

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РУЧЬЕВОЙ ФОРЕЛИ, ОБИТАЮЩЕЙ В ГОРНЫХ РЕКАХ ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КАВКАЗА

Н. И. Силкина, Д. В. Микряков*

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН
152742 пос. Борок, Ярославская область, Некоузский р-н, e-mail: *daniil@ibiw.ru

Поступила в редакцию 22.05.2024

Проведено исследование уровня общих липидов, содержания продуктов перекисного окисления и общей антиоксидантной активности печени ручьевого форели *Salmo trutta morpha fario*, обитающей в горных реках Черноморского побережья Кавказа. Материалом для исследования послужили 56 половозрелых особей, отловленных на четырех малых реках (Псецуапсе, Шахе, Херота, Макопсе). Они различаются по протяженности и площади водосборного бассейна: у рек Псецуапсе, Шахе эти показатели выше, чем у Херота и Макопсе. Установлено, что рыбы из более длинных рек значительно крупнее и упитаннее. Также они отличались более низкими показателями содержания общих липидов, малонового диальдегида и высоким уровнем антиоксидантов в печени. Обнаруженные различия между особями ручьевого форели из исследуемых водоемов отражают влияние условий обитания на рыб.

Ключевые слова: ручьевая форель, печень, липиды, перекисное окисление липидов, антиокислительная активность.

DOI: 10.47021/0320-3557-2024-86-91

ВВЕДЕНИЕ

На территории Краснодарского края протекает большое количество малых рек, протяженность которых ≤ 100 км [Соколов, 1964 (Sokolov, 1964)]. Малые реки отличаются от более крупных водотоков гидрологическими характеристиками (протяженностью, скоростью течения, прозрачностью, водностью, содержанием кислорода). Такие горные водотоки — одни из важнейших составляющих природно-ландшафтных комплексов Черноморского побережья. Данная группа рек часто подвергается антропогенному влиянию (загрязнение воды, вырубка лесов, отбор грунта, урбанизация ландшафтов, автомобильный туризм, браконьерство), что негативно влияет на экосистему водоема [Пашков, Решетников, 2009 (Pashkov, Reshetnikov, 2009); Карнаухов, 2019 (Karnaukhov, 2019)]. Высокая скорость течения, малая водность и протяженность, небольшая кормовая база и загрязнение негативно отражаются на темпах роста, развития и полового созревания рыб в небольших водотоках. Ухудшение качества среды обитания вызывает изменение видового состава и структуры рыбного населения [Kotegov, 2007; Кагорова, 2020; Аськеев и др., 2022 (As'keev et al., 2022)]. Малые реки по сравнению со средними и крупными более чувствительны к незначительному антропогенному воздействию, которое негативно влияет на обитающих в них гидробионтов, в том числе на рыб. Загрязнение воды инициирует дестабилизацию физиолого-биохимических механизмов гомеостаза и функционального состояния организма рыб [Решетников и др., 1999 (Resh-

etnikov et al., 1999); Микряков и др., 2001 (Mikryakov et al., 2001); Немова, Высоцкая, 2004 (Nemova, Vysotskaya, 2004); Моисеенко, 2009 (Moiseenko, 2009)]. У таких особей отмечают дисрегуляцию липидного обмена, динамического равновесия прооксидантно-оксидантной системы [Mikryakov et al., 2011; Silkina et al., 2010, 2012; Экотоксикологические исследования, 2016 (E'kotoksikologicheskie issledovaniya, 2016); Chesnokova et al., 2020; Sigacheva et al., 2022].

Один из наиболее распространенных и ценных видов, обитающих в горных реках Черноморского побережья, — ручьевая форель *Salmo trutta morpha fario* Linnaeus, 1758. Это пресноводная форма морской проходной лососевой рыбы — кумжи (*Salmo trutta*). Этот вид легко образует в пресных водоемах жилые формы. Они хорошо приспособлены к пресноводному образу жизни, никогда не уходят в море, обладают меньшими по сравнению с исходным морским видом интенсивностью роста и плодовитостью. Ручьевая форель обитает в холодных реках, берущих свое начало на склонах гор и питающихся ледниками и родниковыми водами. Молодь питается мелкими ракообразными и личинками насекомых, взрослые особи — личинками стрекоз, хирономидами, гаммарусами, мелкими моллюсками, падающими в воду насекомыми, икрой (часто собственной), рыбой (бычками-подкаменщиками, гольяном), головастиками, лягушками и даже мелкими грызунами. Нерест ручьевого форели происходит при температуре воды ниже 6–8°C на мел-

ководных участках с быстрым течением, на каменисто-галечном грунте [Рыбы в заповедниках..., 2010 (Ryby v zapovednikah..., 2010)].

В настоящей работе исследованы содержание общих липидов, интенсивность окисли-

тельных процессов и уровень антиоксидантов в печени ручьевой форели, обитающей в разных по протяженности горных реках.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для исследования послужили 56 особей половозрелой ручьевой форели, обитающей в горных реках Черноморского побережья Кавказа. Отлов рыб проводили в сентябре 2017 г на четырех реках (Псецуапсе, Шахе, Херота, Макопсе), отличающихся по протяженности и площади водосборного бассейна. Данные показатели выше у рек Псецуапсе (длина — 39 км и площадь водосборного бассейна — 290 км²) и Шахе (длина — 40 км и площадь водосборного бассейна — 24.7 км²), чем у других рек Херота (длина — 14 км и площадь водосборного бассейна — 279 км²) и Макопсе (длина — 12 км и площадь водосборного бассейна — 37.7 км²).

Сразу после вылова особей форели взвешивали и отбирали ткани печени для определения коэффициента упитанности и гепатосоматического индекса. Вычисления показателей проводили по общепринятой методике [Правдин, 1966 (Pravdin, 1966)]. Далее пробирики с образцами тканей печени замораживали при температуре минус 18–20°C. В условиях лаборатории пробы размораживали для проведения дальнейших исследований. Из размороженных образцов при помощи гомогенизатора готовили гомогенаты с 0.65%-ным физиологическим раствором в соотношении 1:1 и 1:5. В гомогенатах анализировали содержание общих липидов (ОЛ), продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ) и уровень антиокислительной защиты (АЗ).

Липиды определяли гравиметрически стандартным методом по Фолчу [Folch et al., 1957]. Пробы фиксировали смесью хлороформа и метанола в соотношении 2:1 по объему.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнительный анализ полученных результатов показал различия исследуемых показателей между особями ручьевой форели из разных по протяженности рек (см. таблицу). У рыбы из рек Псецуапсе и Шахе показатели массы, коэффициента упитанности, гепатосоматического индекса достоверно выше, чем у особей из рек Херота и Макопсе. Это связано с тем, что в более крупных реках больше кормовых объектов, чем в небольших водоемах. Ранее проведенные исследования показали благополучное состояние зообентосных сообществ рек Псецуапсе и Шахе [Пашков, Решет-

ников, 2009 (Pashkov, Reshetnikov, 2009)] и незначительно антропогенное влияние на биоценозы этих рек [Решетников и др., 2007 (Reshetnikov et al., 2007)]. Хорошая кормовая база позволяет ручьевой форели быстрее расти и достигать большей массы. Тогда как возможный дефицит кормовых объектов в реках Херота и Макопсе негативно отражается на росте и развитии рыб.

Интенсивности ПОЛ определяли по накоплению малонового диальдегида (МДА) — одного из конечных продуктов перекисного окисления. Концентрацию МДА устанавливали по количеству продуктов ПОЛ, реагирующих с тиобарбитуровой кислотой и дающих с ней окрашенный комплекс. Интенсивность окрашивания оценивали спектрофотометрически по изменению максимума поглощения при 532 нм [Андреева и др., 1988 (Andreeva et al., 1988)]. Содержание МДА вычисляли с учетом коэффициента молярной экстинкции: $1.56 \times 10^5 / (\text{M см})$ и выражали в нмолях на 1 г ткани.

Об уровне АЗ судили по кинетике окисления субстрата восстановленной формы 2.6-дихлорфенолиндофенола кислородом воздуха по общепринятой методике [Семенов, Ярош, 1985 (Semenov, Yarosh, 1985)]. Сущность метода: чем выше скорость окисления субстрата в присутствии биологического материала, тем ниже содержание антиоксидантов в тканях. Константу ингибирования окисления субстрата (КОС), являющуюся показателем антиокислительной активности ткани, определяли относительно контроля по формуле: $K_i = K_{\text{кон}} - K_{\text{оп}} / C$, где $K_{\text{кон}}$ и $K_{\text{оп}}$ — константы скорости окисления субстрата соответственно в контроле и в опыте; C — концентрация биологического материала в кювете.

Статистическую обработку результатов исследования проводили по стандартным алгоритмам, реализованным в пакете программ Statistica v6.0, с использованием t-теста. Различия считали значимыми при $p \leq 0.05$.

Различия места обитания также отражаются и на остальных показателях. У ручьевой форели, обитающей в разных по экологическим и гидробиологическим особенностям ре-

ках, обнаружены различия количественного содержания ОЛ, интенсивности окислительных процессов и уровня АЗ в тканях печени. Одна из основных функций данного органа — обеспечение энергетических потребностей организма с помощью механизмов углеводного и липидного обмена. В печени происходит по-

полнение и сохранение энергетических резервов в виде гликогена, конвертация разных источников энергии (аминокислоты, свободные жирные кислоты, глицерин, молочная кислота и т.д.), синтез ОЛ, фосфолипидов, холестерина и эфиров стероидов.

Морфометрические и биохимические показатели ручьевой форели

Morphometric and biochemical parameters of brook trout

Показатели Indicators	Реки большей протяженностью Rivers of greater length			Реки меньшей протяженностью Rivers of shorter length		
	Псеузапсе Psezuapse	Шахе Shahe	Среднее по двум рекам Average of two rivers	Херота Herota	Макопсе Makopse	Среднее по двум рекам Average of two rivers
Число рыб, экз. Number of fish, sp.	12	15	27	14	15	29
Средняя масса рыб, г Mean weight, g	323.3±15	335.1±20	329.2±17.5*	99.4±12	106.1±14	102.75±13
Коэффициент упитанности, у.е. Condition factor, с.и.	0.98±0.03	0.99±0.02	0.985±0.02*	0.54±0.03	0.52±0.02	0.53±0.02
Гепатосоматический индекс, % Hepatosomatic index, %	0.37±0.04	0.35±0.04	0.36±0.04*	0.19±0.05	0.18±0.06	0.185±0.05
ОЛ, мг/% TL, mg/%	2035±45	2010±50	2022.5±47*	2175±35	2190±40	2182.5±37.5
МДА, нмоль/л MDA, nmole/L	12.367±0.18	12.399±0.19	12.383±0.18*	14.033±0.17	12.059±0.18	13.046±0.17
КОС, л/мл × мин KOS, L/(mL × min)	8.321±0.16	8.276±0.18	8.298±0.17*	8.926±0.14	8.305±0.08	8.615±0.11

Примечание. Расшифровка аббревиатур приведена в тексте; “*” — достоверные различия средних значений более крупных рек относительно небольших, при $p \leq 0.05$.

Note. The explanation of abbreviations is given in the text; “*” — reliable differences in the average values of larger rivers relative to smaller ones at $p \leq 0.05$.

Показатели содержания ОЛ, уровня МДА и КОС у рыб из небольших рек значимо превышали аналогичные данные особей из более крупных водоемов. В организме рыб липиды служат источниками энергии, биологическими эффекторами, регуляторами и медиаторами, участвующими практически во всех важнейших биохимических процессах, а также способствуют процессу адаптации к неблагоприятным факторам среды [Гершанович и др., 1991 (Gershonovich et al., 1991); Богдан, 2001 (Bogdan et al., 2001); Смирнов, Богдан, 2007 (Smirnov, Bogdan, 2007)]. Более высокие показатели ОЛ в печени ручьевой форели из рек Херота и Макопсе могут быть обусловлены антропогенным воздействием и значительным содержанием в воде органических веществ. Ранее установлено увеличение содержания ОЛ во внутренних органах рыб, обитающих в водоемах с повышенной антропогенной нагрузкой [Mikryakov et al., 2011; Silkina et al., 2010, 2012].

Более высокий уровень содержания МДА и скорость КОС указывают на дисбаланс в прооксидантно-антиоксидантной системе у рыб из рек Херота и Макопсе. Это выражается в смещении равновесия ПОЛ ↔ АЗ в сторону интенсификации неконтролируемых процессов ПОЛ и снижения уровня антиоксидантных структур в исследуемой ткани. Неконтролируемому нарастанию продуктов перекисацции липидов, как известно, препятствует многоуровневая система антиоксидантной защиты, состоящая из антиоксидантных ферментов (супероксиддисмутазы, каталазы, глутатионпероксидазы, глутатион-S-трансферазы) и низкомолекулярных антиоксидантных соединений (восстановленного глутатионом β-токоферолом, фенольной формой коэнзима Q₁₀, β-каротином, аскорбиновой кислоты и др.). Антиоксидантной системе принадлежит важная роль в нейтрализации перекисеобразовательных процессов и реализации адаптив-

ных компенсаторных реакций в организме, поскольку компоненты этой системы участвуют в регуляции метаболических функций. Интенсификация процессов ПОЛ и пониженное содержание уровня антиоксидантов характерны при окислительном стрессе [Winston, 1991; Зенков и др., 1999 (Zenkov et al., 1999); Меньшикова и др., 2008 (Men'shikova et al., 2008)]. Аналогичные нарушения окислительно-восстановительного баланса в системе обнаружены в популяциях рыб, обитающих в загрязненных акваториях [Залевская и др., 2005 (Zallevskaya et al., 2005); Экотоксикологические исследования..., 2016 (E'kotoksikologi-

cheskie issledovaniya..., 2016); Chesnokova et al., 2020; Sigacheva et al., 2022]. Конечные продукты ПОЛ и уровень АЗ в печени ручьевой форели из разных рек, вероятно, существенно различаются из-за условий обитания. Низкие показатели МДА у рыб из рек Пезуапсе и Шахе обусловлены высоким содержанием антиоксидантов, которые препятствуют активации окислительных процессов. Особи форели из этих рек, вероятно, меньше подвержены влиянию разных биотических и абиотических факторов и отличаются более эффективной работой защитных механизмов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, рыбы из исследуемых горных рек различались между собой по исследуемым показателям. У ручьевой форели, обитающей в более протяженных реках, выше масса, коэффициент упитанности и гепатосоматический индекс. В печени этих рыб ниже содержание ОЛ, продуктов ПОЛ и выше уро-

вень АЗ, чем у особей из менее протяженных рек. Установленные различия липидного обмена, интенсивности окислительных процессов и содержания антиоксидантов в организме ручьевой форели отражают влияние условий обитания на рыб.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания № 124032500015-7.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андреева Л.И., Кожемякин Н.А., Кишкун А.А. Модификация методов определения перекисей липидов в тесте с тиобарбитуровой кислотой // Лаб. дело. 1988. № 11. С. 41–43.
- Аськеев А.О., Аськеев О.В., Аськеев И.В. и др. Население рыб малых рек бассейнов Мещи и Казанки // Российский журнал прикладной экологии. 2022. № 2(30). С. 4–11. DOI: 10.24852/2411-7374.2022.2.4.11.
- Богдан В.В., Сидоров В.С., Зекина Л.М. Липиды рыб при адаптации к различным экологическим условиям // Экологические проблемы онтогенеза рыб: физиолого-биохимические аспекты. М.: Изд-во МГУ, 2001. С. 188–202.
- Гершанович А.Д., Лапин В.И., Шатуновский М.И. Особенности обмена липидов у рыб // Успехи соврем. биологии. 1991. Т. 3, Вып. 2. С. 207–219.
- Залевская И.Н. Жерко Н.В., Шевченко И.И. Биомониторинг прибрежных вод Черного моря // Вод. ресурсы. 2005. Т. 32, № 2. С. 238–246.
- Зенков Н.К., Меньшикова Е.Б., Вольский Н.Н. и др. Внутриклеточный окислительный стресс и апоптоз // Успехи соврем. биол. 1999. Т. 119, № 5. С. 440–450.
- Карнаухов Г.И. Биоценозы некоторых черноморских рек // Международный научно-исследовательский журнал. 2019. № 4-1(82). С. 82–85. DOI: 10.23670/IRJ.2019.82.4.016.
- Меньшикова Е.Б., Зенков Н.К., Ланкин В.З. и др. Окислительный стресс: Патологические состояния и заболевания. Новосибирск: АРТА, 2008. 284 с.
- Микряков В.Р., Балабанова Л.В., Заботкина Е.А. и др. Реакция иммунной системы рыб на загрязнение воды токсикантами и закисление среды. М.: “Наука”, 2001. 126 с.
- Моисеенко Т.И. Водная экотоксикология: Теоретические и прикладные аспекты. М.: “Наука”, 2009. 400 с.
- Немова Н.Н., Высоцкая Р.У. Биохимическая индикация состояния рыб. М.: “Наука”, 2004. 215 с.
- Пашков А.Н., Решетников С.И. Сравнительная оценка состояния зообентосных и рыбных сообществ малых рек черноморского побережья северо-западного Кавказа // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2009. Т. 11, № 1(2). С. 119–122.
- Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). М.: «Пищевая пром-сть», 1966. 376 с.
- Решетников С.И., Зубарев А.Н., Сумароков В.С. и др. Сравнительная характеристика состояния биоценозов некоторых малых рек черноморского побережья Северо-Западного Кавказа // Естественные и технические науки. 2007. № 6. С. 65–71.
- Решетников Ю.С., Попова О.А., Кашулин Н.А. и др. Оценка благополучия рыбной части водного сообщества по результатам морфопатологического анализа рыб // Успехи соврем. биол. 1999. Т. 119, № 2. С. 165–177.
- Рыбы в заповедниках России. М.: Товарищество науч. изданий КМК, 2010. Т. 1. 627 с.
- Семенов В.Л., Ярош А.М. Метод определения антиокислительной активности биологического материала // Укр. биохим. журн. 1985. Т. 57, № 3. С. 50–52.

- Смирнов Л.П., Богдан В.В. Липиды в физиолого-биохимических адаптациях экотермных организмов к абиотическим и биотическим факторам среды. М.: "Наука". 2007. 182 с.
- Соколов А.А. Гидрография СССР. Л.: "Гидрометеиздат", 1964. 534 с.
- Экотоксикологические исследования прибрежной черноморской ихтиофауны в районе Севастополя. М.: ГЕОС, 2016. 360 с.
- Chesnokova I.I., Sigacheva T.B., Skuratovskaya E.N. Comparative analysis of hepatic biomarkers of black scorpionfish *Scorpaena Porcus* Linnaeus, 1758 from Sevastopol waters areals (the Black Sea) with different pollution levels // *Water Resources*. 2020. Vol. 47. № 3. P. 486–490. DOI: 10.1134/S0097807820030045.
- Folch J., Lees M., Stanley G.N. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animals tissues // *J. Biol. Chem.* 1957. Vol. 226. № 3. P. 497–509.
- Karpova E.P. Dynamics of the structure and diversity of fish communities of mountain rivers of Crimea based on the example of the Alma River // *Russian Journal of Ecology*. 2020. Vol. 51. № 2. P. 166–173. DOI: 10.1134/S106741362002006X.
- Kotegov B.G. Special features of fish species composition and community structure in small rivers of the Udmurt Republic // *Russian Journal of Ecology*. 2007. Vol. 38. № 4. P. 253–261. DOI: 10.1134/S1067413607040066.
- Mikryakov V.R., Silkina N.I., Mikryakov D.V. Effect of anthropogenic pollution on the immunological and biochemical mechanisms of maintaining homeostasis in fish of the Black Sea // *Russian Journal of Marine Biology*. 2011. Vol. 37, № 2. P. 151–157. DOI: 10.1134/S1063074011020076.
- Sigacheva T.B., Skuratovskaya E.N., Kurshakov S.V. et al. A comparative analysis of biochemical parameters in the liver of the round goby *Neogobius Melanostomus* (Pallas, 1814) from two regions of the Taganrog Bay (Sea of Azov) // *Russian Journal of Marine Biology*. 2022. Vol. 48, № 1. P. 19–25. DOI: 10.1134/S1063074022010114.
- Silkina N.I., Mikryakov V.R., Mikryakov D.V. Characteristics of lipid metabolism in bream, *Abramis brama*, from Southern Ural rivers // *Russian Journal of Ecology*. 2010. Vol. 41. № 6. P. 539–541. DOI: 10.1134/S1067413610060135.
- Silkina N.I., Mikryakov D.V., Mikryakov V.R. Effect of anthropogenic pollution on oxidative processes in the liver of fish from the Rybinsk reservoir // *Russian Journal of Ecology*. 2012. Vol. 43. № 6. P. 386–389. DOI: 10.1134/S1067413612040169.
- Winston G.W. Oxidants and antioxidants in aquatic animals // *Compar. Biochem. Physiol.* 1991. Vol. 100. № 1–2. P. 173–176.

REFERENCES

- Andreeva L.I., Kozhemyakin N.A., Kishkun A.A. Modifikaciya metodov opredeleniya perekisej lipidov v teste s tio-barbiturovoj kislotoj [Modification of methods for determining lipid peroxides in the thiobarbituric acid test]. *Lab. Delo*, 1988, no. 11, pp. 41–43. (In Russian)
- As'keev A.O., As'keev O.V., As'keev I.V. i dr. Naselenie ryb malykh rek basseinov Meshi i Kazanki [Fish assemblages of the Mesha and Kazanka rivers basin in the modern period]. *Rossijskij zurnal prikladnoj ekologii*, 2022, no. 2(30), pp. 4–11. doi: 10.24852/2411-7374.2022.2.4.11. (In Russian)
- Bogdan V.V., Sidorov V.S., Zekina L.M. Ekologicheskie problemy ontogeneza ryb: fiziologo-biokhimicheskie aspekty. Moscow, MGU, 2001, pp. 188–202. (In Russian)
- Chesnokova I.I., Sigacheva T.B., Skuratovskaya E.N. Comparative analysis of hepatic biomarkers of black scorpionfish *Scorpaena Porcus* Linnaeus, 1758 from Sevastopol waters areals (the Black Sea) with different pollution levels. *Water Resources*, 2020, vol. 47, no. 3, pp. 486–490. doi: 10.1134/S0097807820030045.
- Ekotoksikologicheskie issledovaniya pribrezhnoj chernomorskoj ixtiofauny v rajone Sevastopolya [Ecotoxicological studies of the coastal Black Sea ichthyofauna in the Sevastopol region]. Moscow, GEOS, 2016, 360 p. (In Russian)
- Ryby v zapovednikax Rossii [Fish in Russian nature reserves]. Moscow, KMK, 2010, vol. 1, 627 p. (In Russian)
- Folch J., Lees M., Stanley G.N. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animals tissues. *J. Biol. Chem.*, 1957, vol. 226, no. 3, pp. 497–509.
- Gershanovich A.D., Lapin V.I., Shatunovskii M.I. Osobennosti obmena lipidov u ryb [Features of lipid metabolism in fish]. *Biology Bulletin Reviews*, 1991, vol. 3, no. 2, pp. 207–219. (in Russian)
- Karnaukhov G.I. Biotsenozy nekotorykh chernomorskikh rek [Biocenoses of some Black Sea rivers]. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*, 2019, no. 4–1(82), pp. 82–85. doi: 10.23670/IRJ.2019.82.4.016. (in Russian)
- Karpova E.P. Dynamics of the structure and diversity of fish communities of mountain rivers of Crimea based on the example of the Alma River. *Russian Journal of Ecology*, 2020, vol. 51, no. 2, pp. 166–173. doi: 10.1134/S106741362002006X.
- Kotegov B.G. Special features of fish species composition and community structure in small rivers of the Udmurt Republic. *Russian Journal of Ecology*, 2007, vol. 38, no. 4, pp. 253–261. doi: 10.1134/S1067413607040066.
- Men'shikova E.B., Zenkov N.K., Lankin V.Z. i dr. Oxidative stress: Pathological conditions and diseases. Novosibirsk, ARTA, 2008, 284 p. (in Russian)
- Mikryakov V.R., Balabanova L.V., Zabotkina E.A. i dr. Reaction of the fish immune system to water pollution with toxicants and acidification of the environment. Moscow, Nauka, 2001, 126 p. (in Russian)
- Mikryakov V.R., Silkina N.I., Mikryakov D.V. Effect of anthropogenic pollution on the immunological and biochemical mechanisms of maintaining homeostasis in fish of the Black Sea. *Russian Journal of Marine Biology*, 2011, vol. 37, no. 2, pp. 151–157. doi: 10.1134/S1063074011020076.
- Moiseenko T.I. Aquatic ecotoxicology: Theoretical and applied aspects. Moskva, Nauka, 2009, 400 p. (In Russian)

- Nemova N.N., Vysotskaya R.U. Biochemical indication of fish condition. Moskva, Nauka, 2004, 215 p. (in Russian)
- Pashkov A.N., Reshetnikov S.I. Sravnitel'naya otsenka sostoyaniya zoobentosnykh i rybnikh soobshchestv malykh rek chernomorskogo poberezh'ya severo-zapadnogo Kavkaza [Comparative estimation of zoobenthos and fish communities condition in small rivers of northwestern Caucasus Black Sea coast]. *Izvestiya of Samara scientific center of the Russian academy of sciences*, 2009, vol. 11, no. 1(2), pp. 119–122. (In Russian)
- Pravdin I.F. Guide to the Study of Fish (Mainly Freshwater). Moscow, Pishchevaya prom-st', 1966, 376 p. (in Russian)
- Reshetnikov S.I., Zubarev A.N., Sumarokov V.S. i dr. Sravnitel'naya kharakteristika sostoyaniya biotsenozov nekotorykh malykh rek chernomorskogo poberezh'ya Severo-Zapadnogo Kavkaza [Comparative characteristics of the state of biocenoses of some small rivers of the Black Sea coast of the North-West Caucasus]. *Natural and technical sciences*, 2007, no. 6, pp. 65–71. (In Russian)
- Reshetnikov Yu.S., Popova O.A., Kashulin N.A. i dr. Otsenka blagopoluchiya rybnoi chasti vodnogo soobshchestva po rezul'tatam morfopatologicheskogo analiza ryb [Evaluation of the well-being of the fish part of the aquatic community based on the results of morphopathological analysis of fish]. *Biology Bulletin Reviews*, 1999, vol. 119, no. 2, pp. 165–177. (In Russian)
- Semenov V.L., Yarosh A.M. Metod opredeleniya antiokislitel'noi aktivnosti biologicheskogo materiala [Method for determining the antioxidant activity of biological material]. *Ukr. biokhim. zhurn.*, 1985, vol. 57, no. 3, pp. 50–52. (In Russian)
- Sigacheva T.B., Skuratovskaya E.N., Kurshakov S.V. i dr. A comparative analysis of biochemical parameters in the liver of the round goby *Neogobius Melanostomus* (Pallas, 1814) from two regions of the Taganrog Bay (Sea of Azov). *Russian Journal of Marine Biology*, 2022, vol. 48, no. 1, pp. 19–25. doi: 10.1134/S1063074022010114.
- Silkina N.I., Mikryakov D.V., Mikryakov V.R. Effect of anthropogenic pollution on oxidative processes in the liver of fish from the Rybinsk reservoir. *Russian Journal of Ecology*, 2012, vol. 43, no. 6, pp. 386–389. doi: 10.1134/S1067413612040169.
- Silkina N.I., Mikryakov V.R., Mikryakov D.V. Characteristics of lipid metabolism in bream, *Abramis brama*, from Southern Ural rivers. *Russian Journal of Ecology*, 2010, vol. 41, no. 6, pp. 539–541. doi: 10.1134/S1067413610060135.
- Smirnov L.P., Bogdan V.V. Lipids in physiological and biochemical adaptations of ectothermic organisms to abiotic and biotic environmental factors. Moscow, Nauka, 2007, 182 p. (In Russian)
- Sokolov A.A. Hydrography of the USSR. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1964. 534 p. (In Russian)
- Winston G.W. Oxidants and antioxidants in aquatic animals. *Compar. Biochem. Physiol.*, 1991, vol. 100, no. 1–2, pp. 173–176.
- Zalevskaya I.N., Zherko N.V., Shevchenko I.I. Biomonitoring pribrezhnykh vod Chernogo morya [Biomonitoring of coastal waters of the Black Sea]. *Water Resources*, 2005, vol. 32, no. 2, pp. 238–246. (In Russian)
- Zenkov N.K., Men'shikova E.B., Vol'skii N.N. i dr. Vnutrikletochnyi okislitel'nyi stress i apoptoz [Intracellular oxidative stress and apoptosis]. *Biology Bulletin Reviews*, 1999, vol. 119, no. 5, pp. 440–450. (In Russian)

OXIDATIVE PROCESSES AND CONTENT OF TOTAL LIPIDS IN THE LIVER OF BROOK TROUT LIVING IN MOUNTAIN RIVERS OF THE BLACK SEA COAST OF THE CAUCASUS

N. I. Silkina, D. V. Mikryakov*

*Papanin Institute for Biology of Inland Waters Russian Academy of Sciences
152742 Borok, Russia, e-mail: *daniil@ibiw.ru*

Revised 22.05.2024

The level of total lipids, content of peroxidation products and total antioxidant activity of the liver of brook trout *Salmo trutta morpha fario* inhabiting mountain rivers of the Black Sea coast of the Caucasus was studied. The material for the study was 56 sexually mature individuals caught in 4 small rivers differing in length and catchment area. The Psezuapse and Shakhe rivers have higher values than the Kherot and Makopse rivers. Fish from the longer rivers were found to be significantly larger and fatter. They were also characterized by lower levels of total lipids, malonic dialdehyde and high levels of antioxidants in the liver. The observed differences between brook trout individuals from the studied water bodies reflect the influence of habitat conditions on the fish.

Keywords: brook trout, liver, lipids, lipid peroxidation, antioxidant activity