: Изд-во “НОК”, 2011. 388 с.
15. Матишов Г.Г., Бердников С.В. Экстремальное затопление дельты Дона весной 2013 г. // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2015. № 1. С. 111–118.

DRINKING WATER QUALITY IN THE DON DELTA IN THE LACK OF WATER CONDITIONS

Academician of the RAS G. G. Matishov^{a,b} and K. S. Grigorenko^{a,#}

^a*Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Rostov-na-Donu, Russian Federation*

^b*Murmansk Marine Biological, Institute, Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russian Federation*

[#]*E-mail: Klim_grig@mail.ru*

Lack of water and regulation of the Don river runoff led to an irreversible transformation of natural hydrological and hydrochemical processes. At the end of 2022, despite of the shortage of river water, the region began laying a water pipeline to the Donbass, with a capacity of up to 300,000 cubic meters of water per day. Are there enough reserves of water resources for ever-increasing economic needs, throughout the year? The work is based on a targeted study of the chemical composition of water under different regimes and sea levels on the Taganrog coast of the Don Bay and Delta. The experiment covers the period from December 2, 2022 to January 30, 2023, and separate measurements, for comparison, on February 21; 30.03; 17.04.2023. Summary, three types of ionic composition were distinguished, which characterizes the Svinoe arm of the Don delta. Marine - with dominance (more than 80%) of summary amount of sodium and potassium ions, chlorides and salinity up to 7–9 g/L. The Don waters correspond to low mineralization (less than 2 g/l), an increased proportion of $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ (50–60%), a close amount of SO_4^{2-} and HCO_3^- (30–40% each). Since 2018, the presence of ground waters has been regularly recorded when the level decreases. There are brackish waters with a salt content of more than 5 g/L. They typically have a high content of sodium and potassium (more than 60%) and sulfate ions (60–80%). Monitoring shows, that the shortage of fresh drinking water will increase, and as its withdrawal increases, it will accelerate in time. It will be replaced (up to 5–7‰) with mineralized ground and Black Sea water. In what proportions will be pumped (redistributed by seasons) weakly brackish (2–4 g/L) and brackish (4–8 g/L) water into water pipelines remains to be explored.

Keywords: Don delta, Don lack of water, climate change, ion composition, tide–surge phenomena, under-flow, water conduct