

УДК 639.2.03

Пятинский М.М., Надолинский В.П., Жукова С.В., Надолинский Р.В.,
Бурлачко Д.С., Козоброд И.Д.

**ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОЛЕННОСТИ АЗОВСКОГО МОРЯ НА
ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗАПАСА И ЧИСЛЕННОСТЬ ЛИЧИНКИ ТЮЛЬКИ
В ПЕРИОД 2000-2020 ГГ.**

Аннотация. Представлены результаты анализа многолетних данных научного мониторинга состояния популяции тюльки и показателей солености в Азовском море. Многолетний анализ показал наличие значимой отрицательной связи между продуктивностью запаса тюльки и изменениями показателей солености и отсутствие связи между средней численностью личинки в Таганрогском заливе и показателем солености в период 2000-2020 гг. Отмечено отсутствие значимой связи между средней численностью личинки и нерестовой биомассой запаса и численностью пополнения. Детальный пространственный кросс-корреляционный анализ показал наличие стационарной, преимущественно отрицательной, связи между показателями солености Таганрогского залива и численностью личинки тюльки в 2006, 2015, 2018 гг. Результаты указывают на существенные изменения в распределении тюльки в Таганрогском заливе в 2015 г. по сравнению с 2006 и 2018 гг.

Ключевые слова: тюлька, соленость, Азовское море, Таганрогский залив, пространственный анализ, временной анализ.

Piatinskii M.M., Nadolinskii V.P., Zhukova S.V., Nadolinskii R.V.,
Burlachko D.S., Kozobrod I.D.

**INFLUENCE OF AZOV SEA SALINITY INTO COMMON TYULKA
REPRODUCTION POTENTIAL RATE AND LARVA NUMBERS DURING
THE PERIOD 2000-2020**

Abstract. Long-term scientific monitoring data of Azov Sea common tyulka and salinity observation analysis results are presented. Significant negative relationship between stock productivity and salinity trend, non-significant relationship between larva numbers and salinity in long-term assessment during the period 2000-2020 are confirmed. No significant relationship between spawning stock biomass and larva numbers are noted. Detailed spatial cross-correlation assessment shows significant stationary spatial, mostly negative, relationship between salinity factor and common tyulka larva numbers in 2006, 2015 and 2018. In 2015 there is significant changes in common tyulka distribution in Taganrog Bay was observed compared within 2006 and 2018.

Keywords: common tyulka, salinity, Azov Sea, Taganrog Bay, spatial analysis, time-series analysis.

Введение. Черноморско-азовская тюлька *Clupeonella cultriventris* является представителем семейства мелкосельдевых рыб *Clupeidae*, обитающей в бассейнах Каспийского, Черного и Азовских морей. Тюлька является стайным, пелагическим планктоноядным представителем ихтиоценозов этих морей. В Азовском море тюлька является одним из самых массовых аборигенных видов рыб [1].

В Азовском море размножение тюльки происходит преимущественно в акватории Таганрогского залива. Гидрологические условия бассейна оказывают ключевое влияние на условия воспроизводства [2]. Среди наиболее значимых факторов среды выделяют: соленость и температуру воды, волнение и освещенность [2, 3]. Другим, наиболее значимым фактором, регулирующим долю выжившей личинки и молоди, является обеспеченность кормовым зоопланктоном.

Нерест тюльки происходит преимущественно в мае. Икрометание – порционное, с начала мая до конца июня. Размножение её происходит преимущественно в Таганрогском заливе. Гидрологические условия бассейна влияют на условия воспроизводства. Так, величина солёности моря определяет ареал размножения и кормовую базу, температура воды влияет на сроки миграций и нерест. По одним из результатов исследований, соленость от 2 до 9 ‰ является наиболее благоприятной для икры и личинки тюльки, при солености от 9 до 11 ‰ выживаемость и выклев из икры резко снижается, а при солености выше 11 ‰ выжившая личинка после выклева практически не наблюдается [2]. Более новая работа свидетельствует о том, что нерест тюльки происходит при температуре воды от 5 до 24 °С и солёности не выше 7 ‰, массовый нерест в мае при 13–20 °С и солёности ниже 5,5 ‰, но наиболее благоприятный режим создается при солености до 4 ‰ [3]. Развитие икры при 10 °С длится 98 часов, при 14 °С – 62 часа, при 18 °С – 35 час. и при 22 °С – 25 часов. Икринки и личинки дрейфуют с течением в толще воды от поверхности до дна [4].

Личинка тюльки начинает активное питание с длин 2-3 мм. У личинок длиной 3,6-3,8 мм в пищевом комке преобладают науплиусы копепод, у личинок 6-10 мм науплиальные и копеподитные стадии развития копепод, у более крупных особей встречаются и взрослые копеподы [5].

Начиная с 2007 г., в Азовском море наблюдается продолжительный тренд повышения солености [6-8]. В результате, как и в середине 1970-х гг., в зоопланктонном сообществе моря стали отмечаться структурные изменения,

вследствие замены аборигенных солоноватоводных видов менее продуктивными черноморскими мигрантами. В период 2008-2011 гг. для солоноватоводных видов зоопланктона соленость уже превышала оптимальную, а для морских — еще ее не достигла. В результате численность мелкого корма для личинок тюльки в заливе была недостаточной, что привело к низкому уровню выживаемости ранней молоди [9]. Начиная с 2012 г., соленость воды стала приближаться к оптимальной, для развития морских видов зоопланктона, и численность мелкого корма для личинок значительно возросла. Однако, по своей биологии морские виды зоопланктона являются более теплолюбивыми, чем солоноватоводные, и дают максимальную численность науплий в конце июня, что снижает выживаемость ранней молоди тюльки при переходе на внешнее питание [10].

Осолонение Азовского моря привело к сокращению благоприятного ареала для размножения тюльки. В период 1974-1983 гг. он сократился с 5 до 3 тыс. км² [3]. В современный период он ограничен только восточной частью Таганрогского залива.

Промысловый запас тюльки и уловы в период 1980-1990 гг. были на высоком уровне: промысловый запас колебался от 350 до 540 тыс. т., общий годовой вылов — от 36 до 126 тыс. т [1]. В последующий период, 1992-1997 гг. промысловый запас находился на минимальном историческом уровне в пределах 100-250 тыс. т, общий годовой вылов составлял 0,3-4,4 тыс. т. Такое резкое снижение промыслового запаса и уловов тюльки было обусловлено резким сокращением доступности кормовых объектов, которое было обусловлено вселением хищного гребневика *Mnemiopsis leidyi* [11]. Начиная с 1998 г. промысловый запас тюльки смог существенно восстановиться и в период 1998-2011 гг. колебался в пределах 200-600 тыс. т, а промысловые уловы составляли от 10,8 тыс. т до 27,2 тыс. т. Такое продолжительное восстановление запаса обуславливалось вселением другого хищного гребневика *Beroe ovata*, который резко сократил общую биомассу и численность мнemiопсиса в летний период,

увеличив количество и доступность кормовых объектов мезозoopланктона в Азовском море [11].

Учитывая рассмотренную многолетнюю динамику состояния популяции азовской тюльки отдельного внимания заслуживает исследование новых гидрологических изменений режима солености в Азовском море и их влияние на популяцию тюльки в современный период.

Целью исследования является изучение влияния такого гидрологического фактора как соленость воды на продуктивность нерестового запаса и процессы воспроизводства тюльки в Азовском море.

Материалы и методы исследования. Сбор биологического материала тюльки для данной работы выполнен ихтиопланктонной конусной сетью (ИКС-80) с борта судна при его циркуляции в период массового нереста в июне в Таганрогском заливе Азовского моря в период 2000-2020 гг. за исключением 2003, 2004, 2012, 2016, 2017 гг., в которые мониторинг не выполнялся. Обловы ИКС-80 осуществлялись в Таганрогском заливе на каждой из 18 станций (рис. 1) в верхних слоях воды (от поверхности до глубины 0,5 м) в течение 5 мин. Сбор проб воды для определения солености Азовского моря, биологического материала и учета гидробиологических показателей произведен по стандартной сетке станций Азовского моря (рис. 1), в соответствии с методикой [12]. Определение солености проведено аргентометрическим методом [6].

Отобранный биологический материал фиксировался 4%-ным раствором формалина и просматривался в полном объеме в лаборатории под биноклем [12]. Определение видовой принадлежности ранней молоди тюльки проводили согласно монографии Коблицкой А.Ф. [13].

В качестве оценок величины нерестового запаса, численности пополнения в возрасте 1+ использовались оценки Азово-Черноморского филиала ФГБНУ «ВНИРО», выполненные на основе лампарных съемок площадным методом прямого учета [14] в период 2000-2020 гг. Полученные многолетние оценки общей биомассы запаса и численности тюльки пересчитаны в когортную

структуру – биомассу и численность по возрастным когортам (1+, 2+, 3+) при помощи биологических данных о возрастной структуре популяции и массовых характеристиках возрастных когорт за каждый год. На основе имеющихся оценок был выполнен расчет продуктивности запаса, характеризующий численность пополнения на единицу биомассы нерестового стада:

$$R/B_t = \frac{R_{t+1}}{B_t}, \quad (1)$$

где R/B – продуктивность запаса;

R – численность пополнения в возрасте созревания;

B – биомасса нерестового запаса;

t – момент времени (год).

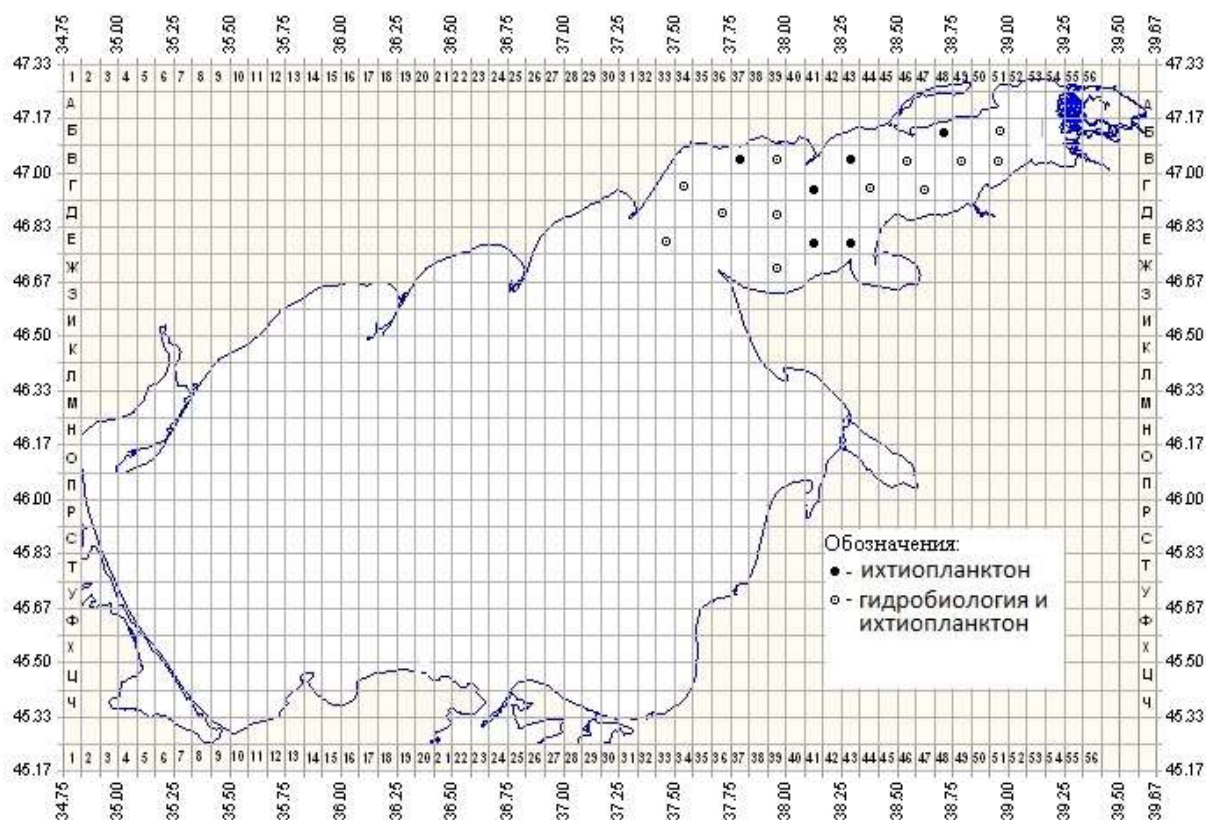


Рисунок 1 – Район исследований и отбора иктиологических и гидрологических проб

Для определения многолетних трендов изменений состояния популяции тюльки и солености Азовского моря выполнен расчет среднегодовых многолетних показателей солености, продуктивности запаса и численности личинки в Таганрогском заливе. Далее выполнялась проверка гипотез наличия связи между:

- продуктивностью запаса тюльки и средней соленостью в Азовском море и Таганрогском заливе в период 2000-2020 гг.,

- средней численностью личинки тюльки в Таганрогском заливе в момент научной съемки и оценками нерестовой биомассой запаса в предшествующий год, породившей ее в период 2000-2020 гг.,

- средней численностью личинки тюльки в Таганрогском заливе в момент ихтиопланктонной съемки и средней соленостью в Азовском море и Таганрогском заливе в период 2000-2020 гг.,

при помощи кросс-корреляционного теста Пирсона [15] в среде R [16] со смещениями рядов данных на максимальный горизонт до 5 лет.

Основываясь на полученных результатах многолетней динамики выполнялся тест проверки пространственных корреляций между показателями солености в Таганрогском заливе и численностью личинки тюльки. Анализ пространственных кросс-корреляций выполнен по новой методике, предложенной китайским исследователем Chen [17]. Суть данной методики заключается в расчете пространственных коэффициентов корреляций (глобальной Пирсона, и локальной частичной корреляции) с учетом пространственной удаленности точек наблюдений друг от друга, для чего выполняется расчет матриц евклидовых, взвешенных расстояний.

Для применения данной методики пространственных кросс-корреляций одним из условий является требование к одинаковому положению точек в пространстве для двух наблюдаемых факторов. Имеющиеся пространственные данные собраны для одной пространственной области, однако по различающейся сетке станций. Для приведения данных к единой стационарной

пространственной сетке была выполнена пространственная интерполяция методом Кригинга в среде R [18], после чего из пространственных непрерывных растров были созданы стационарные сетки матрицы 30×40 ячеек с равным пространственным шагом. Для каждой ячейки в сетке матрицы были вычислены оба значения исследуемых факторов, значения факторов были отмасштабированы на логарифмическую шкалу для устранения высокой вариативности и линейаризации наблюдаемых значений, после чего для этой стационарной сетки выполнен кросс-корреляционный анализ Chen'a. После выполнения анализа пространственных кросс-корреляций были рассчитаны площади областей с различными характерами связи.

Результаты исследования и их обсуждение. Обобщенные результаты обработки многолетних данных гидрологических проб солености в Азовском море и результаты учета личинки тюльки в ходе научного мониторинга представлены на рис. 2. Многолетняя динамика изменения солености (рис. 2а) свидетельствует о устойчивом положительном тренде роста солености начиная с 2007 г. как в акватории Азовского моря, так и в Таганрогском заливе, что хорошо согласуется с работами других исследователей [7, 8]. В отличие от динамики солености, визуальный анализ средней численности личинки (рис. 2б) не указывает на наличие какого-либо устойчивого тренда.

Результаты анализа продуктивности запаса по данным прямого учета представлены на рисунке 3. Многолетняя динамика продуктивности запаса демонстрирует ярко выраженный тренд резкого сокращения начиная с 2008 г. В последние годы в 2017-2019 гг. отмечается умеренная тенденция к увеличению продуктивности запаса.

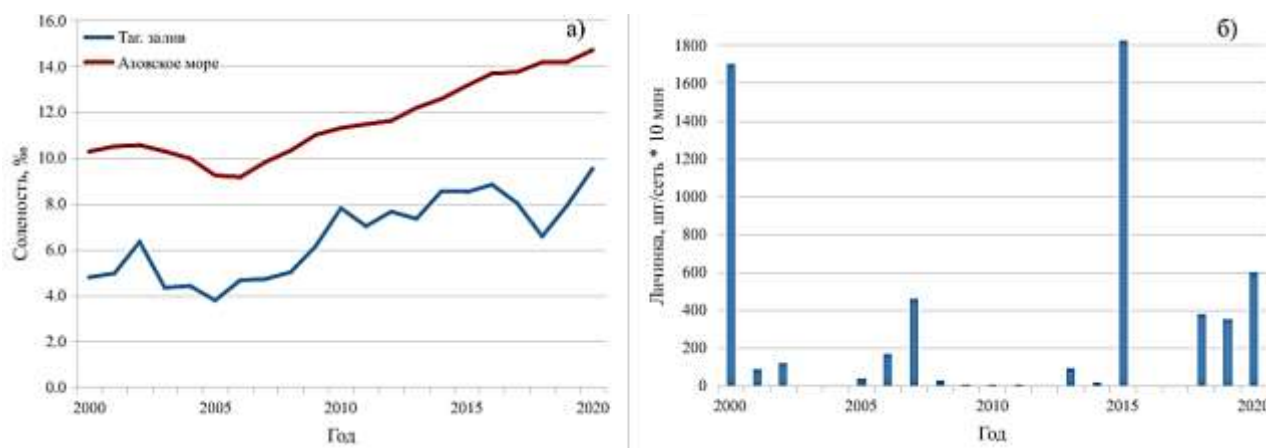


Рисунок 2 – Многолетние показатели солености Азовского моря и Таганрогского залива (а) и средняя численность личинки в уловах ихтиопланктонной сетью в Таганрогском заливе (б)

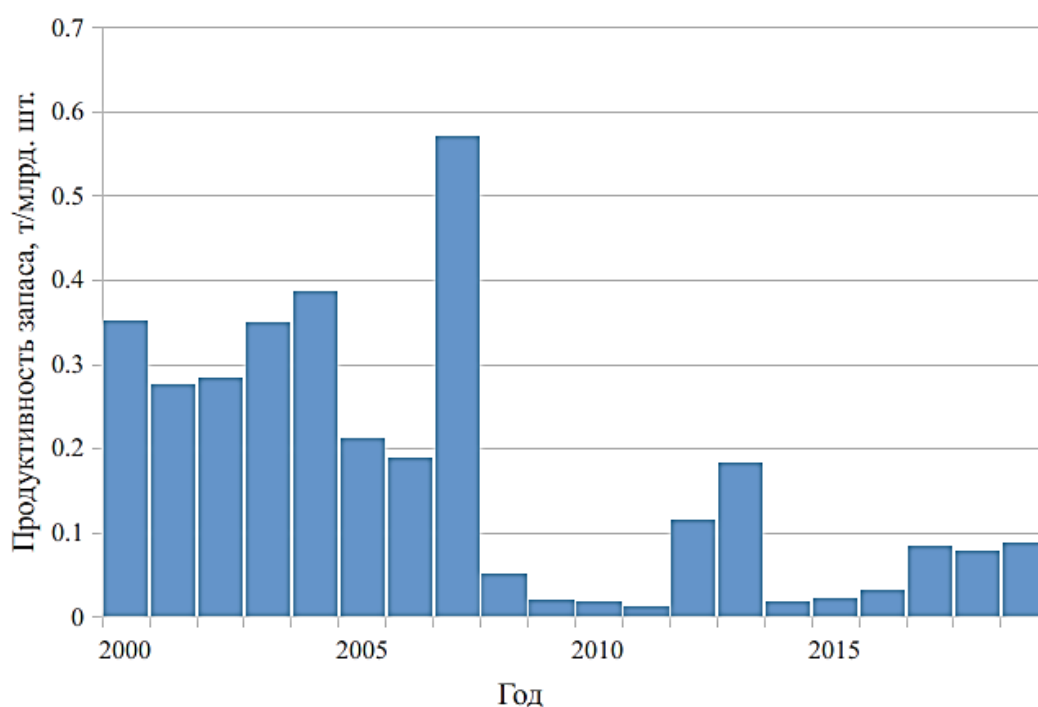


Рисунок 3 – Многолетняя динамика продуктивности нерестового запаса тюльки в Азовском море (млрд шт. пополнения в возрасте 1+ относительно биомассы нерестового запаса в т)

Анализ многолетней динамики численности личинки и продуктивности запаса указывает на наличие разнонаправленных тенденций. Так, в период 2000-

2007 гг. продуктивность нерестового запаса была на высоком уровне (от 0,2 до 0,6 млрд. пополнения на 1 т запаса), а численность личинки за исключением 2001 г. находилась на невысоком уровне (от 42 до 462 шт. в уловах сети за 10 минут). Последующий период 2008-2017 г. имеет частично согласующуюся динамику продуктивности запаса и численности личинки за исключением 2015 г. В период 2017-2019 гг. отмечается соответствие в некотором увеличении продуктивности запаса и численности личинки в Таганрогском заливе.

Проверка гипотез о наличии связи между показателем солености Азовского моря, Таганрогского залива, величиной нерестового запаса, численностью пополнения в возрасте 1+ и численностью личинки, связи между нерестовым запасом и численностью личинки и пополнения при помощи кросс-корреляционного теста со смещением на горизонт до 5 лет представлены на рисунке 4. Выполненный анализ свидетельствует об отсутствии значимой связи между средней численностью личинки тюльки и биомассой нерестового запаса и численностью пополнения в возрасте 1+ за период 2000-2020 гг. (рис. 4 а, б). Такой результат свидетельствует о том, что у популяции азовской тюльки наблюдаются существенные флуктуации уровня естественной смертности в первый год жизни и первоначальное количество личинки имеет существенные флуктуации.

Результаты проверки гипотезы о наличии многолетней связи между показателем солености Азовского моря или Таганрогского залива со средней численностью личинки (рис. 4 в, г) свидетельствуют об ее отсутствии. Такой результат является вполне объяснимым, ведь в многолетнем представлении численность пополнения, как показано ранее, напрямую не связана с численностью личинки, а выживаемость личинки регулируется и другими факторами среды, такими как температура воды и наличие кормовых объектов [2].

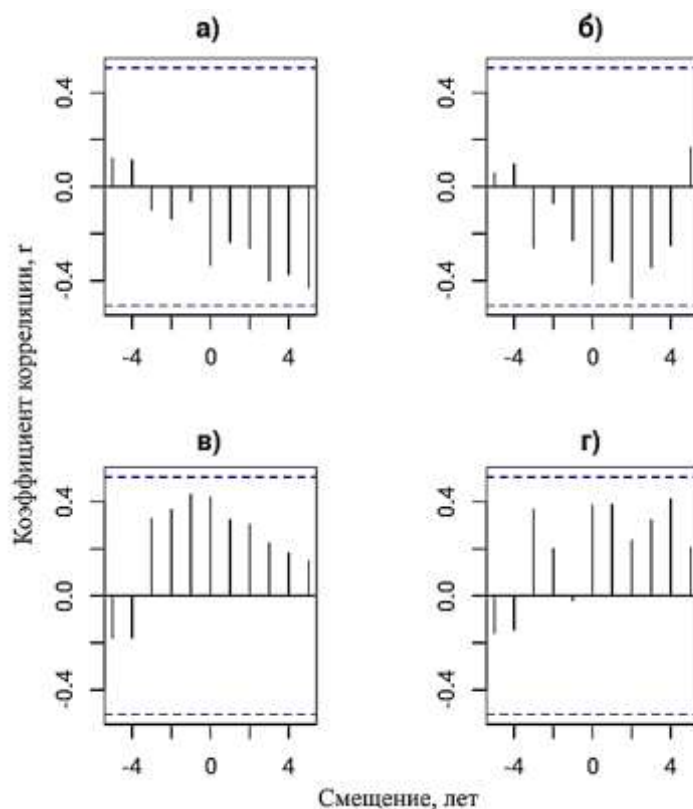


Рисунок 4 – Кросс-корреляционный тест значимости связей со смещением до 5 лет:

- а) средняя численность личинки тюльки и численность пополнения в возрасте 1+;
- б) средняя численность личинки тюльки и нерестовая биомасса запаса;
- в) средняя численность личинки тюльки и средняя соленость в Азовском море;
- г) средняя численность личинки тюльки и средняя соленость в Таганрогском заливе

Результаты проверки наличия связи между запасом и численностью пополнения тюльки в возрасте 1+, продуктивностью запаса и соленостью в Азовском море и Таганрогском заливе представлены на рисунке 5. Выполненный анализ демонстрирует значимую, сильную положительную связь между нерестовой биомассой запаса и численностью пополнения (рис. 5а) вплоть до смещения на 4 года (без смещения $r = 0,77$, максимальная корреляция со смещением на 1 год $r = 0,83$) на уровне значимости $\alpha = 0,05$.

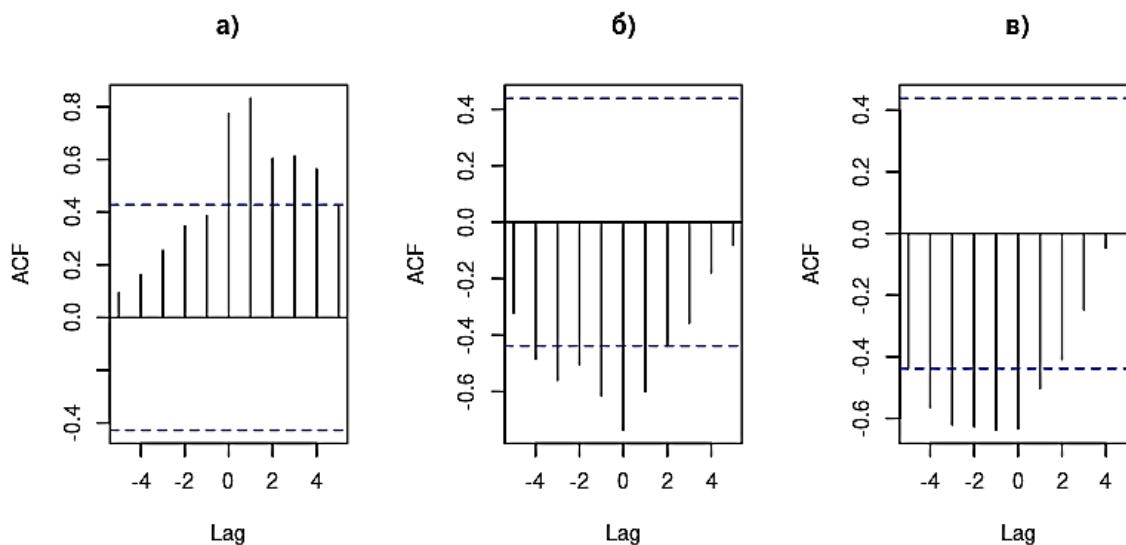


Рисунок 5 – Кросс-корреляционный тест значимости связей со смещением до 5 лет:

- а) нерестовая биомасса запаса тюльки и численность пополнения в возрасте 1+;
- б) продуктивность нерестового запаса тюльки и среднемноголетняя соленость в Таганрогском заливе; в) продуктивность нерестового запаса тюльки и среднемноголетняя соленость в Азовском море

Результаты анализа демонстрируют наличие значимой (на уровне значимости $\alpha = 0,05$), сильной отрицательной связи между продуктивностью запаса и среднемноголетней соленостью как Азовского моря, так и Таганрогского залива (рис. 5 б, в). Коэффициент корреляции между среднемноголетней соленостью Таганрогского залива и продуктивностью запаса тюльки составил $r = 0,74$ (без смещений), такая же связь со среднемноголетними показателями всего Азовского моря – $r = 0,63$ (без смещений). Данная многолетняя динамика свидетельствует о более значимой роли показателя солености Таганрогского залива, чем, собственно всего Азовского моря в формировании продуктивности популяции тюльки.

Учитывая результаты многолетней динамики и выполненного анализа, расчет пространственных корреляций между показателями солености в

Таганрогском заливе и численностью личинки тюльки был выполнен за следующие годы: 2006, 2015, 2018. Выбор моментов времени для детального анализа был обусловлен изменением тренда солености (тренд на рост после 2007 г., рис. 2а) а также нетипичную ситуацию численности личинки и продуктивности запаса в 2015 г. (рис. 2б, рис. 3). 2018 г. для пространственного анализа выбран по причине появления нового тренда в динамике продуктивности запаса и средней численности личинки в Таганрогском заливе. Анализ пространственной кросс-корреляции между показателями солености и средней численностью личинки (рис. 6) показал наличие значимой связи на уровне значимости исследований $\alpha = 0,05$. Устойчивая отрицательная связь между численностью личинки и показателями солености отмечена в центральной части Таганрогского залива за все годы исследования. Такая отрицательная связь является демонстрацией особенностью развития икры и личинки тюльки на ранних стадиях онтогенеза. Соленость в данной части Таганрогского залива варьировала в пределах 4-6 ‰ в 2006 г. и в пределах 7-9 ‰ в 2015 г., что является верхним пределом толерантности выживаемости личинки при выклеве из икры [2, 3]. Таким образом, повышение солености в большей части Таганрогского залива приводит к уменьшению численности встречаемой личинки тюльки.

В 2006 и 2015 г. отмечается наличие областей с положительной корреляцией факторов по мере приближения к стоку р. Дон. В данных областях положительной корреляции соленость колебалась в пределах 2,5-3 ‰ в 2006 г. и 4-6 ‰ в 2015 г. Авторы имеющихся работ не отмечают наличия нижнего предела толерантности икры или личинки тюльки к показателям солености и такая закономерность является необъяснимой. Вероятно, увеличение численности личинки тюльки по мере увеличения солености в данных областях связано с процессом ската личинки тюльки (по течению) и структурой кормового зоопланктона в наиболее распресненной области залива.

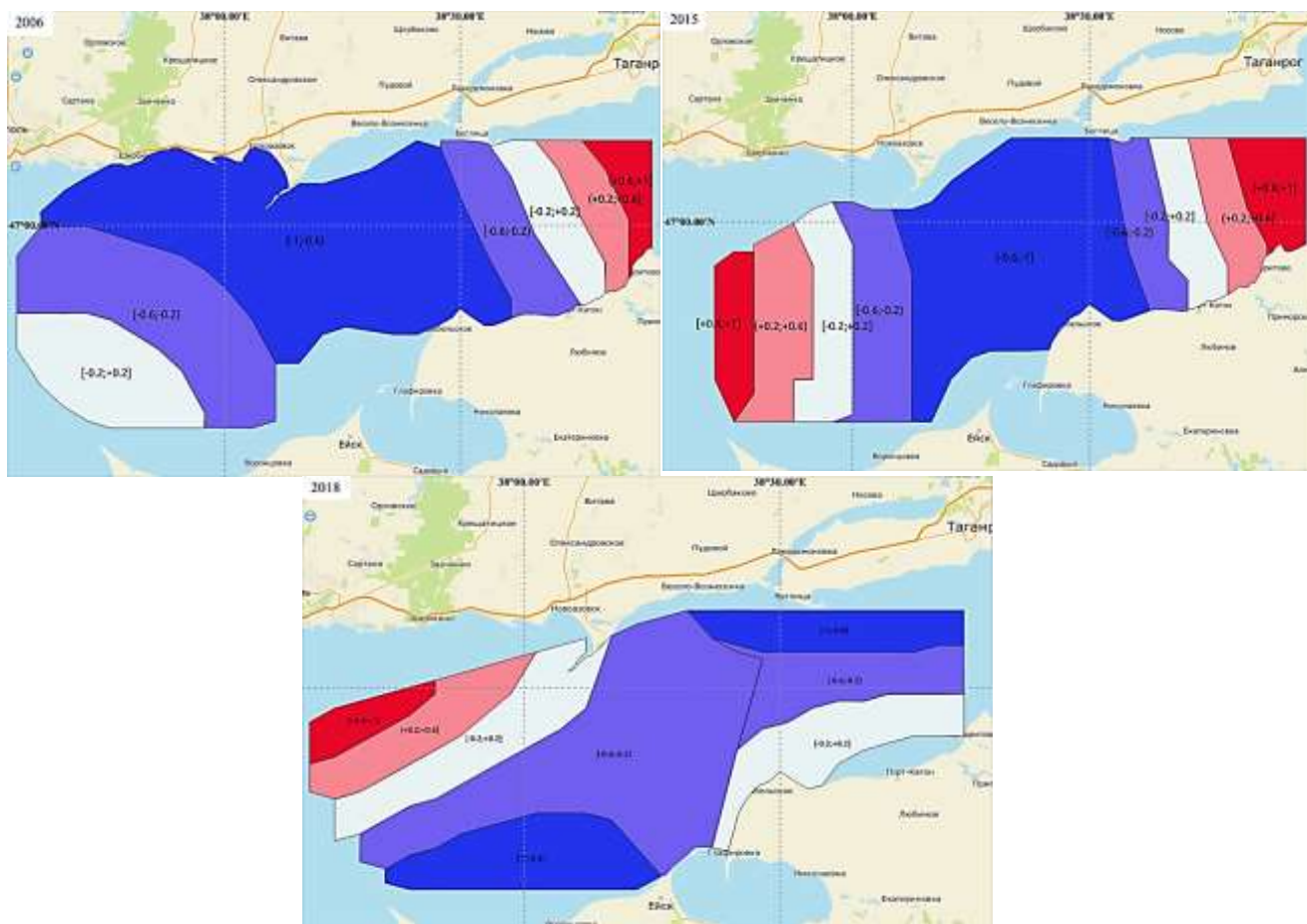


Рисунок 6 – Результаты анализа пространственной корреляции связи численности личинки тюльки и показателя солёности в Таганрогском заливе в 2006, 2015 и 2018 гг.:

- темный синий цвет – отрицательная сильная связь ($r = [-1; -0,6)$),
- светлый синий цвет – области слабой отрицательной связи ($r = [-0,6; -0,2)$),
- белый цвет – области с незначимой связью ($r = [-0,2; +0,2)$),
- розовый цвет – области со слабой положительной связью ($r = (+0,2; +0,6)$),
- красный цвет – положительная сильная связь ($r = (+0,6; +1]$)

Отдельного внимания заслуживает структура областей корреляций показателя солёности с личинкой тюльки в 2018 г. В данный год центральная часть моря так же имела выраженную отрицательную природу связи, однако, по мере приближения к стоку р. Дон более не наблюдались области положительной связи солёности и численности личинки тюльки. В отличие от 2006 и 2015 гг. в области ближе к стоку р. Дон наблюдались более высокие показатели солёности

с наличием распресненных зон (соленость от 2,4 до 7 ‰), что, вероятно, привело к изменению структуры сообществ кормового мезозoopланктона для личинки тюльки.

Таким образом, анализируя результаты пространственных корреляций показателя солености и численности личинки тюльки следует отметить природу стационарности этой связи.

Результаты расчета площадей пространственных корреляций представлены в таблице 1. Аналогично результатам, представленным ранее, прослеживается стационарная природа изучаемой взаимосвязи. Доля площадей с отрицательной степенью корреляции колебалась от 74,0 % в 2006 г. до 57,8 % в 2015 г. и 65,7 % в 2018 г. Доля площадей с положительной корреляцией колебалась от 8,1 % в 2006 г. до 26,9 % в 2015 г. и до уровня 11,8 % в 2018 г. Доля площадей с незначимой корреляцией между показателями солености и численностью личинки тюльки является устойчивой и колеблется в пределах 15,2-22,5 %.

Таблица 1 – Площади пространственных корреляций между показателями солености и численностью личинки тюльки в Таганрогском заливе

Тип связи	Площадь, км ²			Относительные площади, %		
	2006	2015	2018	2006	2015	2018
Отрицательная сильная	1477	1119	615	45,2	39,6	20,4
Отрицательная слабая	940	514	1362	28,8	18,2	45,3
Незначимая	588	430	676	18,0	15,2	22,5
Положительная слабая	150	430	247	4,6	15,2	8,2
Положительная сильная	113	330	109	3,5	11,7	3,6
Площадь в анализе	3268	2823	3009	100,0	100,0	100,0

В целом, рассматриваемые площади с разным направлением связи имеют устойчивую природу во времени: области с отрицательной корреляцией существенно больше областей с положительной корреляцией, а области незначимой связи не имеют существенных отклонений год от года. В рассматриваемый период внимания заслуживают изменения природы связи в

2015 г.: в данный год существенно сократилась площадь отрицательной связи и значительно увеличились области положительной связи.

Существенные изменения площадей с различной направленностью связи между личинкой тюльки и соленостью в Таганрогском заливе в 2015 г., вероятно, обусловлены изменениями в структуре гидробиологических сообществ кормового зоопланктона. Так, по мнению авторов [19] в период с 2006 по 2015 гг. видовое разнообразие зоопланктонных сообществ сократилась в 1,4-1,5 раза, а в абсолютном представлении биомасс в акватории Таганрогского залива стали преобладать морские формы зоопланктона, практически полностью заменив пресноводные. Такие изменения в структуре кормового зоопланктона в конце весны и начале лета (май-июнь), в том числе увеличение биомассы морских форм копепод, вероятно, привели к изменению распределения личинки тюльки в акватории Таганрогского залива, что позволило увеличить ареал нагула. Как показывает анализ, такое распределение личинки в 2015 г. являлось нетипичным – при переходе на активное питание личинка тюльки встречалась в областях вплоть до изогалины солености 11 ‰. Как показал анализ продуктивности запаса во времени (рис. 3), такое нетипичное распределение личинки не способствовало росту продуктивности нерестовой популяции.

Другие авторы, исследующие структуру ихтиоцинозов Азовского моря на фоне изменения солености [20] утверждают, что стремительное многолетнее осолонение Азовского моря и Таганрогского залива привело к резкому сокращению биомассы запаса аборигенных видов (лещ, тарань, судак), что в свою очередь привело к преобладанию короткоцикловых солоноватоводных видов рыб (тюлька, хамса, бычковые), которые составляют основу промысловой ихтиофауны. Результаты данного исследования показывают обратное – увеличение показателей солености в Азовском море негативно влияют на продуктивность нерестового запаса. Негативное влияние выражается уменьшением численности пополнения на единицу нерестового запаса и снижением численности личинки в акваториях Таганрогского залива с высокими

показателями солености.

Выводы. Выполненный анализ по вектору времени взаимосвязи показателей солености Азовского моря, Таганрогского залива и параметров популяции тюльки позволил доказать наличие устойчивой связи параметра продуктивности нерестового запаса и многолетними изменениями показателя солености как Азовского моря ($r = 0,63$) так и Таганрогского залива ($r = 0,74$). Многолетнюю связь между показателями солености и численностью личинки тюльки доказать не удалось.

Пространственный кросс-корреляционный анализ показал наличие значимой связи между показателями солености и численностью личинки тюльки в Таганрогском заливе в 2006, 2015, 2018 гг. Природа связи является стационарной. В рассмотренные годы в большей части Таганрогского залива наблюдалась отрицательная связь между фактором солености и численностью личинки. Положительная связь отмечена лишь для областей, в которых, вероятно, численность личинки тюльки регулируется другим показателем – доступностью кормовых объектов.

Список использованной литературы:

1. Чащин А.К., Дубовик В.Е., Негода С.А., Чащина А.В. Состояние промысловых популяций азовских пелагических рыб в условиях воздействия желетелых гидробионтов-вселенцев // Современные рыбохозяйственные и экологические проблемы Азово-Черноморского региона. 2012. № 1. С. 36-44.
2. Пинус Г.Н. О причинах колебания численности Азовской тюльки // Труды Всесоюзного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО). 1970. Т. 71. С. 180-191.
3. Луц Г.И. Условия существования, особенности формирования запасов и промысел азовской тюльки. Ростов-на Дону: ФГУП «АзНИИРХ», 2009. 118 с.
4. Световидов А.Н. Рыбы Черного моря. М.-Л.: Наука, 1964. 552 с.
5. Михман А.С. Некоторые данные по питанию азовской тюльки *Clupeonella delicatula* и роли кормового фактора в колебании её численности // Вопросы ихтиологии. 1969. Т. 9. Вып. 5 (58). С. 778-886.
6. Куропаткин А.П., Шишкин В.М., Бурлачко Д.С., Карманов В.Г., Жукова С.В., Подмарева Т.И., Лутынская Л.А. Современные и перспективные изменения солености Азовского моря // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2015. № 11. С. 7-16.
7. Бердников С.В., Дашкевич Л.В., Кулыгин В.В. Климатические условия и гидрологический режим Азовского моря в XX-начале XXI вв. // Водные биоресурсы и среда обитания. 2019. Т. 2. № 2. С. 7-19. DOI: 10.47921/2619-1024_2019_2_2_7.
8. Жукова С.В., Шишкин В.М., Карманов В.Г., Бурлачко Д.С., Подмарева Т.И., Лутынская Л.А., Тарадина Е.А. Водно-экологические проблемы Азовского моря как трансграничного

водного объекта и пути их решения // Сб. материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Трансграничные водные объекты: использование, управление, охрана». Новочеркасск: Лик, 2021. С. 137-143.

9. Студеникина Е.И., Мирзоян З.А., Сафронова Л.М., Фроленко Л.Н., Мартынюк М.Л., Марушко Е.А. Характеристика биологических сообществ Азовского моря по результатам исследований 2010-2011 гг. // Осн. пробл. рыбн. хоз-ва и охраны рыбохоз. водоемов Азово-Черноморского бас. (2010-2011 гг.): сб. науч. тр. АзНИИРХ. Ростов-н/Д. 2012. С. 253-271.
10. Надолинский В.П., Надолинский Р.В. Изменения в видовом составе и численности ихтиопланктона Азовского и северо-восточной части Черного морей в период 2006-2017 гг. под воздействием природных и антропогенных факторов // Водные биоресурсы и среда обитания. 2018. Т. 1. № 1. С. 51-66. DOI: 10.47921/2619-1024_2018_1_1_51.
11. Будниченко Э.В. Условия нагула планктоноядных рыб Азовского моря в период вселения гребневика *Mnemiopsis leidyi* в 1993-2000 годах // Труды ЮгНИРО. 2004. Т. 45. С. 21-27.
12. Воловик С.П., Корпакова И.Г. (под ред.). Методы рыбохозяйственных и природоохранных исследований в Азово-Черноморском бассейне. Краснодар, 2005. 375 с.
13. Коблицкая А.Ф. Определитель молоди пресноводных рыб. М.: Лёгкая и пищевая промышленность, 1981. 208 с.
14. Аксютин З.М. Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях. М.: Пищевая промышленность. 1968. 288 с.
15. Brockwell P.J., Davis R.A. Time Series: Theory and Methods, 2nd Edition. Springer Verlag. 1991. 596 p.
16. R Foundation for Statistical Computing. 2022. URL: <https://www.R-project.org/> (дата обращения: 12.04.2022).
17. Chen Y. A new methodology of spatial cross-correlation analysis // PLoS One. 2015. Vol. 10. No. 5. P. e0126158. DOI: 10.1371/journal.pone.0126158.
18. Hiemstra P.H., Pebesma, E.J., Twenhöfel, C.J., Heuvelink G.B. Real-time automatic interpolation of ambient gamma dose rates from the Dutch radioactivity monitoring network // Computers & Geosciences. 2009. Vol. 35. No. 8. P. 1711-1721. DOI: 10.1016/j.cageo.2008.10.011.
19. Афанасьев Д. Ф., Мирзоян З.А., Мартынюк М.Л., Хренкин Д.В., Шляхова Н.А., Бычкова М.В., Жукова С.В. Раннелетний зоопланктон Азовского моря в период осолонения // Биология внутренних вод. 2019. №. 2. С. 51-60. DOI: 10.1134/S0320965219030033.
20. Балыкин П.А., Куцын Д.Н., Орлов А.М. Изменения солености и видового состава ихтиофауны в Азовском море // Океанология. 2019. Т. 59. №. 3. С. 396-404. DOI: 10.31857/S0030-1574593396-404.

References:

1. Chashchin A.K., Dubovik V.E., Negoda S.A., Chashchina A.V. Sostoyanie promyslovykh populyatsii azovskikh pelagicheskikh ryb v usloviyakh vozdeistviya zheletelykh gidrobiontov-vselentsev [The state of Azov pelagic commercial fishery populations under the conditions of the impact of jelly ctenophora invaders]. *Sovremennye rybokhozyaistvennyye i ekologicheskie problemy Azovo-Chernomorskogo regiona* [Current fishery and environmental problems of the Azov-Black Sea Region], 2012, no. 1, pp. 36-44. (In Russian).
2. Pinus G.N. O prichinakh kolebaniya chislennosti Azovskoi tyul'ki [About the causes of fluctuations in the numbers of the Azov tyulka]. *Trudy Vsesoyuznogo nauchno-issledovatel'skogo instituta morskogo rybnogo khozyaistva i okeanografii (VNIRO)* [Proceedings of the All-union scientific research institute of fisheries and oceanography], 1970, vol. 71, pp. 180-191. (In Russian).
3. Luts G.I. *Usloviya sushchestvovaniya, osobennosti formirovaniya zapasov i promysel azovskoi*

- tyul'ki* [Conditions of existence, features of the formation of stocks and fishing of the Azov tyulka]. Rostov-on-Don Publ., «AzNIIRKh», 2009, 118 p. (In Russian).
4. Svetovidov A.N. *Ryby Chernogo morya* [Black sea fishes]. Nauka Publ., 1964, 552 p. (In Russian).
 5. Mikhman A.S. Nekotorye dannye po pitaniyu azovskoi tyul'ki *Clupeonella delicatula* i roli kormovogo faktora v kolebanii ee chislennosti [Some data on the diet of the Azov sea tyulka *Clupeonella delicatula* and the role of the feed factor in the fluctuation of its numbers]. *Voprosy ikhtiologii* [Questions of ichthyology], 1969, vol. 9, no. 5 (58), pp. 778-886. (In Russian).
 6. Kuropatkin A.P., Shishkin V.M., Burlachko D.S., Karmanov V.G., Zhukova S.V., Podmareva T.I., Lutynskaya L.A. Sovremennye i perspektivnye izmeneniya solenosti Azovskogo morya [Present-day and prospective changes of the Azov Sea salinity]. *Zashchita okruzhayushchei sredy v neftegazovom komplekse* [Environmental protection in oil and gas complex], 2015, no. 11, pp. 7-16. (In Russian).
 7. Berdnikov S.V., Dashkevich L.V., Kulygin V.V. Klimaticheskie usloviya i gidrologicheskii rezhim Azovskogo morya v XX-nachale XXI vv. [Climatic conditions and hydrological regime of the sea of Azov in the XX – early XXI centuries]. *Vodnye bioresursy i sreda obitaniya* [Aquatic Bioresources & Environment], 2019, vol. 2, no. 2, pp. 7-19. (In Russian). DOI: 10.47921/2619-1024_2019_2_2_7.
 8. Zhukova S.V., Shishkin V.M., Karmanov V.G., Burlachko D.S., Podmareva T.I., Lutynskaya L.A., Taradina E.A. Vodno-ekologicheskie problemy Azovskogo morya kak transgranichnogo vodnogo ob"ekta i puti ikh resheniya [Water and environmental problems of the Sea of Azov as a transboundary water body and ways to solve them]. *Sbornik materialov Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Transgranichnye vodnye ob"ekty: ispol'zovanie, upravlenie, okhrana»* [Collection of materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation “Trans-boundary water bodies: use, management, conservation”]. Novocherkassk, Lik Publ., 2021, pp. 137-143. (In Russian).
 9. Studenikina E.I., Mirzoyan Z.A., Safronova L.M., Frolenko L.N., Martynyuk M.L., Marushko E.A. Kharakteristika biologicheskikh soobshchestv Azovskogo morya po rezul'tatam issledovaniy 2010-2011 gg [Characteristics of biological communities and food resources of the Azov sea based on the results of studies conducted in 2010-2011]. *Sbornik nauchnykh trudov AzNIIRKh «Osn. probl. rybn. khoz-va i okhrany rybokhoz. vodoemov Azovo-Chernomorskogo bas. (2010-2011 gg.)»* [Proceedings of AzNIIRKH “The main problems of fisheries and protection of fishery reservoirs of the Azov-Black Sea basin”]. Rostov-on-Don, 2012, pp. 253-271. (In Russian).
 10. Nadolinskii V.P., Nadolinskii R.V. Izmeneniya v vidovom sostave i chislennosti ikhtioplanktona Azovskogo i severo-vostochnoi chasti Chernogo morei v period 2006-2017 gg. pod vozdeistviem prirodnykh i antropogennykh faktorov [Changes in species composition and abundance of ichthyoplankton in the Azov Sea and north-eastern Black Sea during 2006–2017 under conditions of natural and anthropogenic factors]. *Vodnye bioresursy i sreda obitaniya* [Aquatic Bioresources & Environment], 2018, vol. 1, no. 1, pp. 51-66. (In Russian). DOI: 10.47921/2619-1024_2018_1_1_51.
 11. Budnichenko E.V. Usloviya nagula planktonoyadnykh ryb Azovskogo morya v period vseleniya grebnevika *Mnemiopsis leidyi* v 1993-2000 godakh [Feeding conditions of plankton-eating Azov Sea fishes in the period of ctenophore *Mnemiopsis leidyi* introduction in 1993-2000]. *Trudy YugNIRO* [YugNIRO Proceedings], 2004, vol. 45, pp. 21-27. (In Russian).
 12. Volovik S.P., Korpakova I.G. (ed.) *Metody rybokhozyaystvennykh i prirodookhrannykh issledovaniy v Azovo-Chernomorskom basseine* [Methods of fisheries and environmental research in the Azov-Black Sea basin]. Krasnodar, 2005, 375 p. (In Russian).
 13. Koblitskaya A.F. *Opredelitel' molodi presnovodnykh ryb* [The determinant of juvenile freshwater fish]. Moscow, Legkaya i pishchevaya promyshlennost' Publ., 1981, 208 p. (In Russian).
 14. Aksyutina Z.M. *Elementy matematicheskoi otsenki rezul'tatov nablyudenii v biologicheskikh i*

- rybokhozyaistvennykh issledovaniyakh* [Elements of mathematical evaluation of the results of observations in biological and fisheries research]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost' Publ., 1968, 288 p. (In Russian).
15. Brockwell P.J., Davis R.A. Time Series: Theory and Methods, 2nd Edition. *Springer Verlag*, 1991, 596 p. (In English).
 16. R Foundation for Statistical Computing. 2022. (In English). Available at: <https://www.R-project.org/> (accessed 12.04.2022).
 17. Chen Y. A new methodology of spatial cross-correlation analysis. *PLoS One*, 2015, vol. 10, no. 5, pp. e0126158. (In English). DOI: 10.1371/journal.pone.0126158.
 18. *Hiemstra P.H., Pebesma, E.J., Twenhöfel, C.J., Heuvelink G.B.* Real-time automatic interpolation of ambient gamma dose rates from the Dutch radioactivity monitoring network. *Computers & Geosciences*, 2009, vol. 35, no. 8, pp. 1711-1721. (In English). DOI: 10.1016/j.cageo.2008.10.011.
 19. Afanas'ev D. F., Mirzoyan Z.A., Martynyuk M.L., Khrenkin D.V., Shlyakhova N.A., Bychkova M.V., Zhukova S.V. Ranneletnii zooplankton Azovskogo morya v period osoloneniya [Early summer zooplankton in the Sea of Azov during the period of its salinization]. *Biologiya vnutrennikh vod* [Inland water biology], 2019, no. 2, pp. 51-60. (In Russian). DOI: 10.1134/S0320965219030033.
 20. Balykin P.A., Kutsyn D.N., Orlov A.M. Izmeneniya solenosti i vidovogo sostava ikhtiofauny v Azovskom more [Changes in salinity and species composition of ichthyofauna in the Sea of Azov]. *Okeanologiya* [Oceanology], 2019, vol. 59, no. 3, pp. 396-404. (In Russian). DOI: 10.31857/S0030-1574593396-404.

Сведения об авторах / Information about authors

Пятинский Михаил Михайлович	Руководитель группы математического моделирования и прогноза Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» 344002, г. Ростов-на-Дону, ул. Береговая, 21в pyatinskiy_m_m@azniirkh.ru
Piatinskii Mikhail Mikhailovich	Chief of math modeling & forecast group Azov-Black Sea Branch FSBSI “VNIRO” (“AzNIIRKH”) 344002, Rostov-on-Don, Beregovaya str., 21 pyatinskiy_m_m@azniirkh.ru
Надолинский Виктор Петрович	Заведующий лабораторией морских рыб Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ») 344002, г. Ростов-на-Дону, ул. Береговая, 21в nadolinskii_v_p@azniirkh.ru
Nadolinskii Viktor Petrovich	Head of the laboratory maritime fish Azov-Black Sea Branch FSBSI “VNIRO” (“AzNIIRKH”) 344002, Rostov-on-Don, Beregovaya str., 21 nadolinskii_v_p@azniirkh.ru
Жукова Светлана Витальевна	Заведующая лабораторией гидрологии Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ») 344002, г. Ростов-на-Дону, ул. Береговая, 21в zhukova_s_v@azniirkh.ru
Zhukova Svetlana Vitalievna	Head of the hydrologic laboratory Azov-Black Sea Branch FSBSI “VNIRO” (“AzNIIRKH”) 344002, Rostov-on-Don, Beregovaya str., 21 zhukova_s_v@azniirkh.ru
Надолинский Роман Викторович	Специалист лаборатории морских рыб, Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ») 344002, г. Ростов-на-Дону, ул. Береговая, 21в

Nadolinskii Roman Viktorovich	Specialist of the laboratory maritime fish Azov-Black Sea Branch FSBSI "VNIRO" ("AzNIIRKH") 344002, Rostov-on-Don, Beregovaya str., 21
Бурлачко Дмитрий Сергеевич	Главный специалист лаборатории Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ») 344002, г. Ростов-на-Дону, ул. Береговая, 21в
Burlachko Dmitrii Sergeevich	Lead specialist of the laboratory of hydrology Azov-Black Sea Branch FSBSI "VNIRO" ("AzNIIRKH") 344002, Rostov-on-Don, Beregovaya str., 21
Козоброд Инна Дмитриевна	Заведующая лаборатории проходных и полупроходных рыб Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» 344002, г. Ростов-на-Дону, ул. Береговая, 21в kuznecovainna1811@yandex.ru
Kozobrod Inna Dmitrievna	Head of laboratory of anadromous & semi-anadromous fishes Azov-Black Sea Branch FSBSI "VNIRO" ("AzNIIRKH") 344002, Rostov-on-Don, Beregovaya str., 21 kuznecovainna1811@yandex.ru