СРЕДНИЕ ТЕМПЕРАТУРА ВОДЫ И СОЛЕННОСТЬ АЗОВСКОГО МОРЯ – РЕГИОНАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ

Л.В. Дашкевич

Федеральный исследовательский центр Южный научный центр РАН,
г. Ростов-на-Дону
ldashkev@ssc-ras.ru

Аннотация. В статье рассмотрены особенности региональной оценки таких климатически значимых характеристик водоема как средняя соленость и температура воды. Представлена краткая история оценки этих параметров для Азовского моря по материалам разных авторов. Проведено сравнение средних оценок температуры воды, полученных по данным наблюдений на гидрометеорологических станциях, и результатов спутниковой съемки температуры поверхности моря по данным радиометров AVHRR (спутники серии NOAA, уровень обработки L4) за период 1981–2016 гг. По результатам сравнительного анализа предложены оптимальные варианты осреднения данных наблюдений за соленьостью и температурой вод Азовского моря для получения климатически значимых характеристик. Хорошее соответствие между оценками среднегодовой температуры воды по спутниковой информации и данным гидрометеорологических станций позволяет сделать вывод об адекватности использования методики осреднения прибрежных наблюдений для оценки среднегодовой температуры вод Азовского моря в целом и возможности ее использования при ретроспективных исследованиях климатических изменений в регионе. В многолетней динамике температуры воды Азовского моря по данным дистанционного зондирования Земли, также как и по информации гидрометеорологических станций, наблюдается тенденция ее роста с середины 1990-х гг., несколько замедлившаяся после наиболее теплого за имеющийся период спутниковых наблюдений 2010 года. В динамике солёности в настоящее время наблюдается очередной климатогенный период осолонения в Азовском море.

Ключевые слова: Азовское море, средняя годовая температура воды, средняя солёность.

При оценках состояния водной экосистемы часто используют такие показатели гидрологического режима как средние годовые солёность и температура воды. Как известно, локальные неосредненные значения температуры воды не дают искомой климатической информации в явном виде, даже если для анализа имеется столетний ряд таких локальных измерений. В то же время среднегодовые значения, из которых исключен сезонный и суточный ход, осредненные по пространству выбранных акваторий для исключения пространственной изменчивости, при условии достаточной длительности ряда удобны для выявления климатических тенденций и потому являются климатически значащим параметром [1].

История оценки климатических изменений по средним годовым показателям для Азовского моря начинается во второй половине XX века. До этого обширная работа по изучению Азовского моря, проведенная Н.М. Книповичем [2; 3], не включала в себя обобщения для акватории в целом, а экспедиционные данные и наблюдения на гидрометеорологических станциях (ГМС) использовались для описания различных небольших районов моря.

Средняя годовая солёность

В [4] впервые была оценена средняя солёность открытой части Азовского моря (собственно моря

(СМ)) и двух районов Таганрогского залива (ТЗ) по годам. Далее оценки средней солёности развивались в работах [5–9].

Солёность Азовского моря, в отличие от температуры воды, характеризуется относительно большими горизонтальными градиентами (от практически пресных вод в приустьевых областях рек до вод значительной солёности Керченского пролива и близ Геническа) [10]. Особенно большое отличие между оценками средней солёности разными авторами наблюдается для сильно распресненного ТЗ, с соленьостью в разные годы колеблющейся от 0 до 6 ‰ в устье р. Дон и от 4.5 до 12.8 ‰ на выходе из залива. Подробно историческое развитие оценок средней солёности Азовского моря, модификация формул для ее расчета и современные оценки представлены нами в [9]. Ниже рассмотрены особенности осреднения данных наблюдений в Азовском море для получения оценок средней солёности.

При оценках средней солёности выполняется осреднение данных наблюдений по отдельным районам. Однако применяемая в разных работах методика осреднения данных отличается.

Так в [4] для расчета средней солёности море, следуя работе [11], было разделено на 13 районов. При этом приводится следующее описание применяемого метода осреднения: “Средние многолетние значения

солёности рассчитаны методом солезапаса. Для каждой гидрологической станции подсчитаны средневзвешенные величины солёности, а затем выполнено осреднение по сезонам и годам для каждого района. Произведение средней многолетней величины солёности каждого района на вес воды этого района (по Воронкову и Свиташову) даёт среднюю величину запаса солей в районе [см. 4 стр.268]". При расчётах было использовано 21730 наблюдений (1913–1914, 1922–1939, 1947–1959 гг.). Из текста самой работы и приводимых там значений средней солёности видно, что расчёты также выполнялись отдельно для поверхностного и глубинного слоев. В работе [4] не были рассчитаны среднегодовые значения для моря в целом, только для СМ, а для ТЗ средняя солёность приведена для западного и центрального районов, а для приустьевых районов даны только средние значения хлорности, т.к. на момент издания справочника: "рассчитать солёность при содержании Cl в воде $<1\%$ не представляется возможным [см. 4 стр. 269]".

В более поздней работе [5] многолетний ряд средней солёности Азовского моря (в том числе для всего ТЗ) был рассчитан с 1952 и продлен до 1982 г. (добавлено около 6000 наблюдений). Относительно метода расчёта указано, что расчёты выполнялись "путем определения солезапаса по средневзвешенным значениям солёности каждой океанографической станции с учетом объемов вод отдельных районов моря [см. 5 стр. 99]". Это, по мнению авторов работы, позволило сохранить однородность рядов данных. Средняя солёность за год вычислялась из средних по сезонам.

В [6] приведены значения средней солёности для моря в целом начиная с 1923 года (при построении многолетнего ряда до 1982 г. использовались значения из работ [4–5], как при этом получены значения для

ТЗ с 1923 по 1951 гг. не указано). Начиная с 1983 г. методика расчёта средней солёности Азовского моря была изменена: в основу легли 34 станции АзНИИРХа, а также наблюдения Госкомгидромета и Министерства рыболовства СССР, расчёт проводился средневзвешенным методом по 9 районам согласно [12] (ряд был продлен до 1989 г., число станций наблюдений не указано).

Позднее Ю.М. Гаргопа в своей работе [7] на основе данных АзНИИРХа и схемы районирования из [4] рассчитал среднегодовую солёность Азовского моря с 1983 по 2001 г.

В работе [8] для расчёта средневзвешенным методом использовались данные только сезонных мониторинговых съёмок АзНИИРХа (1960–2012 гг.), при этом значения за 1983–2001 гг. полностью совпадают с работой [7] (за исключением 1996 г., где значения для СМ и ТЗ совпадают, а для моря в целом – больше на единицу, будем считать, что в [8] допущена опечатка). По какой методике осреднения рассчитывались значения для остальных лет не указано.

Нами для построения исторического ряда среднегодовой солёности Азовского моря (рис.1) рассматривались те же 13 районов, что и в [4,5,7]. В основу положены наблюдения из базы данных ЮНЦ РАН на почти 48 тысячах океанографических станций за период 1922–2016 гг., большая часть которых доступна в [10, 13]. Из-за отсутствия в работах [4,5,7] сведений о площадях и объёмах водных масс каждого из 13 районов, они были рассчитаны на основе карты глубин, опубликованной Г.Г. Матишовым [14]. В связи со значительным преобладанием данных о солёности поверхностного слоя, в каждом из районов было выделено два слоя: поверхностный и глубиной более >1.5 м.

Рис. 1 Средняя солёность Азовского моря и сток р. Дон

Расчет среднегодовых значений средней по морю солености на основе данных наблюдений производился в несколько этапов:

- 1) отдельно по выделенным слоям рассчитывались среднесуточные значения в пределах района, а затем на их основе рассчитывались среднемесячные значения в пределах каждого слоя для каждого района;
- 2) среднемесячные значения по району рассчитывались как средневзвешенные по слоям;
- 3) на основе среднемесячных значений рассчитывалось среднегодовое значение солености для каждого района;
- 4) среднегодовое значение солености для ТЗ, СМ и моря в целом рассчитывалось как средневзвешенное значение с учетом объемов соответствующих районов.

Уравнения (1)-(2) использовались для расчета солености на всех станциях, содержащих только измерения концентрации хлора. При расчетах отбрасывались годы, для которых данные наблюдений присутствовали менее чем в половине районов (менее 2 для ТЗ и менее 5 районов для СМ).

$$S = 0.0294 \cdot Cl^2 + 1.664 \cdot Cl + 0.263, \quad \text{при } 1\% < Cl < 4\%, \quad (1)$$

$$S = 1.792 \cdot Cl + 0.23, \quad \text{при } Cl \geq 4\%. \quad (2)$$

где S – соленость, ‰,

Cl – содержание ионов хлора, ‰.

Средняя годовая температура

В [4] также впервые были приведены оценки средней многолетней температуры воды поверхностного слоя Азовского моря для четырех районов на основе экспедиционных наблюдений (методика оценки не указывалась). В [5] приведена средне-многолетняя температура вод по 44 квадратам моря на основе данных прибрежных и экспедиционных наблюдений, однако, в этой работе нет оценок температуры вод по годам для моря в целом (или районов). Нет таких оценок и в более позднем справочнике [6]. Обобщенные оценки средней температуры вод по годам для Азовского моря в целом встречаются в работах Ю.М. Гаргопы, например, [15]: на основе осреднения данных наблюдений семи ГМС (Приморско-Ахтарск, Мариуполь, Ейск, Таганрог, Мысовое, Кубанская Устьевая, Бердянск). Вероятно, такой выбор станций определялся наличием данных. Следует отметить, что при таком выборе преобладают данные восточной части акватории, что, по нашим оценкам, может давать несколько заниженные значения температуры воды при осреднении.

Попытка получить картину средних температур Азовского моря по годам на основе данных экс-

педиционных наблюдений в открытом море была предпринята автором в рамках диссертационной работы [16]. Однако, количество данных и главное неоднородность их распределения по акватории и сезонам года не позволили получить среднюю ежегодную оценку температуры вод открытой части Азовского моря. Были построены среднемноголетние карты и вертикальные разрезы распределения температуры вод по месяцам [10; 16], а также рассчитаны средние многолетние температуры по месяцам и глубинам для ТЗ, СМ и моря в целом [16].

Развитие системы спутниковых наблюдений и открытие общего доступа к некоторым данным дистанционного зондирования Земли (ДДЗЗ) позволили вернуться к вопросу средней годовой температуры воды для Азовского моря. ДДЗЗ позволяют оценить только некоторые параметры, измеряемые на ГМС, но их несомненное преимущество – территориальный охват – возможность рассмотреть то, или иное явление одновременно на всей акватории.

Пространственное распределение температуры воды в Азовском море относительно однородно. Мелководность водоема и ветровое перемешивание зачастую создают условия гомотермии в акватории. Однако даже в этом случае существуют различия между северным, южным, а также западным и восточным побережьями СМ, и особенно ТЗ, что необходимо учитывать при оценке средней температуры воды для моря в целом. Прибрежная зона в связи с мелководностью отличается от остальной акватории очень большими суточными и сезонными колебаниями температуры воды, однако, годовые значения достаточно стабильны.

В настоящей работе было проведено сравнение оценок средней годовой температуры воды по данным наблюдений ГМС и ДДЗЗ.

Источником данных наблюдений на ГМС были общедоступные базы данных: Южного научного центра РАН [10]; российского сайта ООО «Расписание Погоды» (<http://rp5.ru>) и Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане (<http://esimo.pacificinfo.ru>).

На среднюю температуру Азовского моря в целом очень сильно влияет число и расположение станций ГМС, участвующих в осреднении. В случае данного водоема представляется обязательным соблюдать равномерность распределения осредняемых станций по акватории. Нами использовались следующие: Таганрог, Ейск, Мариуполь, Бердянск, Геническ, Приморско-Ахтарск, Кубанская Устьевая, Мысовое, которые относительно равномерно расположены по побережью моря. Наборы суточных данных температуры вод были осреднены помесечно и далее до среднегодовых значений.

В качестве данных спутникового мониторинга использовался продукт «Черное море – Температура поверхности моря в высоком разрешении» от Европейского центра данных Copernicus (Marine environment monitoring service <http://marine.copernicus.eu>). В основе этого продукта данные проекта Pathfinder версия 5.2 (PFV52) – спутниковые снимки, полученные радиометрами AVHRR, установленными на спутниках серии NOAA), уровень обработки L4 за период 1981–2016 гг. При создании указного продукта для заполнения пустых ячеек, связанных с облачностью, использовался алгоритм оптимальной интерполяции (среднеквадратичная ошибка для продукта в целом составляет 0.55°C , среднее отклонение 0.21°C). Набор данных представляет собой среднесуточные значения температуры воды на каждую дату за период с 01.11.1981 по настоящее время в узлах регулярной сетки с размером ячейки $0.0417^{\circ} \times 0.0417^{\circ}$ (это оригинальное разрешение данных PFV52).

Акватория Азовского моря была разделена на регионы согласно схеме районирования Азовского моря в [4]. Расчет среднегодовых значений средней по морю температуры воды на основе ДДЗЗ производился в несколько этапов:

- 1) суточное значение для каждого из районов рассчитывалось как среднее арифметическое всех ячеек сетки, попавших в соответствующий район;
- 2) суточные значения осреднялись в пределах месяца для каждого района;
- 3) месячные значения осреднялись в пределах года для каждого района;
- 4) среднее годовое значение температуры воды для ТЗ, СМ и моря в целом рассчитывалось как

средневзвешенное значение с учетом площадей соответствующих районов.

Наилучшее соответствие между оценками по данным ГМС и по спутниковым снимкам было получено для ТЗ при осреднении данных трех станций (Таганрог, Ейск, Мариуполь), а СМ – четырех (Геническ, Приморско-Ахтарск, Кубанская Устьевая и Бердянск), коэффициент корреляции (R) в обоих случаях равен 0.92.

Как показал анализ данных, для ТЗ при осреднении данных температуры воды достаточно использовать 2 станции (Таганрог и Ейск; $R=0.91$), что актуально в условиях сложности получения информации с украинского побережья. При осреднении данных только Таганрога и Мариуполя или Ейска и Мариуполя, результат получался значительно хуже, что объясняется географическим положением ГМС.

Лучшее соответствие между оценками по данным ГМС и спутниковым снимкам для моря в целом получено при осреднении данных шести следующих станций: Таганрог, Ейск, Геническ, Приморско-Ахтарск, Кубанская Устьевая и Бердянск ($R=0.92$). Более того, коэффициент корреляции между ДДЗЗ и осредненными данными ГМС для моря в целом несколько выше, если в осреднении участвуют шесть станций ($R=0.92$), а не восемь ($R=0.90$). Тоже отмечено и для СМ: при осреднении данных четырех ГМС (Геническ, Приморско-Ахтарск, Кубанская Устьевая и Бердянск): $R=0.92$, против $R=0.88$ при добавлении в осреднение данных ГМС Мысовое. Т.о. как показал сравнительный анализ, при осреднении температуры вод для акватории в целом данными ГМС Мариуполь и Мысовое можно пренебречь.

При сравнении графиков для ТЗ и СМ, полученных по данным ГМС и ДДЗЗ (рис.2), при том что

Рис. 2 Сравнение средних температур воды по данным ГМС и ДДЗЗ

они имеют общий характер изменений, температура вод по снимкам системно на 0.01–0.7°C выше, чем по данным ГМС. Вероятно, это связано с разницей между температурой поверхности моря (измеряемой дистанционными методами) и температурой поверхностного слоя вод (измеряемого контактными методами). Следует отметить, что коэффициент корреляции между графиками среднегодовой температуры воды по ДДЗЗ и оценкам по ГМС несколько выше для безледного периода (весна–осень): $R=0.95$ и 0.94 для ТЗ и СМ соответственно. Возможно, это говорит о недооценке зимних температур воды по ДДЗЗ.

Хорошее соответствие между оценками среднегодовой температуры воды по ДДЗЗ и данным ГМС позволяет сделать вывод об адекватности использования методики осреднения прибрежных наблюдений для оценки среднегодовой температуры поверхностных вод Азовского моря в целом и воз-

можности ее использования при ретроспективных исследованиях климатических изменений в регионе.

В многолетней динамике температуры воды Азовского моря по ДДЗЗ (1982–2016 гг.), также как и по данным ГМС (рис. 2), наблюдается тенденция ее роста с середины 1990-х гг., несколько замедлившаяся после наиболее теплого за имеющийся период спутниковых наблюдений 2010 года. Весьма вероятно, что отмеченные тенденции являются примером внутривековых природных циклов [17, 18].

В вековом ряду наблюдений за средней соленостью Азовского моря (рис.1) четко прослеживаются периоды: опреснение – осолонение – опреснение. С 2007 года море находится в очередном периоде осолонения в связи с наблюдаемым снижением количества атмосферных осадков и ростом антропогенного изъятия стока рек.

Работа выполнена в рамках Госзадания ЮНЦ РАН (№ госрегистрации 01201363188).

Список литературы

1. Федоров К.Н., Островский А.Г. Климатически значащие физические параметры океана. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 42 с.
2. Книпович Н.М. Гидрологические исследования в Азовском море. Труды Азово-Черноморской научно-промысловой экспедиции. М.: 1932. вып. 5. 495с.
3. Гидрологический справочник морей СССР. т. III Азовское море. вып. 2. Л.-М.: Гидрометиздат, 1937. 465 с.
4. Гидрометеорологический справочник Азовского моря / под ред. А.А. Аксенова. Л.: Гидрометеорологическое изд., 1962. 856 с.
5. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Т. 3. Азовское море. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 218 с.
6. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. V. Азовское море. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 237 с.
7. Гаргона Ю.М. Гидрологические процессы в бассейне Азовского моря, их связь с климатообразующими и антропогенными факторами / Закономерности экосистемных процессов в Азовском море. М.: Наука, 2006. С. 10–136.
8. Куронаткин А.П., Жукова С.В., Шишкин В.М., Бурлачко Д.С., Карманов В.Г., Лутынская Л.А., Фоменко И.Ф., Подмарева Т.И. Изменение солености Азовского моря // Вопросы рыболовства, 2013. т. 14, № 4 (56), С. 666–673.
9. Дашкевич Л.В., Бердников С.В., Кулыгин В.В. Многолетнее изменение средней солености Азовского моря // Водные ресурсы, 2017. т. 44, №5. С. 563–572. DOI: 10.7868/S0321059617040046
10. Climatic Atlas of the Sea of Azov 2008. Matishov G., Matishov D., Gargopa Yu., Dashkevich L., Berdnikov S., Kulygin V., Arkhipova O., Chikin A., Shabas I., Baranova O., Smolyar I. Climatic Atlas of the Sea of Azov 2008. G. Matishov, S. Levitus, Eds., NOAA Atlas NESDIS 65, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 2008. 148 pp.
11. Воронков П.П., Свитаев А.И. Опыт расчета возможной солености Азовского моря в связи с предстоящим изменением его режима / Труды НИУ ГУГМС, сер. 5, вып. 2, Л. 1941. С. 28–36.
12. Бакум Т.А., Затучная Б.М. Районирование Азовского моря на современном этапе / Химия и биология морей. М.: Гидрометеиздат, 1987. 222 с.
13. Atlas of Climatic Changes in Nine Large Marine Ecosystems of the Northern Hemisphere (1827–2013) / Matishov G.G., Berdnikov S.V., Zhichkin A.P., Dzhenyuk S.L., Smolyar I.V., Kulygin V.V., Yaitskaya N.A., Povazhnyi V.V., Sheverdyaev I.V., Kumpan S.V., Tretyakova I.A., Tsygankova A.E., D'yakov N.N., Fomin V.V., Klochkov D.N., Shatohin B.M., Plotnikov V.V., Vakulskaya N.M., Luchin V.A., Kruts A.A., 2014. Matishov, G.G., Sherman, K., Levitus, S. (Eds.), NOAA Atlas NESDIS 78, 131 pp.
14. Матишов Г.Г. Батиметрия и закономерности формирования рельефа дна Азовского моря / Экосистемные исследования Азовского, Черного, Каспийского морей. Т. VIII. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2006. С. 31–42.
15. Гаргона Ю.М. Крупномасштабные изменения гидрометеорологических условий формирования биопродуктивности Азовского моря. Дисс. Докт. Геогр. Наук., Мурманск. 2003. 467 С.
16. Дашкевич Л.В. Анализ многолетней изменчивости температурного режима вод открытой части Азовского моря с использованием геоинформационных технологий и математического моделирования: Дис. канд. географ. наук. Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, 2008. 164 с.
17. Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Гаргона Ю.М. Климатогенные изменения экосистем южных морей в условиях антропогенных воздействий // Известия РАН. Серия географическая, 2008. № 3. С. 26–34.
18. Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Гаргона Ю.М., Дашкевич Л.В. Замерзание Азовского моря и климат в начале XXI века // Вестник Южного научного центра РАН 2010. Т.6. №1, С. 33–40.

REGIONAL ASPECTS OF AVERAGE ANNUAL WATER TEMPERATURE AND AVERAGE SALINITY OF THE SEA OF AZOV

L.V. Dashkevich

Federal Research Centre the Southern Scientific Center
of the Russian Academy of Sciences
Rostov-on-Don
ldashkev@ssc-ras.ru

Abstract. The article considers the features of the regional assessment of such climatically significant characteristics of the sea as average salinity and water temperature. A brief history of the estimation of these parameters for the Sea of Azov is presented based on the materials of different authors. The mean water temperature estimates obtained from observations at hydrometeorological stations and the results of the satellite survey of sea-surface temperature from the AVHRR radiometers (NOAA series satellites, L4 processing level) for 1981–2016 have been compared. Based on the results of the comparative analysis, the optimal options for averaging data from observations of the salinity and temperature of the Sea of Azov waters for obtaining climatically significant characteristics are proposed. A good correspondence between the estimates of the mean annual water temperature from satellite information and the data of hydrometeorological stations allows us to conclude that the method of averaging coastal observations is adequate to estimate the average annual temperature of the Azov Sea waters as a whole and the possibility of using it in retrospective studies of climate change in the region exists. In the long-term dynamics of the water temperature in the Sea of Azov according to the data of remote sensing of the Earth, as well as according to the information of hydrometeorological stations, there has been a trend of its growth since the mid-1990s, somewhat slower after the warmest satellite observation in 2010. In the dynamics of salinity, the next climatogenic period of salinity in the Sea of Azov is observed.

Keywords: average annual water temperature, average salinity, the Sea of Azov

References:

1. Fedorov K.N., Ostrovskii A.G. 1986. Klimaticheski znachashchie fizicheskie parametry okeana [Climatically meaningful physical parameters of the ocean] L.: Gidrometeoizdat, 42 p. (In Russian)
2. Knipovich, N.M. 1932. Gidrologicheskie issledovaniya v Azovskom more [Hydrological Studies in the Sea of Azov]. In: Trudy Azovo-Chernomorskoj nauchno-promyslovoy ekspeditsii [Transactions of the Azov-Black Sea Scientific and Fishery Expedition]. Issue 5. Moscow. 495 p. (In Russian)
3. Gidrometeorologicheskij spravochnik morej SSSR. T. III. Azovskoe more. 1937 [Hydrometeorological reference of the seas of USSR. Book 3. Sea of Azov] Leningrad-Moscow, Gidrometeoizdat: 465 p. (In Russian)
4. Gidrometeorologicheskij spravochnik Azovskogo morja [Hydrometeorological reference of the Sea of Azov] 1962. pod red. A.A. Aksenova L.: Gidrometeorologicheskoe izd., 856 p. (In Russian)
5. Gidrometeorologicheskie usloviya shel'fovoj zony morej SSSR. Tom 3. Azovskoe more. 1986. [Hydrometeorological conditions of the shelf zone of the seas of USSR. Book 3. Sea of Azov] Leningrad, Gidrometeoizdat: 218 p. (In Russian)
6. Gidrometeorologija i gidrohimija morej SSSR. T. V. Azovskoe more. 1991. [Hydrometeorology and hydrochemistry of seas of the USSR. T. V. The Sea of Azov.] L.: Gidrometeoizdat, 237 p. (In Russian)
7. Gargopa Ju.M. 2006. [Hydrological processes in the basin of the Azov Sea, their connection with climate-forming and anthropogenic factors] / Zakonomernosti ehkossistemnyh processov v Azovskom more [Regularities of ecosystem processes in the Azov Sea] Moscow: Nauka p. 10–136. (In Russian)
8. Kuropatkin A.P., Zhukova S.V., Shishkin V.M., Burlachko D.S., Karmanov V.G., Lutynskaia L.A., Fomenko I.F., Podmareva T.I. 2013 [Change in salinity of the Sea of Azov] Voprosy rybolovstva Vol. 14, No. 4(56), p. 666–673. (In Russian)
9. Dashkevich L.V., Berdnikov S.V., Kulygin V.V. 2017. Many-Year Variations of the Average Salinity of the Sea of Azov // Water Resources, 2017, Vol. 44, No. 5, pp. 749–757. DOI: 10.1134/S0097807817040042 (In English)
10. Climatic Atlas of the Sea of Azov 2008. Matishov G., Matishov D., Gargopa Yu., Dashkevich L., Berdnikov S., Kulygin V., Arkhipova O., Chikin A., Shabas I., Baranova O., Smolyar I. Climatic Atlas of the Sea of Azov 2008. G. Matishov, S. Levitus, Eds., NOAA Atlas NESDIS 65, U.S. Gov. Print. Office, Washington, D.C., 2008. – 148 p. (In English)
11. Voronkov P.P., Svitashov A.I. 1941 [The experience of calculating the possible salinity of the Sea of Azov in connection with the forthcoming change in its regime] / Trudy NIU GUGMS, s.5, v.2. Leningrad. P. 28–36. (In Russian)
12. Bakum T.A., Zatulchnaia B.M. 1987. [Zoning of the Sea of Azov at the present stage] / Himiya i biologiya morej [Chemistry and biology of the seas] Moscow: Gidrometeoizdat. 222 p. (In Russian)
13. Atlas of Climatic Changes in Nine Large Marine Ecosystems of the Northern Hemisphere (1827–2013) / Matishov G.G., Berdnikov S.V., Zhichkin A.P., Dzhenyuk S.L., Smolyar I.V., Kulygin V.V., Yaitskaya N.A., Povazhniy V.V., Sheverdyayev I.V.,

- Kumpan S.V., Tretyakova I.A., Tsygankova A.E., D'yakov N.N., Fomin V.V., Klochkov D.N., Shatohin B.M., Plotnikov V.V., Vakul'skaya N.M., Luchin V.A., Kruts A.A., 2014. Matishov, G.G., Sherman, K., Levitus, S. (Eds.), NOAA Atlas NESDIS 78, 131 pp. (In English)
14. *Matishov G.G.* [Bathymetry and patterns of formation of the relief of the bottom of the Azov Sea]/ *EHkosistemnye issledovaniya Azovskogo, Chernogo, Kaspijskogo morej* [Ecosystem studies of the Azov, Black, Caspian seas] V. VIII. Apatiti: KSC RAS. p. 31–42. (In Russian)
15. *Gargopa YU.M.* 2003. *Krupnomasshtabnye izmeneniya gidrometeorologicheskikh uslovij formirovaniya bioproduktivnosti Azovskogo morya* [Large-scale changes in the hydrometeorological conditions for the formation of the bioproductivity of the Azov Sea] The thesis of the Doctor of Geographical Sciences, Murmansk. 467 p. (In Russian)
16. *Dashkevich L.V.* *Analiz mnogoletnej izmenchivosti temperaturnogo rezhima vod otkrytoj chasti Azovskogo morya s ispol'zovaniem geoinformacionnykh tekhnologij i matematicheskogo modelirovaniya* [Analysis of long-term variability of the temperature regime of the waters of the open part of the Azov Sea using geoinformation technologies and mathematical modeling] The thesis of the PhD of Geographical Sciences, Murmansk. 164 p. (In Russian)
17. *Matishov G.G., Matishov D.G., Gargopa Yu.M.* 2008. [Climatogenic changes of ecosystems of the southern seas in the conditions of anthropogenic impacts] // *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaja*. 3 p. 26–34. (In Russian)
18. *Matishov G.G., Matishov D.G., Gargopa Yu.M., Dashkevich L.V.* 2010. [The freezing of the Sea of Azov and climate at the beginning of the XXI century]. *Vestnik Yuzhnogo Nauchnogo Tsentra*. 6 (1): 33–40. (In Russian)