

## Биогеографическая оценка влияния климатических изменений на региональные особенности развития репродуктивной системы *Mullus barbatus ponticus*

Е. Б. Мельникова<sup>1</sup>✉, А. В. Мельников<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт природно-технических систем ФГБНУ, Российская Федерация  
(299011, г. Севастополь, ул. Ленина, 28)

<sup>2</sup>Севастопольский государственный университет, Российская Федерация  
(299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33)

**Аннотация.** Цель исследования – выявить региональную изменчивость гонадосоматического индекса барабули *Mullus barbatus ponticus* (Essipov, 1927) и его связь с климатическими тенденциями в Черноморско-Средиземноморском бассейне.

**Материалы и методы.** В основу работы положены биогеографические исследования в условиях водной экосистемы, в частности, результаты полных биологических анализов барабули, отловленной на юго-западном шельфе Крыма. Пробы были взяты в 2015-2023 гг. Гонадосоматический индекс (ГСИ) и стадию зрелости гонад оценивали по стандартным методикам. Достоверность различий параметров оценивали с помощью t-критерия Стьюдента.

**Результаты и обсуждение.** Климатические изменения за исследуемый период 2015-2023 гг. показали, что колебания среднегодовой температуры поверхности моря (ТПМ) в Черном море выше, чем в Эгейском и Средиземном морях. Получено, что в северо-западной части Черного моря коэффициент корреляции между изменениями ГСИ и температурой в нерестовый период и у барабули составляет  $r \approx 0,7$ . Показано, что климатические изменения как в Черном море, так и в Средиземноморском бассейне влияют на сроки и интенсивность нереста.

**Заключение.** С учетом климатических изменений в 2015-2023 гг. в Черном море у барабули наблюдалось смещение сроков нереста с поздневесенних на ранневесенние с наибольшим значением ГСИ в июне и резким падением в июле при температуре выше 24-25 °С. В средиземноморских морях нерест был более продолжительным.

**Ключевые слова:** Средиземноморский бассейн, температура поверхности моря, барабуля, гонадосоматический индекс, повышение температуры.

**Источник финансирования:** Исследование выполнено в рамках госзадания ИПТС: 124020100120-9.

**Благодарность:** Авторы выражают благодарность с.н.с. ФИЦ ИнБЮМ к.б.н. Кузьминовой Н. С. Эта работа стала одной из последних. Она ушла из жизни очень неожиданно в 45 лет. Все эти годы Наталья Станиславовна принимала активное участие в обработке ихтиологического материала, биологического анализа рыб и расчета всех параметров. Авторы выражают благодарность рыбакам малого флота ФИЦ ИнБЮМ, а также рыбколхоза «Путь Ильича» за предоставленный материал.

**Для цитирования:** Мельникова Е. Б., Мельников А. В. Биогеографическая оценка влияния климатических изменений на региональные особенности развития репродуктивной системы *Mullus barbatus ponticus* // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2026, № 1, с. 30-36. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2026/1/30-36>

### ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия ученые всего мира активно изучают влияние климата на изменения сухопутной и водной экосистем. Изменение климата в Черноморском регионе, как и в Средиземном море, проявляется в основном в летний период, в течение которого по всей его территории отмечается статистически значимый положительный тренд температуры, достигающий 1 °С за 10 лет [1, 2, 4, 6, 13, 14, 21].

Температура поверхности моря (ТПМ) является одним из главных факторов, влияющих на изменения репродуктивной биологии рыб [14]. Количественную оценку репродуктивной способности, с учетом воздей-

ствия различных факторов среды обитания, позволяет дать гонадосоматический индекс (ГСИ). Этот параметр достаточно хорошо иллюстрирует сезонные и межгодовые изменения состояния гонад в процессе развития репродуктивной системы с учетом экологического состояния среды обитания [12, 16, 18].

Изучение влияния климатических факторов на репродуктивную систему теплолюбивых рыб проведём на примере барабули, обитающей на глубинах 15–30 м, и имеющей большое экономическое значение в рыболовстве прибрежных средиземноморских стран.

Несмотря на имеющиеся публикации на эту тему [3, 5, 15, 17], изучение многолетних изменений ГСИ у те-

© Мельникова Е. Б., Мельников А. В., 2026.

✉ Мельникова Елена Борисовна, e-mail: [helena\\_melnikova@mail.ru](mailto:helena_melnikova@mail.ru)



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

плодобию видов рыб, обитающих в морях Средиземноморского бассейна, с учетом тенденции повышения ТПМ, изучено недостаточно полно.

Цель исследования – выявить региональную изменчивость развития репродуктивной системы барабули *Mullus barbatus ponticus*, Essipov, 1927, оцениваемую по изменению гонадосоматического индекса, и её связь с климатическими тенденциями в Черноморско-Средиземноморском бассейне в 2015-2023 гг.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В основу работы положены биогеографические исследования, в частности, результаты результатов полных биологических анализов барабули *Mullus barbatus ponticus*, Essipov, 1927, отловленной на юго-западном шельфе Крыма. Пробы были взяты в 2015-2023 гг. Выборка состояла из 10-20 свежесловленных разновозрастных особей. Всего было исследовано 2707 особей барабули.

Измеряли общую и стандартную длины, массу, массу рыбы без внутренностей, определяли возраст, пол, стадию зрелости и массу половых продуктов. Возраст рыб определяли по отолитам. Массу рыб определяли с погрешностью до 0,1 г, массу гонад – с погрешностью до 0,01 г.

Гонадосоматический индекс (ГСИ) и стадию зрелости гонад оценивали по стандартным методикам [7]. Достоверность различий параметров оценивали с помощью t-критерия Стьюдента.

Информация о температуре воды в районе Крыма получена из Севастопольского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Севастопольский ЦГМС). Информация о температуре воды в Средиземноморском бассейне получена с помощью спутника ODYSSEA [<http://blacksea-map.ru/sst/doc/start.html>].

Результаты исследований, проведенных в 2015-2023 гг. на юго-западном шельфе Крыма сравнивали с литературными данными более ранних лет, полученных в Эгейском, Средиземном, Адриатическом и Черном морях.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для выявления связи тенденций температурного режима морской воды и репродуктивной системы рыб, оцениваемой по индексу ГСИ, вначале было проведено сопоставление среднегодовых значений температуры воды в пяти районах, включая два района Черного моря (северо-западная и юго-восточная часть), Средиземное (район Туниса), Эгейское (район Измира) и Адриатическое (район Бриндизи) моря.

На рисунке 1 изображены за период с 2015 по 2023 гг. среднегодовые значения ТПМ (изображены сплошными линиями) и найденные линейные тренды изменения ТПМ (изображены пунктирными линиями), а уравнения этих трендов представлены в таблице 1.

Из трендов (см. рис. 1) видно, что во всех морских регионах наблюдалась общая тенденция повышения среднегодовых значений температуры морской воды, а также одинаковый характер изменения температуры по годам с учетом региональных особенностей. Наименьшие колебания ТПМ наблюдались в Средиземном море, а наибольшие – в Черном море.

Значения среднегодовой температуры поверхности моря и средняя скорость изменения среднегодовой ТПМ приведены в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что наибольшая за исследуемый период средняя температура воды наблюдалась в Средиземном море, а наименьшая – в северо-западной части Черного моря и несмотря на самую низкую среднегодовую температуру воды в северо-западной части Черного моря (15,9 °С), повышение температуры за год

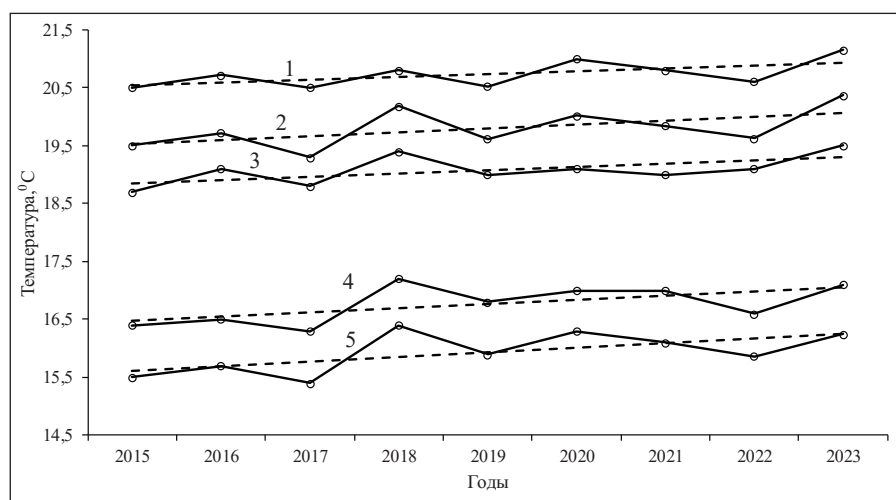


Рис. 1. Изменения среднегодовой температуры воды за период с 2015 по 2023 гг. в пяти районах исследования: 1 – Средиземное; 2 – Эгейское; 3 – Адриатическое моря; 4 – Черное море (юго-восточная часть); 5 – Черное море (северо-западная часть)

[Fig. 1. Changes in average annual water temperature for the period from 2015 to 2023 in five study areas: 1 – Mediterranean Sea; 2 – Aegean Sea; 3 – Adriatic Sea; 4 – Black Sea (South-Eastern part); 5 – Black Sea (North-Western part)]

Таблица 1

Основные показатели изменения ТПМ для исследуемых районов: Средиземное море (1), Эгейское море (2), Адриатическое море (3), юго-восточная часть Черного моря (4) и северо-западная часть Черного моря (5)

[Table 1. Main indicators of sea surface temperature changes for the studied areas: Mediterranean Sea (1), Aegean Sea (2), Adriatic Sea (3), South-Eastern part of the Black Sea (4), North-Western part of the Black Sea (5)]

Показатели / Indicators	Район исследования / Study area				
	1	2	3	4	5
Среднегодовая температура, °С	20,7±0,04	19,8±0,09	19,0±0,10	16,8±0,12	15,9±0,14
Темпы повышения температуры, °С/год	0,0507±0,0084	0,0688±0,010	0,055±0,011	0,0717±0,013	0,0797±0,012
Усреднённое повышение температуры за 9 лет (2015-2023), °С	0,405	0,550	0,44	0,574	0,638
Уравнения трендов изменения температуры	$y=0,051x+20,48$ $R^2=0,36$	$y=0,069x+19,45$ $R^2=0,31$	$y=0,055x+17,23$ $R^2=0,35$	$y=0,072x+16,41$ $R^2=0,36$	$y=0,079x+15,53$ $R^2=0,38$

и за 9 лет (2015-2023 гг.) являются самыми высокими по сравнению с другими районами исследования.

Нерест семейства барабулевых порционный и во многом зависит от гидрологических условий года, в среднем длится с мая по сентябрь, когда температура воды колеблется в сравнительно небольших пределах – от 15 до 24 °С. Половое созревание самцов наступает в конце первого года, а самок – в начале второго года жизни [5, 18].

На рисунке 2 изображены полученные среднемесячные значения ГСИ отдельно для самок и самцов барабули, а также ТПМ в районе проведения исследований в период с мая по сентябрь за 2017 г. (с температурой ниже средней за исследуемый период) и за 2018 г. (с температурой выше средней за исследуемый период).

В мае месяце с повышением температуры до 14,5-15 °С происходит активное созревание половых клеток у самцов и самок барабули. В уловах 2017 г. встречались самки с IV-V стадией зрелости (в среднем более 65 %).

В 2017 г. пик нереста наблюдался в июне месяце. В июле при повышении ТПМ по сравнению с июнем значение ГСИ у самок и самцов начинает немного снижаться. Дальнейшее снижение ГСИ наблюдалось также в августе (при ТПМ 24,3 °С) и сентябре (при

ТПМ 22,6 °С). В сентябре, после завершения вымета половых продуктов, встречались рыбы со стадиями зрелости – VI и VI-II. При этом по сравнению с пиком нереста средние значения ГСИ у самок уменьшилось в 2,37 раза, а самцов 2,87 раза (см. рис. 2). Сроки нереста составили 5 месяцев.

В мае 2018 г. при среднемесячной температуре 17,6 °С доля нерестящихся самок и самцов возросла и составляла в уловах более 70 %. В июне основную массу в уловах составляли рыбы со стадией зрелости V. В 2018 г. ТПМ повышалась быстрее и уже в июле достигла 24,2 °С при такой ТПМ в июле ГСИ начал резко снижаться и уменьшился у самок в 1,5, а у самцов в 2 раза. В августе при дальнейшем повышении температуры воды в среднем выше 25 °С нерест практически прекратился и его сроки сократились до двух-трех месяцев.

В наших исследованиях пик созревания у самок и самцов барабули наблюдался в июне при средней температуре морской среды 20,6 °С (2017 г.) и 22,1 °С (2018 г.) (см. рис. 2). В этот период в уловах встречается до 90 % нерестящихся рыб.

Резюмируя выше сказанное, можно отметить, что в годы, когда температура воды в нерестовый период не превышает 24 °С, продолжительность нереста у рыб

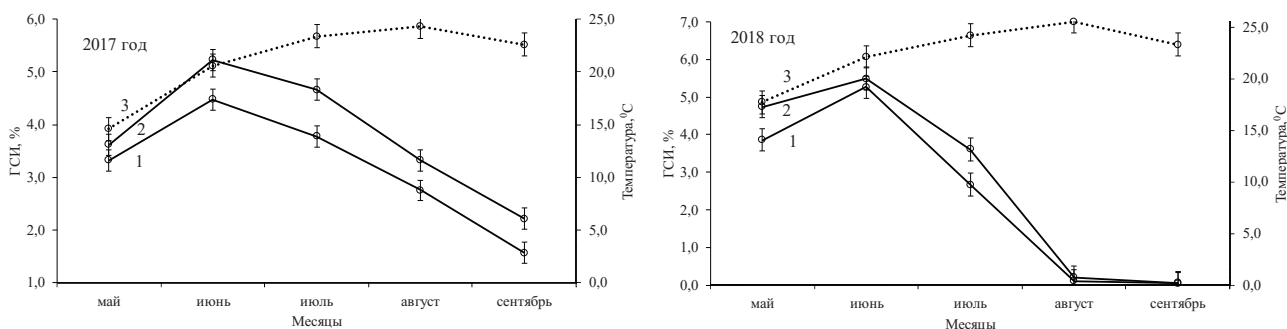


Рис. 2. Среднемесячные значения ГСИ самцов (1), самок (2) барабули и температуры воды (3) в нерестовый период (2017 и 2018 гг.) и их среднеквадратические отклонения

[Fig. 2. Average monthly values of GSI of males (1), females (2) of *M. barbatus ponticus* and water temperature (3) during the spawning period (2017 and 2018) and their standard deviations]

составляет в среднем 4-5 месяцев, и наибольшие значения ГСИ наблюдаются в июне, а в годы с высокими ТПМ продолжительность нереста сокращается до 2-3 месяца с пиком нереста и наибольшим ГСИ в июне.

Наши результаты, полученные в 2015-2023 гг., подтвердили данные, полученные ранее Л. С. Овен [18] о том, что в Черном море у барабули наибольшие значения ГСИ наблюдаются в июне (июле) со значительным спадом в августе. Однако, если в 2003-2007 гг. с более низкими температурами в нерестовый период наибольшее значение ГСИ наблюдалось в июне, а в некоторые годы и в июле, то в наших исследованиях максимальное значение ГСИ наблюдалось только в июне (см. рис. 2). Помесячное сравнение изменений ГСИ показывает, что в более ранние годы (2003-2007) среднегодовое значение ГСИ самок в мае было примерно на 10 % ниже, чем в годы наших более поздних исследований.

Проведенные расчеты показали, что для обоих полов барабули коэффициент корреляции между изменениями межгодового показателя ГСИ и изменениями межгодовой ТПМ в нерестовый период составляет  $r \approx 0,70$ .

Вследствие этого можно ожидать, что при дальнейшем повышении ТПМ, связанного с изменением климата, нарастание индекса ГСИ и нерест теплолюбивых видов рыб будет смещаться на более ранние сроки.

Сравнительный анализ наших данных с литературными данными из других регионов Средиземноморского бассейна показал следующие результаты (табл. 2).

В морях, находящихся в субтропическом климатическом поясе с особым средиземноморским типом климата, нарастание ГСИ и начало нерестового периода наблюдается в более ранние сроки, чем в прибрежных водах юго-западного шельфа Крыма с умеренно континентальным климатом.

Так, в Эгейском море (при среднегодовой температуре 19,5 °С) увеличения значений ГСИ происходят в основном с марта при достижении температуры воды 15,0 °С по июнь (среднемесячная температура июня – 23,0 °С) [9, 10, 17] с пиком нереста в мае. В Тунисском заливе самцы нерестятся с марта, а самки с апреля при среднемесячной температуре 16,0-17,0 °С по июль с пиком нереста у самцов в апреле, а у самок в мае [20]. В Адриатическом море самцы нерестятся в течение почти всего года. Однако, у них прослеживалась тенденция к росту ГСИ с ноября по июнь и снижению с июля по октябрь. У самок активный нерест наблюдался с апреля по июль с пиками в мае (18,6 °С) и июне (22,7 °С) [19].

Надо отметить, что средние температуры воды в период нереста теплолюбивых рыб составляли в Эгейском море 20,5-21 °С, а в Средиземном – 21-22 °С. Эти темпе-

Таблица 2

Сроки нереста барабули и среднегодовая температуры воды в разных районах Черноморско-Средиземноморского бассейна

[Table 2. Red mullet spawning term and average annual water temperature in different areas of the Black Sea-Mediterranean basin]

Район / Area	Период / Period	Срок нереста / Term of spawning	Пик нереста / Peak spawning	Среднегодовая температура воды, °С / Average annual water temperature, °C	Авторы / Authors
Эгейское море (Измир)	1996-1997	май-июль	июнь	19,2	Akyol et al., 2000
Эгейское море (Измир)	2002	апрель-июнь	май	19,6	Metin, 2005
Эгейское море (северная часть)	2006-2008	март-июнь	май	19,8	Arslan, İşmen, 2014
Юго-восток Средиземного моря (Тунис)	2003-2004	март-июнь (июль)	апрель♂-май♀	20,6	Cherif et al., 2007
Северо-западная часть Черного моря	2003-2007	май-август	июнь-июль	15,6	Овен и др., 2009
Юго-восток Черного моря	2010-2011	апрель-сентябрь	июнь	16,4	Aydın, Karadurmuş, 2013
Юго-восток Черного моря	2015-2016	май-июль	июнь	16,7	Yılmaz, et al., 2019
Южная часть Адриатического моря	2011-2012	ноябрь-июнь♂ апрель-июнь♀	май-июнь♂♀	19,0	Carbonara, et al., 2015
Северо-запад Черного моря	2015-2023	май-июль (сентябрь)	июнь	15,9	Наши результаты

ратуры практически совпадают с ТПМ в нерестовый период в северо-западной части Черного моря (20-21,5 °С).

Анализ литературных данных показал, что в юго-восточной части Черного моря в последние десятилетия в связи с климатическими изменениями также, как и в северо-западной части Черного моря, наблюдается смещение сроков нереста барабули на более ранние сроки [11] и период нереста сокращается до двух-трех месяцев [8]. Можно предположить, что нерестовый период у теплолюбивой барабули в морях Средиземноморского бассейна происходит при одних и тех же среднемесячных температурах воды, но сроки нереста в зависимости от климатических условий региона могут смещаться.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В период с 2015 по 2023 гг. в исследуемых районах Средиземноморского бассейна на фоне общей тенденции повышения температуры, в Черном море тенденция повышения среднегодовой температуры в 1,45 раза выше, чем в Адриатическом и Средиземном морях. Показано, что несмотря на самую низкую среднегодовую температуру воды в северо-западной части Черного моря (15,9 °С), повышение температуры за год и за 9 лет являются самыми высокими по сравнению с другими рассматриваемыми районами Средиземноморского бассейна. Наименьшие колебания температуры поверхности моря наблюдались в Средиземном, а наибольшие – в Черном морях.

Получено, что в северо-западной части Черного моря коэффициент корреляции в нерестовый период между изменениями ГСИ и среднемесячной температурой у барабули составляет  $r \approx 0,70$ . Подтверждены выводы более ранних исследователей о том, что интенсивный нерест и наиболее высокие значения ГСИ наблюдаются при температурах 20-22 °С. При повышении температуры в нерестовый период наблюдается тенденция смещения сроков нереста с поздневесенних на ранневесенние с наибольшим значением ГСИ в июне месяце и резким падением его значения в июле при температурах выше 24-25 °С, что приводит к сокращению сроков нереста. В этих условиях рыбы в относительно короткий период максимально используют потенциальные возможности воспроизводительной системы в отличие от морей, расположенных в районах со средиземноморским типом климата, в которых нерестовый период теплолюбивых рыб характеризуется более длительными сроками.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриева В. А. Региональная пространственно-временная изменчивость годовой и сезонной температуры воздуха // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2024, № 1, с. 97-104.
2. Дмитриева В. А., Сушков А. И. Температурный режим Воронежской области в условиях меняющегося климата // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2023, № 2, с. 56-63.
3. Межгодовые колебания основных популяционных и морфофизиологических параметров султанки и ее объектов питания в прибрежной зоне города Севастополя / Н. С. Кузьмина, С. В. Алемов, Т. В. Витер, В. И. Новосельский // *Экосистемы*, 2019, № 20, с. 117-124.
4. Ноговицын В. Н. Современная структура и тенденции трансформации геосистем Предбайкалья // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2024, № 1, с. 27-33.
5. Овен Л. С. О специфике порционного икротетания и о плодовитости черноморской султанки *Mullus barbatus ponticus* Essipov // *Вопросы ихтиологии*, 1961, т. 1, № 17, с. 33-38.
6. Оценка влияния температуры поверхности земли на NDVI на примере геопарка «Янган-Тау» / Е. А. Богдан, Л. Н. Белан, И. О. Туктарова, И. Р. Вильданов, И. Ю. Сайфуллин, Р. С. Бахтиярова // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2024, № 3, с. 14-21.
7. Правдин И. Ф. *Руководство по изучению рыб*. Москва: Пищевая промышленность, 1966. 391 с.
8. Age, growth, reproduction and mortality of Red Mullet (*Mullus barbatus ponticus* Essipov, 1927) from the Turkish coasts of the Black Sea / B. Yılmaz, O. Samsun, O. Akyol, Y. Erdem, T. Ceyhan // *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2019, vol. 36, no. 1, pp. 41-47.
9. Akyol O., Tosunoğlu Z., Tokaç A. Investigations of the growth and reproduction of red mullet (*Mullus barbatus* Linnaeus, 1758) population in the Bay of İzmir (Aegean Sea) // *Anadolu University Journal of Science and Technology*, 2000, vol. 1, no. 1, pp. 121-127.
10. Arslan M. & İşmen A. Age, growth, reproduction and feeding of *Mullus barbatus* in Saros Bay (North Aegean Sea) / *J. Black Sea / Mediterranean Environment*, 2014, vol. 20, no. 3, pp. 184-199.
11. Aydın M., Karadurmuş U. An Investigation on age, growth and biological characteristics of red mullet (*Mullus barbatus ponticus*, Essipov 1927) in the Eastern Black Sea // *Iranian Journal of Fisheries Science*, 2013, vol. 12, no. 2, pp. 277-288.
12. Çiloğlu E., Akgümüş Ş. Age, Growth and Gonado-somatic Index of the Red Mullet (*Mullus barbatus ponticus* Essipov, 1927) in the Eastern Black Sea coast of Turkey // *Turkish Journal of Agriculture – Food Science and Technology*, 2019, vol. 7, no. 2, pp. 186-191.
13. Climate change in the hydrometeorological parameters of the Black and Azov seas (1980-2020) / A. I. Ginzburg, A. G. Kostianoy, I. V. Serykh, S. A. Lebedev // *Oceanology*, 2021, vol. 61, no. 6, pp. 900-912.
14. Dahms C., Killen S.S. Temperature change effects on marine fish range shifts: A meta-analysis of ecological and methodological predictors // *Global Change Biology*, 2023, vol. 29 (16), pp. 4459-4479.
15. Kutsyn D. N. Age, Growth, Maturation, and Mortality of Red Mullet *Mullus barbatus* (Mullidae) of Crimea, the Black Sea // *Journal of Ichthyology*, 2022, vol. 62, no. 2, pp. 244-253.
16. Melnikova E., Kuzminova N. Influence of abiotic environmental factors on the growth rate of red mullet // *Croatian Journal of Fisheries*, 2022, vol. 80, pp. 87-95.
17. Metin G. Reproduction characteristics of red mullet (*Mullus barbatus* L. 1758) in İzmir Bay // *Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2005, vol. 22, no. 1-2, pp. 225-228.
18. Oven L. S., Salekhova L. P. & Kuzminova N. S. Current status of the population of the Black Sea red mullet *Mullus barbatus ponticus*, which lives in the coastal area near Sevastopol // *Journal of Ichthyology*, 2009, vol. 49, no. 2, pp. 214-224.
19. Reproductive biology characteristics of red mullet (*Mullus barbatus* L., 1758) in Southern Adriatic Sea and management implications / P. Carbonara, S. Intini, E. Modugno, F. Maradonna, M. T. Spedicato, G. Lembo, W. Zupa, & O. Carnevali // *Aquatic Living Resources*, 2015, vol. 28, pp. 21-31.
20. Some biological parameters of the red mullet, *Mullus barbatus* L., 1758, from the Gulf of Tunis / M. Cherif, R. Zarrad,

H. Gharbi, H. Missaoui and O. Jarboui // *Acta Adriatica*, 2007, vol. 48, no. 2, pp. 131-144.

21. Toropov P.A., Aleshina M.A., Semenov V.A. Trends of climate change in the Black sea-caspiansea region during recent 30 years // *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*, 2018, no. 2, pp. 67-77.

**Конфликт интересов:** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию: 18.04.2025

Принята к публикации: 27.02.2026

UDC 546.4:591.148:593.8

DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2026/1/30-36>

ISSN 1609-0683

## Biogeographical Assessment of the Impact of Climate Change on the Regional Characteristics of the Reproductive System Development of *Mullus Barbatius Ponticus*

E. B. Melnikova<sup>1</sup>✉, A. V. Melnikov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Natural and Technical Systems, FSBI, Russian Federation  
(28, Lenin Str., Sevastopol, 299011)*

<sup>2</sup>*Sevastopol State University, Russian Federation  
(33, 299053, Universitetskaya Str., Sevastopol)*

**Abstract.** The purpose of the research is to reveal the regional variability of the gonadosomatic index of the *Mullus barbatus ponticus* surmullet (Essipov, 1927) and its relationship with climatic trends in the Black Sea-Mediterranean basin.

**Materials and methods.** The work is based on biogeographical studies in the aquatic ecosystem, in particular, the results of complete biological analyses of surmullet caught in the southwestern shelf of the Crimea. Samples were taken in 2015-2023. Gonadosomatic index (GSI) and the stage of gonadal maturity were measured according to standard methods. The validity of the parameter differences was assessed by Student's t-test.

**Results and discussion.** Climate change during the period under study, 2015-2023, showed that the fluctuations in the average annual surface temperature of the sea in the Black Sea are higher than in the Aegean and Mediterranean Seas. It was found that in the northwestern part of the Black Sea, the correlation coefficient between GSI changes and temperature during the spawning period in the surmullet was  $r \approx 0.7$ . It has been shown that climate changes in both the Black Sea and the Mediterranean basin influence the timing and intensity of spawning.

**Conclusions.** Taking into account climate change in 2015-2023, in the Black Sea, a shift in spawning time from late spring to early spring was observed in the surmullet with the highest GSI value in June and a sharp decrease in July at temperatures above 24-25 °C. In Mediterranean seas, spawning was longer with lower GSI values.

**Key words:** Mediterranean basin, sea surface temperature, surmullet, gonadosomatic index, temperature increase.

**Funding:** The research was carried out within the framework of the state task INTS: 124020100120-9.

**Acknowledgements:** The authors express their gratitude to N.S. Kuzminova, Senior researcher at the Federal Research Center of the A. O. Kovalevsky Institute of Biology of Southern Seas of the Russian Academy of Sciences, Cand Sci (Biol.). This work was one of the last. She passed away very suddenly at the age of 45. During these years, Natalya Stanislavovna actively participated in the processing of ichthyological material, biological analysis of fish, and calculation of all parameters. The authors express their gratitude to the fishermen of the small fleet of the Federal Research Center of the A. O. Kovalevsky Institute of Biology of Southern Seas of the Russian Academy of Sciences, as well as the "Ilich's Path" fish collective farm, for the material provided.

**For citation:** Melnikova E.B., Melnikov A.V. Biogeographical Assessment of the Impact of Climate Change on the Regional Characteristics of the Reproductive System Development of *Mullus Barbatius Ponticus*. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografia. Geoekologia*, 2026, no. 1, pp. 30-36 (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2026/1/30-36>

### REFERENCES

1. Dmitrieva V.A. Regional'naya prostranstvenno-vremennaya izmenchivost' godovoy i sezonnoy temperatury vozduha [Regional spatio-temporal variability of annual and seasonal air temperature]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografia. Geoekologia*, 2024, no. 1, pp. 97-104. (In Russ.)

2. Dmitrieva V.A., Sushkov A.I. Temperaturnyj rezhim Voronezhskoj oblasti v usloviyah menyayushchegosya klimata [Temperature regime of the Voronezh region in conditions of changing climate]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografia. Geoekologia*, 2023, no. 2, pp. 56-63. (In Russ.)

© Melnikova E.B., Melnikov A.V., 2026

✉ Elena B. Melnikova, e-mail: [helena\\_melnikova@mail.ru](mailto:helena_melnikova@mail.ru)



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

3. Mezhsodobnye kolebaniya osnovnykh populyacionnykh i morfofiziologicheskikh parametrov sultanki i ee ob'ektov pitaniya v pribrezhnoy zone goroda Sevastopolya [Interannual fluctuations in the main population and morphophysiological parameters of the red mullet and its food objects in the coastal zone of the Sevastopol] / N.S. Kuzminova, S.V. Alemov, T.V. Viter, V.Yu. Novoselsky. *Ecosystem*, 2019, no. 20, pp. 117-124. (In Russ.)
  4. Nogovitsyn V.N. Sovremennaya struktura i tendencii transformacii geosistem Predbaikal'ya [Modern structure and trends of transformation of geosystems of the Cis-Baikal region]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografiya. Geoekologiya*, 2024, no. 1, pp. 27-33. (In Russ.)
  5. Oven L.S. O specifike porcionnogo ikrometaniya i o plodovitosti chernomorskoj sultanki *Mullus barbatus ponticus* Essipov [On the specifics of portioned spawning and the fertility of the Black Sea of Red Mullet *Mullus barbatus ponticus* Essipov]. *Voprosy ihtologii*, 1961, vol. 1, no. 17, pp. 33-38. (In Russ.)
  6. Assessment of the influence of the earth's surface temperature on NDVI using the example of the Yangan-Tau Geopark [Ocenka vliyaniya temperatury poverhnosti zemli na NDVI na primere geoparka «Yangan-Tau»] / E.A. Bogdan, L.N. Belan, I.O. Tuktarova, I.R. Vildanov, I.Yu. Saifullin, R.S. Bakhtiyarova. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografiya. Geoekologiya*, 2024, no. 3, pp. 14-21.
  7. Pravdin I.F. *Rukovodstvo po izucheniyu ryb* [Guide to the study of fish] Moscow: Pishhevaya promyshlennost', 1966. 376 p. (In Russ.)
  8. Age, growth, reproduction and mortality of Red Mullet (*Mullus barbatus ponticus* Essipov, 1927) from the Turkish coasts of the Black Sea / B. Yilmaz, O. Samsun, O. Akyol, Y. Erdem, T. Ceyhan. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2019, vol. 36, no. 1, pp. 41-47.
  9. Akyol O., Tosunoğlu Z., Tokaç A. (2000) Investigations of the growth and reproduction of red mullet (*Mullus barbatus* Linnaeus, 1758) population in the Bay of İzmir (Aegean Sea). *Anadolu University Journal of Science and Technology*, 2000, vol. 1, no. 1, pp. 121-127.
  10. Arslan M. & İşmen A. Age, growth, reproduction and feeding of *Mullus barbatus* in Saros Bay (North Aegean Sea). *J. Black Sea / Mediterranean Environment*, 2014, vol. 20, no. 3, pp. 184-199.
  11. Aydın M., Karadurmuş U. An Investigation on age, growth and biological characteristics of red mullet (*Mullet barbatus ponticus*, Essipov 1927) in the Eastern Black Sea. *Iranian Journal of Fisheries Science*, 2013, vol. 12, no. 2, pp. 277-288.
  12. Çiloğlu E., Akgümüş Ş. Age, Growth and Gonado-somatic Index of the Red Mullet (*Mullus barbatus ponticus* Essipov, 1927) in the Eastern Black Sea coast of Turkey. *Turkish Journal of Agriculture – Food Science and Technology*, 2019, vol. 7, no. 2, pp. 186-191.
  13. Climate change in the hydrometeorological parameters of the Black and Azov seas (1980-2020) / A.I. Ginzburg, A.G. Kostianoy, I.V. Serykh, S.A. Lebedev. *Oceanology*, 2021, vol. 61, no. 6, pp. 900-912.
  14. Dahms C., Killen S.S. Temperature change effects on marine fish range shifts: A meta-analysis of ecological and methodological predictors. *Global Change Biology*, 2023, vol. 29 (16), pp. 4459-4479.
  15. Kutsyn D.N. Age, Growth, Maturation, and Mortality of Red Mullet *Mullus barbatus* (Mullidae) of Crimea, the Black Sea. *Journal of Ichthyology*, 2022, vol. 62, no. 2, pp. 244-253.
  16. Melnikova E., Kuzminova N. Influence of abiotic environmental factors on the growth rate of red mullet. *Croatian Journal of Fisheries*, 2022, vol. 80, pp. 87-95.
  17. Metin G. Reproduction characteristics of red mullet (*Mullus barbatus* L. 1758) in İzmir Bay. *Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2005, vol. 22, no. 1-2, pp. 225-228.
  18. Oven L.S., Salekhova L.P. & Kuzminova N.S. Current status of the population of the Black Sea red mullet *Mullus barbatus ponticus*, which lives in the coastal area near Sevastopol. *Journal of Ichthyology*, 2009, vol. 49, no. 2, pp. 214-224.
  19. Reproductive biology characteristics of red mullet (*Mullus barbatus* L., 1758) in Southern Adriatic Sea and management implications / P. Carbonara, S. Intini, E. Modugno, F. Maradonna, M.T. Spedicato, G. Lembo, W. Zupa, & O. Carnevali. *Aquatic Living Resources*, 2015, vol. 28, pp. 21-31.
  20. Some biological parameters of the red mullet, *Mullus barbatus* L., 1758, from the Gulf of Tunis / M. Cherif, R. Zarrad, H. Gharbi, H. Missaoui and O. Jarboui. *Acta Adriatica*, 2007, vol. 48, no. 2, pp. 131-144.
  21. Toropov P.A., Aleshina M.A., Semenov V.A. Trends of climate change in the Black sea-caspiansea region during recent 30 years. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*, 2018, no. 2, pp. 67-77.
- Conflict of interests:** The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 18.04.2025

Accepted: 27.02.2026

Мельникова Елена Борисовна

Кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории морских климатических исследований Института природно-технических систем, г. Севастополь, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-7988-2541, e-mail: helena\_melnikova@mail.ru

Мельников Анатолий Викторович

Кандидат технических наук, профессор Севастопольского государственного университета, г. Севастополь, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-3732-0791, e-mail: mel.anat@mail.ru

Elena B. Mel'nikova

Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher at the Marine Climate Research Laboratory, Institute of Natural and Technical Systems, Sevastopol, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-7988-2541, e-mail: helena\_melnikova@mail.ru

Anatoliy V. Mel'nikov

Cand. Sci. (Tech.), Prof., Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-3732-0791, e-mail: mel.anat@mail.ru