

УДК 556.54
DOI: 10.7868/S25000640210304

ИНТРУЗИИ СОЛЕННЫХ ВОД В ДЕЛЬТУ ДОНА: ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ И ПОСЛЕДСТВИЯ

© 2021 г. А.В. Клещенков¹, А.Ю. Московец¹

Аннотация. Наблюдающиеся в настоящее время в регионе в целом и в устьевой области Дона в частности последствия изменения климата определяют комплекс негативных эффектов. Происходящие во взаимосвязи рост уровня Азовского моря и Таганрогского залива, увеличение высоты и повторяемости нагонов, сокращение твердого и жидкого стока Дона, осолонение Таганрогского залива, увеличение вклада морских факторов в развитие дельты Дона приводят к интенсификации интрузий соленых вод в дельту Дона. В таких условиях поступление соленых вод в водозаборы городов Азова и Таганрога может происходить в будущем все чаще. Это уже стало ощутимой проблемой для жителей Приазовья в сентябре 2014 г., декабре 2015 г. и феврале 2021 г.

Приведены данные о характеристиках интрузий, таких как длительность проникновения и тип перемешивания. Поступление соленых вод в дельту Дона носит, как правило, непродолжительный характер и связано преимущественно с нагонными явлениями. Интенсивное ветровое воздействие во время нагона во многом объясняет преобладание вертикального перемешивания, характеризующегося слабой стратификацией.

Представлены результаты расчета дальности проникновения соленых вод. Изменившиеся природные условия привели к тому, что в настоящее время наблюдается увеличение дальности проникновения соленых вод в 2–3 раза по сравнению со второй половиной прошлого века. Проведена оценка последствий осолонения для водоснабжения и качества поступающей воды. Приводятся рекомендации по преодолению негативных последствий поступления соленых вод в дельту Дона.

Ключевые слова: дельта Дона, Азовское море, интрузия морских вод, нагон.

SALT WATER INTRUSIONS INTO THE DON RIVER DELTA: DEVELOPMENT PATTERNS AND CONSEQUENCES

A.V. Kleshchenkov¹, A.Yu. Moskovets¹

Abstract. The consequences of climate change, which are currently observed in the region as a whole and in the Don estuary area in particular, determine a complex of negative effects. The interconnected rise in the level of the Sea of Azov and the Taganrog Bay, an increase in the height and frequency of surges, a decrease in the solid and liquid runoff of the Don, salinization of the Taganrog Bay, an increase in the contribution of marine factors to the development of the Don delta lead to the intensification of salt water intrusions into the Don delta. Under such conditions, the inflow of saline water into the water intakes of the cities of Azov and Taganrog may occur more often in the future. This has already become a tangible problem for the inhabitants of the Azov region in September 2014, December 2015 and February 2021.

The article provides data on the characteristics of intrusions, such as the duration of penetration and the type of mixing. The inflow of salt water into the Don delta is usually short-lived and is mainly associated with surges. The intense wind action during the surge largely explains the prevalence of the first type of vertical mixing, characterized by weak stratification.

The results of calculating the penetration range of saline waters are presented. It is noted that the changed natural conditions have led to the fact that at present there is an increase in the penetration range of saline

¹ Федеральный исследовательский центр 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: geo@ssc-ras.ru

waters by 2–3 times compared to the second half of the last century. An assessment of the consequences of salinization for water supply and the quality of incoming water was made. Recommendations for overcoming the negative consequences of the inflow of saline waters into the Don delta are given.

Keywords: Don River delta, Sea of Azov, sea water intrusion, surge.

ВВЕДЕНИЕ

Устьевые области рек, несмотря на свои относительно небольшие размеры, занимают особое и очень важное место как среди природных экосистем, так и среди территориально-хозяйственных комплексов. Они играют важнейшую роль в поддержании экологического равновесия в глобальном масштабе [1]. Благодаря выгодному географическому положению на выходе водных путей с материков в моря и океаны устья рек стали местом строительства портов, образования крупных промышленных и торговых центров. Исключительная биопродуктивность и широкое использование земельных, растительных, рыбных и других ресурсов устьев рек различными отраслями хозяйства привели к тому, что районы речных дельт стали густонаселенными. Вместе с тем использование устьев рек затруднено в связи с большой изменчивостью их морфологических, гидрологических, гидрохимических, экологических характеристик кратковременного (приливы, штормы, нагоны) и сезонного масштабов.

Устьевая область Дона – ключевой район бассейна Азовского моря, где происходят сложные процессы взаимодействия речных и морских вод [2; 3]. Она простирается на 291 км от условной линии, соединяющей Должанскую и Белосарайскую косы в Таганрогском заливе на западе и до ст. Раздорской на востоке [4]. Устьевая область Дона состоит из устьевого участка реки (от ст. Раздорской до вершины дельты в районе Ростова-на-Дону), собственно дельты и Таганрогского залива.

Район исследований хорошо освоен с точки зрения морехозяйственной деятельности, здесь развито судоходство. Через порты Приазовья (Ростов-на-Дону, Азов, Таганрог) ежегодно проходит значительная часть российского экспорта зерновых.

Общепризнанным к настоящему времени является широкий спектр опасных гидрологических процессов в устье Дона, к которым можно отнести стоквые наводнения, штормовые нагоны, ливневые затопления в городах, стоквые обмеления, ветровые сгоны, опасные ледовые и морфодинамические процессы, ухудшение качества речных вод.

Наблюдающиеся в настоящее время в регионе в целом и в устьевой области Дона в частности последствия изменения климата определяют комплекс негативных эффектов. Происходящие во взаимосвязи рост уровня Азовского моря и Таганрогского залива [5], увеличение высоты и повторяемости нагонов, сокращение твердого и жидкого стока Дона, осолонение Таганрогского залива, увеличение вклада морских факторов в развитие дельты Дона приводят к интенсификации еще одного опасного природного явления – интрузий соленых вод в дельту Дона.

Согласно классическим [6] и современным [7] представлениям интрузиями соленой воды называют поступление со стороны моря в реку воды с хлорностью $>0,5$ ‰ или соленостью >1 ‰. Для многих эстуариев мира характерно такое опасное гидрологическое явление, как проникновение соленых вод, что нередко приводит к попаданию этих вод в водозаборы, к осолонению поверхностных и подземных вод, к воздействию на пресноводную биоту. Зона подпора соленых вод может стать препятствием на пути перемещения наносов и вызвать заиливание русловой сети, в том числе судоходных каналов [7; 8].

Цель представленной работы – установление закономерностей развития и последствий интрузий соленых вод в рукава дельты Дона. Для ее достижения решались задачи исследования формирования условий и механизмов, а также гидрохимических характеристик и пространственных границ опасных проникновений соленых вод.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В основу анализа поступления соленых вод в дельту Дона были положены литературные и фондовые данные, охватывающие период 1970–1990 гг., а также результаты собственных измерений температуры и электропроводности воды, выполненных с помощью океанологических зондов STD-90, STD-90M, SBE-19 (определение гидростатического давления, температуры воды, электропроводности, солености) и измерителем течений AANDERAA RCM 9LW в рамках специальных наблюдений за

нагонами и в ходе экспедиционных работ на научно-исследовательском судне «Профессор Панов» в 2014–2020 гг. Кроме того, широко использовались данные, получаемые с гидропоста «Донской» Южного научного центра Российской академии наук (ЮНЦ РАН), на котором системой датчиков производится автоматическое измерение уровня, электропроводности и температуры воды (датчик СОЛИС СЛ15-10Т) и передача этих данных на сервер ЮНЦ РАН с дискретностью 10 мин. Также для расчета зоны выклинивания подпора и дальности проникновения соленых вод в дельту были проанализированы данные урвненного режима, полученные Росгидрометом по речным постам устьевой области Дона и опубликованные в гидрологических ежегодниках. Значения расходов воды в замыкающем створе – ст. Раздорской – были получены из открытых источников [9]. В отдельных случаях сильных нагонов производился отбор проб воды на различных участках р. Дон и водопроводной воды подающей сети Азова с последующим определением общей минерализации, хлоридов, сульфатов, гидрокарбонатов, общей жесткости, магния, кальция, натрия и калия в воде по стандартным методикам [10].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В современных условиях маловодья наблюдается рост минерализации речной воды в пределах речного участка устьевой области Дона до значений выше 1 г/л [11] даже при нормальном уровне без влияния нагонных явлений. Анализ данных муниципального предприятия «Азовводоканал» по минерализации воды в створе Азова за период 2015–2019 гг. ($n = 60$) показал, что наибольшая минерализация наблюдалась в период зимне-весенней межени 2018 и 2019 гг. и составила 1,09 и 1,01 г/л соответственно при среднемноголетней минерализации за исследованный период 0,85 г/л. При стогах в дельте Дона порою наблюдается интенсивное поступление подземных вод в отдельные рукава (Свиное гирло, Мертвый Донец) [12]. Принимая во внимание указанное, для целей данного исследования мы рассматриваем интрузии соленых вод в дельту Дона как увеличение солености и минерализации речной воды над исходным значением при изменении урвненного режима на устьевом участке больше чем на 0,5 м.

Важными характеристиками интрузий являются временной характер проникновения, тип перемешивания, а также дальность проникновения соле-

ных вод. Согласно нашим исследованиям, в дельте Дона наблюдается кратковременное поступление соленых вод, связанное прежде всего с нагонными явлениями. Однако в последние несколько лет в условиях маловодья и наблюдающегося роста солености Таганрогского залива [13] длительность осолонения и дальность проникновения соленых вод растет. Так, если в предыдущие периоды (1970–1990 гг.) были известны единичные случаи проникновения в дельту соленых вод, то в последние годы (2014–2021 гг.) их количество и абсолютные значения максимальной солености существенно увеличились. Отмечалось, что при нагоне в 1976 г. была достигнута соленость воды более 1 ‰ у Ростова-на-Дону, а в 1979, 1981 и 1990 гг. у Азова и х. Дугино ветровые нагоны обуславливали соленость воды до 2–3 ‰ [14; 15]. Однако уже в 2014 г., во время экстремального нагона, в Азове была зафиксирована соленость (по хлорности) 5,6 ‰, а во время сильного нагона в феврале 2021 г. – 6,9 ‰.

Что касается условий перемешивания, которые определяют тип проникновения осолоненных морских вод в реку, то для Дона это преимущественно первый тип, характеризующийся хорошим вертикальным перемешиванием и слабой стратификацией [16]. Параметр стратификации n , рассчитанный по формуле (1) на основе данных вертикального зондирования зондами SBE-19 и STD-90 водной толщи во время нагонов в сентябре 2014, декабре 2015, июле 2019 и апреле 2021 г., имел значения 0,19, 0,028, 0,002 и 0,011 соответственно. То есть в большинстве случаев преобладал первый тип вертикального перемешивания, стратификации и проникновения осолоненных вод, что обусловлено интенсивным ветровым перемешиванием во время нагона, и лишь в сентябре 2014 г. отмечался второй тип, для которого характерны частичное вертикальное перемешивание и умеренная стратификация [16].

$$n = \Delta S / S_{\text{cp}}, \quad (1)$$

где ΔS – вертикальный градиент солености, S_{cp} – средняя соленость по вертикальному профилю.

Как отмечалось выше, еще одним важным параметром является дальность проникновения соленых вод в реку. Впервые подобная оценка была приведена В.М. Михайловым в 1971 г. [17] и не менялась до сих пор [16]. Согласно ей предельная дальность проникновения осолоненных вод в устье Дона составляет 15 км (Азов). Вместе с тем наши наблюдения свидетельствуют о том, что в настоящее время это расстояние может быть больше.

Таблица 1. Результаты расчета дальности проникновения соленых вод при разной водности Дона и высоте нагона
Table 1. The results of calculating the penetration range of saline waters at different water content of the Don and the height of the surge

№	Дата Date	Q_p , м ³ /с / м ³ /с	ΔH_m , м / м	l , км / km	l_v , км / km	l_s , км / km
1	24.09.2014	434	3,6	263,3	84,9	69,1
2	27.12.2015	352	1,3	215,6	85,8	20,7
3	13.02.2021	192	1,7	265,3	119,7	33,9

Таблица 2. Данные исследования проникновения соленых вод в дельту Дона 13–14.02.2021
Table 2. Field data from the study of the penetration of salty waters into the Don delta on 13–14 February 2021

Пункт отбора проб / Sampling point	Координаты Coordinates		Дата Date	Расстояние от устья, км Distance from the mouth, km	Соленость по хлорности, % Chlorine salinity, %	Соленость по зонду, PSU CTD salinity, PSU	Общая минерализация, г/л Total mineralization, g/l	Жесткость воды, мг-экв/л Water hardness, mg-eg/l
	N	E						
Ростов-на-Дону (Нахичеванская протока) Rostov-on-Don(Nakhichevan channel)	47.22051°	39.77271°	13.02.2021	52,3	0,58	0,79	1,2	9,6
Ростов-на-Дону (Ростов-Арена) Rostov-on-Don (Rostov-Arena)	47.21402°	39.73684°	13.02.2021	49,4	0,58	0,79	1,2	9,4
Ростов-на-Дону (Ростов-Арена) Rostov-on-Don (Rostov-Arena)	47.21402°	39.73684°	14.02.2021	49,4	0,61	0,83	1,3	9,6
Колузаево / Koluzaevo	47.16770°	39.55202°	13.02.2021	34,5	0,62	0,85	1,3	9,8
Дугино / Dugino	47.15602°	39.43719°	13.02.2021	22,3	2,96	3,24	3,9	18,4
Рогожино / Rogozhkiно	47.17626°	39.34048°	13.02.2021	11,7	3,71	3,97	4,7	21
Азов (порт) / Port of Azov	47.11825°	39.42313°	13.02.2021	15	2,56	–	3,4	16,8
Азов (порт) / Port of Azov	47.11825°	39.42313°	14.02.2021	15	5,28	–	6,3	28

Рассмотрим данное утверждение на примерах трех нагонов: 23–25.09.2014, 27.12.2015, 13–15.02.2021 г. Согласно подходам, изложенным в работах [17; 18], расчет проводился по формулам (2–5). Полученные результаты приведены в таблице 1.

$$l_s = l \left(1 + \frac{h_0}{\Delta H_m}\right) - \sqrt{l^2 \left(1 + \frac{h_0}{\Delta H_m}\right)^2 - l_v(2l - l_v)}, \quad (2)$$

$$l_v = l - \sqrt{\frac{2Q_p l \Delta t}{B \Delta H_m}}, \quad (3)$$

$$l = \ln \frac{\Delta H_m}{0,05} / k, \quad (4)$$

$$k = 1,21 \cdot 10^{-5} \cdot Q_p + 0,011, \quad (5)$$

где l_s – дальность проникновения соленых вод, h_0 – средняя глубина в русле, l_v – расстояние от устьевоствор, на котором расход воды и скорость пря-

мого течения равны нулю, Q_p – расход на верхней границе устьевой области (для Дона принят створ ст. Раздорской), l – дальность распространения подпора при нагонах, Δt – время развития нагона, B – ширина русла, ΔH_m – подъем уровня в устье, k – декремент затухания.

Полученные результаты расчета были сопоставлены с экспедиционными данными определения солености воды во время нагона в феврале 2021 г. (табл. 2). Как можно заметить, они в значительной степени соответствуют расчетным, так как на интервале русла от порта Азов (15 км от устья) до х. Колузаево (34,5 км от устья) наблюдается резкое падение солености воды.

В условиях маловодья устьевая область Дона подвержена затокам солоноватых вод из Таганрогского залива Азовского моря. При этом именно здесь, главным образом в дельте, происходит водозабор питьевой воды для таких городов, как

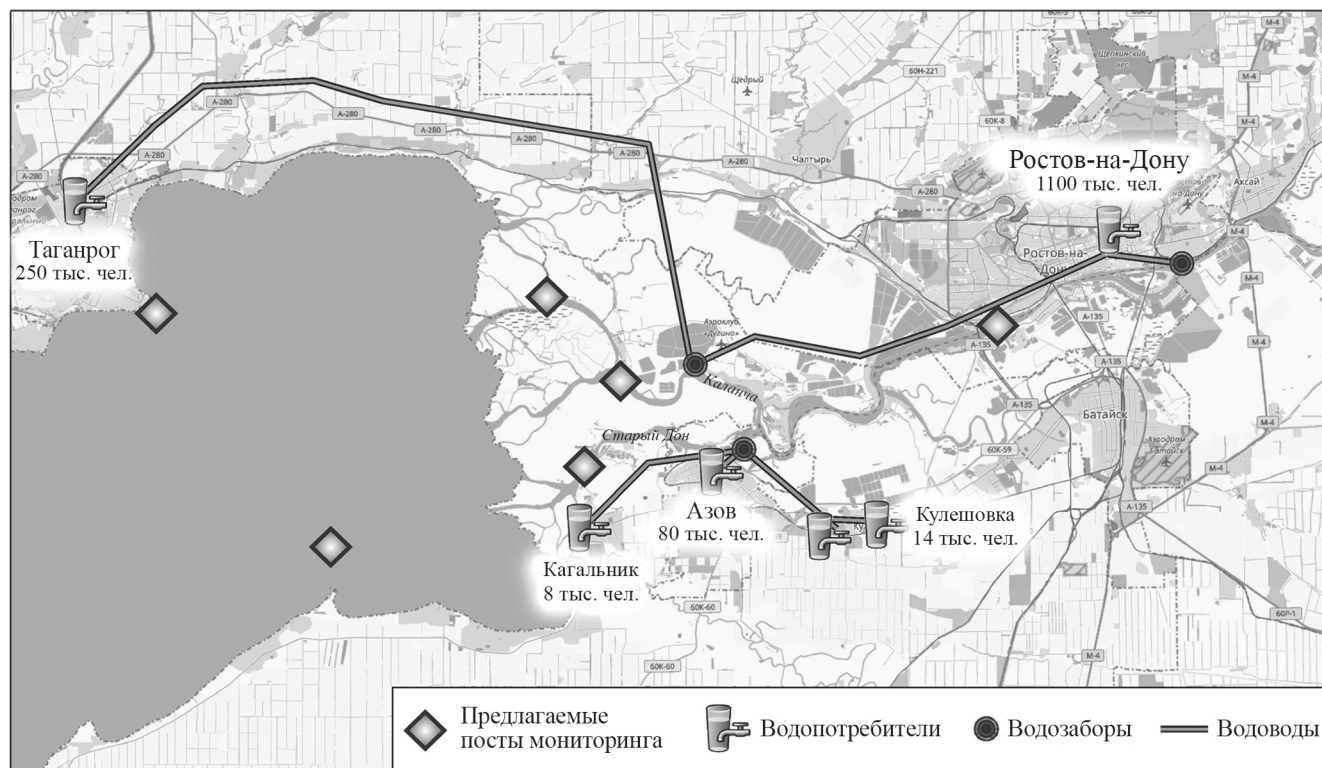


Рис. 1. Схема водозаборов в устьевой области Дона и предлагаемые участки размещения постов оперативного мониторинга проникновения соленых вод.

Fig. 1. Scheme of water intakes in the mouth area of the Don River and the proposed sites for the placement of posts for real-time monitoring of the sea water intrusion.

Азов, Таганрог, Ростов-на-Дону. Общее число жителей этих городов ростовской агломерации превышает 1400 тыс. человек. По-прежнему в планах значится ввод в эксплуатацию водозабора в районе х. Дугино мощностью 150 тыс. м³ в сутки для обеспечения водой западной части Ростова-на-Дону (рис. 1), что в перспективе может привести к поступлению в водопроводную сеть соленой воды в случае повторения интрузий соленых вод в дельту.

Донская вода на участке от Ростова-на-Дону до устья относится к гидрокарбонатному классу кальциевой группы. Среднегодовая минерализация донской воды в створе Ростова-на-Дону составляет 0,6–0,8 г/л, в последние годы около 1 г/л [11]. Воды Таганрогского залива Азовского моря относятся к хлоридному классу натриевой группы. Минерализация изменяется в широких пределах от 3 до 13 г/л. Зона смешения морских и речных вод перемещается в результате действия сгонно-нагонных явлений в условиях маловодья в дельту Дона. Вода приобретает черты смешанного ионного состава. В ней повышается общая минерализация, жесткость и содержание хлоридов.

Согласно нормам качества питьевой воды, принятым в России (СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды» [19]), содержание хлоридов в воде не должно превышать 0,35 г/л, общая жесткость – 7(10) мг-экв/л, минерализация – 1(1,5) г/л. В целом донская вода в нормальных условиях соответствует этим нормативам, чего нельзя сказать о смешанной морской и речной воде, в которой данные параметры превышены в несколько раз.

Повышенные концентрации хлоридов и сульфатов в смешанной солоноватой воде придают ей соленый и горький вкус. Но при этом подобная минерализация не наносит значительного ущерба организму человека. При кратковременном употреблении воды соленостью до 5–6 ‰ не происходит патологических изменений водно-солевого баланса в организме человека. Так как соленость крови близка к 8–9 ‰, то клеточные мембраны продолжают работать практически так же, как и при употреблении пресной воды [20]. Наибольшую опасность представляет повышенная жесткость смешанных солоноватых вод. В результате продолжительного употребления такой воды возрастает риск на-

рушений в работе желудочно-кишечного тракта (пониженная моторика желудка, нарушение пищеварения, дисбактериоз), опорно-двигательного аппарата (отложение солей в суставах, артрит, полиартрит), сердечно-сосудистой системы (аритмия) [20].

ВЫВОДЫ

В продолжающийся период маловодья происходят изменения гидроклиматических условий в устьевой области Дона: сокращение жидкого стока Дона, сосредоточение стока в главных рукавах дельты Старом Дону и Каланче и прогрессирующее заиливание малых рукавов, рост уровня и солёности Азовского моря и Таганрогского залива. В таких условиях поступление солёных вод в водозаборы городов Азова и Таганрога может происходить в будущем все чаще. Это уже стало ощутимой проблемой для жителей Приазовья в феврале 2021 г., когда из кранов в Азове и окрестных селах текла вода с солёностью 7 ‰ (по хлорности) и жесткостью 33 мг-экв/л. Кроме того, изменившиеся природные условия привели к тому, что в настоящее время наблюдается увеличение дальности проникновения солёных вод в 2–3 раза по сравнению со второй половиной прошлого века.

Одним из путей решения подобной проблемы может стать развитие комплекса, включающего в себя систему оперативного оповещения и сеть наблюдательных постов за термохалинными характе-

ристиками вод на взморье и в дельте Дона (в том числе на участках водозаборов) (рис. 1) с передачей данных в общедоступную информационную систему. Это следует делать с участием крупнейших компаний-водопотребителей («Ростовводоканал», «Азовводоканал», «Кока-Кола» и т.д.). Необходима модернизация системы водоочистки и водоподготовки на случай повышения солёности забираемой для водоснабжения воды. Кроме того, необходимо продолжать усилия по улучшению системы прогнозирования с целью заблаговременного предупреждения о повышении солёности на участках водозаборов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность Е.Г. Алёшиной за выполнение анализов в междисциплинарной аналитической лаборатории ЮНЦ РАН и Д.В. Магрицкому за информационную поддержку. Публикация подготовлена в части сбора и анализа данных об уровне режиме и солёности воды в рамках реализации ГЗ ЮНЦ РАН, № гр. проекта ААА-А-А18-118122790121-5, в части постановки задачи и анализа дальности проникновения солёных вод в рамках научного проекта РФФИ 18-05-80010 «Исследование и прогноз опасных гидрометеорологических и геолого-геоморфологических процессов в районах функционирования стратегических объектов на Азово-Черноморском побережье (исторические и современные аспекты)».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлов В.Н. 1997. *Устья рек России и сопредельных стран: прошлое, настоящее и будущее*. М., ГЕОС: 413 с.
2. Филиппов Ю.Г. 2015. О влиянии стока р. Дон на уровень воды в Таганрогском заливе. *Метеорология и гидрология*. 2: 76–80.
3. Чикин А.Л., Клещенков А.В., Чикина Л.Г. 2019. Численное исследование влияния расхода воды на уровень режим в устьевой области Дона. *Морской гидрофизический журнал*. 35(4): 355–366. doi: 10.22449/0233-7584-2019-4-355-366
4. Симов В.Г. 1989. *Гидрология устьев рек Азовского моря*. М., Гидрометеиздат: 328 с.
5. Беспалова Л.А., Цыганкова А.Е., Беспалова Е.В., Мисиров С.А. 2020. Штормовые нагоны в Азовском море и их влияние на абразионные процессы. В кн.: *Труды Южного научного центра Российской академии наук. Том VIII: Моделирование и анализ опасных природных явлений в Азовском регионе*. Ростов-на-Дону, изд-во ЮНЦ РАН: 111–121. doi: 10.23885/1993-6621-2020-8-111-121
6. *Руководство по расчету элементов гидрологического режима в прибрежной зоне морей и в устьях рек при инженерных изысканиях*. 1973. М., Гидрометеиздат: 535 с.
7. Магрицкий Д.В. 2016. Опасные гидрологические явления и процессы в устьях рек: вопросы терминологии и классификации. *Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник)*. 2: 35–61.
8. Зырянов В.Н., Чебанова М.К., Филатов Н.Н. 2015. Интрузия морских вод в устья рек. *Водные ресурсы*. 42(5): 492–503. doi: 10.7868/S032105961505020X
9. Оперативные данные измеренных расходов воды на гидропостах (КН-15, Раздел 6). Период 7 дней. *ЕСИМО*. URL: <http://esimo.ru/portal/portal/esimo-user/data/default-roles-useWindow?anyword=%D0%BA%D0%BD-15> (дата обращения: 05.04.2021).
10. *Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Часть 1*. 2009. Ростов н/Д, изд-во ЮФУ: 1150 с.
11. Матишов Г.Г., Клещенков А.В., Булышева Н.И., Кренёва К.В., Семин В.Л., Глущенко Г.Ю. 2019. Современные проблемы развития природно-территориальных систем

- Цимлянского водохранилища и Нижнего Дона. В кн.: *Научные проблемы оздоровления российских рек и пути их решения. Сборник научных трудов. Всероссийская научная конференция с международным участием (Нижний Новгород, 8–14 сентября 2019 г.)*. М., Студия Ф1: 30–35.
12. Матишов Г.Г., Клещенко А.В., Григоренко К.С., Московец А.Ю., Кириллова Е.Э. 2018. Изменение водного баланса в бассейне Нижнего Дона в условиях маловодья. *Наука Юга России*. 14(3): 45–55. doi: 10.7868/S25000640180306
 13. Матишов Г.Г., Григоренко К.С. 2017. Причины осолонения Таганрогского залива. *Доклады Академии наук*. 477(1): 92–96. doi: 10.7868/S086956521731019X
 14. *Цимлянское водохранилище: состояние водных и прибрежных экосистем, проблемы и пути их решения*. 2011. Ростов н/Д, изд-во ЮНЦ РАН: 216 с.
 15. Магрицкий Д.В. 2016. Опасные гидрологические процессы в устье Дона и многолетние тенденции в изменении их параметров. В кн.: *Актуальные вопросы гидрологии и геоэкологии. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 100-летию Пермского государственного национального исследовательского университета (Пермь, 17–18 октября 2016 г.)*. Пермь, Пермский государственный национальный исследовательский университет: 35–41.
 16. Михайлова М.В. 2013. Процессы проникновения морских вод в устья рек. *Водные ресурсы*. 40(5): 439–455. doi: 10.7868/S0321059613050052
 17. Михайлов В.Н. 1971. *Динамика потока и русла в непривливаемых устьях рек*. М., Гидрометеониздат: 260 с.
 18. Михайлов В.Н. 1998. *Гидрология устьев рек: учебник*. М., изд-во МГУ: 176 с.
 19. *Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы*. 2002. М., Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России: 103 с.
 20. *Руководство по контролю качества питьевой воды. Том 2. Гигиенические критерии и другая релевантная информация*. 1987. М., Медицина: 326 с.
- REFERENCES
1. Mikhaylov V.N. 1997. *Ust'ya rek Rossii i sopredel'nykh stran: proshloe, nastoyashchee i budushchee*. [Mouths of rivers in Russia and neighboring countries: past, present and future]. Moscow, GEOS: 413 p. (In Russian).
 2. Filippov Yu.G. 2015. [The impact of the Don River runoff on the water level in the Taganrog Bay]. *Russian Meteorology and Hydrology*. 40(2): 127–130. doi: 10.3103/S1068373915020090
 3. Chikin A.L., Kleshchenkov A.V., Chikina L.G. 2019. Numerical study of the water flow effect on the water level in the Don mouth. *Physical Oceanography*. 26(4): 316–325. doi: 10.22449/1573-160X-2019-4-316-325
 4. 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).
 5. Bepalova L.A., Tsygankova A.E., Bepalova E.V. Misirov S.A. 2020. [Storm surges in the Sea of Azov and their impact on abrasion processes]. In: *Trudy Yuzhnogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk. Tom VIII: Modelirovanie i analiz opasnykh prirodnnykh yavleniy v Azovskom regione*. [Studies of the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences. Issue VIII: Modelling and analysis of natural hazards in the Sea of Azov Region]. Rostov-on-Don, Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences: 111–121. (In Russian). doi: 10.23885/1993-6621-2020-8-111-121
 6. *Rukovodstvo po raschetu elementov gidrologicheskogo rezhima v pribrezhnoy zone morey i v ust'yakh rek pri inzhenernykh izyskaniyakh*. [Guidelines for the calculation of the elements of the hydrological regime in the coastal zone of the seas and in the estuaries of the rivers during engineering surveys]. Moscow, Gidrometeoizdat: 535 p. (In Russian).
 7. Magritskiy D.V. 2016. [Dangerous hydrological phenomena and processes in river mouths: terminology and classification] *Nauka. Tekhnika. Tekhnologii (politekhicheskiy vestnik)*. 2: 35–61. (In Russian).
 8. Zyryanov V.N., Chebanova M.K., Filatov N.N. 2015. Seawater intrusion into river mouths. *Water Resources*. 42(5): 616–626. doi: 10.1134/S00978078150501
 9. [Operational data of measured water flow rates at gauging stations (KN-15, Section 6). Period 7 days]. *ESIMO*. Available at: <http://esimo.ru/portal/portal/esimo-user/data/default-roles-userWindow?anyword=%D0%BA%D0%BD-15> (accessed 5 April 2021). (In Russian).
 10. *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu poverkhnostnykh vod sushi. Chast' I*. [Guidelines for the chemical analysis of land surface waters. Part I]. 2009. Rostov-on-Don, Southern Federal University: 1150 p. (In Russian).
 11. Matishov G.G., Kleshchenkov A.V., Bulysheva N.I., Kreneva K.V., Semin V.L., Glushenko G.Yu. 2019. [Modern problems of the development of natural-territorial systems of the Tsimlyansk reservoir and the Lower Don]. In: *Nauchnye problemy ozdorovleniya rossiyskikh rek i puti ikh resheniya. Sbornik nauchnykh trudov. Vserossiyskaya nauchnaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiem* [Scientific problems of Russian rivers recovery and the ways of their solution. All-Russian Scientific Conference with international participation (Nizhny Novgorod, Russia, 8–14 September 2019)]. Moscow, Studiya F1: 30–35. (In Russian).
 12. Matishov G.G., Kleshchenkov A.V., Grigorenko K.S., Moskovets A.Yu., Kirillova E.E. 2018. [Water balance changes in the basin of the Lower Don under conditions of lack of water]. *Nauka Yuga Rossii*. 14(3): 45–55. (In Russian). doi: 10.7868/S25000640180306
 13. 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
 14. *Tsimlyanskoe vodokhranilishche: sostoyanie vodnykh i pribrezhnykh ekosistem, problemy i puti ikh resheniya*. [The Tsimlyansk water reservoir: conditions of water and costal ecosystems, the problems and the ways of their solutions]. Rostov-on-Don, Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences: 216 p. (In Russian).
 15. Magritskiy D.V. 2016. [Hazardous hydrological processes at the mouth of the Don and long-term tendencies in the change of their parameters]. In: *Aktual'nye voprosy gidrologii i geoekologii. Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 100-letiyu Permskogo gosudarstvennogo natsional'nogo issledovatel'skogo universiteta*. [Topical

- issues of hydrology and geoecology. Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference dedicated to the 100th anniversary of the Perm State National Research University (Perm, Russia, 17–18 October 2016)*. Perm, Perm State National Research University: 35–41. (In Russian).
16. Mikhailova M.V. 2013. Processes of seawater intrusion into river mouths. *Water Resources*. 40(5): 483–498. doi: 10.1134/S0097807813050059
17. Mikhaylov V.N. 1971. *Dinamika potoka i rusla v neprilivnykh ust'yakh rek*. [Flow and channel dynamics in non-tidal estuaries]. Moscow, Gidrometeoizdat: 260 p. (In Russian).
18. Mikhaylov V.N. 1998. *Gidrologiya ust'ev rek: uchebnik*. [Hydrology of river mouths: textbook]. Moscow, Moscow State University: 176 p. (In Russian).
19. *Pit'evaya voda. Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu vody tsentralizovannykh sistem pit'evogo vodosnabzheniya. Kontrol' kachestva. Sanitarno-epidemiologicheskie pravila i normativy*. [Drinking water. Hygienic requirements for water quality of centralized drinking water supply systems. Quality control. Sanitary and epidemiological rules and regulations]. Moscow, Federal Center for State Sanitary and Epidemiological Supervision of the Ministry of Health of Russia: 103 p. (In Russian).
20. *Rukovodstvo po kontrolyu kachestva pit'evoy vody. Tom 2. Gigienicheskie kriterii i drugaya relevantnaya informatsiya*. [Guidelines for drinking water quality control. Vol. 2. Hygiene criteria and other relevant information]. Moscow, Meditsina: 326 p. (In Russian).

Поступила 19.04.2021