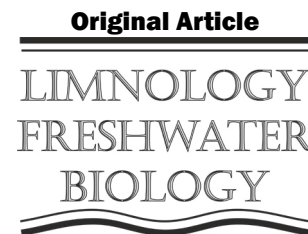


Accumulation of microplastics and anthropogenic fibers in natural populations of blood-sucking mosquitoes of the genus *Aedes* in the environs of Tomsk (Western Siberia, Russia)



Varenitsina A.A.*, Simakova A.V., Babkina I.B., Deroval A.V.

Tomsk State University, 36 Lenin Ave., Tomsk, 634050, Russia

ABSTRACT. The content of microplastics (MPs) was monitored in natural populations of blood-sucking mosquitoes of the genus *Aedes* (Meigen, 1818) at different mosquito life cycle stages in the environs of Tomsk (Western Siberia, Russia) across various biotopes (meadow swamps, forest bogs, sphagnum bogs) for three years (2021–2023). A total of 990 mosquitoes were analyzed for MP content. The detected MPs varied in shape and size, ranging from 0.1 to 1 mm. The average number of MPs per mosquito individual increased from 0.012 ± 0.003 in 2021 to 0.191 ± 0.087 in 2023. The MP content increased from larval stage I to larval stage III, decreased at stage IV, and then decreased at pupal and imago stages. The highest MP content was recorded in mosquitoes from sphagnum bogs, while the lowest one was found in insects from meadow swamps. No statistically significant differences were revealed across biotopes. Black fragments and fibers <0.5 mm in size were predominant. The analysis revealed a general trend in which the number of MPs increases annually, particularly small black fragments (tire and road wear particles). This increase may be attributed to the proximity of roads that contribute to MP pollution in nearby water bodies, as well as degradation of synthetic textiles resulting in the release of MPs and anthropogenic fibers via sewage effluents. The obtained data indicate a wide distribution of MPs in natural populations of *Aedes* mosquitoes and confirm the urgent need for further research into the effect of MPs on their biology and the role of these insects as pollution indicators.

Keywords: Microplastics, particles, fibers, blood-sucking mosquitoes, water pollution, aquatic ecosystems

For citation: Varenitsina A.A., Simakova A.V., Babkina I.B., Deroval A.V. Accumulation of microplastics and anthropogenic fibers in natural populations of blood-sucking mosquitoes of the genus *Aedes* in the environs of Tomsk (Western Siberia, Russia) // Limnology and Freshwater Biology. 2025. - № 4. - P. 780-793. DOI: 10.31951/2658-3518-2025-A-4-780

1. Introduction

Plastics are integral to modern society. Synthetic polymers are found in almost every sector, from industry, construction, and transportation to medicine, packaging, and everyday items (Andrady and Neal, 2009). However, a widespread use of plastic products and inadequate management of plastic waste have become one of the most serious environmental issues of our time. According to numerous studies, the annual global production of plastic exceeds 400 million tons (Geyer et al., 2017). A significant portion of plastic materials is not recycled or properly disposed, contributing to their long-term persistence in the environment for decades to centuries. Mismanaged plastic wastes migrate and accumulate in various components of the biosphere, including water, soil, and fresh and marine water bodies (Thompson et al., 2004).

Microplastics (MPs) are tiny plastic particles measuring up to 5 mm along their largest axis (Thompson et al., 2004). Microplastics originate mainly from the degradation of larger plastic products due to natural factors such as ultraviolet radiation, temperature fluctuations, and mechanical impact (Royer et al., 2018). The primary MP sources include car tire wear, synthetic fabrics, cosmetics, packaging materials, and industrial waste (Fendall and Sewell, 2009; Kole et al., 2017; Akbari et al., 2024). A significant portion of MPs is transferred to the environment through wastewater, spreading across aquatic and terrestrial ecosystems (Browne et al., 2011). This raises great concern, as these particles can potentially enter food webs and affect a wide range of living organisms, from primitive single-celled microorganisms to highly evolved vertebrates (Wilcox et al., 2016; Botterell et al., 2019).

*Corresponding author.

E-mail address: anna.varenitsina@yandex.ru (A.A. Varenitsina)

Received: July 30, 2025; **Accepted:** August 20, 2025;

Available online: August 31, 2025

© Author(s) 2025. This work is distributed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.



Microplastics are a relatively inert material; however, various additives such as stabilizers, flame retardants and dyes that manufacturers add to plastic to improve their performance can be toxic and increase harmful effects of MPs on living organisms (Pilapitiya and Ratnayake, 2024). Although MP uptake does not induce acute lethal effects, it can lead to chronic disorders, including mechanical tissue damage, developmental delay, waning immunity, gut dysbiosis, and reproductive disorders (Wright et al., 2013; Sussarellu et al., 2016).

Insects play a vital role in maintaining biodiversity and stability of natural ecosystems. They are the most numerous group of animals, comprising approximately 80% of all known animal species. Insects perform important functions: they pollinate plants, regulate pest populations, decompose organic matter, and serve as a source of food for other animals (Seki, 1986). Amphibious insects represent a unique link in ecosystems, since they undergo different stages of metamorphosis in both aquatic and terrestrial ecosystems. Their larvae are involved in the filtration of organic matter and can be used as bioindicators for assessing the ecological status of water bodies, responding rapidly to environmental changes, particularly those caused by harmful substances and pollutants (Yee and Kaufman, 2019). This ability makes them promising candidates for studying the effects of MP pollution (Ehlers et al., 2019).

At present, no comprehensive data are available to track the long-term dynamics of MP accumulation in amphibious insects. The number of studies addressing this problem is limited, and Western Siberia remains virtually unexplored in this regard.

In this study, natural populations of mosquitoes of the genus *Aedes* (Meigen, 1818) were used as a model object to monitor MP accumulation in insects of Western Siberia. This taxon is common for various ecosystems, and exhibits a high abundance and diversity of species. In addition, it is of epidemiological significance, being a carrier of viral, bacterial and helminthic diseases (Dobson and Foutopoulos, 2001; Bhatt et al., 2013).

The aim of the study was to analyze the dynamics of MP accumulation in the bodies of insects during metamorphosis, using natural populations of blood-sucking mosquitoes of the genus *Aedes* (Diptera: Culicidae) in Western Siberia as an example.

2. Material and methods

Field methods. Mosquitoes were collected in the environs of Tomsk (Western Siberia, Russia) in various biotopes: meadow swamps (56°32'53.2"N, 84°52'02.0"E; 56°34'27.9"N, 85°01'15.2"E; 60°36'47.4"N, 77°21'26.1"E), forest bogs (56°30'29.5"N, 84°45'35.0"E), and sphagnum bogs (56°30'27.8"N, 84°49'49.5"E) in spring, 2021–2023. A dip net with a diameter of 20 cm was used to collect larvae and pupae. The net was immersed in water to half the rim diameter and moved along the surface and in the water column at a depth of up to 30 cm. Catching was performed at several points of the selected water body with an inter-

point distance of at least 1 m. Larvae and pupae were transported to the laboratory in sealed plastic containers with water from the collection site. The containers were tightly closed, and the volume of liquid was sufficient to maintain the oxygen regime. Cages with a wire frame covered with gauze were used for imago. The transportation period did not exceed 24 h to ensure high survival. The collected material was fixed in 70% ethanol for further study.

Laboratory methods. Identification of larvae and adults was performed by morphological features using standard taxonomic keys (Gutsevich et al., 1970). Before homogenization, each mosquito individual was thoroughly washed with distilled water twice to remove surface contaminants and foreign MPs. Dissection was performed as follows: the intestines of larvae, the main accumulators of MPs, were carefully separated (Simakova et al., 2022); in pupae, all soft tissues were separated from the exoskeleton due to undifferentiated contents; in adults, the contents of the head capsule, thoracic and abdominal regions were separated. Homogenization was performed in pools of up to 25 individuals with the addition of 35% H₂O₂ and 0.05 M FeSO₄ as a catalyst in a ratio of 3/1 (v/v) until complete dissolution of the organic matter. Peroxide oxidation was performed in variations to extract MPs from natural waters, bottom sediments, fish and invertebrate tissues (Claessens et al., 2013; Karami, 2017; Lusher et al., 2020; Simakova et al., 2024).

For microscopic analysis, the obtained homogenate was filtered through a glass fiber membrane filter with a pore diameter of 1 µm (Membrane Solutions, China) using a vacuum pump. Particle counting and identification were conducted using a Stemi 2000-c binocular microscope (Carl Zeiss, Germany) by the 'hot needle test' method (Hidalgo-Ruz et al., 2012). This method employs the principle of thermal action, whereby MPs change their shape upon contact with a hot needle, unlike non-plastic materials, which are not subject to deformation. Particle counting was performed with regard to the morphological characteristics of MPs: shape (fragments, fibers), color (colorless, black, yellow, red, blue, green), and size (small particles <0.5 mm, large particles >0.5 mm) (Hidalgo-Ruz et al., 2012). A total of 990 mosquito individuals were examined.

Statistical analysis. The obtained data were analyzed using R statistical software (R Core team, 2021). The MP content in natural mosquito populations was studied with regard to different factors (year of observation, biotope, life cycle stage), using variance analysis (ANOVA). The significance level of differences was set at $\alpha = 0.05$.

3. Results

The study of natural populations of mosquitoes collected in various biotopes (meadow swamps, forest bogs, sphagnum bogs) in the environs of Tomsk (Western Siberia, Russia) during the spring of 2021–2023 revealed the presence of MPs at all mosquito life cycle stages.

Analysis of the filters identified MPs of various shapes and sizes: fragments with the maximum axis diameter of 0.1–1 mm and anthropogenic fibers up to 1 mm long. The detected particles were of various colors, with black fragments and fibers statistically predominating (ANOVA: $F = 3.43$, $p\text{-value} = 0.0056$) (Fig. 1).

The differences in the number of MPs across different years were statistically significant. The maximum number of MP fragments and fibers in mosquitoes was recorded in 2023. The average number of MPs per mosquito individual attained 0.012 ± 0.003 in 2021, 0.014 ± 0.005 in 2022, and 0.191 ± 0.087 in 2023 (ANOVA: $F = 7.36$, $p\text{-value} = 0.0074$). No statistically significant differences were observed across either biotopes or life cycle stages.

As evidenced by the sample collected in the 'sphagnum bog' biotope (all stages of metamorphosis), the MP content tends to change across mosquito life cycle stages: the number of MPs increases from larval stage I to larval stage III, decreases at stage IV, and then decreases at pupal and imago stages (Fig. 2).

The highest MP content was recorded in mosquitoes from sphagnum bogs, while the lowest content was observed in insects from meadow swamps (Fig. 3).

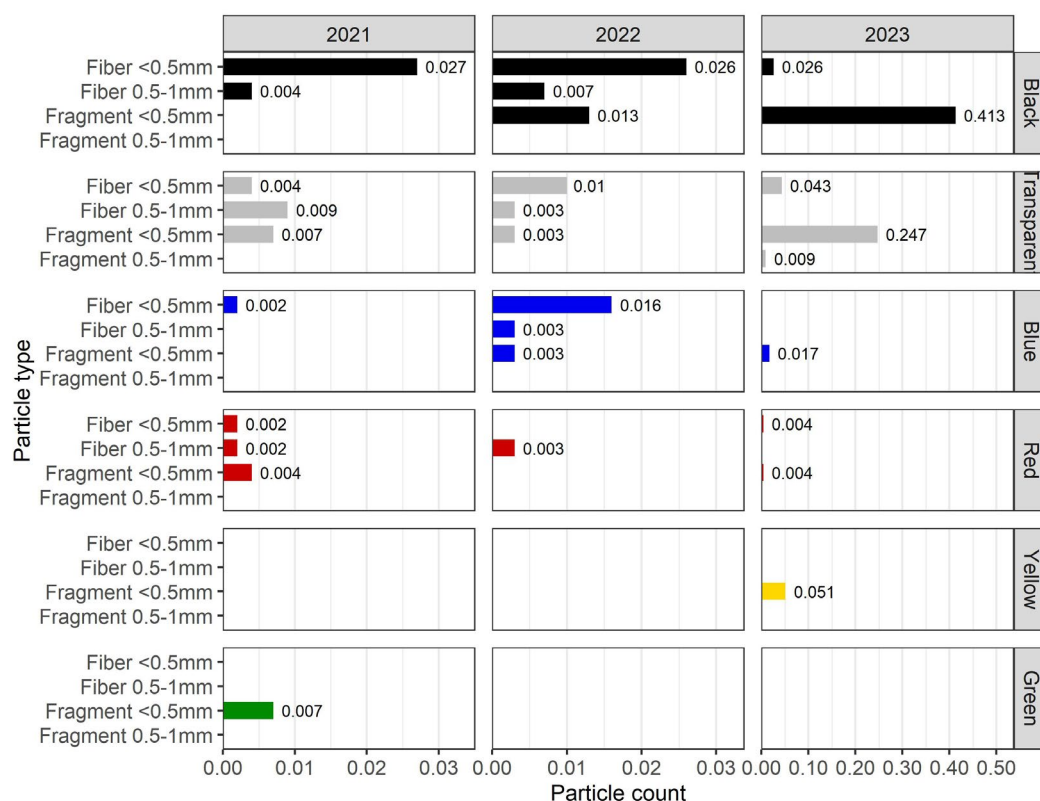
Thus, it can be concluded that blood-sucking mosquitoes accumulate MPs and anthropogenic fibers in various biotopes.

4. Discussion

In recent years, there has been mounting concern about MPs as a pollution factor in biological systems. Insects play a vital role in functioning of ecosystems and can be potential environmental bioindicators, including

the presence of MPs (Al-Jaibachi et al., 2018; Simakova et al., 2022; Haque et al., 2025). Primarily, insects ingest MPs from water and food, and can also use particles as a building material and substrate in polluted environments (Gallitelli et al., 2021). Microplastics entering the digestive system can cause microtrauma to internal organs, imbalance of intestinal microbiota, and waning immunity (Jeong et al., 2016; Jin et al., 2018; Liu et al., 2019; Qiao et al., 2019; Polenogova et al., 2025).

Mosquitoes, important representatives of both aquatic and terrestrial ecosystems, are capable of absorbing MPs and anthropogenic fibers at larval stages, filtering water and organic matter. Recent studies have shown that particles persist in the bodies of mosquitoes throughout their life cycle, from larvae to adults, indicating ontogenic transference of MPs (Al-Jaibachi et al., 2018; 2019; Simakova et al., 2022; 2024). This makes mosquitoes potential carriers of MPs into terrestrial food webs. The results of the present study also confirm the presence of MPs at different stages of metamorphosis, with the highest MP content observed at larval stage III, followed by the decreased MP content at stage IV and pupal and imago stages. This indicates a partial removal of MPs during metamorphosis, which is consistent with the experimental data provided by Simakova et al. (2022). The data showed a substantial reduction in the MP content in *Aedes aegypti* (Linnaeus, 1762) during metamorphosis from larvae to pupae and a minor reduction during metamorphosis from pupae to adults (on average 7.3×10^6 particles per larva, 15.8 per pupa, and 10.9 per adult). This can be attributed to the feeding habits and behaviors of mosquitoes at different stages of metamorphosis. At larval stage, *Aedes*



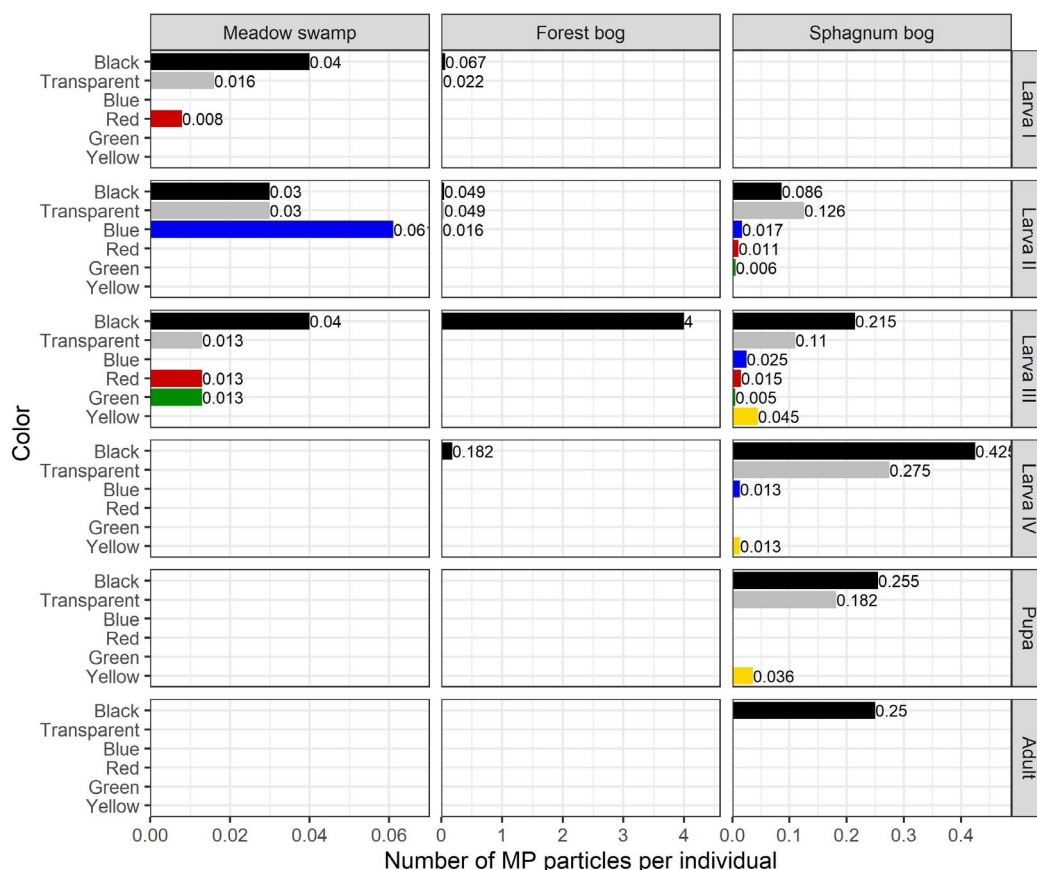


Fig.2. Average number of MP fragments and fibers in *Aedes* mosquitoes from different biotopes and at different stages of metamorphosis.

mosquitoes actively filter microscopic algae, bacteria and organic detritus from water using their mouth brushes, which contributes to their gradual growth. At stage II, feeding becomes more intense, leading to increased food consumption. Stage III is characterized by a high level of feeding activity: the larvae actively feed and grow quickly. At stage IV, feeding intensity decreases significantly, when the larvae expel the contents from the gut, preparing for pupation. The pupal stage of mosquitoes is a non-feeding period due to body restructuring to transform into adults. Adult mosquitoes demonstrate sexual dimorphism in their feeding habits: females need the blood of warm-blooded animals; males feed mainly on nectar and plant juices.

Microplastics are known to affect insect physiology, including body weight, growth rate, survival, and behavior (Boots et al., 2019; Buteler et al., 2022). However, study results vary depending on the insect species and on MP type, size, and content. For example, PS microspheres at certain doses did not affect the mortality rate and body weight of *Culex pipiens* (Linnaeus, 1758) mosquitoes (Al-Jaibachi et al., 2019), while *Ae. aegypti* exhibited increased average body weight under similar conditions (Simakova et al., 2022). At the same time, ingested PE microspheres caused significant increase in the larval mortality rate in *Aedes albopictus* (Skuse, 1895) and *Culex quinquefasciatus* (Say, 1823) (Griffin et al., 2023).

This study revealed the presence of MPs at all mosquito life cycle stages. The detected particles of various shapes and sizes (fragments with the maximum

axis diameter of 0.1–1 mm and fibers up to 1 mm long) correspond to the characteristics of MPs detected in natural aquatic and terrestrial ecosystems. Li et al. (2020) and Frank et al. (2022) indicated that MPs in aquatic ecosystems are represented mainly by fibers and fragments ranging from several microns to millimeters.

In this study, the predominant MPs were black fragments and fibers <0.5 mm in size (ANOVA: $F = 3.43$, $p\text{-value} = 0.0056$). The high proportion of black MPs is likely due to tire and road wear particles, a major contributor to MP pollution in urban and natural ecosystems (Kole et al., 2017). Particles composed of rubber and synthetic polymers have a characteristic black color and can be carried over long distances by wind and then settle on ground or water. In addition, black fibers come from textile pollution sources, including wear of synthetic clothing and sewage effluents (Deng et al., 2020). Thus, the predominance of black MPs indicates a complex anthropogenic impact of the transport and textile industries on the pollution in the studied biotopes.

The highest MP content was recorded in mosquitoes from sphagnum bogs, while the lowest content was observed in insects from meadow swamps. Sphagnum bogs effectively retain pollutants, including MPs, due to their unique hydrological conditions, slow water movement, and accumulation of organic matter. At the same time, relatively low concentrations of pollutants in meadow swamps can be attributed to more dynamic hydrological conditions and a lower anthropogenic pollution level (Limpens et al., 2008).

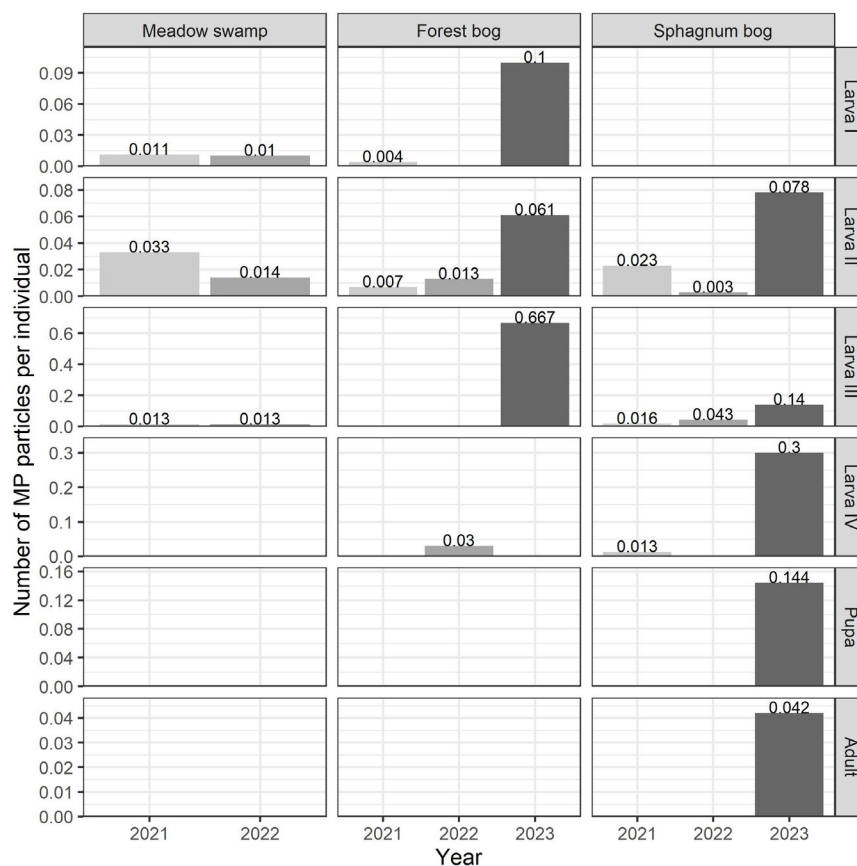


Fig.3. Average number of MP fragments and fibers per *Aedes* mosquito individual at different stages of metamorphosis.

A statistically significant increase in the MP content (ANOVA: $F = 7.36$, $p\text{-value} = 0.0074$) in mosquitoes in 2023 (the average number of MPs per individual was 0.191 ± 0.087) compared to 2021 and 2022 (0.012 ± 0.003 and 0.014 ± 0.005 , respectively) indicates a general trend of increasing MP pollution in the environment. Griffin et al. (2023) reported that the currently increasing levels of MP pollution have a noticeable biological impact on living organisms. The increased quantitative indicators of MPs in the present study can be attributed to the increased anthropogenic load and local climatic and hydrological conditions in the region during certain years.

Thus, the obtained data indicate a wide distribution of MPs across natural mosquito populations in Western Siberia and confirm their vital role in the accumulation and transference of MPs to terrestrial ecosystems. The revealed trends in MP contents across different years, biotopes and metamorphosis stages correspond to modern concepts of environmental bioavailability and dynamics of MPs and anthropogenic fibers. The obtained data boost the need for further in-depth study of the effect of MPs on mosquitoes and an assessment of their role as pollution indicators.

5. Conclusions

Microplastics were detected in natural populations of mosquitoes collected in various biotopes (meadow swamps, forest bogs, sphagnum bogs) in the environs of Tomsk (Western Siberia) during the period from 2021 to 2023. The average number of MPs per

mosquito individual increased from 0.012 ± 0.003 in 2021 to 0.191 ± 0.087 in 2023, indicating an increase in pollution in the study region. No statistically significant differences were observed across biotopes and mosquito life cycle stages.

The detected MPs included fragments 0.1–1 mm in size and fibers <1 mm in length. The particles were of various colors, with black fragments and fibers significantly predominating. The high proportion of black MPs is due to tire and road wear particles, a stealthy source of MPs in the environment, as well as textile pollution.

During metamorphosis, the MP content was observed to increase from larval stage I to larval stage III, with a subsequent decrease at stage IV and pupal and imago stages, indicating a partial removal of MPs during metamorphosis.

The highest MP content was recorded in mosquitoes from sphagnum bogs, where the unique hydrological conditions contribute to pollutant accumulation, while the MP content in insects from meadow swamps was lower.

The obtained data confirm a widespread distribution of MPs and anthropogenic fibers in natural mosquito populations of Western Siberia, and their vital role in the accumulation and transference of MPs to terrestrial ecosystems. In addition, the results of this study indicate the urgent need for further research into the effect of MPs on mosquitoes and the possibility of using these insects as bioindicators to assess the degree of MP pollution in aquatic and terrestrial ecosystems of Western Siberia.

Acknowledgements

The study was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project No. FSWM-2024-0006).

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

References

- Akbari A., Taghavi K., Jaafari J. 2024. Sources of microplastics in the environment and human exposure routes: A review. *Caspian Journal of Health Research* 9(3): 163–176. DOI: [10.32598/CJHR.9.3.254.1](https://doi.org/10.32598/CJHR.9.3.254.1)
- Al-Jaibachi R., Cuthbert R.N., Callaghan A. 2018. Up and away: ontogenic transference as a pathway for aerial dispersal of microplastics. *Biology letters* 14(9): 20180479. DOI: [10.1098/rsbl.2018.0479](https://doi.org/10.1098/rsbl.2018.0479)
- Al-Jaibachi R., Cuthbert R.N., Callaghan A. 2019. Examining effects of ontogenic microplastic transference on *Culex* mosquito mortality and adult weight. *Science of the Total Environment* 651: 871–876. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2018.09.236](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.236)
- Andrady A.L., Neal M.A. 2009. Applications and societal benefits of plastics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364(1526): 1977–1984. DOI: [10.1098/rstb.2008.0304](https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0304)
- Bhatt S., Gething P.W., Brady O.J. et al. 2013. The global distribution and burden of dengue. *Nature* 496(7446): 504–507. DOI: [10.1038/nature12060](https://doi.org/10.1038/nature12060)
- Boots B., Russell C.W., Green D.S. 2019. Effects of microplastics in soil ecosystems: above and below ground. *Environmental science & technology* 53(19): 11496–11506. DOI: [10.1021/acs.est.9b03304](https://doi.org/10.1021/acs.est.9b03304)
- Botterell Z.L., Beaumont N., Dorrington T. et al. 2019. Bioavailability and effects of microplastics on marine zooplankton: A review. *Environmental Pollution* 245: 98–110. DOI: [10.1016/j.envpol.2018.10.065](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.10.065)
- Browne M.A., Crump P., Niven S.J. et al. 2011. Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environmental science & technology* 45(21): 9175–9179. DOI: [10.1021/es201811s](https://doi.org/10.1021/es201811s)
- Buteler M., Alma A.M., Stadler T. et al. 2022. Acute toxicity of microplastic fibers to honeybees and effects on foraging behavior. *Science of the Total Environment* 822: 153320. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2022.153320](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153320)
- Claessens M., Van Cauwenberghe L., Vandegehuchte M.B. et al. 2013. New techniques for the detection of microplastics in sediments and field collected organisms. *Marine pollution bulletin* 70(1–2): 227–233. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2013.03.009](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.03.009)
- Deng H., Wei R., Luo W. et al. 2020. Microplastic pollution in water and sediment in a textile industrial area. *Environmental Pollution* 258: 113658. DOI: [10.1016/j.envpol.2019.113658](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113658)
- Dobson A., Fofopoulos J. 2001. Emerging infectious pathogens of wildlife. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 356(1411): 1001–1012. DOI: [10.1098/rstb.2001.0900](https://doi.org/10.1098/rstb.2001.0900)
- Ehlers S.M., Manz W., Koop J.H. 2019. Microplastics of different characteristics are incorporated into the larval cases of the freshwater caddisfly *Lepidostoma basale*. *Aquatic Biology* 28: 67–77. DOI: [10.3354/ab00711](https://doi.org/10.3354/ab00711)
- Fendall L.S., Sewell M.A. 2009. Contributing to marine pollution by washing your face: microplastics in facial cleansers. *Marine pollution bulletin* 58(8): 1225–1228. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2009.04.025](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.04.025)
- Frank Y., Ershova A., Batasheva S. et al. 2022. Microplastics in freshwater: a focus on the Russian inland waters. *Water* 14(23): 3909. DOI: [10.3390/w14233909](https://doi.org/10.3390/w14233909)
- Gallitelli L., Cera A., Cesarini G. et al. 2021. Preliminary indoor evidences of microplastic effects on freshwater benthic macroinvertebrates. *Scientific Reports* 11(1): 720. DOI: [10.1038/s41598-020-80606-5](https://doi.org/10.1038/s41598-020-80606-5)
- Geyer R., Jambeck J.R., Law K.L. 2017. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science advances* 3(7): e1700782. DOI: [10.1126/sciadv.1700782](https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782)
- Griffin C.D., Tominiko C., Medeiros M.C. et al. 2023. Microplastic pollution differentially affects development of disease-vectoring *Aedes* and *Culex* mosquitoes. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 267: 115639. DOI: [10.1016/j.ecoenv.2023.115639](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115639)
- Gutsevich A.V., Monchadsky A.S., Shtakelberg A.A. 1970. Mosquitoes (Family Culicidae). In: Bykhovskiy B.E. (Ed.), *Fauna of the USSR. New Series, No. 100. Vol. 3, Issue 4. Leningrad*, pp. 71–381. (In Russian)
- Haque M.R., Ahmed W., Rahman M.A. et al. 2025. Aquatic insects as mediator for microplastics pollution in a river ecosystem of Bangladesh. *Scientific Reports* 15(1): 15635. DOI: [10.1038/s41598-025-88024-1](https://doi.org/10.1038/s41598-025-88024-1)
- Hidalgo-Ruz V., Gutow L., Thompson R.C. et al. 2012. Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification. *Environmental science & Technology* 46(6): 3060–3075. DOI: [10.1021/es2031505](https://doi.org/10.1021/es2031505)
- Jeong C.B., Won E.J., Kang H.M. et al. 2016. Microplastic size-dependent toxicity, oxidative stress induction, and p-JNK and p-p38 activation in the monogonont rotifer (*Brachionus koreanus*). *Environmental science & technology* 50(16): 8849–8857. DOI: [10.1021/acs.est.6b01441](https://doi.org/10.1021/acs.est.6b01441)
- Jin Y., Xia J., Pan Z. et al. 2018. Polystyrene microplastics induce microbiota dysbiosis and inflammation in the gut of adult zebrafish. *Environmental Pollution* 235: 322–329. DOI: [10.1016/j.envpol.2017.12.088](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.088)
- Karami A. 2017. Gaps in aquatic toxicological studies of microplastics. *Chemosphere* 184: 841–848. DOI: [10.1016/j.chemosphere.2017.06.048](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.06.048)
- Kole P.J., Löhr A.J., Van Belleghem F.G. et al. 2017. Wear and tear of tyres: a stealthy source of microplastics in the environment. *International journal of environmental research and public health* 14(10): 1265. DOI: [10.3390/ijerph14101265](https://doi.org/10.3390/ijerph14101265)
- Li C., Busquets R., Campos L.C. 2020. Assessment of microplastics in freshwater systems: A review. *Science of the Total Environment* 707: 135578. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2019.135578](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135578)
- Limpens J., Berendse F., Blodau C. et al. 2008. Peatlands and the carbon cycle: from local processes to global implications—a synthesis. *Biogeosciences* 5(5): 1475–1491. DOI: [10.5194/bg-5-1475-2008](https://doi.org/10.5194/bg-5-1475-2008)
- Liu Z., Yu P., Cai M. et al. 2019. Effects of microplastics on the innate immunity and intestinal microflora of juvenile *Eriocheir sinensis*. *Science of the Total Environment* 685: 836–846. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2019.06.265](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.265)
- Lusher A.L., Munno K., Hermabessiere L. et al. 2020. Isolation and extraction of microplastics from environmental samples: an evaluation of practical approaches and recommendations for further harmonization. *Applied Spectroscopy* 74(9): 1049–1065. DOI: [10.1177/0003702820938993](https://doi.org/10.1177/0003702820938993)
- Pilapitiya P.N.T., Ratnayake A.S. 2024. The world of plastic waste: A review. *Cleaner Materials* 11: 100220. DOI: [10.1016/j.clema.2024.100220](https://doi.org/10.1016/j.clema.2024.100220)
- Polenogova O.V., Simakova A.V., Klementeva T.N. et al. 2025. Effects of microplastics on the physiology of living organisms on the example of laboratory reared bloodsucking mosquitoes *Aedes aegypti* L. *Physiological Entomology* 50(2): 128–138. DOI: [10.1111/phen.12474](https://doi.org/10.1111/phen.12474)

Qiao R., Sheng C., Lu Y. et al. 2019. Microplastics induce intestinal inflammation, oxidative stress, and disorders of metabolome and microbiome in zebrafish. *Science of the Total Environment* 662: 246–253. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2019.01.245](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.245)

R Core Team. 2021. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. URL: <https://www.R-project.org/>

Royer S.J., Ferrón S., Wilson S.T. et al. 2018. Production of methane and ethylene from plastic in the environment. *PloS one* 13(8): e0200574. DOI: [10.1371/journal.pone.0200574](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200574)

Seki H. 1986. Organic substances in aquatic ecosystems. Leningrad: Hydrometeoizdat. (In Russian)

Simakova A., Varenitsina A., Babkina I. et al. 2022. Ontogenetic transfer of microplastics in bloodsucking mosquitoes *Aedes aegypti* L. (Diptera: Culicidae) is a potential pathway for particle distribution in the environment. *Water* 14(12): 1852. DOI: [10.3390/w14121852](https://doi.org/10.3390/w14121852)

Simakova A.V., Varenitsina A.A., Babkina I.B. et al. 2024. Ontogenetic transfer of microplastics in natural populations of malaria mosquitoes in Western Siberia. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 172(11): 1046–1053. DOI: [10.1111/eea.13509](https://doi.org/10.1111/eea.13509)

Sussarellu R., Suquet M., Thomas Y. et al. 2016. Oyster reproduction is affected by exposure to polystyrene microplastics. *Proceedings of the national academy of sciences* 113(9): 2430–2435. DOI: [10.1073/pnas.1519019113](https://doi.org/10.1073/pnas.1519019113)

Thompson R.C., Olsen Y., Mitchell R.P. et al. 2004. Lost at sea: where is all the plastic? *Science* 304(5672): 838–838. DOI: [10.1126/science.1094559](https://doi.org/10.1126/science.1094559)

Wilcox C., Mallos N.J., Leonard G.H. et al. 2016. Using expert elicitation to estimate the impacts of plastic pollution on marine wildlife. *Marine policy* 65: 107–114. DOI: [10.1016/j.marpol.2015.10.014](https://doi.org/10.1016/j.marpol.2015.10.014)

Wright S.L., Thompson R.C., Galloway T.S. 2013. The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review. *Environmental pollution* 178: 483–492. DOI: [10.1016/j.envpol.2013.02.031](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.02.031)

Yee D.A., Kaufman M.G. 2019. Suspension and filter feeding in aquatic insects. In: Krenn H.W. (Ed.), *Insect mouthparts. Form, function, development and performance*. Cham, pp. 101–125.

Аккумуляция микропластика и антропогенных волокон в природных популяциях кровососущих комаров рода *Aedes* в окрестностях г. Томска (Западная Сибирь, Россия)

Оригинальная статья

LIMNOLOGY
FRESHWATER
BIOLOGYВареницина А.А.*^{ORCID}, Симакова А.В., Бабкина И.Б., Дёрова А.В.

Томский государственный университет, пр. Ленина, 36, г. Томск, 634050, Россия

АННОТАЦИЯ. Проведен мониторинг содержания микропластика (МП) в природных популяциях кровососущих комаров рода *Aedes* (Meigen, 1818) на разных стадиях развития в окрестностях г. Томска (Западная Сибирь, Россия) в различных биотопах: луговой заболоченности, лесной заболоченности, сфагновом болоте в течение трех лет (2021–2023). Всего исследовано 990 особей комаров. Обнаружены частицы МП различной формы и размера – от 0,1 до 1 мм. Среднее количество МП на одну особь увеличилось с $0,012 \pm 0,003$ в 2021 году до $0,191 \pm 0,087$ в 2023 году. Концентрация МП возрастала с I по III личиночную стадию, затем снижалась на IV стадии и на фазах куколки и имаго. Максимальные уровни МП зарегистрированы у особей из сфагнового болота, минимальные – в луговой заболоченности. Статистически значимых различий по биотопам не выявлено. Преобладали преимущественно черные фрагменты и волокна размером $<0,5$ мм. Наблюдается тенденция к ежегодному увеличению количества МП, особенно мелких черных фрагментов (от автомобильных шин). Вероятно, это связано с близостью автодорог, способствующих загрязнению водоемов МП, а также износом синтетической одежды и поступлением МП и антропогенных волокон с бытовыми сточными водами. Полученные данные свидетельствуют о широкой распространенности МП в природных популяциях комаров *Aedes* и подтверждают важность дальнейших исследований влияния МП на их биологию и роль этих насекомых как индикаторов загрязнения.

Ключевые слова: Микропластик, частицы, волокна, кровососущие комары, загрязнение водоемов, водные экосистемы

Для цитирования: Вареницина А.А., Симакова А.В., Бабкина И.Б., Дёрова А.В. Аккумуляция микропластика и антропогенных волокон в природных популяциях кровососущих комаров рода *Aedes* в окрестностях г. Томска (Западная Сибирь, Россия) // Limnology and Freshwater Biology. 2025. - № 4. - С. 780-793. DOI: 10.31951/2658-3518-2025-A-4-780

1. Введение

В настоящее время сложно представить жизнь современного общества без использования пластиковых изделий. Материалы на основе синтетических полимеров находят применение практически во всех отраслях: от промышленности, строительства и транспорта до медицины, упаковки товаров и предметов повседневного спроса (Andrady and Neal, 2009). Однако широкое и неконтролируемое распространение пластиковых изделий стало серьезной экологической угрозой, связанной с постоянным увеличением пластиковых отходов. Согласно данным ряда исследований, ежегодное мировое производство пластика превышает 400 миллионов тонн (Geyer et al., 2017). При этом значительная часть

выпускаемых пластиковых материалов не подвергается последующей переработке и утилизации, что способствует их длительному сохранению в окружающей среде до нескольких десятков и сотен лет. В свою очередь это приводит к накоплению пластикового мусора в различных компонентах биосферы, включая воду, почву, пресные и морские водоемы (Thompson et al., 2004).

Микропластик (МП) – мельчайшие пластиковые частицы размером до 5 мм по наибольшей оси (Thompson et al., 2004). Они образуются преимущественно в результате разрушения более крупных пластиковых изделий под воздействием природных факторов, таких как ультрафиолетовое излучение, температурные колебания, механическое воздей-

*Автор для переписки.

Адрес e-mail: anna.varenitsina@yandex.ru (А.А. Вареницина)

Поступила: 30 июля 2025; **Принята:** 20 августа 2025;

Опубликована online: 31 августа 2025

© Автор(ы) 2025. Эта работа распространяется под международной лицензией Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0.



ствие (Royer et al., 2018). Основными источниками МП являются износ автомобильных шин, синтетические ткани, косметика, упаковочные материалы и промышленные отходы (Fendall and Sewell, 2009; Kole et al., 2017; Akbari et al., 2024). Большая часть пластиковых частиц попадает в окружающую среду со сточными водами, распространяясь по водным и наземным экосистемам (Browne et al., 2011). Это вызывает серьезную обеспокоенность, поскольку такие частицы способны проникать в пищевые цепи и оказывать влияние на широкий круг живых организмов, начиная от примитивных одноклеточных микроорганизмов и заканчивая высокоразвитыми позвоночными животными (Wilcox et al., 2016; Botterell et al., 2019).

Но если сам по себе МП – это довольно инертный материал, то различные добавки, такие как стабилизаторы, антипирены и красители, которые производители изначально добавляют в пластик для улучшения его характеристик, могут быть токсичными и усиливать вредное воздействие МП на живые организмы (Pilapitiya and Ratnayake, 2024). И хотя поглощение МП организмами не приводит к острым летальным последствиям, оно способствует развитию хронических нарушений, включая механическое повреждение тканей, задержку в развитии, снижение иммунитета, изменение микробиоты кишечника, а также репродуктивные нарушения (Wright et al., 2013; Sussarellu et al., 2016).

Насекомые играют ключевую роль в поддержании биоразнообразия и стабильности природных экосистем. Это самая многочисленная группа животных, она охватывает примерно 80% от общего числа всех существующих видов. Насекомые выполняют важные функции: участвуют в опылении растений, регулируют численность вредителей, разлагают органические вещества, а также являются источником пищи для других животных (Seki, 1986). Амфибионтные насекомые представляют собой уникальное звено в экосистемах, поскольку они проходят разные стадии своего развития как в водной, так и в наземной среде. Их личинки участвуют в фильтрации органических веществ и могут использоваться в качестве биоиндикаторов экологического состояния водоемов, чутко реагируя на изменения окружающей среды, вызванные появлением вредных веществ и загрязнителей (Yee and Kaufman, 2019). Такая способность делает их перспективными объектами для изучения последствий микропластикового загрязнения (Ehlers et al., 2019).

На сегодняшний день отсутствуют комплексные данные, позволяющие отследить долгосрочную динамику накопления МП у амфибионтных насекомых. Количество публикаций, посвященных данной проблеме, очень мало, при этом территория Западной Сибири остается практически не изученной в этом отношении.

В настоящем исследовании для мониторинга накопления МП у насекомых Западной Сибири в качестве модельного объекта задействованы природные популяции комаров рода *Aedes* (Meigen, 1818). Данный таксон широко распространен в различных экосистемах, обладает высокой чис-

ленностью и богатым видовым составом; кроме того, имеет важное эпидемиологическое значение, являясь переносчиком вирусных, бактериальных и гельминтных заболеваний (Dobson and Foufopoulos, 2001; Bhatt et al., 2013).

Цель работы – анализ динамики накопления МП в организме насекомых с метаморфозом на примере природных популяций кровососущих комаров рода *Aedes* (Diptera: Culicidae) Западной Сибири.

2. Материал и методы

Полевые методы. Особей комаров собирали в окрестностях г. Томска (Западная Сибирь, Россия) в различных биотопах: луговая заболоченность (56°32'53.2» с.ш., 84°52'02.0» в.д.; 56°34'27.9» с.ш., 85°01'15.2» в.д.; 60°36'47.4» с.ш., 77°21'26.1» в.д.), лесная заболоченность (56°30'29.5» с.ш., 84°45'35.0» в.д.), сфагновое болото (56°30'27.8» с.ш., 84°49'49.5» в.д.) в весенний период с 2021 по 2023 год. Для отбора личинок и куколок использовали стандартный водный сачок диаметром 20 см. Сачок погружали в воду на половину диаметра обода и проводили им по поверхности и в толще воды на глубине до 30 см. Отлов проводили повторно в нескольких точках выбранного водоема с удалением между точками не менее 1 м. Для сбора имаго комаров проводили сетчатый лов у водоемов и в прибрежной растительности с помощью ручных москитных сетей. Личинок и куколок транспортировали в лабораторию в герметичных пластиковых контейнерах с водой из места сбора. Контейнеры плотно закрывали, объем выбирали с запасом жидкости для поддержания кислородного режима. Для имаго использовали садки с проволочным каркасом, обтянутые марлей. Срок транспортировки не превышал 24 ч для обеспечения высокой выживаемости. Весь собранный материал фиксировали в 70% этаноле до проведения последующих работ. Идентификация личинок и имаго проводилась по морфологическим признакам с использованием стандартных таксономических ключей (Gutsevich et al., 1970).

Лабораторные методы. Перед непосредственной гомогенизацией каждую особь комаров тщательно промывали дистиллированной водой дважды для удаления загрязнений и посторонних частиц МП с поверхности организма. Препарирование осуществлялось следующим образом: у личинок аккуратно отделялся кишечник, где происходит основное накопление МП (Simakova et al., 2022); у куколок в связи с недифференцированным содержимым отделялись от экзоскелета все мягкие ткани; у имаго отделялось содержимое головной капсулы, грудного и брюшного отделов. Гомогенизация проводилась пулами до 25 особей с добавлением 35% H_2O_2 и 0,05 М $FeSO_4$ в качестве катализатора в соотношении 3/1 (v/v) до полного растворения органического материала. Пероксидное окисление применялось в различных вариациях для извлечения МП из природных вод, донных отложений, тканей рыб и беспозвоночных (Claessens et al., 2013; Karami, 2017; Lusher et al., 2020; Simakova et al., 2024).

Для микроскопического анализа полученный гомогенат подвергался фильтрации через стекловолонный мембранный фильтр с диаметром пор 1 мкм (Membrane Solutions, Китай) с использованием вакуумного насоса. Подсчет и идентификацию частиц выполняли под бинокулярным микроскопом Stemi 2000-с (Carl Zeiss, Германия) с использованием метода «hot needle test» (Hidalgo-Ruz et al., 2012). Данный метод основан на принципе термического воздействия, при котором пластиковые частицы под действием раскаленной иглы изменяют свою форму, в отличие от непластиковых материалов, которые не подвергаются деформации. При подсчете частиц МП учитывались их морфологические характеристики: форма (фрагменты, волокна), цвет (бесцветный, черный, желтый, красный, синий, зеленый) и размер (мелкие частицы МП – < 0,5 мм, крупные частицы МП – > 0,5 мм) (Hidalgo-Ruz et al., 2012). Всего исследовано 990 особей комаров.

Статистический анализ. Данные проанализированы с использованием программного обеспечения для статистической обработки данных R (R Core team, 2021). Для исследования количества МП в комарах природных популяций, в зависимости от разных факторов (год наблюдения, биотоп, стадия развития) использован дисперсионный анализ (ANOVA). Уровень значимости различий $\alpha = 0,05$.

3. Результаты

Исследование комаров из природных популяций, собранных в окрестностях г. Томска (Западная

Сибирь, Россия) в различных биотопах (луговая заболоченность, лесная заболоченность, сфагновое болото) в весенний период с 2021 по 2023 год, выявило наличие МП в организме на каждой стадии развития.

В ходе анализа фильтров обнаружены частицы МП различных форм и размеров: фрагменты диаметром от 0,1 до 1 мм по максимальной оси, а также антропогенные волокна длиной до 1 мм. Исследования показали наличие частиц различных цветов, при этом статистически значимо преобладали черные фрагменты и волокна (ANOVA: $F = 3,43$, $p\text{-value} = 0,0056$) (Рис. 1).

Выявлены статистически значимые различия в количестве МП по годам. Наибольшее количество фрагментов и волокон МП в комарах природных популяций отмечено в 2023 г. Среднее количество МП на одного комара в 2021 г. составляло – $0,012 \pm 0,003$, в 2022 г. – $0,014 \pm 0,005$, в 2023 г. – $0,191 \pm 0,087$ (ANOVA: $F = 7,36$, $p\text{-value} = 0,0074$). Статистически значимых различий ни по биотопам, ни по стадиям развития не обнаружено.

На примере выборки из биотопа «сфагновое болото» (представлены все стадии метаморфоза) наблюдается тенденция изменения концентрации МП в ходе развития комаров: количество частиц увеличивается с I по III личиночную стадию, затем уменьшается на IV стадии, после чего наблюдается снижение на стадии куколки и имаго (Рис. 2).

Максимальная концентрация МП зарегистрирована у особей, собранных в сфагновом болоте, тогда как наименьшее его количество выявлено в популяции из луговой заболоченности (Рис. 3).

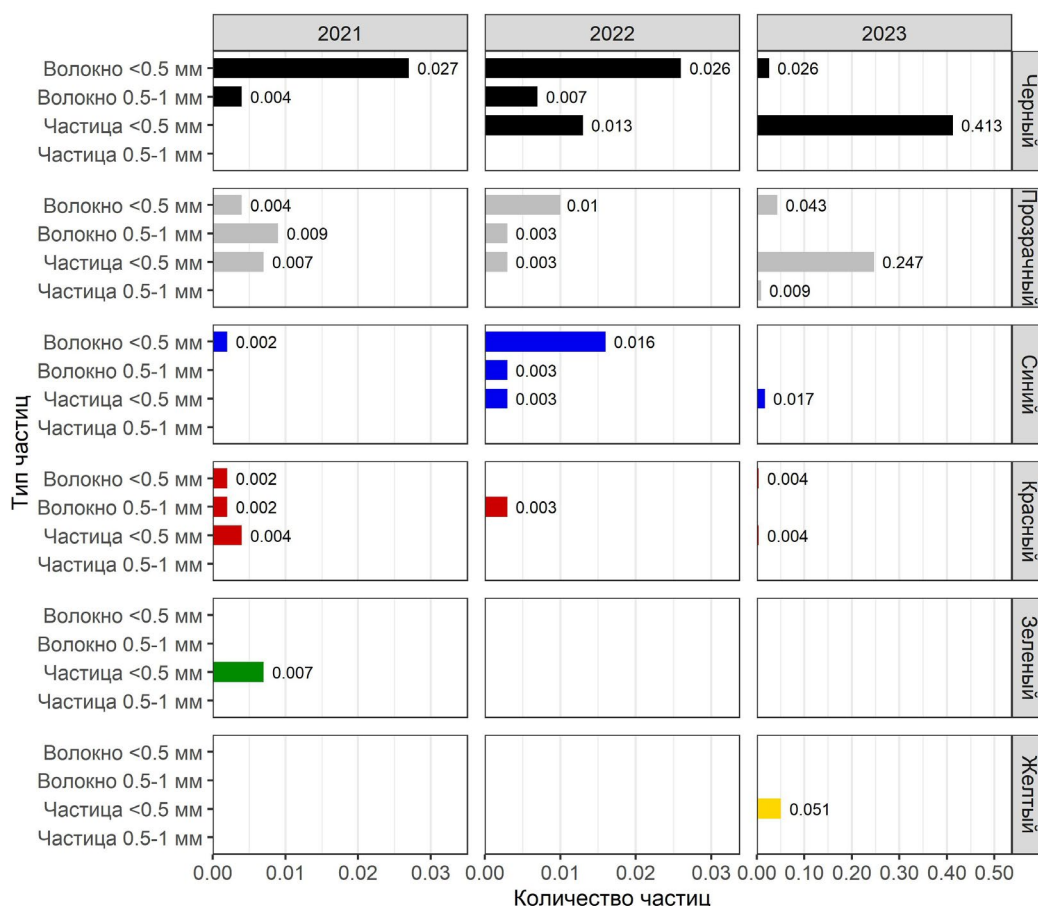


Рис.1. Среднее количество частиц микропластика на один экземпляр комара рода *Aedes*.

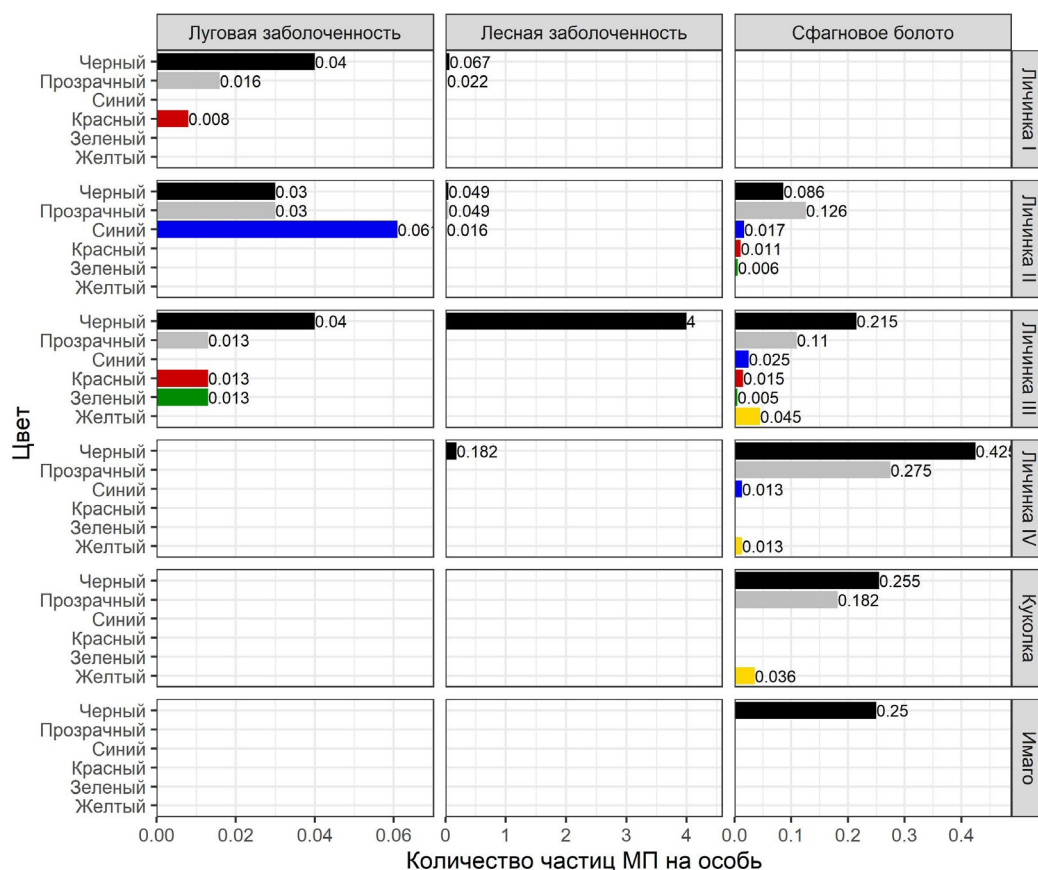


Рис.2. Среднее количество фрагментов и волокон микропластика в комарах рода *Aedes* из разных биотопов и на разных стадиях метаморфоза.

Таким образом, кровососущие комары способны накапливать МП и антропогенные волокна в разных биотопах.

4. Обсуждение

В последние годы растет интерес к изучению МП как фактора загрязнения в биологических системах. Насекомые играют важную роль в функционировании экосистем и могут быть потенциальными биоиндикаторами состояния окружающей среды, в том числе присутствия МП (Al-Jaibachi et al., 2018; Simakova et al., 2022; Naque et al., 2025). Проникновение МП в организм насекомых чаще всего происходит непреднамеренно вместе с водой и пищей, а также может использоваться ими в качестве строительного материала и субстрата в загрязненных средах (Gallitelli et al., 2021). Попадание МП в пищеварительную систему может вызывать микротравмы внутренних органов, дисбаланс кишечной микробиоты и снижение иммунитета (Jeong et al., 2016; Jin et al., 2018; Liu et al., 2019; Qiao et al., 2019; Polenogova et al., 2025).

Комары – важные представители водно-наземных экосистем – способны поглощать МП и антропогенные волокна уже на личиночных стадиях, фильтруя воду и органические остатки. Современные исследования показывают, что частицы сохраняются в организме на протяжении всего жизненного цикла – от личинки до взрослой особи, что свидетельствует о возможности онтогенетического пере-

носа МП (Al-Jaibachi et al., 2018; 2019; Simakova et al., 2022; 2024). Это делает комаров потенциальными переносчиками частиц МП в наземные пищевые сети. Наши результаты также подтверждают наличие МП на всех стадиях развития комаров, при этом максимальная концентрация частиц наблюдается на III личиночной стадии с последующим снижением на IV стадии и на фазах куколки и имаго. Такая динамика указывает на частичное выведение МП в ходе метаморфоза, что согласуется с экспериментальными данными Simakova et al. (2022), которые показали существенную потерю МП у *Aedes aegypti* (Linnaeus, 1762) при переходе от личинок к куколкам и незначительные потери при переходе от куколок к имаго (в среднем $7,3 \times 10^6$ частиц на личинку, $15,8$ – на куколку и $10,9$ – на имаго). Это связано с особенностями питания и образом жизни комаров на разных стадиях развития. Так, на I личиночной стадии комары рода *Aedes* активно фильтруют воду с помощью ротовых щеток, поедая микроскопические водоросли, бактерии и органический детрит, что способствует их постепенному росту. На II стадии питание становится более интенсивным, увеличивается объем потребляемой пищи. III стадия характеризуется высоким уровнем пищевой активности: личинки активно питаются и быстро растут. На IV стадии отмечается существенное снижение интенсивности питания, происходит частичное высвобождение кишечника – важный процесс подготовки к окукливанию. Стадия куколки у комаров полностью лишена питания, все ресурсы

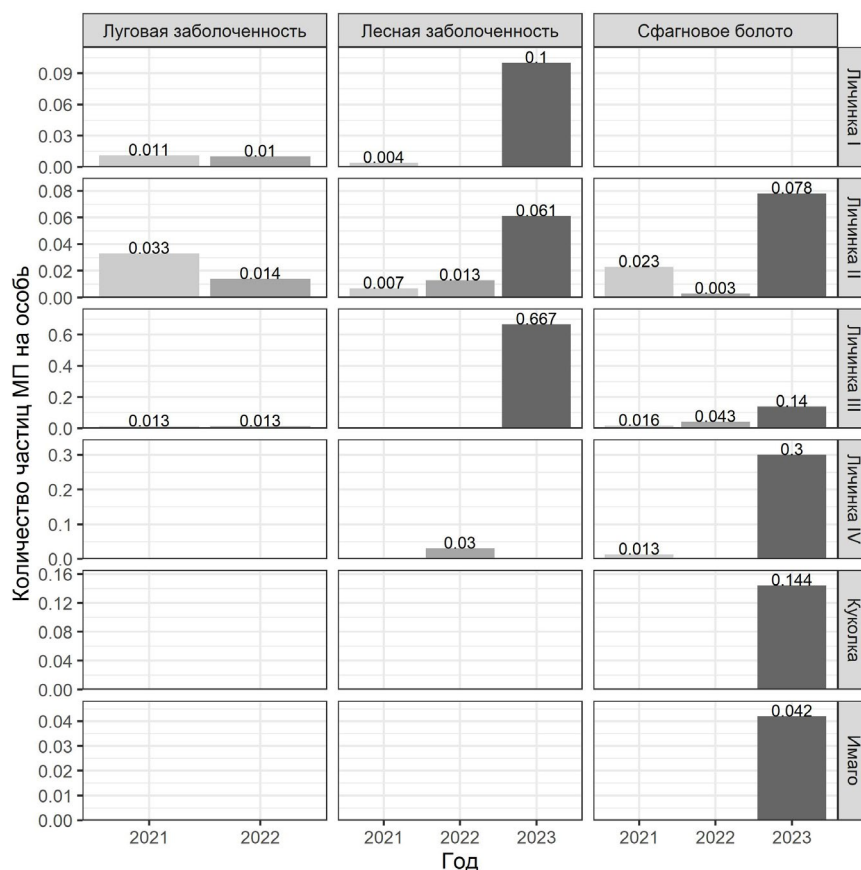


Рис.3. Среднее количество фрагментов и волокон микропластика в одном комаре рода *Aedes* на разных стадиях метаморфоза.

направлены на перестройку организма для формирования взрослой особи. Взрослые комары демонстрируют половой диморфизм в питании: самки нуждаются в крови теплокровных животных, самцы питаются преимущественно нектаром и соками растений.

Известно, что МП способен оказывать влияние на физиологию насекомых, включая массу тела, скорость развития, выживаемость и поведение (Boots et al., 2019; Buteler et al., 2022). Однако результаты исследований варьируют в зависимости от вида насекомых, а также от типа, размера и концентрации самого МП. Так, у комаров *Culex pipiens* (Linnaeus, 1758) микросферы PS в определенных дозах не повлияли на смертность и массу тела (Al-Jaibachi et al., 2019), тогда как у *Ae. aegypti* наблюдалось увеличение средней массы тела при воздействии аналогичных частиц (Simakova et al., 2022). В то же время микросферы PE вызывали значительную смертность личинок у *Aedes albopictus* (Skuse, 1895) и *Culex quinquefasciatus* (Say, 1823) (Griffin et al., 2023).

Наше исследование выявило присутствие МП на всех стадиях развития комаров. Обнаруженные частицы различной формы и размеров (фрагменты от 0,1 до 1 мм по максимальной оси, а также волокна длиной до 1 мм) соответствуют известным характеристикам МП, выявляемого в природных водных и наземных системах. Так, Li et al. (2020) и Frank et al. (2022) указывали, что МП в водных экосистемах представлен преимущественно волокнами

и фрагментами размером от нескольких микрон до миллиметров.

В настоящем исследовании преобладающими частицами МП оказались черные фрагменты и волокна размером $<0,5$ мм (ANOVA: $F = 3,43$, $p\text{-value} = 0,0056$). Высокая доля черных частиц, вероятно, связана с износом автомобильных шин – одним из ключевых источников МП в городских и природных экосистемах (Kole et al., 2017). Частицы, состоящие из резины и синтетических полимеров, обладают характерным черным цветом и распространяются под воздействием ветров на значительные расстояния, оседая в водоемах и почве. Кроме того, черные волокна поступают также из источников текстильного загрязнения, в том числе износа синтетической одежды и бытовых стоков (Deng et al., 2020). Таким образом, преобладание черного МП отражает комплексное антропогенное воздействие транспортной и текстильной отраслей на загрязнение изучаемых биотопов.

Максимальная концентрация МП зафиксирована у комаров из сфагнового болота, тогда как минимальная – в луговой заболоченности. Сфагновые болота благодаря особенностям гидрологического режима, слабой подвижности воды и накоплению органического вещества способствуют более выраженному удержанию загрязнителей, в том числе МП, тогда как относительно низкие концентрации загрязнителей в луговой заболоченности могут объясняться более подвижными гидрологическими условиями и меньшим уровнем антропоген-

ного загрязнения (Limpens et al., 2008).

Статистически значимое (ANOVA: $F = 7,36$, $p\text{-value} = 0,0074$) увеличение содержания МП в комарах в 2023 году (среднее количество МП на особь – $0,191 \pm 0,087$) по сравнению с 2021 и 2022 годами ($0,012 \pm 0,003$ и $0,014 \pm 0,005$ соответственно) отражает общую тенденцию роста микропластикового загрязнения в окружающей среде. Так, Griffin et al. (2023) отмечали, что современные уровни загрязнения пластиковыми частицами растут и начинают оказывать заметное биологическое влияние на живые организмы. Рост количественных показателей МП в нашем исследовании может быть обусловлен усилением антропогенного влияния, а также локальными климатическими и гидрологическими особенностями региона в конкретные годы.

Таким образом, наши данные свидетельствуют о широком распространении МП в природных популяциях комаров Западной Сибири и подтверждают их роль в аккумуляции и переносе МП в наземные экосистемы. Выявленные тенденции концентраций МП по годам, биотопам и стадиям метаморфоза соответствуют современным представлениям о биодоступности и динамике МП и антропогенных волокон в окружающей среде. Эти результаты подчеркивают необходимость дальнейших исследований, направленных на углубленное изучение влияния МП на организм комаров и оценку их роли как индикаторов загрязнения.

5. Заключение

МП обнаружен в организмах комаров, собранных из природных популяций в окрестностях г. Томска (Западная Сибирь) в различных биотопах – луговой заболоченности, лесной заболоченности и сфагновом болоте – в период с 2021 по 2023 годы. Среднее количество частиц МП на одну особь выросло с $0,012 \pm 0,003$ в 2021 году до $0,191 \pm 0,087$ в 2023 году, что свидетельствует о значительном увеличении загрязнения в исследуемом регионе. Статистически значимых различий по биотопам и стадиям развития при этом не выявлено.

Обнаруженные частицы включали фрагменты размером от 0,1 до 1 мм и волокна длиной до 1 мм различных цветов, среди которых существенно преобладали черные фрагменты и волокна. Высокая доля черных частиц связана с износом автомобильных шин – важного источника МП, а также текстильного загрязнения.

В ходе метаморфоза наблюдалось увеличение концентрации МП от I до III личиночной стадии, с последующим снижением на IV стадии и фазах куколки и имаго, что свидетельствует о частичном выведении МП в процессе развития комаров.

Максимальные концентрации МП зарегистрированы у особей из сфагнового болота, где особенности гидрологического режима способствовали накоплению загрязнителей, тогда как в луговой заболоченности уровни концентрации МП оказались ниже.

Полученные данные подтверждают широкое распространение МП и антропогенных волокон в природных популяциях комаров Западной Сибири, их роль в аккумуляции и переносе МП в наземные экосистемы, а также необходимость дальнейших исследований влияния МП на здоровье комаров и возможность использования данных насекомых в качестве биоиндикаторов степени микропластикового загрязнения водно-наземных экосистем Западной Сибири.

Благодарности

Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSWM-2024-0006).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

- Akbari A., Taghavi K., Jaafari J. 2024. Sources of microplastics in the environment and human exposure routes: A review. *Caspian Journal of Health Research* 9(3): 163–176. DOI: [10.32598/CJHR.9.3.254.1](https://doi.org/10.32598/CJHR.9.3.254.1)
- Al-Jaibachi R., Cuthbert R.N., Callaghan A. 2018. Up and away: ontogenic transference as a pathway for aerial dispersal of microplastics. *Biology letters* 14(9): 20180479. DOI: [10.1098/rsbl.2018.0479](https://doi.org/10.1098/rsbl.2018.0479)
- Al-Jaibachi R., Cuthbert R.N., Callaghan A. 2019. Examining effects of ontogenic microplastic transference on *Culex* mosquito mortality and adult weight. *Science of the Total Environment* 651: 871–876. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2018.09.236](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.236)
- Andrady A.L., Neal M.A. 2009. Applications and societal benefits of plastics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364(1526): 1977–1984. DOI: [10.1098/rstb.2008.0304](https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0304)
- Bhatt S., Gething P.W., Brady O.J. et al. 2013. The global distribution and burden of dengue. *Nature* 496(7446): 504–507. DOI: [10.1038/nature12060](https://doi.org/10.1038/nature12060)
- Boots B., Russell C.W., Green D.S. 2019. Effects of microplastics in soil ecosystems: above and below ground. *Environmental science & technology* 53(19): 11496–11506. DOI: [10.1021/acs.est.9b03304](https://doi.org/10.1021/acs.est.9b03304)
- Botterell Z.L., Beaumont N., Dorrington T. et al. 2019. Bioavailability and effects of microplastics on marine zooplankton: A review. *Environmental Pollution* 245: 98–110. DOI: [10.1016/j.envpol.2018.10.065](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.10.065)
- Browne M.A., Crump P., Niven S.J. et al. 2011. Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environmental science & technology* 45(21): 9175–9179. DOI: [10.1021/es201811s](https://doi.org/10.1021/es201811s)
- Buteler M., Alma A.M., Stadler T. et al. 2022. Acute toxicity of microplastic fibers to honeybees and effects on foraging behavior. *Science of the Total Environment* 822: 153320. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2022.153320](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153320)
- Claessens M., Van Cauwenberghe L., Vandegehuchte M.B. et al. 2013. New techniques for the detection of microplastics in sediments and field collected organisms. *Marine pollution bulletin* 70(1–2): 227–233. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2013.03.009](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.03.009)

- Deng H., Wei R., Luo W. et al. 2020. Microplastic pollution in water and sediment in a textile industrial area. *Environmental Pollution* 258: 113658. DOI: [10.1016/j.envpol.2019.113658](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113658)
- Dobson A., Fofopoulos J. 2001. Emerging infectious pathogens of wildlife. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 356(1411): 1001–1012. DOI: [10.1098/rstb.2001.0900](https://doi.org/10.1098/rstb.2001.0900)
- Ehlers S.M., Manz W., Koop J.H. 2019. Microplastics of different characteristics are incorporated into the larval cases of the freshwater caddisfly *Lepidostoma basale*. *Aquatic Biology* 28: 67–77. DOI: [10.3354/ab00711](https://doi.org/10.3354/ab00711)
- Fendall L.S., Sewell M.A. 2009. Contributing to marine pollution by washing your face: microplastics in facial cleansers. *Marine pollution bulletin* 58(8): 1225–1228. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2009.04.025](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.04.025)
- Frank Y., Ershova A., Batasheva S. et al. 2022. Microplastics in freshwater: a focus on the Russian inland waters. *Water* 14(23): 3909. DOI: [10.3390/w14233909](https://doi.org/10.3390/w14233909)
- Gallitelli L., Cera A., Cesarini G. et al. 2021. Preliminary indoor evidences of microplastic effects on freshwater benthic macroinvertebrates. *Scientific Reports* 11(1): 720. DOI: [10.1038/s41598-020-80606-5](https://doi.org/10.1038/s41598-020-80606-5)
- Geyer R., Jambeck J.R., Law K.L. 2017. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science advances* 3(7): e1700782. DOI: [10.1126/sciadv.1700782](https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782)
- Griffin C.D., Tominioko C., Medeiros M.C. et al. 2023. Microplastic pollution differentially affects development of disease-vectoring *Aedes* and *Culex* mosquitoes. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 267: 115639. DOI: [10.1016/j.ecoenv.2023.115639](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115639)
- Gutsevich A.V., Monchadsky A.S., Shtakelberg A.A. 1970. Mosquitoes (Family Culicidae). In: Bykhovsky B.E. (Ed.), *Fauna of the USSR. New Series, No. 100. Vol. 3, Issue 4*. Leningrad, pp. 71–381. (In Russian)
- Haque M.R., Ahmed W., Rahman M.A. et al. 2025. Aquatic insects as mediator for microplastics pollution in a river ecosystem of Bangladesh. *Scientific Reports* 15(1): 15635. DOI: [10.1038/s41598-025-88024-1](https://doi.org/10.1038/s41598-025-88024-1)
- Hidalgo-Ruz V., Gutow L., Thompson R.C. et al. 2012. Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification. *Environmental Science & Technology* 46(6): 3060–3075. DOI: [10.1021/es2031505](https://doi.org/10.1021/es2031505)
- Jeong C.B., Won E.J., Kang H.M. et al. 2016. Microplastic size-dependent toxicity, oxidative stress induction, and p-JNK and p-p38 activation in the monogonont rotifer (*Brachionus koreanus*). *Environmental Science & Technology* 50(16): 8849–8857. DOI: [10.1021/acs.est.6b01441](https://doi.org/10.1021/acs.est.6b01441)
- Jin Y., Xia J., Pan Z. et al. 2018. Polystyrene microplastics induce microbiota dysbiosis and inflammation in the gut of adult zebrafish. *Environmental Pollution* 235: 322–329. DOI: [10.1016/j.envpol.2017.12.088](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.088)
- Karami A. 2017. Gaps in aquatic toxicological studies of microplastics. *Chemosphere* 184: 841–848. DOI: [10.1016/j.chemosphere.2017.06.048](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.06.048)
- Kole P.J., Löhr A.J., Van Bellegheem F.G. et al. 2017. Wear and tear of tyres: a stealthy source of microplastics in the environment. *International journal of environmental research and public health* 14(10): 1265. DOI: [10.3390/ijerph14101265](https://doi.org/10.3390/ijerph14101265)
- Li C., Busquets R., Campos L.C. 2020. Assessment of microplastics in freshwater systems: A review. *Science of the Total Environment* 707: 135578. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2019.135578](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135578)
- Limpens J., Berendse F., Blodau C. et al. 2008. Peatlands and the carbon cycle: from local processes to global implications—a synthesis. *Biogeosciences* 5(5): 1475–1491. DOI: [10.5194/bg-5-1475-2008](https://doi.org/10.5194/bg-5-1475-2008)
- Liu Z., Yu P., Cai M. et al. 2019. Effects of microplastics on the innate immunity and intestinal microflora of juvenile *Eriocheir sinensis*. *Science of the Total Environment* 685: 836–846. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2019.06.265](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.265)
- Lusher A.L., Munno K., Hermabessiere L. et al. 2020. Isolation and extraction of microplastics from environmental samples: an evaluation of practical approaches and recommendations for further harmonization. *Applied Spectroscopy* 74(9): 1049–1065. DOI: [10.1177/0003702820938993](https://doi.org/10.1177/0003702820938993)
- Pilapitiya P.N.T., Ratnayake A.S. 2024. The world of plastic waste: A review. *Cleaner Materials* 11: 100220. DOI: [10.1016/j.clema.2024.100220](https://doi.org/10.1016/j.clema.2024.100220)
- Polenogova O.V., Simakova A.V., Klementeva T.N. et al. 2025. Effects of microplastics on the physiology of living organisms on the example of laboratory reared bloodsucking mosquitoes *Aedes aegypti* L. *Physiological Entomology* 50(2): 128–138. DOI: [10.1111/phen.12474](https://doi.org/10.1111/phen.12474)
- Qiao R., Sheng C., Lu Y. et al. 2019. Microplastics induce intestinal inflammation, oxidative stress, and disorders of metabolome and microbiome in zebrafish. *Science of the Total Environment* 662: 246–253. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2019.01.245](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.245)
- R Core Team. 2021. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. URL: <https://www.R-project.org/>
- Royer S.J., Ferrón S., Wilson S.T. et al. 2018. Production of methane and ethylene from plastic in the environment. *PLoS one* 13(8): e0200574. DOI: [10.1371/journal.pone.0200574](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200574)
- Seki H. 1986. Organic substances in aquatic ecosystems. Leningrad: Hydrometeoizdat. (In Russian)
- Simakova A., Varenitsina A., Babkina I. et al. 2022. Ontogenetic transfer of microplastics in bloodsucking mosquitoes *Aedes aegypti* L. (Diptera: Culicidae) is a potential pathway for particle distribution in the environment. *Water* 14(12): 1852. DOI: [10.3390/w14121852](https://doi.org/10.3390/w14121852)
- Simakova A.V., Varenitsina A.A., Babkina I.B. et al. 2024. Ontogenetic transfer of microplastics in natural populations of malaria mosquitoes in Western Siberia. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 172(11): 1046–1053. DOI: [10.1111/eea.13509](https://doi.org/10.1111/eea.13509)
- Sussarellu R., Suquet M., Thomas Y. et al. 2016. Oyster reproduction is affected by exposure to polystyrene microplastics. *Proceedings of the national academy of sciences* 113(9): 2430–2435. DOI: [10.1073/pnas.1519019113](https://doi.org/10.1073/pnas.1519019113)
- Thompson R.C., Olsen Y., Mitchell R.P. et al. 2004. Lost at sea: where is all the plastic? *Science* 304(5672): 838–838. DOI: [10.1126/science.1094559](https://doi.org/10.1126/science.1094559)
- Wilcox C., Mallos N.J., Leonard G.H. et al. 2016. Using expert elicitation to estimate the impacts of plastic pollution on marine wildlife. *Marine policy* 65: 107–114. DOI: [10.1016/j.marpol.2015.10.014](https://doi.org/10.1016/j.marpol.2015.10.014)
- Wright S.L., Thompson R.C., Galloway T.S. 2013. The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review. *Environmental pollution* 178: 483–492. DOI: [10.1016/j.envpol.2013.02.031](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.02.031)
- Yee D.A., Kaufman M.G. 2019. Suspension and filter feeding in aquatic insects. In: Krenn H.W. (Ed.), *Insect mouthparts. Form, function, development and performance*. Cham, pp. 101–125.