

Хлорорганические ксенобиотики в экосистеме реки Салгир: содержание, распределение, экологический риск

**Л. В. Малахова^{1,2*}, Е. П. Карпова^{1,2}, Р. Е. Белогурова^{1,2},
В. В. Губанов², Г. А. Прокопов^{1,3}, И. И. Чеснокова^{1,2},
С. В. Куршаков^{1,2}, С. В. Статкевич^{1,2}, Д. Г. Шавриев², С. В. Овечко¹**

¹ ФГБНУ «Научно-исследовательский центр пресноводной
и солоноватоводной гидробиологии», Херсон, Россия

² ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»,
Севастополь, Россия

³ ФГАОУ ВО Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского,
Симферополь, Россия

* e-mail: malakh2003@list.ru

Аннотация

Определено содержание и распределение хлорорганических пестицидов группы ДДТ и полихлорированных бифенилов (ПХБ) в воде, амфиподах, рыбах и донных осадках р. Салгир, а также в донных отложениях ее притока Биюк-Карасу, отобранных в мае и июле 2023 г. Анализ хлорорганических ксенобиотиков проводили на газовом хроматографе «Хроматэк-Кристалл 5000», оснащенном микродетектором электронного захвата. Концентрация Σ ДДТ в воде изменялась в широком диапазоне: от 0.53 в районе с. Доброго до 14.91 нг/л в с. Молочном, Σ 6ПХБ – от 0.50 до 37.87 нг/л соответственно. Наименьшее содержание Σ ДДТ (9.06 нг/г) в донных отложениях обнаружено в с. Добром, наибольшее – в с. Молочном (71.69 нг/г). Минимальная концентрация Σ 6ПХБ (3.41 нг/г) определена в районе с. Белоглинка, максимальная – в с. Молочном (61.88 нг/г). Распределение загрязнителей в воде и донных отложениях свидетельствует о том, что по течению реки между селами Белоглинка и Молочным расположены локальные источники поступления ДДТ и ПХБ. В пробах гидробионтов наиболее низкие концентрации ДДТ и ПХБ определены в мышцах быстринок у с. Доброго. Максимальное содержание загрязнителей обнаружено в тканях щиповок у с. Новогригорьевка и уклеи у с. Молочного, у которых было отмечено превышение ПДК Σ ДДТ, составляющей 300 нг/г сырой массы. Полученные результаты были сопоставлены с загрязнением воды и донных отложений в других реках Крыма, Европы и Азии. Оценка экологического риска показала, что уровень загрязнения Салгира выше Симферополя не вызывает беспокойства. На остальных территориях отмечен высокий экологический риск. Результаты показали, что экологический риск, связанный с загрязнением ПХБ в районе с. Молочного был выше, чем связанный с загрязнением ДДТ.

© Малахова Л. В., Карпова Е. П., Белогурова Р. Е., Губанов В. В.,
Прокопов Г. А., Чеснокова И. И., Куршаков С. В.,
Статкевич С. В., Шавриев Д. Г., Овечко С. В., 2023



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0
International (CC BY-NC 4.0)
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0
International (CC BY-NC 4.0) License

Ключевые слова: ДДТ, ПХБ, вода, донные отложения, гидробионты, экологический риск, река Салгир

Благодарности: работа выполнена по теме ФГБНУ «НИЦ ПСГ» 123101900019-5 «Изучение особенностей структуры и динамики пресноводных экосистем Северного Причерноморья» и частично в рамках тем ФИЦ ИнБЮМ 121031500515-8 «Молисмолógicas и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем», 121030100028-0 «Закономерности формирования и антропогенная трансформация биоразнообразия и биоресурсов Азово-Черноморского бассейна и других районов Мирового океана» и 121040500247-0 «Фундаментальные исследования популяционной биологии морских животных, их морфологического и генетического разнообразия».

Для цитирования: Хлорорганические ксенобиотики в экосистеме реки Салгир: содержание, распределение, экологический риск / Л. В. Малахова [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2023. № 4. С. 116–133. EDN LZDHFHW.

Organochlorine Xenobiotics in the Salgir River Ecosystem: Content, Distribution, Ecological Risk

L. V. Malakhova^{1,2,*}, E. P. Karpova^{1,2}, R. E. Belogurova^{1,2},
V. V. Gubanov², G. A. Prokopov^{1,3}, I. I. Chesnokova^{1,2},
S. V. Kurshakov^{1,2}, S. V. Statkevich^{1,2}, D. G. Shavriev², S. V. Ovechko¹

¹ Research Center for Freshwater and Brackish Water Hydrobiology, Kherson, Russia

² A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

³ V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia

* e-mail: malakh2003@list.ru

Abstract

The content and distribution of organochlorine pesticides of the DDT group and polychlorinated biphenyls (PCBs) in water, amphipods, fish and sediments of the Salgir River, as well as in bottom sediments of the Biyuk-Karasu River, were determined. Samples were collected in May and July 2023. An analysis of organochlorine xenobiotics was performed using a GC Chromatec-Crystal 5000 (Russia), equipped with an electron capture microdetector. The Σ DDT concentration in water ranged from 0.53 in the area of the village of Dobroye up to 14.91 ng/L in the village of Molochnoye, whereas Σ 6PCB changed from 0.50 to 37.87 ng/L, respectively. The lowest Σ DDT content (9.06 ng/g) in sediments was detected in the village of Dobroye, the highest one was registered in the village of Molochnoye (71.69 ng/g). The minimum Σ 6PCB concentration (3.41 ng/g) was determined in the area of the village of Beloglinka, the maximum one was in the village of Molochnoye (61.88 ng/g). The pollutants distribution in water and bottom sediments indicates the presence of local DDTs and PCBs sources along the river between the villages of Beloglinka and Molochnoye. The lowest pollutants concentrations in hydrobionts were determined in muscles of schneider caught near the village of Dobroye. The highest ones were registered in the spined loaches caught near the village of Novogrigoryevka and in the bleak caught near the village of Molochnoye. In these fish, the maximum permissible concentration Σ DDT (300 ng/g wet weight) was exceeded. The obtained results were compared with water and sediments pollution in other Crimean, European and Asian rivers. An environmental risk assessment showed that pollution levels are not of concern in the area above Simferopol. In other sampling sites, high environmental risk was noted. The results showed that the environmental risk of PCBs pollution near the village of Molochnoye was higher than that of DDTs pollution.

Keywords: DDT, PCBs, water, bottom sediments, hydrobionts, environmental risk, Salgir River

Acknowledgments: This work was supported by the state contracts with the RC FBH “Study of peculiarities structure and dynamics of freshwater ecosystems of the Northern Black Sea coast” (no. 123101900019-5) and partially within the state contracts of IBSS of RAS “Molismological and biogeochemical foundations of homeostasis of marine ecosystems” (no. 121031500515-8), “Regularities of formation and anthropogenic transformation of biodiversity and bioresources of the Azov-Black Sea basin and other areas of the World Ocean” (no. 121030100028-0) and “Fundamental studies of population biology of marine animals, their morphological and genetic diversity” (no. 121040500247-0).

For citation: Malakhova, L.V., Karpova, E.P., Belogurova, R.E., Gubanov, V.V., Prokopov, G.A., Chesnokova, I.I., Kurshakov, S.V., Statkevich, S.V., Shavriev, D.G. and Ovechko, S.V., 2023. Organochlorine Xenobiotics in the Salgir River Ecosystem: Content, Distribution, Ecological Risk. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (4), pp. 116–133.

Введение

Хлорорганические пестициды группы дихлордифенилтрихлорэтана (ДДТ) и полихлорбифенилы (ПХБ) являются одними из наиболее распространенных и опасных синтезированных человеком стойких хлорорганических соединений (ХОС). В связи с этим содержание, распределение и влияние ХОС на компоненты окружающей среды уже в 1970-х годах стали предметом изучения во всем мире. Было определено, что ХОС оказывают токсическое действие на аэробные организмы, приводящее к различным патологиям репродуктивной, нервной, иммунной, эндокринной систем [1–4].

В мае 2001 г. Программа ООН по окружающей среде приняла Стокгольмскую конвенцию о стойких органических загрязнителях, запрещающую производство и использование двенадцати опасных ХОС, в том числе ДДТ и ПХБ¹⁾. Однако ХОС и в настоящее время обнаруживаются в значительных концентрациях в окружающей среде [5], в том числе в пресноводных и морских прибрежных акваториях Крыма [6, 7].

Наиболее крупной крымской речной системой является р. Салгир с притоками. Изучение загрязнения в реках Крыма проводит Крымское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, которое ведет наблюдения, включающие анализ качества воды по санитарно-гигиеническим нормам. В целом вода р. Салгир по данным докладов государственных органов характеризуется как «грязная»²⁾, а по показателям биологического и химического потребления кислорода вода р. Салгир в районе с. Двуречье в 2020 г.

¹⁾ UNEP. History of the Negotiations of the Stockholm Convention; Nations Environment Programme, 2023. URL: <https://chm.pops.int/TheConvention/Overview/History/Overview/tabid/3549/Default.aspx> (дата обращения: 19.11.2023).

²⁾ Доклад о состоянии и охране окружающей среды республики Крым в 2022 г. Симферополь : ООО «Принт», 2023. 448 с. URL: <https://meco.rk.gov.ru/ru/structure/60> (дата обращения: 19.11.2023).

характеризовалась как «очень загрязненная»³⁾. Однако данных о содержании стойких органических загрязнителей ДДТ и ПХБ в речной экосистеме Салгира не приводится ни в докладах, ни в других открытых источниках.

Целью работы является изучение современного загрязнения ДДТ и ПХБ экосистемы Салгира и р. Биюк-Карасу. Для достижения поставленной цели решали следующие задачи: определение концентрации ХОС в воде и грунтах р. Салгир и грунтах р. Биюк-Карасу; оценка накопления ХОС в гидробионтах; определение компонентов экосистемы среднего течения Салгира, максимально накапливающих ХОС; оценка экологического риска от воздействия ХОС.

Материалы и методы

Для выполнения цели в мае и июле 2023 г. проведен отбор проб воды, донных отложений, ракообразных и ихтиофауны в четырех районах Салгира выше (в районе с. Доброго – ст. 1 и 2) и ниже г. Симферополя (с. Белоглинка – ст. 3 и 4), у с. Молочного (ст. 5), у с. Новогригорьевка (ст. 6). В трех районах р. Биюк-Карасу у Белой Скалы (ст. 7), с. Зыбины (ст. 8) и с. Уваровка (ст. 9) отбирали пробы только донных отложений.

Пробы воды отбирали в стеклянные банки объемом 6 л. ХОС в воде определяли методом газовой хроматографии в соответствии с руководством ПНД Ф 14.1:2:3:4.204-04 (2014 г.). Донные отложения (слой 0–5 см) также отбирали непосредственно в стеклянные емкости. В стационарной лаборатории грунты тщательно гомогенизировали и высушивали на воздухе. По разности сырой и сухой массы рассчитывали естественную влажность в процентах сырой массы. ХОС в донных отложениях определяли в соответствии со стандартной методикой ГОСТ Р 53217–2008 (ИСО 10382:2002).

Рыб отбирали волокушей, жаберными сетями и ручными сачками с ячеей от 3 до 18 мм. Рыб идентифицировали с помощью определителей⁴⁾. Донных беспозвоночных собирали вручную пинцетом с камней, а также использовали гидробиологический скребок и сито. Собранный материал не фиксировали, а охлаждали для дальнейшей обработки. Определение материала производили с помощью профильных определителей⁵⁾.

Содержание ХОС определено в тканях разноногих раков (Amphipoda) – *Dikerogammarus villosus* (Sowinsky, 1894), в гонадах, мышцах и внутренних органах самцов и самок рыб (Teleostei): быстрянок *Alburnoides maculatus* (Kessler, 1859), голавлей *Squalius cephalus* (Linnaeus, 1758), ювенилов уклей *Alburnus alburnus* (Linnaeus, 1758) и синцов *Ballerus ballerus* (Linnaeus, 1758). Ювенильные особи бычков кругляков *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) и щиповок *Cobitis taenia* (Linnaeus, 1758) были проанализированы целиком.

³⁾ Качество поверхностных вод Российской Федерации. Информация о наиболее загрязненных водных объектах Российской Федерации (приложение к Ежегоднику за 2020 г.) / Под ред. М. М. Трофимчука. Ростов-на-Дону, 2021. 160 с. URL: https://gidrohim.com/sites/default/files/Ежегодник-Приложение_2020_0.pdf (дата обращения: 19.11.2023).

⁴⁾ Мовчан Ю. В., Смірнов А. І. Фауна України. Т. 8. Риби. Вип. 2. Коропові. Част. 2. Київ : Наукова думка, 1983. 360 с.

⁵⁾ Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 2. Ракообразные / Под ред. С. Я. Цалолыхина. Санкт-Петербург, 1995. 629 с.

В пробах гидробионтов определяли концентрации ХОС в соответствии с МВИ.МН 2352–2005, а содержание общих липидов – гравиметрическим методом [8]. Сумма общих экстрагируемых липидов выражена в долях (%) на сырую массу.

Качественный и количественный анализ ХОС проводили газохроматографическим методом в НОЦКП «Спектрометрия и Хроматография» ФИЦ ИнБЮМ на хроматографе «Хроматэк-Кристалл 5000» (Россия) с микродетектором электронного захвата. Определяли содержание п,п'-ДДТ, его метаболитов п,п'-ДДЭ и п,п'-ДДД, а также шести конгенов полихлорированных бифенилов (по IUPAC: 28, 52, 101, 138, 153 и 180). Количественное определение ХОС проводили методом абсолютной калибровки в пределах линейного диапазона детектора. Предел обнаружения для ХОС варьировал от 0.05 до 0.1 нг/л в пробах воды, от 0.01 до 0.05 нг/г – в донных отложениях и гидробионтах. Концентрация ХОС в донных отложениях рассчитана на сухую массу проб, в гидробионтах – на сырую массу.

По данным ХОС в воде, донных отложениях и гидробионтах Салгира были рассчитаны коэффициенты накопления К_н в донных отложениях и гидробионтах по формуле: К_н = С_{до,г}/С_в·1000, где С_{до,г} – концентрация ХОС в донных осадках или в тканях гидробионтов (нг/г), С_в – концентрация ХОС в воде (нг/л).

Т а б л и ц а 1. Уровни токсичности ХОС для рыб и ракообразных в пресноводных экосистемах

T a b l e 1. Organochlorine compound (OC) toxicity data for fish and crustacea in freshwater ecosystems

ХОС / OC	EC50, мг/л ⁶⁾ / EC50, mg/L ⁶⁾	
	Рыбы / Fish	Ракообразные / Crustacea
п,п'-ДДЭ / p,p'-DDE	0.0960	0.0535
п,п'-ДДД / p,p'-DDD	0.1100	0.0090
п,п'-ДДТ / p,p'-DDT	0.0800	0.0090
ПХБ 28 / PCB 28	0.1600	0.1600
ПХБ 52 / PCB 52	0.0030	0.0030
ПХБ 101 / PCB 101	0.0100	0.0100
ПХБ 138 / PCB 138	0.0026	0.0010
ПХБ 153 / PCB 153	0.0013	0.0013
ПХБ 180 / PCB 180	0.0250	0.0010

⁶⁾URL: <https://cfpub.epa.gov/ecotox/search.cfm> (дата обращения: 19.11.2023).

$PNEC = (LC50 \text{ или } EC50)/Assessment \ Factor$. В работе использовали наиболее часто применяемый для расчета $PNEC$ показатель смертности $LC50$ и коэффициент $AF = 1000$. Токсикологические показатели $EC50$ были взяты из открытой базы данных $ECOTOX^{(6)}$ (табл. 1).

Значение RQ больше единицы означает высокий экологический риск, в интервале от 0.1 до 1 – средний экологический риск, от 0.01 до 0.1 – низкий экологический риск, а ниже 0.01 – незначительный экологический риск [9].

Результаты

На ст. 1–4 концентрация ДДТ и ПХБ в воде была невысокой как в мае, так и в июле. В среднем сумма концентрации ДДТ и его метаболитов (Σ ДДТ) составляла 1.30, сумма концентрации конгенов ПХБ (Σ 6ПХБ) – 1.85 нг/л (см. рис. 1, а). Состав и одинаковое содержание ДДТ и метаболитов на этих станциях свидетельствует о едином источнике поступления пестицидов в районе Симферополя. Среди конгенов ПХБ на ст. 1–4 во всех пробах были обнаружены только ПХБ 138 и 153. Невысокое содержание Σ 6ПХБ свидетельствует об отсутствии значительных источников ПХБ в районах данных станций.

Вниз по течению Салгира на ст. 5 и 6 наблюдался существенный рост концентрации ХОС (рис. 1, а). Наиболее высокое содержание Σ ДДТ определено на ст. 5 в районе с. Молочного (табл. 2). На этом участке содержание исходного ДДТ составило 72 % от суммы концентрации ДДТ и метаболитов, что означает его недавнее поступление в акваторию реки. Ниже по течению

Т а б л и ц а 2. Концентрация (нг/л) ДДТ и его метаболитов и индикаторных конгенов ПХБ в воде реки Салгир в мае и июле 2023 г.

T a b l e 2. Concentrations (ng/L) of DDT, its metabolites, and indicator PCB congeners in the Salgir River water in May and July 2023

№ станции / Station no	Дата отбора / Sampling date	п,п'-ДДЭ / p,p'-DDE	п,п'-ДДД / p,p'-DDD	п,п'-ДДТ / p,p'-DDT	ПХБ 28 / PCB 28	ПХБ 52 / PCB 52	ПХБ 101 / PCB 101	ПХБ 153 / PCB 153	ПХБ 138 / PCB 138	ПХБ 180 / PCB 180
1	23.05	0.23	0.27	н.п.о. / BDL	0.12	1.64	0.20	0.41	0.29	н.п.о. / BDL
2	06.07	1.02	0.20	1.04	н/о / N/D	н/о / N/D	н/о / N/D	0.09	0.41	н/о / N/D
3	23.05	0.83	0.47	0.22	0.41	2.36	н/о / N/D	0.32	0.48	н/о / N/D
4	06.07	0.35	0.24	0.30	0.13	н/о / N/D	н/о / N/D	0.28	0.14	н/о / N/D
5	18.07	5.36	5.21	27.29	1.30	2.81	6.24	1.59	2.98	н/о / N/D
6	18.07	2.02	1.15	н/о	1.29	2.54	7.46	1.04	1.32	н/о / N/D

Примечание: н.п.о. – ниже предела обнаружения; н/о – не обнаружено.

Note: BDL – below detection limit; N/D – not detected.

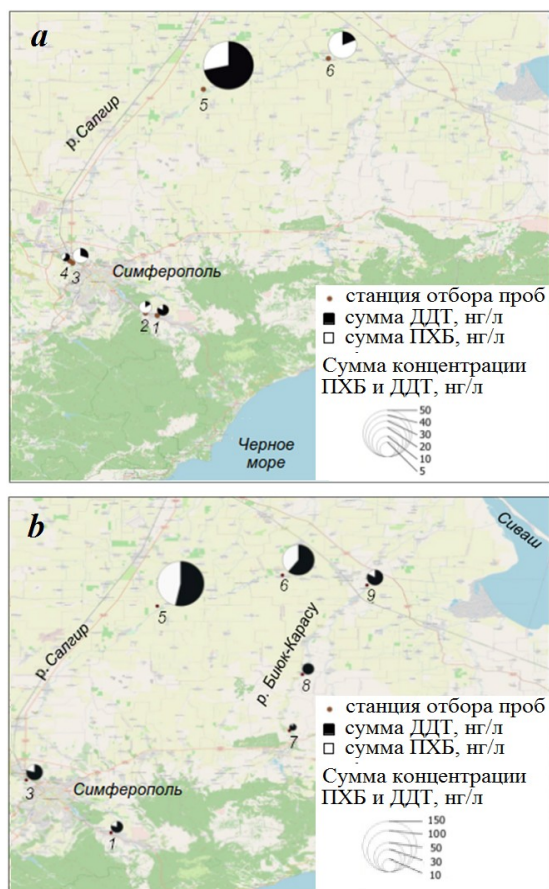
на ст. 6 исходный пестицид ДДТ в воде не был обнаружен, а сумма концентраций его метаболитов ДДЭ и ДДД оказалась на порядок ниже, чем на ст. 5, но выше в среднем в три раза, чем в Симферопольском районе.

Содержание Σ ПХБ на ст. 5 и 6 оказалось почти одинаковым и составляло 14.91 и 13.65 нг/л (рис. 1, а) соответственно. В районах ст. 5 и 6 сумма концентраций ХОС в воде превышала в среднем в 11 раз их общее содержание на ст. 1–4.

В воде рыбохозяйственных водоемов ДДТ и ПХБ должны полностью отсутствовать, а ориентировочно допустимый уровень (ОДУ) составляет 10 нг/л⁷⁾. В воде Салгира выше и ниже Симферополя как в мае, так и в июле ОДУ ХОС не были превышены. На ст. 5 выявлено превышение ОДУ Σ ДДТ в 4 раза, а Σ ПХБ – в 1.5 раза. На ст. 6 ОДУ Σ ДДТ было превышено в 1.3 раза.

Результаты геохимического анализа показали, что в разных точках отбора донные отложения Салгира и Биюк-Карасу различались по естественной влажности (ЕВ) и, как следствие, по гранулометрическому составу. Донные отложения р. Салгир были представлены разнородными песками с различной степенью заиленности:

на ст. 1 и 3 это был заиленный крупный песок без запаха с содержанием ЕВ 33 и 38 % соответственно, на ст. 5 – песчаный ил (40 % ЕВ) с гнилостным запахом, на ст. 6 – пелитовый ил (54 % ЕВ). В районе ст. 7 грунты р. Биюк-Карасу на 95 % состояли из крупного обкатанного гравия (от 0.5 до 3 см) с 5 % алевритового ила (19 % ЕВ) с запахом гнили, на ст. 8 – желто-серого ила с 27 % ЕВ с включениями гравелистых фракций, на ст. 9 – черного ила с остатками водорослей и 55 % ЕВ.



Р и с. 1. Концентрация Σ ДДТ и Σ ПХБ в воде р. Салгир (а) и донных осадках рек Салгир (ст. 1–6) и Биюк-Карасу (ст. 7–9) (б)

Fig. 1. Σ DDT and Σ PCB concentrations in the Salgir River water (a) and sediments of the Salgir River (Stations 1–6) and the Biyuk-Karasu River (Stations 7–9) (b)

⁷⁾ Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения : приказ Минсельхоза РФ от 13.12.2016 № 552.

Сумма концентрации ХОС в донных осадках изменялась в широком диапазоне от 3.03 до 133.57 нг/г (рис. 1, *b*). Наименьшая концентрация Σ ДДТ и Σ ПХБ составляла 2.73 и 0.30 нг/г на ст. 7, максимальная – 71.69 и 61.88 нг/г на ст. 5 соответственно.

В РФ существуют только региональные допустимые уровни (ДУ) содержания ХОС в донных осадках⁸⁾, где для Σ ДДТ установлен безопасный уровень в 2.5 нг/г. При концентрации Σ ДДТ от 2.5 до 10 нг/г осадки считаются слабозагрязненными, при более высокой концентрации – загрязненными. Региональные ДУ Σ ДДТ совпадают с принятыми в международной практике нормами в «голландских листах»⁹⁾, где есть также ДУ Σ ПХБ, который составляет менее 20 нг/г сухой массы. Согласно этим нормам донные отложения по уровню загрязнения ПХБ в районе ст. 7–9 можно квалифицировать как чистые на ст. 1 и 4 – как слабозагрязненные, на ст. 5 и 6 – загрязненные, по уровню загрязнения Σ ДДТ на ст. 1, 7 и 9 – слабозагрязненные, на ст. 4–6, 8 – загрязненные.

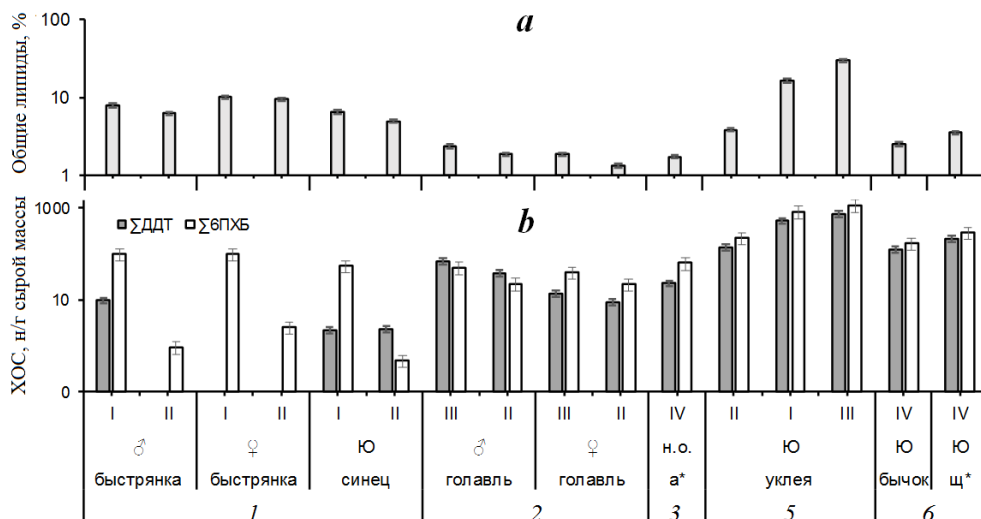
Результаты определения липидов и ХОС в пробах гидробионтов представлены на рис. 2. Содержание общих липидов изменялось от 1.3 % в мышцах самок голавля до 29.8% во внутренних органах уклей (рис. 2, *a*). Концентрация ХОС в пробах тканей рыб изменялась в широком диапазоне: для Σ ДДТ – от 0.94 до 1153, для Σ ПХБ – от «не обнаружено» до 739 нг/г. Самая низкая концентрация ХОС определена в мышцах самцов и самок быстрянки на ст. 1, наиболее высокая – во внутренних органах уклей на ст. 5 (рис. 2, *b*). Во всех пробах гидробионтов обнаружены метаболиты ДДТ: ДДЭ и ДДД и в 80 % проб – исходный ДДТ. На ст. 1 в мышцах самцов, а также в мышцах и гонадах самок быстрянки ПХБ обнаружены не были. На более загрязненных ст. 5 и 6 в телах ювенильных особей уклей, бычка и щиповки концентрация Σ ДДТ превышала содержание Σ ПХБ в среднем в 1.5 раза.

Сравнение концентрации ХОС с ПДК, которая в пресноводных рыбах для Σ ДДТ составляет 300, для Σ ПХБ – 2000 (в печени – 5000) нг/г сырой массы, показало, что ПДК ХОС не была достигнута в мышцах, которые являются пищевым продуктом человека. Очевидно, что для человека не существует риска для здоровья при употреблении в пищу рыбы, выловленной в исследованных районах.

В бентофагах щиповке и бычке кругляке концентрация Σ ДДТ и Σ ПХБ превышала в среднем в 4 и 7 раз концентрацию в потенциальных объектах питания – амфиподах (рис. 2, *b*). Это может говорить о процессе биомагнификации – увеличении уровня содержания ХОС в живых организмах речной трофической цепи.

⁸⁾ Нормы и критерии оценки загрязненности донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга. Региональный норматив. Санкт-Петербург, 1996. 20 с.

⁹⁾ PTS limits and levels of concern in the environment, food and human tissues // Persistent Toxic Substances, Food Security and Indigenous Peoples of the Russian North. Final Report. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). Oslo, 2004. Ch. 3. P. 29–32. URL: <https://www.amap.no/documents/download/1069/inline> (дата обращения: 6.12.2023).



Р и с. 2. Содержание общих липидов (а) и концентрация ХОС (b) в гидробион-тах Салгира: I – гонады; II – мышцы; III – внутренние органы; IV – целиком; н. о. – не определяли; Ю – ювенилы, а* – амфиподы, щ* – щиповка. Цифрами обозначены номера станций

Fig. 2. Total lipids (a) and OCs concentrations (b) in the Salgir hydrobionts: I – go-nads; II – muscles; III – internal organs; IV – whole body; н. д. – not determined; Ю – juveniles, а* – amphipods, щ* – spined loach. Digits indicate station numbers

Обсуждение

Причины неравномерного распределения ХОС в абиотических компонен-тах экосистемы Салгира

Неравномерное загрязнение ХОС абиотических компонентов экосистемы Салгира свидетельствует о том, что между ст. 4 и 5 имеются источники по-ступления ХОС, которые повлияли на существенное увеличение concentra-ции загрязнителей на ст. 5 и 6. На данном этапе работ невозможно точно ус-тановить, откуда поступают ХОС в этом районе. Потенциально загрязнители могут поступать со сточными водами объектов коммунального хозяйства [1]. Известно, что в Крыму выпуск очищенных и неочищенных сточных вод осу-ществляется в р. Салгир, Черное море и оз. Сиваш²⁾. В бытовых стоках ДДТ может появиться из аптечных препаратов. Несмотря на то, что ДДТ законо-дательно запрещен в России уже несколько десятилетий, аптечные сети и в XXI в. предлагают в качестве инсектицида ДДТ, а также содержащее ДДТ инсектицидное мыло [10]. Источником загрязнения ХОС также могут быть дренажные воды более 80 предприятий-водопользователей, забирающих воду Салгира для орошения земель сельскохозяйственного назначения¹⁰⁾.

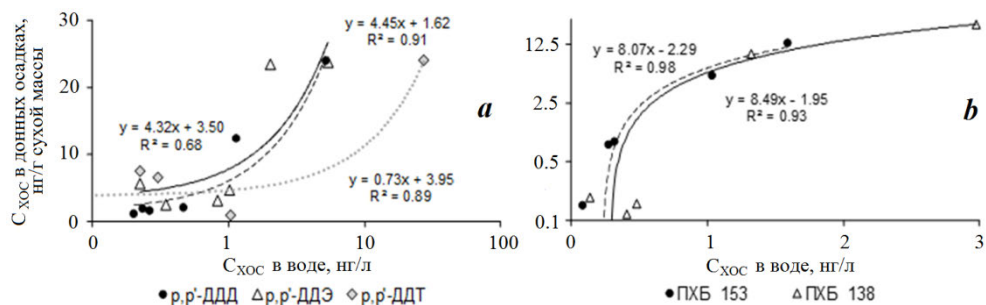
¹⁰⁾ Информация о предоставлении водных объектов в пользование на основании договоров водопользования и решений о предоставлении водных объектов в пользование по Республике Крым по состоянию на 11 октября 2017 г. URL: [https://gkvod.rk.gov.ru/file/otchet\(57\).pdf](https://gkvod.rk.gov.ru/file/otchet(57).pdf) (дата обращения: 23.11.2023).

На 1 га площади сельхозугодий в конце 1990-х годов для борьбы с вредителями вносили 6.04 кг/га пестицидов, в том числе ДДТ¹¹⁾. Появление ДДТ в речной воде может говорить о возможном его смыве с водосборной площади, на которой находятся склады устаревших пестицидов. На территории Крыма на 28 полигонах твердых отходов накоплено 866.9 т запрещенных и неопознанных пестицидов, а учет количества неофициальных свалок устаревших пестицидов никогда не осуществлялся [11]. Из мест таких свалок в водоносные горизонты поступают фильтраты, содержащие опасные химические соединения и продукты их метаболизма [1]. Кроме того, источниками поступления ХОС в окружающую среду являются животноводческие объекты (в том числе птицеводческие) [1]. В Красногвардейском районе в водосборном бассейне Салгира минимум 11 крупных хозяйств занимаются животноводством¹⁰⁾. Таким образом, высокое локальное загрязнение ХОС воды и донных осадков на ст. 5 и 6 может быть следствием интегрального влияния вышеперечисленных потенциальных источников. Можно предположить, что основными источниками ДДТ на ст. 5 и 6 являлись склады устаревших пестицидов, хранящихся в ненадлежащих условиях, а источниками ПХБ – атмосферные транспортные выпадения и остаточные количества от предыдущих лет активного использования ХОС в промышленности и сельском хозяйстве. Невысокая концентрация ХОС в воде на других станциях, которая сопоставима с загрязнением открытых морских районов Крыма [12], может быть следствием «фоновое» загрязнения. Такой «фон» создается атмосферным переносом из южных широт, где до настоящего времени разрешен к применению ДДТ для борьбы с насекомыми – переносчиками возбудителей малярии, сыпного тифа, клещевого энцефалита и др. [13, 14].

Для выявления факторов, влияющих на накопление ХОС в донных отложениях, провели корреляционный анализ. Выявлена тесная связь концентрации ДДТ, его метаболитов и гексахлорбифенилов 138 и 153 в донных отложениях с их содержанием в воде (рис. 3). Для триХБ 28 такая зависимость отсутствовала ($R^2_{\text{ПХБ28}} = -0.09$), а для тетра- и пентаХБ 52 ($R^2_{\text{ПХБ52}} = 0.38$) и 101 ($R^2_{\text{ПХБ101}} = 0.40$) – была слабой. Таким образом, уровень концентрации ДДТ и высокохлорированных конгенов ПХБ в грунтах Салгира тесно связан с загрязненностью воды.

Другим фактором, влияющим на накопление ХОС донными осадками, может являться их гранулометрический состав. Косвенно о гранулометрическом составе можно судить по ЕВ: чем выше ЕВ, тем выше содержание илистых фракций. Коэффициенты детерминации (R^2) между ЕВ и концентрацией $\Sigma\text{ДДТ}$ и $\Sigma\text{ПХБ}$ в донных осадках рек составляли 0.36 и 0.25 соответственно, что свидетельствует о невысокой корреляционной связи между мелкодисперсными фракциями и содержанием ХОС. Следовательно, более значимым фактором, влияющим на накопление ХОС в грунтах, являлось содержание загрязнителей в воде.

¹¹⁾ Ежегодник содержания остаточных количеств пестицидов в объектах природной среды Советского Союза Книга II. Обнинск : Госкомгидромет, 1988. 132 с.



Р и с. 3. Отношение концентрации ДДТ и его метаболитов (а) и ПХБ 153 и 138 (b) в донных отложениях р. Салгир на ст. 1–6 к соответствующим значениям в воде

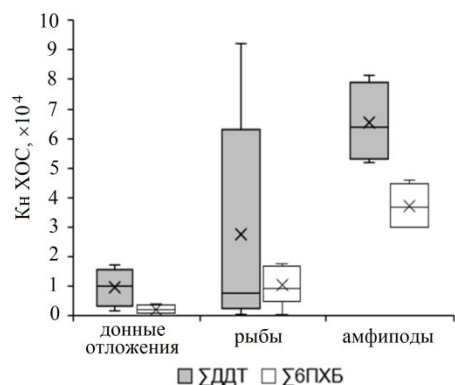
Fig. 3. Ratios of the DDT and its metabolites (a) and PCBs 153 and 138 (b) concentrations in the Salgir River sediments at st. 1–6 by the respective values in water

Сравнение концентрации ХОС в воде и донных отложений с другими реками

Сравнение загрязненности воды и грунтов рек показало, что концентрация Σ ПХБ в Салгире была выше, чем в исследованных реках Крыма – Черной и Учан-Су [6, 12], а также Биюк-Карасу (табл. 3), и сопоставима с данными, полученными в Чешской Республике [15]. При этом в таких европейских реках, как Селе, Вольтурно, Бахлуй, Сомешул-Мик [16, 17] и Москва [18], а также в реках Индии [19, 20] данный показатель был ниже. Содержание Σ ДДТ в донных осадках среднего течения Салгира оказалось одним из наиболее высоких среди сравниваемых районов. Выше (в три раза) концентрация пестицида была только в индийской р. Ямуна (табл. 3).

Механизмы выведения ХОС из воды Салгира

Об интенсивном накоплении ХОС из воды как донными отложениями, так и биотическими компонентами экосистемы Салгира свидетельствуют рассчитанные коэффициенты накопления (Кн) ХОС (рис. 4). В разных районах Салгира Кн Σ ДДТ донными осадками изменялся от $2 \cdot 10^3$ на ст. 5 до $1 \cdot 10^4$ на ст. 6. Кн Σ ПХБ в грунтах был ниже и варьировал от $9 \cdot 10^2$ на ст. 3 до $4 \cdot 10^3$ на ст. 5.



Р и с. 4. Коэффициенты накопления (Кн) ХОС донными отложениями, рыбами и амфиподами Салгира. Горизонтальные линии показывают медиану, крестики – среднее, боксы – межквартильные (25 и 75 %) диапазоны, усы – диапазоны значений Кн

Fig. 4. Accumulation factor (AF) of OCs in sediments and bioaccumulation factor (BAF) in fish and amphipods of the Salgir River. Horizontal lines show median, crosses are the mean, boxes are interquartile ranges (25 and 75%), whiskers are ranges of AF and BAF values

Т а б л и ц а 3. Концентрация ХОС в воде и донных осадках пресноводных экосистем
 T a b l e 3. OCs concentration in water and bottom sediments of freshwater ecosystems

Район / Area	Дата / Date	Объект / Object	Диапазоны (среднее) $\sum$ ДДТ / Ranges (mean) of $\sum$ DDT	Диапазоны (среднее) $\sum$ ПХБ / Ranges (mean) of $\sum$ PCB	Работа / Work
Река Бахлуй, Румыния / Bahlui River, Romania	2002	Донные отложения / Bottom sediments	(37) нг/г / (37) ng/g	24–158 (59) нг/г / 24–158 (59) ng/g	[16]
Водохранилище Нове Мльны в Южной Моравии, Чешская Республика / Nove Mlýny Reservoir, South Moravia, Czech Republic	2007	Вода / Water Донные отложения / Bottom sediments	н. опр. / N/Dtm н. опр. / N/Dtm	(17.78) нг/л * ¹ / (17.78) ng/L * ¹ 2.09–38.11 (9.02) нг/г сух. массы * ² / 2.09–38.11 (9.02) ng/g dry weight * ²	[15]
Река Ямуна, Индия / Yamuna River, India	Январь 2012 / January 2012 Июнь 2018 / June 2018	Вода / Water Донные отложения / Bottom sediments	0.1–354 (83 ± 26) нг/л / 0.1–354 (83 ± 26) ng/L 0.41–18 нг/г сух. массы / 0.41–18 ng/g dry weight	2–779 (99 ± 38) нг/л / 2–779 (99 ± 38) ng/L 553–20 983 нг/г сух. массы 553–20 983 ng/g dry weight	[19] [20]
Река Москва / Moscow River	2014	Вода / Water	н. опр. / N/Dtm	н. п. д. –180.7 нг/л * ³ / BDL – 180.7 ng/L * ³	[18]
Река Сомешул-Мик, Румыния / Someşul Mic River, Romania	Май 2017 / May 2017	Донные отложения / Bottom sediments	1.00–39.24 нг/г сух. массы / 1.00–39.24 ng/g dry weight	2.74–252.72 нг/г сух. массы / 2.74–252.72 ng/g dry weight	[21]
Река Вольтурно, Южная Италия / Volvturno River, South Italy	Апрель–июль 2017, апрель– июль 2018 / April – July 2017, April – July 2018	Вода / Water Донные отложения / Bottom sediments	н. опр. / N/Dtm н. опр. / N/Dtm	22.3–24.5 нг/л * ² / 22.3–24.5 ng/L * ² (64.4) нг/г сух. массы / (64.4) ng/g dryweight	[17]

Район / Area	Дата / Date	Объект / Object	Диапазоны (среднее) Σ ДДТ / Ranges (mean) of Σ DDT	Диапазоны (среднее) Σ ПХБ / Ranges (mean) of Σ PCB	Работа / Work
Река Селе, Южная Италия / Sele River, South Italy	Апрель– февраль 2020, апрель– февраль 2021 / April–February 2020, April – February 2017	Вода / Water	н. д.– 1.96 нг/л * ³ / ND – 1.96 ng/L * ³	20.8–39.3 нг/л * ³ / 20.8–39.3 ng/L * ³	[5]
		Донные отложения / Bottom sediments	0.10–6.12 нг/г сух. массы / 0.10–6.12 ng/g dry weight	(79.3) нг/г сух. массы / (79.3) ng/g dry weight	
Устье реки Черная (юго-восток Крыма) / Chernaya River mouth, south-eastern Crimea	2020–2021	Вода / Water	(0.57) нг/л / (0.57) ng/L	(3.45) нг/л / (3.45) ng/L	[12]
		Донные отложения / Bottom sediments	7.3–13.6 (10.0) нг/г сух. массы / 7.3–13.6 (10.0) ng/g dry weight	3.9–27.4 (13.98) нг/г сух. массы / 3.9–27.4 (13.98) ng/g dry weight	
Река Учан-Су (Ялта) / Uchan-Su River (Yalta)	2020–2021	Вода / Water	(0.32) нг/л / (0.32) ng/L	(1.09) нг/л / (1.09) ng/L	[12]
Река Салгир / Salgir River	Май–июль 2023 / May – July 2023	Вода / Water	0.53–37.87 (7.71) нг/л / 0.53–37.87 (7.71) ng/L	0.50–14.91 (5.99) нг/л / 0.50–14.91 (5.99) ng/L	н. п. / TW
		Донные отложения / Bottom sediments	9.06–71.69 (32.91) нг/г сух. массы / 9.06–71.69 (32.91) ng/g dry weight	3.11–61.88 (23.80) нг/г сух. массы / 3.11–61.88 (23.80) ng/g dry weight	
Река Биюк-Карасу / Biyuk-Karasu River	Июль 2023 / July 2023	Донные отложения / Bottom sediments	2.73–13.08 (8.02) нг/г сух. массы / 2.73–13.08 (8.02) ng/g dry weight	н. п. д. – 2.70 (1.00) нг/г сух. массы / BDL – 2.70 (1.00) ng/g dry weight	н. п. / TW

Примечание: н. опр. – не определяли, *¹ – сумма концентрации шести индикаторных конгенов ПХБ, н. д.– не детектировано, *² – сумма растворенной и взвешенной форм, н. п. д.– ниже предела детектирования, *³– сумма концентрации конгенов ПХБ 28, 42, 45 и 49; н. п. – настоящая работа

Note: N/Dtm– the values were not determined; ND – below detection limit; *¹ – sum of concentrations of six PCB indicator congeners; *² – sum of the dissolved and weighed forms; *³ – sum of concentrations of 28, 42, 45, and 49 PCB congeners; TW – this work

Другим механизмом очищения водной среды является извлечение гидрофобных ХОС из воды водными организмами [22]. По нашим данным при низкой концентрации в воде Кн Σ ДДТ и Σ 6ПХБ в мышцах рыб Салгира на ст. 1 составлял $9 \cdot 10^2$ и $8 \cdot 10^2$ соответственно. На ст. 6, где концентрация ХОС была на два порядка выше, Кн был выше, чем на ст. 1, и максимально достигал $9 \cdot 10^4$ для Σ ДДТ и $1.5 \cdot 10^4$ для Σ 6ПХБ (рис. 4). Наиболее высокие Кн были определены в ракообразных: составляющие на ст. 3 в среднем $7 \cdot 10^4$ для Σ ДДТ и $4 \cdot 10^4$ для Σ 6ПХБ.

Оценка экологического риска от воздействия ХОС на гидробионтов

У гидробионтов в зависимости от района исследований значения коэф-фициентов экологического риска *RQ* индивидуальных ХОС изменялись в широком диапазоне от 0.00001 до 25.8 (табл. 4). В целом *RQ* высокохлори-рованных конгенеров ПХБ оказались выше, чем *RQ* соединений группы ДДТ и низкохлорированных ПХБ. На ст. 1 для всех видов *RQ* не превышал порога

Т а б л и ц а 4. Коэффициент экологического риска *RQ* для рыб и ракообразных в экосистеме Салгира

T a b l e 4. Environmental risk coefficient *RQ* for fish and crustaceans in the Salgir River ecosystem

ХОС / ОС	Быстрянка и синец (ст. 1) / Schneider and zope (St. 1)	Голавль (ст. 2) / Chub (St. 2)	Амфиподы (ст. 3) / Amphipods (St. 3)	Уклея (ст. 5) / Bleak (St. 5)	Бычок (ст. 6) / Goby (St. 6)	Щиповка (ст. 6) / Spined loach (St. 6)
п,п'-ДДЭ / p,p'-DDE	0.0018	0.21	0.066	1.94	1.0	1.9
п,п'-ДДД / p,p'-DDD	0.0002	0.012	1.1	0.38	0.45	0.81
п,п'-ДДТ / p,p'-DDT	0.0036	0.0014	1.9	0.38	0.17	0.29
ПХБ 28 / PCB 28	0.0003	0.012	0.00001	0.038	0.025	0.045
ПХБ 52 / PCB 52	0.27	2.2	1.4	1.68	1.1	2.2
ПХБ 101 / PCB 101	0.012	4.9	0.47	5.4	4.0	8.4
ПХБ 138 / PCB 138	0.61	4.5	6.1	20.8	21.7	31.9
ПХБ 153 / PCB 153	0.19	1.5	5.8	16.8	16.8	25.8
ПХБ 180 / PCB 180	0.003	0.0053	0.063	0.13	0.18	0.29

Примечание: жирным шрифтом выделены значения *RQ* высокого экологического риска.

Note: RQ values of high environmental risk are given in bold.

высокого риска: для ПХБ 52, 138 и 153 указывал на средний экологический риск, для соединений группы ДДТ – на отсутствие риска. На ст. 5 и 6 *RQ* ДДЭ превысил порог высокого риска для рыб, а на ст. 3 *RQ* превысил такой порог для ракообразных по содержанию ДДД и ДДТ. Наиболее высокий коэффициент *RQ* определен для гексахлорбифенилов 138 и 153 для рыб на ст. 2, 5 и 6 и амфипод – на ст. 3.

Полученные на ст. 5 и 6 результаты дают основание предположить, что, несмотря на более высокий уровень загрязнения ДДТ, загрязнение ПХБ представляет для данных районов экосистемы Салгира более высокий экологический риск.

Заключение

Хозяйственное значение реки Салгир переоценить сложно. Качество жизни людей, живущих на берегах реки, и работа предприятий, которые снабжаются водой Салгира, зависят от состояния его воды. Проведенные исследования уровней загрязнения такими хлорорганическими ксенобиотиками как ДДТ и ПХБ компонентов экосистем рек Салгир и Бююк-Карасу позволили определить районы экологической опасности у с. Молочного и Новогригорьевки для биологических объектов и, возможно, для человека. Результаты исследования показали, что загрязнение ХОС компонентов экосистемы среднего течения Салгира является серьезной экологической проблемой, поэтому стоит задача выявления источников ХОС и предотвращения их поступления в реку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Риск современного загрязнения речных вод пестицидами ДДТ и ГХЦГ / Р. В. Галиулин [и др.] // Проблемы анализа риска. 2019. Т. 16, № 5. С. 62–69. EDN LUFFUX. doi:10.32686/1812-5220-2019-16-5-62-69
2. Федоров Л. А., Яблоков А. В. Пестициды – токсический удар по биосфере и человеку. Москва : Наука, 1999. 462 с. URL: <http://levfedorov.ru/pest/> (дата обращения: 23.11.2023).
3. Origin, dietary exposure, and toxicity of endocrine-disrupting food chemical contaminants: A comprehensive review / L. Peivasteh-Roudsari [et al.] // Heliyon. 2023. Vol. 9, iss. 7. e18140. doi:10.1016/j.heliyon.2023.e18140
4. The concentration of persistent organic pollutants in water resources: A global systematic review, meta-analysis and probabilistic risk assessment / Y. Vasseghian [et al.] // Science of the Total Environment. 2021. Vol. 796. 149000. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.149000
5. Occurrence and distribution of persistent organic pollutants (POPs) from Sele River, Southern Italy: Analysis of polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in a water–sediment system / E. De Rosa [et al.] // Toxics. 2022. Vol. 10, iss. 11. 662. doi:10.3390/toxics10110662
6. Сравнительная оценка хлорорганического загрязнения донных отложений разнотипных водных объектов Севастопольского региона (Крым) / Л. В. Малахова [и др.] // Химия в интересах устойчивого развития. 2022. Т. 30, № 2. С. 174–185. EDN JHJBTB. doi:10.15372/KhUR2022371
7. Partitioning and level of organochlorine compounds in the tissues of the Black Sea Turbot at the South-Western Shelf of Crimea / L. Malakhova [et al.] // Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 2014. Vol. 14, iss. 5. P. 993–1000. doi:10.4194/1303-2712-v14_4_19

8. Бабкина Э. И., Бобовникова Ц. И. О количественном извлечении хлорорганических пестицидов и полихлорированных бифенилов из органов и тканей рыб // Гидробиологический журнал. 1978. Т. 14, № 3. С. 103–105.
9. Occurrence and risk assessment of emerging contaminants in a water reclamation and ecological reuse project / X. Lin [et al.] // Science of The Total Environment. 2020. 744. 140977. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.140977
10. Яглова Н. В., Яглов В. В. Эндокринные дизрапторы – новое направление исследований в эндокринологии // Вестник РАМН. 2012. № 3. С. 56–61. EDN OXNEXH.
11. Дубровин И. Р., Дубровин Е. Р. К вопросу об экологической безопасности автономной Республики Крым // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2017. № 4. С. 24–28. EDN YXNMDW.
12. Малахова Л. В., Лобко В. В. Оценка загрязненности хлорорганическими ксенобиотиками компонентов экосистемы Ялтинского залива // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2022. № 3. С. 104–116. EDN HNUAOL. doi:10.22449/2413-5577-2022-3-104-116
13. Mandavilli A. Health agency backs use of DDT against malaria // Nature. 2006. Vol. 443. P. 250–251. doi:10.1038/443250b
14. Pyrethroid resistance in African anopheline mosquitoes: what are the implications for malaria control? / H. Ranson [et al.] // Trends in Parasitology. 2011. Vol. 27, iss. 2. P. 91–98. doi:10.1016/j.pt.2010.08.004
15. Persistent organic pollutants in muscle of fish collected from the Nové Mlýny reservoir in Southern Moravia, Czech Republic / L. Zelníčková [et al.] // Environmental Monitoring and Assessment. 2015. Vol. 187, iss. 7. 448. doi:10.1007/s10661-015-4460-3
16. Occurrence of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in soils and sediments from Eastern Romania / D. Dragan [et al.] // International Journal of Environmental Analytical Chemistry. 2006. Vol. 86. P. 833–842. doi:10.1080/03067310600665571
17. Polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in water and sediment from Volturno River, Southern Italy: occurrence, distribution and risk assessment / Montuori P. [et al.] // Environmental Sciences Europe. 2020. Vol. 32. P. 1–22. doi:10.1186/s12302-020-00408-4
18. Distribution of polychlorinated biphenyls, phthalic acid esters, polycyclic aromatic hydrocarbons and organochlorine substances in the Moscow River, Russia / N. Eremina [et al.] // Environmental Pollution. 2016. Vol. 210. P. 409–418. doi:10.1016/j.envpol.2015.11.034
19. Assessment of polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in water samples from the Yamuna River / B. Kumar [et al.] // Journal of Xenobiotics. 2012. Vol. 2, iss. 1. e6. doi:10.4081/xeno.2012.e6
20. Assessment of persistent organic pollutants in soil and sediments from an urbanized flood plain area / B. Kumar [et al.] // Environmental Geochemistry and Health. 2021. Vol. 43, iss. 9. P. 3375–3392. doi:10.1007/s10653-021-00839-9
21. Occurrence, distribution and ecological risk of trace metals and organic pollutants in surface sediments from a Southeastern European river (Someșu Mic River, Romania) / B. Barhoumi [et al.] // Science of the Total Environment. 2019. Vol. 660. P. 660–676. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.12.428
22. Поликарпов Г. Г., Егоров В. Н. Морская динамическая радиохемозэкология. Москва : Энергоатомиздат, 1986. 176 с.

Поступила 21.06.2023 г.; одобрена после рецензирования 15.08.2023 г.;
принята к публикации 11.10.2023 г.; опубликована 20.12.2023 г.

Об авторах:

Малахова Людмила Васильевна, старший научный сотрудник, НИЦ ПСГ (273003, Россия, Херсон, ул. Марии Фортус, 87), ведущий научный сотрудник, Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН (299011, Россия, Севастополь, пр. Нахимова, 2), кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, **ORCID ID: 0000-0001-8810-7264**, **Scopus Author ID: 35604200900**, **ResearcherID: E-9401-2016**, *malakh2003@list.ru*

Карпова Евгения Павловна, старший научный сотрудник, НИЦ ПСГ (273003, Россия, Херсон, ул. Марии Фортус, 87), старший научный сотрудник, Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН (299011, Россия, Севастополь, пр. Нахимова, 2), кандидат биологических наук, **ORCID ID: 0000-0001-9590-9302**, **Scopus Author ID: 26639409000**, **ResearcherID: T-5944-2019**, *karpova_jevy@mail.ru*

Белогурова Раиса Евгеньевна, научный сотрудник, НИЦ ПСГ (273003, Россия, Херсон, ул. Марии Фортус, 87), научный сотрудник, Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН (299011, Россия, Севастополь, пр. Нахимова, 2), кандидат биологических наук, **ORCID ID: 0000-0002-3101-7708**, **Scopus Author ID: 57221541105**, **ResearcherID: P-9056-2016**, *prishchepa.raisa@yandex.ru*

Губанов Владимир Викторович, ведущий инженер, Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН (299011, Россия, Севастополь, пр. Нахимова, 2), **ORCID ID: 0000-0002-0077-2129**, **SPIN-code: 4347-3293**, *gubanov76@mail.ru*

Прокопов Григорий Анатольевич, научный сотрудник, НИЦ ПСГ (273003, Россия, Херсон, ул. Марии Фортус, 87), старший преподаватель, ФГАОУ ВО Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского (295007, Россия, Симферополь, пр. Вернадского, 4), **ORCID ID: 0000-0002-6495-3674**, **Scopus Author ID: 22958408500**, **ResearcherID: JFB-3418-2023**, *prokopov@cfuv.ru*

Чеснокова Ирина Игоревна, старший научный сотрудник, НИЦ ПСГ (273003, Россия, Херсон, ул. Марии Фортус, 87), старший научный сотрудник, Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН (299011, Россия, Севастополь, пр. Нахимова, 2), кандидат биологических наук, **ORCID ID: 0000-0002-7883-0755**, **Scopus Author ID: 57194774884**, **ResearcherID: X-2173-2019**, *mirenri@bk.ru*

Куршаков Сергей Викторович, научный сотрудник, НИЦ ПСГ (273003, Россия, Херсон, ул. Марии Фортус, 87), научный сотрудник, Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН (299011, Россия, Севастополь, пр. Нахимова, 2), **ORCID ID: 0000-0001-8129-5944**, **Scopus Author ID: 57200942626**, **ResearcherID: T-9557-2019**, *kurshackov@yandex.ru*

Статкевич Светлана Вячеславовна, старший научный сотрудник, НИЦ ПСГ (273003, Россия, Херсон, ул. Марии Фортус, 87), старший научный сотрудник, Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН (299011, Россия, Севастополь, пр. Нахимова, 2), кандидат биологических наук, **ORCID ID: 0000-0003-4108-459X**, **Scopus Author ID: 57190605963**, **ResearcherID: T-5972-2019**

Шавриев Дмитрий Георгиевич, ведущий инженер, Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН (299011, Россия, Севастополь, пр. Нахимова, 2), *shavrievd@gmail.com*

Овечко Сергей Викторович, директор, НИЦ ПСГ (273003, Россия, Херсон, ул. Марии Фортус, 87), **ORCID ID: 0009-0007-1050-9918**, **ResearcherID: JFJ-7762-2023**, *hgbsl@yandex.ru*

Заявленный вклад авторов:

Малахова Людмила Васильевна – постановка задачи, подготовка проб воды, донных осадков и гидробионтов для газохроматографического анализа, определение хлорорганических загрязнителей, анализ полученных результатов, обсуждение результатов, написание и оформление статьи

Карпова Евгения Павловна – руководство экспедиционными работами в мае 2023 г., участие в экспедиционном отборе проб компонентов экосистемы Салгира, определение видового состава ихтиофауны, обсуждение результатов, редактирование статьи

Белогурова Раиса Евгеньевна – руководство экспедиционными работами в июле 2023 г., отбор проб компонентов экосистемы Салгира и Биюк-Карасу, определение видового состава ихтиофауны, препарирование и подготовка проб к анализу, обсуждение результатов, редактирование статьи

Губанов Владимир Викторович – участие в экспедиционном отборе проб компонентов экосистемы Салгира и биологическом анализе образцов

Прокопов Григорий Анатольевич – планирование и отбор проб абиотических компонентов и бентоса в Салгире и Биюк-Карасу, определение видового состава бентосных организмов, обсуждение результатов, графическое представление результатов анализа, редактирование статьи

Чеснокова Ирина Игоревна – участие в экспедиционном отборе проб компонентов экосистемы Салгира, определение видового состава ихтиофауны, препарирование и подготовка проб к анализу, обсуждение результатов, редактирование статьи

Куршаков Сергей Викторович – участие в экспедиционном отборе проб компонентов экосистемы Салгира и биологическом анализе образцов

Статкевич Светлана Вячеславовна – участие в экспедиционном отборе проб компонентов экосистемы Салгира и биологическом анализе образцов

Шавриев Дмитрий Георгиевич – участие в экспедиционном отборе проб компонентов экосистемы Салгира и биологическом анализе образцов

Овечко Сергей Викторович – постановка задачи, планирование работ, анализ результатов, обсуждение и финальное редактирование статьи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.