

ПРОБЛЕМЫ ВОД СУШИ

УДК 551.465, 551.506, 574.52

**ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОДЫ НА ВЗМОРЬЕ И АВАНДЕЛЬТЕ
ДОНА В УСЛОВИЯХ МАЛОВОДЬЯ (XX–XXI вв.)**

© 2021 г. Академик Г. Г. Матишов^{1,2}, К. С. Григоренко^{1,*}

Поступило 06.04.2021 г.

После доработки 13.05.2021 г.

Принято к публикации 13.05.2021 г.

В основу работы положены целенаправленные исследования по отбору проб воды при разных погодных режимах и уровнях в дельте и взморье. Основным эксперимент охватывал период с 20 ноября 2020 г. по 18 марта 2021 г. Вода для гидрохимических анализов отбиралась при максимальных сгонах и нагонах воды, в отдельных случаях – послыно. Одновременно отбиралась вода из магистрального водопровода в г. Азов для выяснения ее природы (грунтовые, речные или морские), их зависимость от сгонно-нагонных режимов. Фиксация материала производилась при обычных условиях, экстремальных колебаниях уровня моря, при резком возрастании в водном балансе доли подземных вод подо льдом, на обмелевшем взморье, в протоках при сгонах. В 2020 г. на посту в Донском начались измерения солености непосредственно в русле р. Дон, которое в меньшей степени зависит от подземного стока. Полученные данные дали основание подразделить трансформированные воды в эстуарной зоне Азово-Донского бассейна.

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

DOI: 10.31857/S2686739721080077

ВВЕДЕНИЕ

В Азово-Донском бассейне, начиная с середины 50-х годов прошлого века, на фоне природной изменчивости стали нарастать разрушительные силы индустриальной природы. Маловодье и регулирование речного стока привели к необратимым деформациям естественных процессов, в частности иссушению почвы, уменьшению густоты мелких водоемов и водотоков. В Приазовье переломным в развитии водоема стало перекрытие в 1954 г. долины Дона Цимлянской плотиной, зарегулирование водотоков на всем протяжении водосборного бассейна от верховья до Азовского моря. До критической отметки обмелели Цимлянское и Краснодарское водохранилища. С момента их запуска 70 и 60 лет назад подобных условий не возникало. Сформировались условия, снижающие водность и почти полное прекращение стока – Миуса, Еи, Кагальника, Чумбурки и других малых рек (рис. 1).

В результате безвозвратно нарушена естественная ритмика речного стока, произошло сокращение запасов пресной воды в бассейне р. Дон и осолонение Азовского моря [1], возник дисбаланс между речными и черноморскими водами, усилилась адвекция в водную систему реки среднеминерализованной (5.39 г/л) подземной воды [2]. Неучет свойств аридной зоны, природной внутривековой цикличности климата и возможностей саморегуляции степной реки в яркой форме проявился в первой четверти XXI века.

На Нижнем Дону и Приазовье возник дефицит пресной воды, в том числе питьевой, в крупных городах (Таганрог, Азов и др.). Многие малые реки Приазовья в теплый период полностью прекращают сток. В условиях очевидной засухи всем отраслям сельхозпроизводства приходится измерять потребность в воде с имеющимися водными ресурсами. За 50 лет маловодья и снижения речного стока произошло явное заиливание Таганрогского залива и дельты Дона. Несмотря на дноуглубление возникшая лавинная седиментация в Азово-Донском судоходном канале необратима. При восточных ветрах (более 6–8 м/сек) малые глубины на фарватере препятствуют регулярному движению морских судов в течение 2–3 нед.

Ярким примером природно-техногенной аномалии на фоне продолжительного маловодья на

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

² Мурманский морской биологический институт, Кольский научный центр Российской академии наук, Мурманск, Россия

*E-mail: Klim_grig@mail.ru

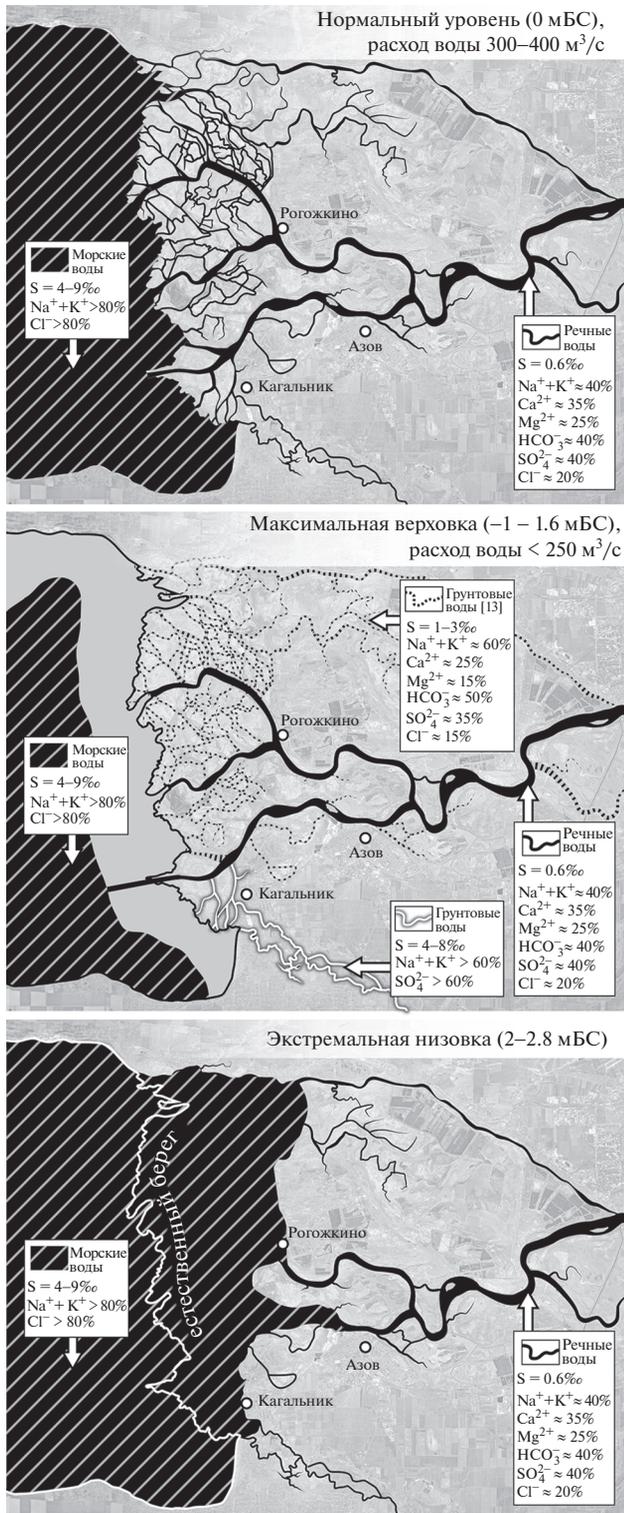


Рис. 1. Изменение питания и ионного состава дельты Дона при разном уровне воды.

Дону стала ситуация, когда избыток воды от весеннего паводка привел к аварийным попускам воды из Цимлянского водохранилища. Среднесуточный объем сброса в р. Дон 6 мая достигал $1701 \text{ м}^3/\text{с}$.

В результате в начале мая 2018 г. произошло экстремальное затопление дельты.

До последних лет объем гидрохимической аналитики был ограничен. Данные наблюдения производились с учетом записей солености на автоматических гидрометеопостах. Зачастую пробы воды были отобраны не по сезонам и не привязывались к экстремальным стадиям сгонов и нагонов. Во время сгонно-нагонных процессов речные и морские воды при сходной величине солености имеют принципиально отличный химический состав [2]. Целью работы было выполнение предварительной типизации вод по химическому составу, определение переходных режимов минерализации водных масс в протоках дельты. В числе задач ставилась фиксация воды разной природы, при максимальных верховках и низовках (ветер более 10 м/сек). В некоторых протоках, изолированных от судоходного канала, производился поиск подземных вод. В условиях трансформации термохалинной структуры вод в авандельте и Таганрогском взморье изучались погодные условия, при которых в одних случаях доминируют местные подземные воды, в других — черноморские воды.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

В основу работы положены целенаправленные исследования по отбору проб воды при разных погодных режимах и уровнях в дельте и взморье (табл. 1). Основной эксперимент охватывал период с 20 ноября 2020 г. по 18 марта 2021 г. Вода для гидрохимических анализов отбиралась при максимальных сгонах и нагонах воды, в отдельных случаях — послыно. Одновременно отбиралась вода из магистрального водопровода в г. Азов для выяснения ее природы (грунтовые, речные или морские), их зависимость от сгонно-нагонных режимов.

Набор регистраторов среды включает измеритель течений AANDERAA RCM 9 LW, океанографические зонды (SBE-19, SBE-19 + V2, CTD-90) и датчики электропроводности СОЛИС СЛ15-10Т. Дискретность измерений датчиков составляет 10 минут. В итоге за восемь лет в базе данных накоплено более 280 тысяч измерений. Соленость рассчитывалась с помощью шкалы практической солености PSS-78. Во время двух-трехнедельных восточных ветров, когда взморье (“куты”) осушается на многие километры от берега, а облеванная авандельта сливается с плавнями вдоль островов, с квадрокоптеров DJI Phantom 3 Pro производились фотосъемка и фиксация состояния среды.

Фиксация материала производилась при обычных условиях, экстремальных колебаниях уровня моря, при резком возрастании в водном

Таблица 1. Ионный состав воды в протоках дельты 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, мБС
Речная вода								
р. Кагальник 27.02.1951	64.5	117	123.6	47.9	30.3	34.1	0.5	
р. Кагальник 18.03.1954	67.6	31.7	99.5	32.5	19.6	31.8	0.3	
Дон, пов-ть 19.03.2018	177	271	365	96	58	186	1.2	-0.8
Дон, дно 19.03.2018	177	271	365	104	58	176	1.2	-0.8
Родник о. Свиной 19.03.2018	177	283	432	112	78	166	1.2	-0.8
Свиное гирло, пов-ть 22.11.2020 10:25	248.6	249	345.8	76.15	48.64	262	1.23	-0.1
Свиное гирло, пов-ть 22.11.2020 10:30	226.9	246.5	326.6	76.15	41.34	251	1.17	-0.1
Свиное гирло, пов-ть 22.11.2020 10:40	226.9	246.5	307.4	68.14	48.64	236	1.13	-0.1
Свиное гирло, пов-ть 23.11.2020 10:20	241.1	239.2	345.8	80.16	48.64	248	1.2	-0.1
Свиное гирло, пов-ть 23.11.2020, 10:30	248.2	251.4	345.8	80.16	48.64	258	1.23	-0.1
р. Дон, порт Азов, 15.02.2021, 14:40	425.4	300.2	614.8	120.2	60.80	468	1.99	2.1
Колузаево, 13.02.2021	212.7	288	403.5	112.2	51.07	233	1.30	2
Ростов-Арена, 13.02.2021	191.4	292.9	345.8	112.2	46.21	200	1.19	2
Ростов-Арена, 14.02.2021	205.6	305.1	365	108.2	51.07	220	1.26	1.6
29-я линия, понтон, 13.02.2021	191.4	295.34	326.6	108.2	51.07	186	1.16	2
Грунтовые воды								
р. Кагальник 25.10.1954	629.1	350.6	1161.6	166.9	153.8	640.2	3.1	
р. Кагальник 1.10.1958	220.7	380.6	1350.7	194.4	155.3	435.1	2.8	
Сухой Кагальник, дно 19.03.2018	709	378	1729	240	231	780	4.1	-0.8
Мокрый Кагальник, пов-ть 19.03.2018	620	378	1681	248	178	793	3.9	-0.8
Мокрый Кагальник, дно, 19.03.2018	603	369	1681	240	195	751	3.8	-0.8
Свиное гирло, пов-ть 19.03.2018	496	339	1249	200	134	614	3.0	-0.8
Свиное гирло, дно 19.03.2018	620	373	1681	257	173	791	3.9	-0.8
ер. Черепаший, пов-ть 19.03.2018	496	344	961	168	105	566	2.6	-0.8

Таблица 1. Продолжение

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, мБС
ер. Черепаший, дно 19.03.2018	532	354	1297	200	170	595	3.1	-0.8
Скважина, пос. Кагальник, 6.03.2018	744	488	1105	521	180	3267	3.3	-0.03
Скважина, пос. Займо-Обрыв, 16.08.2011	319	393	1249	216	127	506	2.8	
Скважина, 40 м. пос. Кагальник "Плоды Приазовья" 12.2020	1390	180	20		1290	2500	5.39	
Свиное гирло, пов-ть 20.11.2020 13:00	709	368.6	1585	224.5	175.1	836	3.9	-1.2
Свиное гирло, пов-ть 20.11.2020 15:00	726.7	366.1	1585	256.5	204.3	747.5	3.89	-1.2
Свиное гирло, пов-ть 1.12.2020	815.4	366.1	2305.4	304.6	240.8	1050	5	-1.2
Свиное гирло, дно 1.12.2020	833.1	366.1	2353.5	320.6	243.2	1062.5	5.1	-1.2
Свиное гирло, дно 2.12.2020	815.4	380.8	2353.5	344.7	277.3	956	5.1	-0.9
Свиное гирло, дно 2.12.2020	815.4	375.9	2353.5	352.7	235.9	1029	5.1	-0.9
Свиное гирло, пов-ть 6.12.2020	957.2	485.7	2737.7	384.8	301.6	1199	6	
Морские воды								
Донской, пов-ть, 05.02.2021 11:14	1861.1	251.4	720.6	116.2	163	1310.5	4.4	0.7
Донской, дно, 05.02.2021, 11:12	1949.8	253.8	672.4	120.2	175.1	1319	4.5	0.7
Свиное гирло, пов-ть, 05.02.2021, 11:43	1683.9	273.4	816.5	120.2	150.8	1264.5	4.3	0.7
Свиное гирло, дно, 05.02.2021, 11:40	1683.9	278.3	768.5	120.2	170.2	1201.5	4.2	0.7
Свиное гирло, пов-ть, 13.02.2021,	2020.6	275.8	912.6	152.3	187.3	1438	5	2.3
Свиное гирло, 14.02.2021, 06:00,	3332.3	253.8	1056.7	152.3	284.5	2229	7.3	2.3
Свиное гирло, 15.02.2021	2658.8	273.4	960.6	156.3	270	1737	6.06	0.4
Свиное гирло, 08.03.2021, пов-ть	1347.1	263.6	653.2	136.3	121.6	978	3.5	2.4
Свиное гирло, 08.03.2021, дно	1382.6	263.6	634	128.3	136.2	973	3.5	2.4
г. Азов, Западный микрорайон, водо- проводная вода, 14.02.2021, 11:00	2517	244.1	960.6	132.3	235.9	1725	5.81	1.6

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, мБС
г. Азов, Западный микрорайон, водопроводная вода, 14.02.2021, 15:00	2056.1	239.2	1008.6	136.3	270	1348	5.06	1.7
г. Азов, Западный микрорайон, водопроводная вода, 14.02.2021, 20:00	3474.1	246.5	1056.7	144.3	313.7	2276	7.51	0.9
г. Азов, Западный микрорайон, водопроводная вода, 14.02.2021, 21:50	3757.7	258.7	1105	160.3	291.8	2531	8.1	0.8
г. Азов, Западный микрорайон, водопроводная вода, 15.02.2021, 20:00	3474.1	239.2	1008.6	148.3	299.1	2273	7.44	0.3
г. Азов, Западный микрорайон, водопроводная вода, 16.02.2021, 20:00	974.9	256.3	499.5	112.2	104.6	697.5	2.64	-0.15
р. Дон, порт Азов, 13.02.2021, 14:00	1347.1	270.9	557.2	116.2	133.8	931	3.36	2.3
р. Дон, порт Азов, 14.02.2021, 13:20	2871.5	256.3	912.6	140.3	255.4	1905	6.34	2.2
Рогожкино, 13.02.2021	2002.9	258.7	730.1	128.3	177.5	1373.5	4.67	2
Дугино, 13.02.2021	1577.5	268.5	691.6	116.2	153.2	1122.5	3.93	2

Примечание. Жирным выделены преобладающие катионы и анионы.

балансе доли подземных вод подо льдом, на обмелевшем взморье, в протоках при сгонах. В 2020 г. на посту в Донском начались измерения солёности непосредственно в русле р. Дон, которое в меньшей степени зависит от подземного стока. Таким образом, на гидрометеопостах в Кагальнике, Донском и др. получены термохалинные характеристики вод в режиме реального времени (рис. 1).

Полученные данные дали основание подразделить трансформированные воды в эстуарной зоне Азово-Донского бассейна.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Водосборный бассейн Дона и малых рек Приазовья формируется в условиях континентального климата на территории сухих степей и, отчасти, умеренной зоны. Кроме различий в количестве солей (грамм/литр или промилле) воды аридной зоны отличаются разнообразием типов

по химическому составу. Водные массы Азово-Донского бассейна по уровню солёности (минерализации) делятся следующим образом: вблизи донского взморья – слабосоленоватые (2–4‰), в центральной части – солоноватые (4–8‰) и далее до кос Долгая и Белосарайская – высокосоленоватые (8–13‰). В химическом составе преобладают хлоридные соединения (до 89%) [3–6]. Указанная схема солевой структуры вод (минерализации) на акватории характерна для безветренной погоды в Азовском море. По происхождению перечисленные воды включают морские, речные и грунтовые (подземные).

Морская вода Таганрогского залива относится к хлоридно-натриевой группе [7]. На практике солёность морской воды рассчитывается по иону хлора. В XX веке, т.е. в прошлую климатическую эпоху, в течение большей части года дельта и залив до Очаковской косы заполнялись естественной пресной (0.5–0.9‰) водой [8, 9]. В XXI веке в обстановке сильных и умеренных (10–20 м/с)

юго-западных ветров характерно наличие слабосоленоватых (2–4‰) азовоморских вод. По мере развития нагонного течения (0.5–3 сут) в сторону дельты клином направлена адвекция соленых черноморских вод [10]. Такие ситуации в резкой форме возникали, например, в октябре 2016 г., когда сбросы воды через гидроузел составляли всего 180 м³/с при нормальных расходах 350–400 м³/с. В результате речной сток Дона стал неспособен постоянно создавать естественный гидрофронт пресных вод в Таганрогском заливе.

Морская черноморская вода в условиях экстремальных низовок на взморье имеет общую минерализацию от 3 до 6–8‰ и более (табл. 1). 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 находятся в следующем порядке Cl⁻ > SO₄²⁻ > HCO₃⁻ + CO₃²⁻; Na⁺ + K⁺ > Mg²⁺ > Ca²⁺, а в речной карбонатной воде порядок противоположный.

С начала XXI века в условиях маловодья все чаще стали возникать ранее не отмечавшиеся явления стремительных адвекций черноморских водных масс. В течение каждого из последних лет многократно происходило заполнение дельты Дона типично черноморскими водами с соленостью до 10‰ (рис. 1). Одновременно из внешней части Таганрогского залива гидрохимический барьер с градиентом солености порядка 5–6‰ смещался на 20–40 км вверх по дельте Дона. Такого рода галоклин разделяет ореолы обитания пресноводной и морской фауны [11].

В период самых влажных лет прошлого столетия, в частности 1941–1942 гг., максимальные расходы воды в районе станицы Раздорской достигали 7–9 тыс. м³/с [12]. Естественный сток Дона достигал 52 км³. При этом 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 плотиной 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 ноября 2020 г.) стали нормой в течение года. Такое сокращение стока привело к затоплению в Таганрогский залив из Черного моря вод соленостью 17‰ и объемами порядка 20 км³ (рис. 1).

Речная вода, исходя из новейших исследований [1, 2], подразделяется на питьевую (0.4–1‰) и пресную (речную) воду (0.4–2‰). Ранее (до зарегулирования) донская вода в районе между

Азовом и Багаевской соответствовала кальциево-гидрокарбонатной группе [13, 14]. Сейчас среднегодовая минерализация воды в створе г. Ростова-на-Дону составляет 0.7–1 г/л и имеет натриево-сульфатный состав [3, 4] (табл. 1). В результате маловодья рукава, протоки и взморье длительное время заполняются водой с соленостью 1.0–4.0‰ и 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, в основном, относятся к сульфатному классу натриевой группы.

Согласно новым данным (табл. 1) в протоках дельты Дона гидрохимические показатели, в частности ионного состава воды, представляются следующим образом: речная вода при общей минерализации от 0.5–1.0 до 2.0 г/л содержит SO₄²⁻ от 100–300 до 615 мг/л, а Na⁺ + K⁺ – от 180 до 260–470 мг/л. 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 (табл. 1).

Экспедиционные наблюдения нис “Профессор Панов” в октябре 2020 г. показали, что общая минерализация вод Северского Донца составила 1.25–1.35 г/л, в устье реки Маныч – 1.96 г/л, в устье р. Сал – 2.27 г/л, в реке Аксай 1.19 г/л. Содержание ионов Cl⁻, в пробах, достигло 0.17–0.37 г/л и Na⁺ + K⁺ от 0.24–0.45 г/л. На долю подобного рода приток приходится 30–35% суммарного стока реки Дон. Минерализация Дона, согласно измерениям, увеличивается с 0.61 г/л, выше впадения реки Северский Донец, до 0.85–0.92 г/л, ниже по течению реки Маныч, т.е. в 1.3–1.5 раза. Содержание ионов Cl⁻ увеличивается в 1.6 раза, ионов Na⁺ + K⁺ в 1.8 раза.

При восточных ветрах (экстремальных верховках) эволюция вод имеет следующий порядок: пресная → грунтовая (подземная) → черноморская (рис. 2). Существует в отдельных случаях стратификация: питьевая (0.4–1.0‰) на поверхности и пресная (речная) (1.0–2.0‰) у дна. Солонватая вода (4.0–2.0‰) как тип ранее на взморье и авандельте не отмечалась. Своим происхождением вода с таким составом прежде всего обязана черноморской адвекции при крайне ограниченном донском стоке [1].

В условиях западных ветров, в т.ч. экстремальных низовок преобразование водных масс 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 воды возникают самые

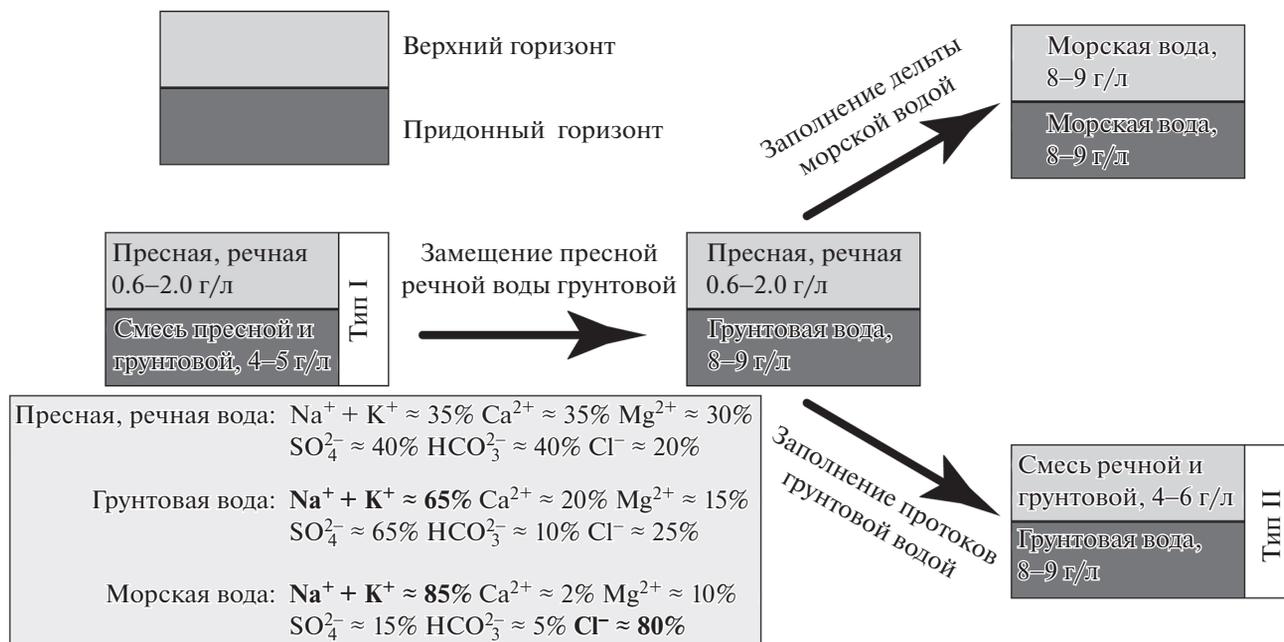


Рис. 2. Новые типы стратификации солености в дельте Дона.

опасные разрушительные нагоны (март 2013 г., сентябрь 2014 г.) [10]. Только ураганный юго-юго-западный ветер вдоль края взморья создает подпор донскому стоку, и в считанные (2–3) часа приморская зона донской дельты заливается.

На исследуемой территории наблюдаются *грунтовые воды* двух видов: одни просачиваются из осадочных пластов коренного берега (рис. 1), а другие текут от возвышающихся при верховках островов собственно дельты. Таким образом, во время сгонов аномально повышается доля минерализованного подземного стока. Результаты анализа воды из скважины на правом невысоком (10 м) берегу протоки Сухой Кагальник показали 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. 1).

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. Так, в водах из скважины в пос. Займо-Обрыв, расположенного в 7 км от пос. Кагальник, доминируют сульфаты, катионы натрия и калия [2] (табл. 1).

На участке водосбора Нижнего Дона, находящегося в пределах Раздорских склонов, источником поступления хлоридно-натриевых соединений является разгрузка подземных вод. Так, ото-

бранная в экспедиции ЮНЦ проба воды из термального источника в районе х. Мелиховский имеет общую минерализацию 56.2 г/л, с содержанием ионов Cl^- – 30.1 г/л, ионов $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ – 19.1 г/л. Дебит данного источника подземных вод составляет 20 л/с.

Во время сильных сгонов и снижения уровня воды на 2 м гирло Свиное 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 важный водоток, длина которого 1.2 км, превращается в изолированную мелкую (глубина дна 30–50 см) лагуну (рис. 1).

Географические особенности гирла Свиное, на котором с ноября 2020 г. по середину марта 2021 г. были сфокусированы наблюдения, имеют следующие геоморфологические черты: 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. Левый берег (по ходу течения Дона) является коренным обрывом (суглинки) высотой 14–17 м. Во время верховки Свиное, как и большинство других рукавов аванделты, фактически изолированы от Азовского моря и судоходного канала. Взморье на 5–12 км осушается.

В целом, будучи отрезанными от основного русла Дона, южные протоки (Сунжа, Свиное) дельты Дона заполняются подземным стоком р. Кагальник. Наблюдения в 2020 г. показали, что

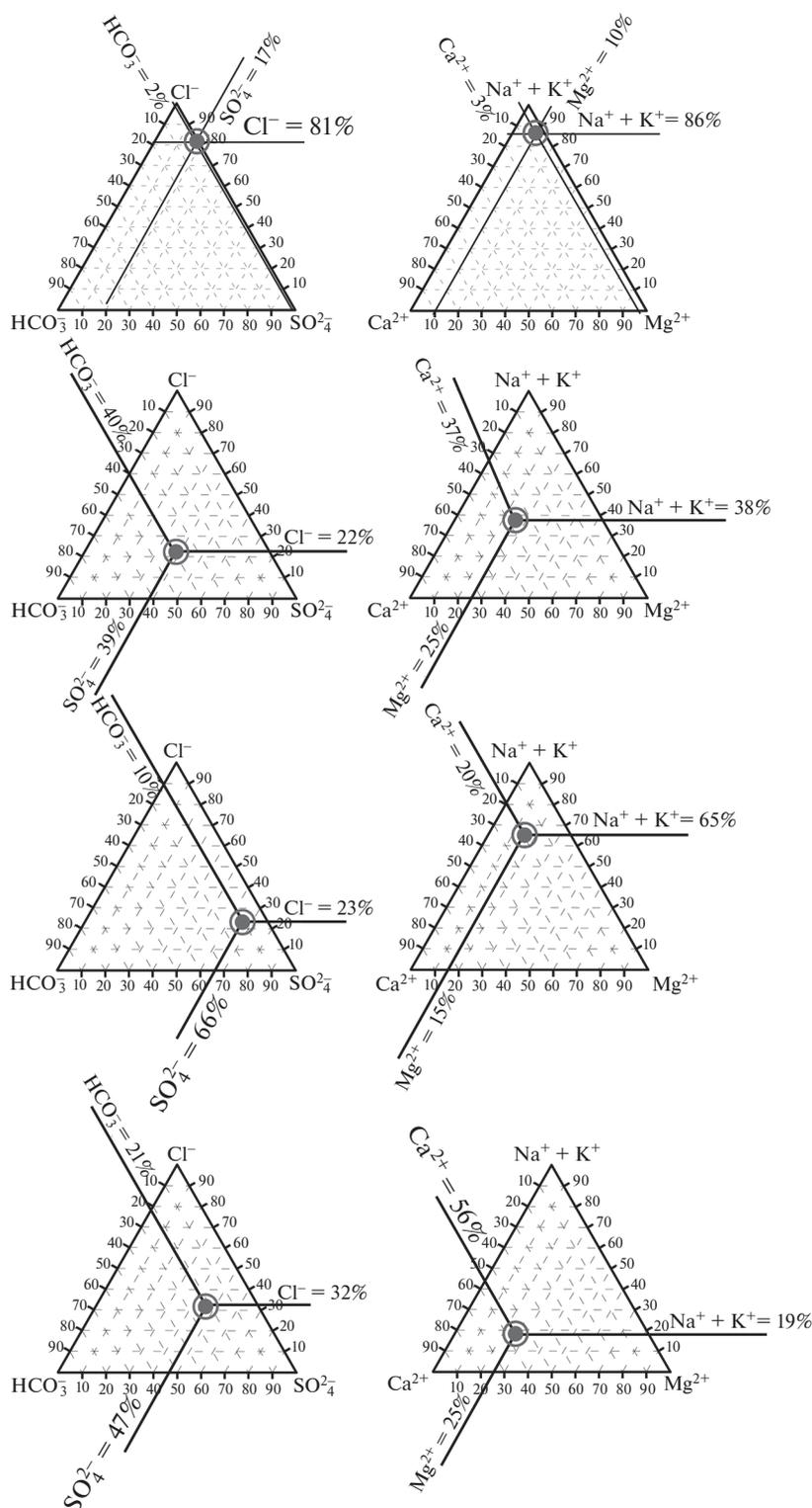


Рис. 3. Треугольники ионного состава в Азовском море, протоках и скважинах дельты Дона.

общее ухудшение водобмена между Доном и Свиным гирлом, дальнейшее заиливание перешейка между ними ведут к практически постоянному присутствию в Свином гирле минерализованных

вод. В условиях маловодья такая гидрохимия вод стала возникать и в летний сезон, что раньше не наблюдалось. Пробы воды, отобранные 20 ноября 2020 г. (минерализация 4 г/л) и 6 декабря 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).

Три основных катиона и три основных аниона представлены в виде треугольной диаграммы (рис. 3). Треугольник ионного состава показывает процентное соотношение ионов, но не свидетельствует об общей минерализации. Диаграмма показывает разницу между морской, речной, подземной водой, которая периодически заполняла Свиное гирло в начале декабря 2020 г.

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 нед и со скоростью более 6–10 м/сек, 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 сут; II тип – соленость воды в г. Свином сверху донизу становится однородной. В условиях самых сильных сгонов до глубин и обмеления в гирлах 0.4–0.6 м вся толща воды становится солоноватой (до 6–8.5‰). Свиное гирло практически целиком заполняется минерализованными водами подземного стока.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ новых данных по гидрохимии водных масс Таганрогского залива и дельты Дона с учетом известной природной климатической изменчивости обнаруживает современные физико-географические тенденции в эстуарном водоеме в условиях маловодья. Для Приазовья и Нижнего Дона типичными являются кратковременные (2–3 года и 7 лет) и внутривековые (1933–1944, 2008–2020 гг.) периоды маловодья, засух, пыльных бурь [15]. Исключением в ряду маловодных лет стала весна 2018 г.

Не исключено, что при возможном экстраординарном уменьшении стока Дона соленые морские воды могут распространяться намного выше

г. Азова и даже г. Ростова-на-Дону. Сложившаяся в настоящий период обстановка приводит к периодическому (во время сильных “низовок”) 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 (рис. 1).

В период длительного действия сгонного явления повышается роль стока небольших речек, у которых водосборный участок находится в пределах коренного берега. Источниками питания таких речек в основном являются разгрузки высокоминерализованных подземных (грунтовых) вод. Для подтверждения данной гипотезы требуется проведение дополнительных отборов вод в таких речках на протяжении действия сгонного ветра. Для северного коренного берега к таким речкам относятся Донской Чулек, Мокрый Чалтырь. С южного берега – это реки Кагальник (Сухой и Мокрый), протока Сунжа и Узьяк с многочисленными ручьями, стекающими с коренного берега. Такого рода гидрохимические эпизоды, имевшие место на взморье в 2017–2020 гг. на протяжении 10–17 дней, требуют специального изучения.

БЛАГОДАРНОСТИ

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.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Публикация осуществлена 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 реализации Государственного задания № гр. АААА-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., Григоренко К.С. Причины осолонения Таганрогского залива // ДАН. 2017. Т. 477. № 1. С. 92–96.
2. Матишов Г.Г., Григоренко К.С. Маловодье и роль грунтовых вод в осолонении авандельты Дона // ДАН. 2018. Т. 483. № 4. С. 442–446.

3. *Никаноров А.М.* Региональная гидрохимия: Учебное пособие. Ростов/Д: Изд-во "НОК", 2011. 388 с.
4. *Никаноров А.М.* Гидрохимия и методы исследования качества вод суши. Ростов-на-Дону. Изд-во ЮФУ. 2017. 572 с.
5. *Бронфман А.М., Дубинина В.Г., Макарова Г.Д.* Гидрологические и гидрохимические основы продуктивности Азовского моря. М.: Пищевая промышленность. 1979. 288 с.
6. *Бронфман А.М., Хлебников Е.П.* Азовское море Основы реконструкции. Ленинград. Гидрометеоздат. 1985. 272 с.
7. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том V. Азовское море. / Гершанович Д.Е., Гоптарев Н.П., Затучная Б.М., Симонов А.И. (ред.). 1991. Санкт-Петербург, Гидрометеоздат. 236 с.
8. *Гаргона Ю.М.* Сопряженность крупномасштабных изменений биопродуктивности Азовского моря и гидрометеорологических условий ее формирования // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. 2003. Т. 2. С. 78–82.
9. *Кукса В.И., Гаргона Ю.М.* Современная оценка гидрологических условий формирования биопродуктивности Азовского моря // Водные ресурсы. 2004. Т. 31. № 4. С. 489.
10. *Матишов Г.Г.* Случаи экстремальной адвекции соленых вод в дельту Дона и льда в Керченский пролив // ДАН. 2015. Т. 465. №1. С. 99–103.
11. *Бергер В.Я.* Адаптации морских моллюсков к изменениям солености среды. АН СССР, Зоол. ин-т. Л.: Наука: Ленингр. отд-ние. 1986. 216 с.
12. *Симов В.Г.* Гидрология устьев рек Азовского моря. Москва. Гидрометеоздат. 1989. 328 с.
13. Ресурсы поверхностных вод СССР, том 7. Донской район. / Кожина З.М., Потапова О.Н. (ред). 1973. Ленинград, Гидрометеоздат. 459 с.
14. Гидрометеорологический справочник Азовского моря / Под ред. А.А. Аксенова. Л.: Гидрометеоздат, 1962. 856 с.
15. *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.

HYDROCHEMICAL COMPOSITION OF WATER AT THE SEASHORE AND AVANDELTA OF THE DON IN THE CONDITIONS OF LACK OF WATER (XX–XXI CENTURIES)

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

^a Southern Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russian Federation

^b Murmansk Sea Biological Institute, Kola Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russian Federation

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

The work is based on targeted investigations of water sampling under different weather conditions and water levels in the delta and the seashore. The main experiment covered the period from November 20, 2020 to March 18, 2021. Water for hydrochemical analyzes was sampled at maximum water positive and negative surges, in some cases – layer by layer. At the same time, water was taken from the main water pipeline in the city of Azov to clarify its nature (ground, river or sea), their dependence on the surge regimes. The fixation of the material was carried out under normal conditions, extreme fluctuations in sea level, with a sharp increase in the water balance of the proportion of groundwater under ice, on a shallow seashore, in delta arms during negative surges. In 2020, at the station in Donskoy, measurements of salinity began directly in the waterway of the Don River, which depends on the underground runoff weaker. The obtained data gave grounds to subdivide the transformed waters in the estuarine zone of the Azov-Don basin.

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