

Response of the Baikal littoral amphipod *Eulimnogammarus cyaneus* (Dybowsky, 1874) to warm and cold LED light of low intensities

Short communication

LIMNOLOGY
FRESHWATER
BIOLOGY

Ermolaeva Ya.K.¹, Karnaukhov D.Yu.^{1,2*}, Pastukhova Yu.A.³, Varakina E.D.⁴, Sidorov S.M.⁵, Sidorova A.I.⁵, Maslennikova M.A.¹, Silow E.A.¹

¹ Irkutsk State University, Karl Marx St., 1, Irkutsk, 664025, Russia

² Baikal Museum Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Akademicheskaya St., 1A, Listvyanka, 664520, Russia

³ I. D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences, Nekouzsky district, 109, Borok village, 152742, Russia

⁴ Institute of Ecology and Evolution A.N. Severtsov of the Russian Academy of Sciences, Leninsky Prospekt, 33, Moscow, 119071, Russia

⁵ Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, A. Aleksander Nevsky Str., 50, Petrozavodsk, 185030, Russia

ABSTRACT. Light pollution is currently becoming widespread throughout the world and affects both individual organisms and ecosystems. It was shown that light with different spectral characteristics affects organisms differently. Lake Baikal is also subject to light pollution. Light pollution on the lake tends to increase due to the growth of tourist flow and infrastructure development. Therefore, in this work we decided to evaluate the reaction of the amphipod *Eulimnogammarus cyaneus*, which is widespread in the littoral of Lake Baikal, to artificial light of different spectral characteristics and intensities. In a series of experiments, individuals were given a choice between warm (with a color temperature of 3200 K) and cold (5600 K) lighting or darkness. In the experiments, the illumination level was set at 2 lx or 10 lx. As a result, we found that warm and cold light had an effect on the behavior of individuals compared to the control. However, we did not find any difference in the behavior of amphipods when comparing warm and cold lighting. Furthermore, no differences were found between the response of individuals under cold light with 2 lx and 10 lx. However, the intensity of warm light is important for amphipods. A weak light avoidance response (demonstrated by *E. cyaneus*) may increase the frequency of detection of individuals of this species by predators in areas of the littoral of Lake Baikal subject to light pollution.

Keywords: light pollution, color temperature, LED light, Lake Baikal, amphipod, ALAN

For citation: Ermolaeva Ya.K., Karnaukhov D.Yu., Pastukhova Yu.A., Varakina E.D., Sidorov S.M., Sidorova A.I., Maslennikova M.A., Silow E.A. Response of the Baikal littoral amphipod *Eulimnogammarus cyaneus* (Dybowsky, 1874) to warm and cold LED light of low intensities // Limnology and Freshwater Biology. 2025. - № 4. - P. 983-994. DOI: 10.31951/2658-3518-2025-A-4-983

1. Introduction

Light pollution is a widespread and rapidly expanding type of pollution. It has been identified as a major global change problem in the 21st century (Marangoni et al., 2022). This pollution occurs due to excessive use of artificial light sources at night. In turn, this affects the circadian rhythms of organisms (Falcón et al., 2020). Researches conducted to date have focused primarily on terrestrial ecosystems and, to some extent, marine ecosystems. However, the impact of light pollution on inland water ecosystems has received very little attention (Hölker et al., 2023). It is worth noting

that the effects of light pollution may differ between marine and freshwater ecosystems since the propagation of light in water depends on its optical properties. However, various studies have demonstrated the effects of light pollution on the migratory activity of zooplankton (Moore et al., 2000; Ludvigsen et al., 2018), zoobenthos (Navarro-Barranco and Hughes, 2015), and invertebrate drift in rivers and streams (Perkin et al., 2014). In addition, artificial light at night affects predator-prey relationships (Bolton et al., 2017; Tañanda et al., 2018; Nuñez et al., 2021; Harrison and Gray, 2024; Hassan et al., 2024). This is mainly in favor of predators. Light makes aquatic organisms visible to their nat-

*Corresponding author.

E-mail address: karnauhovdmitrii@gmail.com (D.Yu. Karnaukhov)

Received: July 28, 2025; **Accepted:** August 19, 2025;

Available online: August 31, 2025

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



ural predators. Therefore, elucidation of behavioral, in particular phototactic, reactions of aquatic organisms is of great importance. Some species avoid artificial light (Abeel et al., 2016; Duarte et al., 2019; Fischer et al., 2020), while other species are attracted to it (Fernandez-Gonzalez et al., 2014; Navarro-Barranco and Hughes, 2015). In general, the response of organisms to artificial light is species-specific and can vary depending on the spectral characteristics of the light (Abeel et al., 2016; Brüning et al., 2016; Tałanda et al., 2018; Fischer et al., 2020; Czarnecka et al., 2021; 2022; Drozdova et al., 2021; Kühne et al., 2021; Li et al., 2022; Karnaukhov et al., 2025a). To assess the spectral characteristics of light, the color temperature indicator is widely used, indicating how energy is distributed in the visible spectrum of radiation. The higher the proportion of long-wave radiation (red, orange waves) in the light spectrum, the lower its color temperature and the warmer its color. Conversely, the higher the proportion of short-wave radiation (blue, violet waves), the higher the color temperature of the light and its color appears colder. Although interest in using more energy-efficient LED lighting is growing worldwide every year (Hölker et al., 2023), the impact of different color temperatures of LED light on aquatic organisms remains poorly understood.

Lake Baikal is a unique natural ecosystem with a high level of biodiversity. The level of light pollution on Lake Baikal tends to increase, which is largely due to the growth of tourist flow. According to remote sensing data, about 10% of the lake's coastline is affected by light pollution. The high transparency of the lake water allows different light spectra to penetrate up to 400 m into the water (Hunt et al., 1996). This may contribute to the occurrence of negative changes in certain areas of the lake's littoral zone that are subject to light pollution. Amphipods are the dominant representatives of zoobenthos in Lake Baikal. They account for 61% of all freshwater amphipods living in the inland waters of Russia (Takhteev et al., 2015). In the littoral zone of the lake, one of the most successful species in terms of distribution is *Eulimnogammarus cyaneus* (Dybowsky 1874). The distribution area of this species covers approximately 1/2–2/3 of the coastline of Lake Baikal (Mekhanikova, 2015).

Given the widespread increase in light pollution (including on Lake Baikal), as well as the available data on the species-specific effects of light with different spectral characteristics on organisms, we decided to evaluate the effects of 2 and 10 lx of warm and cold light on the behavior of *E. cyaneus*. In this study, we also set out to test the following hypotheses: the response of *E. cyaneus* to artificial light would differ depending on (1) the spectral composition of the light and (2) the intensity of the light.

2. Materials and methods

2.1. Capture and acclimation of amphipods

All experiments were approved by the Commission for Experimental Research Using Animals

of Research Institute of Biology of Irkutsk State University (Protocol no. 14, dated 22 August 2024). All experiments were conducted in accordance with international ethical standards documented in the regulations of the Russian Federation, the Declaration of Helsinki, and the European Union Directive 2010/63/EU on the treatment of animals in scientific research.

E. cyaneus specimens were caught in the littoral zone of Lake Baikal near the village of Bol'shiye Koty using a hydrobiological net. As a result, more than 500 specimens were caught. On the same day, all specimens were transported to the Irkutsk State University Institute of Biology for further acclimation and experiments.

During the acclimation and experimental periods, the amphipods were kept in 18 x 11.5 x 12 cm aquariums with constant aeration and a temperature of 12 °C. The number of individuals in one aquarium did not exceed 30. The acclimation period was 3 days. All experiments were conducted on the fourth and eighth days of amphipod maintenance. To keep the amphipods, we used settled tap water, which was completely changed in the aquariums every 3 days. After changing the water in the aquariums, the amphipods were fed dried *Gammarus* sp. During the keeping of amphipods, the light regime was not established. During the daytime, from approximately 10:00 to 18:00, the amphipods were illuminated by indirect light from the window and indirect light from the lamps in the laboratory (illumination during the day was more than 70 lx). During the nighttime, there was no light (0 lx). On the evening before the experiments, the room was completely darkened, providing illumination equal to 0 lx on the day of the experiments.

2.2. Experimental installation

The experiments were conducted during the daytime in a room with 0 lx illumination. A special aquarium measuring 19 × 52 × 10 cm was used for the experiments (Fig. 1). The CN-20FC LED video light (NanGuang, China) was located at the end of the aquarium as a light source. This video light is capable of emitting both warm (3200 K) light and cold (5600 K) light simultaneously and separately. The end of the aquarium on the side of the light source (Fig. 1 point A) was divided by a 30 cm central partition (Fig. 1 distance AB). Thanks to this, one half of the aquarium was illuminated with warm light, and the other half with cold light. Either one half of the aquarium was illuminated with (warm or cold) light, while the other half remained dark. However, we could not completely prevent the reflected light from the walls of the aquarium from reaching the dark half, so a mixed light zone was created with more and less illuminated halves at the beginning of the aquarium (Fig. 1 distance BC). At the end of the aquarium (Fig. 1 distance AB) the illumination in the darkened half was 0 lx. If warm and cold light were burning simultaneously, then in the mixed light zone a clear boundary between the two lights was visible. The required illumination level (used in the experiments) was set and controlled at the beginning of the aquarium (Fig. 1 point C) using a DT-8809A lux

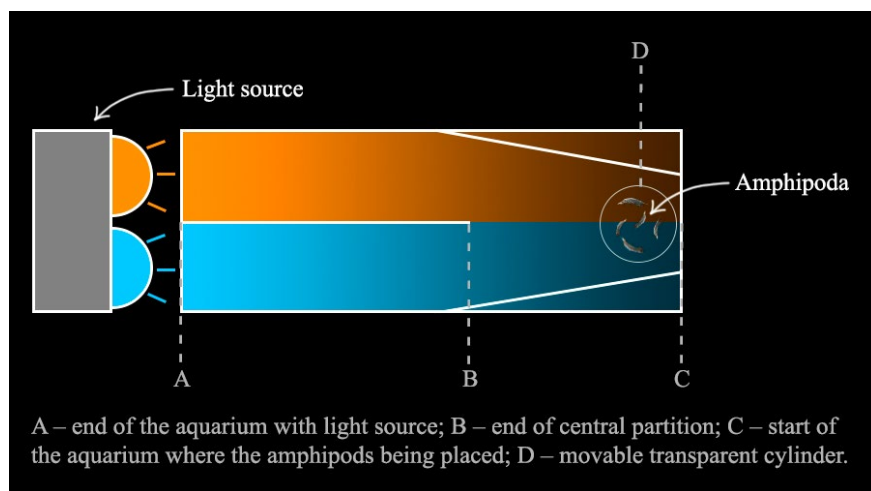


Fig.1. Scheme of the experimental aquarium (top view).

meter (CEM, Macao, China). The color temperatures of warm and cold light measured with a spectrum analyzer OPPL Light-master-II (OPPLE, China) corresponded to the values declared by the manufacturer (3200 and 5600 K, respectively).

2.3. Conducting experiments and data analysis

At the beginning of the aquarium (Fig. 1 point C) in the mixed light zone a transparent plastic cylinder was placed (Fig. 1 point D). Five individuals of *E. cyaneus* were placed in this cylinder at a time. Amphipods in the cylinder were free to move between warm and cold light, or between the light and dark half, for 3 minutes. After this time, the cylinder was removed and the amphipods were given a choice of one side of the aquarium or another for 1 minute. If the amphipod swam behind the central partition of the aquarium into one of its halves (Fig. 1 distance AB), then this was counted as movement towards warm light, or movement towards cold light, or movement into darkness, depending on the chosen side of the aquarium. If the amphipod remained in the mixed light zone (Fig. 1 distance BC), it was counted as remaining in place. A total of 7 types of experiments were conducted, where amphipods chose between: (1) warm 10 lx and cold 10 lx light – W10/C10, (2) warm 10 lx and darkness – W10/D, (3) cold 10 lx and darkness – C10/D, (4) warm 2 lx and cold 2 lx – W2/C2, (5) warm 2 lx and darkness – W2/D, (6) cold 2 lx and darkness – C2/D, (7) two sides of the aquarium in utter darkness (control) – D/D. Moreover, experiments 1, 2 and 3 were carried out on the fourth day of keeping amphipods, and the rest – on the eighth. For each type of experiment, 24 replicates were conducted, i.e., each experiment took into account the selection of 120 individuals of *E. cyaneus* (5 individuals $\times$ 24 replicates = 120 individuals).

Data processing and analysis were carried out using the R programming language (V 4.4.2; <https://www.R-project.org/>) in the RStudio software environment. Pearson's chi-square test with FDR correction (Benjamini and Hochberg, 1995) for multiple comparisons was used to compare the frequencies of amphipod tank zone selection between different experimental

types. Differences were considered statistically significant at p -value < 0.05 .

3. Results

Comparison of samples using Pearson's chi-square test showed that lighting conditions affect the locomotor activity of *E. cyaneus* (X^2 -squared = 87.638, $df = 12$, p -value = $1.413e-13$). In general, low locomotor activity was observed for *E. cyaneus* in the experiments. Most individuals preferred to remain in the initial zone of the aquarium regardless of the presence or absence of artificial lighting (Fig. 2).

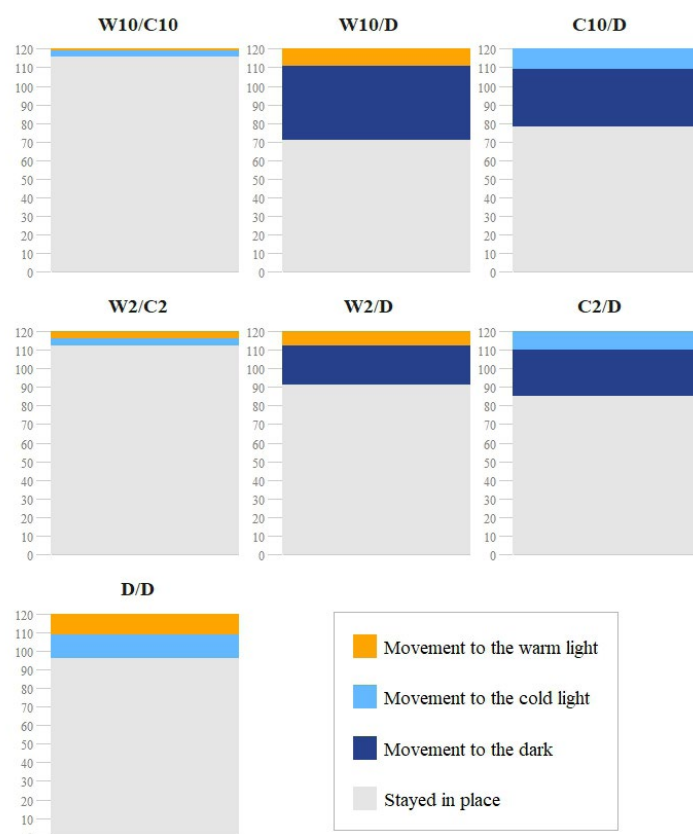


Fig.2. Choice of lighting conditions by *E. cyaneus* individuals.

Pairwise comparison of the results obtained under different lighting conditions showed that statistically significant differences were found in 13 out of 21 cases (Table 1). Comparison with control conditions (D/D) showed that no differences were found only for experiments W2/D and C2/D. Furthermore, no difference was found between intensities when comparing the W10/C10 and W2/C2 experiments. Also, no differences were found between warm and cold light either for 10 lx (comparing W10/D and C10/D) or for 2 lx (comparing W2/D and C2/D). However, statistically significant differences were found between the intensities for warm light when compared W10/D and W2/D, whereas no such differences were found for cold light when compared C10/D and C2/D.

4. Discussion

Our results show that artificial light of both different spectral composition and intensity influences the behavior of *E. cyaneus*. In general, the results of experiments for this species show its low activity both without lighting and with lighting. This conclusion is based on the fact that the majority of individuals in all experiments (both in control conditions and in experiments with light and the possibility of going into darkness) remained at the beginning of the aquarium in its mixed light zone. On the one hand, the low activity of individuals could be associated with stress caused by a short period of acclimation in laboratory conditions. However, individuals of this species demonstrated similar activity in another previous study by us (Karnaukhov et al., 2025a), where the acclimation period was at least a week. On the other hand, low activity may be a characteristic of this species, whose individuals prefer to live under stones during the day (Mekhanikova, 2015). It should be repeated that the experiments are carried out in a room without lighting, but during the daytime. In experiments where only one half of the aquarium was illuminated, amphipods apparently found it sufficient to hide from direct light exposure and remain in the darker half of the aquarium to prevent discomfort, especially in experiments with a light intensity of 2 lx. We conclude that both warm and cold light cause discomfort and a corresponding avoidance response in individuals. This is confirmed by the fact that statistically significant differences were found

when comparing the control and experiments with simultaneous illumination of warm and cold light of both presented intensities, as well as experiments when only one half of the aquarium was illuminated with one or another type of light with an intensity of 10 lx. Our results refute our hypothesis that amphipods respond differently to warm and cold light of equal intensities. We found no statistically significant differences between warm and cold light in the light and dark experiments in both cases (10 lx and 2 lx). Earlier studies of amphipods have demonstrated different responses of individuals of the same species to light of different spectral compositions (e.g. light from LED lamps, light from halogen lamps or high-pressure sodium lamps) (Navarro-Barranco and Hughes, 2015; Czarnecka et al., 2021; 2022; Hassan et al., 2024). Although both warm and cold light in our study are LED, their spectral composition differs in the distribution of light energy across wavelengths. The emerging contradiction with earlier studies can be explained by the species-specificity of the reactions of different species to light.

Regarding the hypothesis about the different response of amphipods to the same light of different intensities, our results confirm it for warm light and do not confirm it for cold light. Amphipods were statistically significantly more likely to avoid 10 lx light than 2 lx light in warm light and dark experiments. Studies conducted to date have either considered the effects of high light intensities on amphipod behavior (Kohler et al., 2018) or have not considered this parameter at all. In a previous study, we did not confirm the hypothesis about the importance of light intensity in the amphipod response, but we obtained borderline results for warm (3000 K) light in one of the studied species (Karnaukhov et al., 2025a). Overall, the light response demonstrated by *E. cyaneus* in the previous and current studies is similar: in both studies, one group of individuals was attracted and the other group avoided the warm light. In the present study, we used lower intensities for comparison than in the previous study. It is possible that low light intensities have a greater impact on amphipod behavioural variability than high intensities. Therefore, in future studies it makes sense to evaluate changes in amphipod behavior at different low intensities, starting from 0 lx, with a step between them up to 1 lx.

Table 1. Results of pairwise comparison (*p*-values) of the frequencies of aquarium zone selection by *E. cyaneus* individuals under different lighting conditions using the Pearson chi-square test with FDR correction.

	D/D	W10/C10	W10/D	C10/D	W2/C2	W2/D
W10/C10	0.0004*	-	-	-	-	-
W10/D	0.0004*	0.0004*	-	-	-	-
C10/D	0.01*	0.0004*	0.5	-	-	-
W2/C2	0.01*	0.4	0.0004*	0.0004*	-	-
W2/D	0.3	0.0004*	0.02*	0.2	0.001*	-
C2/D	0.1	0.0004*	0.1	0.6	0.0004*	0.7

Note: * – statistically significant differences

Overall, we can assume that warm 10 lx light has the greatest effect on the locomotor activity of *E. cyaneus* individuals compared to other lighting conditions presented in this study. However, it is also worth noting that most of the individuals in the experiments with any light and darkness remained in the mixed light zone. In this zone, the light fell a little even on the darker half, and some individuals moved directly towards the light. This behavior may be dangerous from the point of view of survival for some individuals in the natural conditions of Lake Baikal. This is due to the fact that even weak light makes the organisms visible to predators, in particular, to cottoid fish. Several studies have demonstrated the ability of fish to hunt successfully in illumination levels below 10 lx (Tałanda et al., 2018; Harrison and Gray, 2024) and even at 0.5 lx (Ohlberger et al., 2008). Therefore, the absence of a clear light avoidance response in *E. cyaneus* may lead to changes in the predator-prey relationship (Bolton et al., 2017; Tałanda et al., 2018; Harrison and Gray, 2024; Hassan et al., 2024) in certain areas of the lake's littoral exposed to light pollution.

It is worth noting that in the experiments we used groups of 5 amphipods, although we allow for possible differences in solitary and group behavior for this species. Thus, in studies with fish, more active behavior of individuals in a group was noted (Bartosiewicz and Gliwicz, 2011; Tałanda et al., 2018). We also found differences in solitary and group behavior in the Baikal amphipod *Gmelinoides fasciatus* (Stebbing, 1899) (Karnaukhov et al., 2025b). However, the choice of the number of individuals in this study was primarily determined by the need to speed up the process of conducting experiments while ensuring a sufficient sample size. However, the question remains open not only of the solitary and group behavior of *E. cyaneus*, but also of the behavior of individuals of this species during the night period, when light pollution is observed. Both questions can form the basis for further research both in the context of studying the behavioral characteristics of this species and in the context of the problem of light pollution.

5. Conclusion

Both warm and cold light 2 and 10 lx intensities influence the behavior of *E. cyaneus*. Moreover, the spectral composition of light does not play a role in the reaction of individuals of this species to light, since individuals reacted equally to warm and cold light. In addition, we did not find a significant effect of intensity for cold light on the formation of amphipod behavior, but confirmed the importance of intensity in this regard for warm light. The warm 10 lx light had the greatest effect on *E. cyaneus*. This light was avoided by individuals to a greater extent than other lighting conditions. Although individuals exhibited avoidance responses to both warm and cold light, most individuals remained in the illuminated zone under all lighting conditions. The inability of this species to actively avoid light and the development of infrastructure on Lake Baikal may lead to excessive detection of individuals by natural predat-

tors. In addition, this will lead to changes in the predator-prey relationship in light-polluted littoral areas.

Acknowledgements

This research was funded by a grant from the Russian Science Foundation No. 24-24-00365, <https://rscf.ru/project/24-24-00365/>.

Conflict of interests

The authors declare that there is no conflict of interest.

References

- Abeel T., Vervaecke H., Roelant E. et al. 2016. Evaluation of the influence of light conditions on crayfish welfare in intensive aquaculture. In: Food futures: ethics, science and culture. Wageningen Academic Publishers, University of Porto, Portugal, pp. 244–250. DOI: [10.3920/978-90-8686-834-6_37](https://doi.org/10.3920/978-90-8686-834-6_37)
- Bartosiewicz M., Gliwicz Z.M. 2011. Temporary Intermissions in Capturing Prey (*Daphnia*) by Planktivorous Fish (*Rutilus Ru-tilus*): Are They Due to Scramble Competition or the Need for Antipredation Vigilance? *Hydrobiologia* 668: 125–136. DOI: [10.1007/s10750-010-0577-0](https://doi.org/10.1007/s10750-010-0577-0)
- Benjamini Y., Hochberg Y. 1995. Controlling the False Discovery Rate: A Practical and Powerful Approach to Multiple Testing. *Journal of the Royal Statistical Society Series B: Statistical Methodology* 57: 289–300. DOI: [10.1111/j.2517-6161.1995.tb02031.x](https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1995.tb02031.x)
- Bolton D., Mayer-Pinto M., Clark G.F. et al. 2017. Coastal urban lighting has ecological consequences for multiple trophic levels under the sea. *Science of The Total Environment* 576: 1–9. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2016.10.037](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.037)
- Brüning A., Hölker F., Franke S. et al. 2016. Impact of different colours of artificial light at night on melatonin rhythm and gene expression of gonadotropins in European perch. *Science of The Total Environment* 543: 214–222. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2015.11.023](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.023)
- Czarnecka M., Kobak J., Grubisic M. et al. 2021. Disruptive effect of artificial light at night on leaf litter consumption, growth and activity of freshwater shredders. *Science of The Total Environment* 786: 147407. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2021.147407](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147407)
- Czarnecka M., Jermacz Ł., Glazińska P. et al. 2022. Artificial light at night (ALAN) affects behaviour, but does not change oxidative status in freshwater shredders. *Environmental Pollution* 306: 119476. DOI: [10.1016/j.envpol.2022.119476](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119476)
- Drozdova P., Kizenko A., Saranchina A. et al. 2021. The diversity of opsins in Lake Baikal amphipods (Amphipoda: Gammaridae). *BMC Ecology and Evolution* 21: 81. DOI: [10.1186/s12862-021-01806-9](https://doi.org/10.1186/s12862-021-01806-9)
- Duarte C., Quintanilla-Ahumada D., Anguita C. et al. 2019. Artificial light pollution at night (ALAN) disrupts the distribution and circadian rhythm of a sandy beach isopod. *Environmental Pollution* 248: 565–573. DOI: [10.1016/j.envpol.2019.02.037](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.02.037)
- Falcón J., Torriglia A., Attia D. et al. 2020. Exposure to Artificial Light at Night and the Consequences for Flora, Fauna, and Ecosystems. *Frontiers in Neuroscience* 14: 602796. DOI: [10.3389/fnins.2020.602796](https://doi.org/10.3389/fnins.2020.602796)
- Fernandez-Gonzalez V., Fernandez-Jover D., Toledo-Guedes K. et al. 2014. Nocturnal planktonic assemblages of amphipods vary due to the presence of coastal aquaculture cages. *Marine Environmental Research* 101: 22–28. DOI: [10.1016/j.marenvres.2014.08.001](https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2014.08.001)

Fischer J.R., Gangloff M.M., Creed R.P. 2020. The behavioral responses of 2 Appalachian crayfish to cool and warm spectrum LED lights at night. *Freshwater Science* 39: 39–46. DOI: [10.1086/707459](https://doi.org/10.1086/707459)

Harrison S.E., Gray S.M. 2024. Effects of light pollution on Bluegill foraging behavior. *Transactions of the American Fisheries Society* 153: 152–162. DOI: [10.1002/tafs.10451](https://doi.org/10.1002/tafs.10451)

Hassan W., Kobak J., Czarnecka M. 2024. Artificial light at night alters foraging behavior of freshwater amphipods depending on the light spectrum and the presence of predation cues. *Current Zoology* zoae061: 1–8. DOI: [10.1093/cz/zoae061](https://doi.org/10.1093/cz/zoae061)

Hölker F., Jechow A., Schroer S. et al. 2023. Light pollution of freshwater ecosystems: principles, ecological impacts and remedies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 378: 20220360. DOI: [10.1098/rstb.2022.0360](https://doi.org/10.1098/rstb.2022.0360)

Hunt D.M., Fitzgibbon J., Slobodyanyuk S.J. et al. 1996. Spectral tuning and molecular evolution of rod visual pigments in the species flock of cottoid fish in Lake Baikal. *Vision Research* 36: 1217–1224. DOI: [10.1016/0042-6989\(95\)00228-6](https://doi.org/10.1016/0042-6989(95)00228-6)

Karnaukhov D., Ermolaeva Y., Maslennikova M. et al. 2025. Species-Specific Responses of Baikal Amphipods to Artificial Lighting of Varying Intensity and Spectral Composition. *Limnological Review* 25: 11. DOI: [10.3390/limnolrev25020011](https://doi.org/10.3390/limnolrev25020011)

Karnaukhov D., Ermolaeva Y., Maslennikova M. et al. 2025. Can the Baikal Amphipod *Gmelinoides fasciatus* (Stebbing, 1899) Have Different Responses to Light Pollution with Different Color Temperatures? *Journal of Marine Science and Engineering* 13: 1039. DOI: [10.3390/jmse13061039](https://doi.org/10.3390/jmse13061039)

Kohler S.A., Parker M.O., Ford A.T. 2018. Species-specific behaviours in amphipods highlight the need for understanding baseline behaviours in ecotoxicology. *Aquatic Toxicology* 202: 173–180. DOI: [10.1016/j.aquatox.2018.07.013](https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2018.07.013)

Kühne J.L., van Grunsven R.H.A., Jechow A. et al. 2021. Impact of Different Wavelengths of Artificial Light at Night on Phototaxis in Aquatic Insects. *Integrative and Comparative Biology* 61: 1182–1190. DOI: [10.1093/icb/icab149](https://doi.org/10.1093/icb/icab149)

Li D., Huang J., Zhou Q. et al. 2022. Artificial Light Pollution with Different Wavelengths at Night Interferes with Development, Reproduction, and Antipredator Defenses of *Daphnia magna*. *Environmental Science & Technology* 56: 1702–1712. DOI: [10.1021/acs.est.1c06286](https://doi.org/10.1021/acs.est.1c06286)

Ludvigsen M., Berge J., Geoffroy M. et al. 2018. Use of an Autonomous Surface Vehicle reveals small-scale diel vertical migrations of zooplankton and susceptibility to light pollution under low solar irradiance. *Science Advances* 4: eaap9887. DOI: [10.1126/sciadv.aap9887](https://doi.org/10.1126/sciadv.aap9887)

Marangoni L.F.B., Davies T., Smyth T. et al. 2022. Impacts of artificial light at night in marine ecosystems—A review. *Global Change Biology* 28: 5346–5367. DOI: [10.1111/gcb.16264](https://doi.org/10.1111/gcb.16264)

Mekhanikova I.V. 2015. Morphology of the oral apparatus and nutrition of *Eulimnogammarus cyaneus* (Crustacea, Amphipoda), an inhabitant of the watershed zone of Lake Baikal (Bolshiye Koty Bay, South Baikal). *Zoologicheskii zhurnal [Zoological journal]* 94: 1379–1386. DOI: [10.7868/S0044513415120107](https://doi.org/10.7868/S0044513415120107) (in Russian)

Moore M.V., Pierce S.M., Walsh H.M. et al. 2000. Urban light pollution alters the diel vertical migration of *Daphnia*. *SIL Proceedings, 1922–2010* 27: 779–782. DOI: [10.1080/03680770.1998.11901341](https://doi.org/10.1080/03680770.1998.11901341)

Navarro-Barranco C., Hughes L.E. 2015. Effects of light pollution on the emergent fauna of shallow marine ecosystems: Amphipods as a case study. *Marine Pollution Bulletin* 94: 235–240. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2015.02.023](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.02.023)

Núñez J.D., Bas C.C., Pérez García M. et al. 2021. Artificial light at night may increase the predation pressure in a salt marsh keystone species. *Marine Environmental Research* 167: 105285. DOI: [10.1016/j.marenvres.2021.105285](https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2021.105285)

Ohlberger J., Mehner T., Staaks G. et al. 2008. Is ecological segregation in a pair of sympatric coregonines supported by divergent feeding efficiencies? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 65: 2105–2113. DOI: [10.1139/F08-120](https://doi.org/10.1139/F08-120)

Perkin E.K., Hölker F., Heller S. et al. 2014. Artificial light and nocturnal activity in gammarids. *PeerJ* 2: e279. DOI: [10.7717/peerj.279](https://doi.org/10.7717/peerj.279)

Takhteev V.V., Berezina N.A., Sidorov D.A. 2015. Checklist of the Amphipoda (Crustacea) from continental waters of Russia, with data on alien species. *rej* 24: 335370–0. DOI: [10.15298/arthscl.24.3.09](https://doi.org/10.15298/arthscl.24.3.09)

Tałańda J., Maszczyk P., Babkiewicz E. 2018. The reaction distance of a planktivorous fish (*Scardinius erythrophthalmus*) and the evasiveness of its prey (*Daphnia pulex* × *pulicaria*) under different artificial light spectra. *Limnology* 19: 311–319. DOI: [10.1007/s10201-018-0548-0](https://doi.org/10.1007/s10201-018-0548-0)

Реакция байкальской литоральной амфиподы *Eulimnogammarus cyaneus* (Dybowsky, 1874) на теплый и холодный светодиодный свет низкой интенсивности



Ермолаева Я.К.¹, Карнаухов Д.Ю.^{1,2*}, Пастухова Ю.А.³, Варакина Е.Д.⁴,
Сидоров С.М.⁵, Сидорова А.И.⁵, Масленникова М.А.¹, Зилов Е.А.¹

¹ Иркутский государственный университет, ул. Карла Маркса, 1, Иркутск, 664025, Россия

² Байкальский музей Сибирского отделения Российской академии наук, ул. Академическая, 1а, Листвянка, 664520, Россия

³ Институт биологии внутренних вод имени И. Д. Папанина РАН, Некоузский р-н, 109, п. Борок, 152742, Россия

⁴ Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова Российской академии наук, Ленинский проспект, 33, Москва, 119071, Россия

⁵ Институт водных проблем Севера Карельского научного центра Российской академии наук, пр. Александра Невского, 50, Петрозаводск, 185030, Россия

АННОТАЦИЯ. Световое загрязнение в настоящее время приобретает широкое распространение по всему миру, оказывая влияние как на отдельные организмы, так и на экосистемы в целом. При этом было показано, что свет с разными спектральными характеристиками по-разному влияет на организмы. Озеро Байкал также подвержено световому загрязнению, которое, в связи с ростом туристического потока и развитием инфраструктуры, имеет тенденцию к увеличению. Поэтому в данной работе мы решили оценить реакцию распространенной в литорали озера Байкал амфиподы *Eulimnogammarus cyaneus* на искусственный свет разных спектральных характеристик и интенсивностей. В ряде экспериментов особям давался выбор между теплым 3200 К и холодным 5600 К освещением или темнотой. При этом в экспериментах устанавливался уровень освещенности 2 лк, либо 10 лк. В результате мы обнаружили, что и теплый, и холодный свет оказывают влияние на поведение особей по сравнению с контролем, однако, мы не обнаружили разницы в поведении амфипод при теплом и холодном освещении. Мы также не обнаружили различий в реакции особей на 2 лк и 10 лк в холодном свете, но подтвердили значимость интенсивности теплого света для исследуемых организмов. Продемонстрированная *E. cyaneus* достаточно слабая реакция избегания света может увеличить частоту обнаружения особей этого вида хищниками на участках литорали озера Байкал, подверженных световому загрязнению.

Ключевые слова: световое загрязнение, цветовая температура, светодиодный свет, озеро Байкал, амфипода, искусственное освещение ночью

Для цитирования: Ермолаева Я.К., Карнаухов Д.Ю., Пастухова Ю.А., Варакина Е.Д., Сидоров С.М., Сидорова А.И., Масленникова М.А., Зилов Е.А. Реакция байкальской литоральной амфиподы *Eulimnogammarus cyaneus* (Dybowsky, 1874) на теплый и холодный светодиодный свет низкой интенсивности // Limnology and Freshwater Biology. 2025. - № 4. - С. 983-994. DOI: [10.31951/2658-3518-2025-A-4-983](https://doi.org/10.31951/2658-3518-2025-A-4-983)

1. Введение

Световое загрязнение является широко распространенным и признается в качестве одной из основных проблем 21-го века (Marangoni et al., 2022). Данное загрязнение возникает из-за чрезмерного использования искусственных источников освещения в ночной период, что, в свою очередь, влияет на циркадные ритмы организмов (Falcón et

al., 2020). Проведенные на данный момент исследования в основном затрагивают наземные экосистемы и, в некоторой степени, морские экосистемы, тогда как влиянию светового загрязнения на внутренние воды уделяется крайне мало внимания (Hölker et al., 2023). При этом стоит отметить, что последствия влияния светового загрязнения могут различаться между морскими и пресноводными экосистемами, поскольку распространение света в воде

*Автор для переписки.

Адрес e-mail: karnauhovdmritrii@gmail.com (Д.Ю. Карнаухов)

Поступила: 28 июля 2025; **Принята:** 19 августа 2025;

Опубликована online: 31 августа 2025

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



зависит от оптических свойств среды. Тем не менее, в различных исследованиях было продемонстрировано влияние светового загрязнения на миграционную активность зоопланктона (Moore et al., 2000; Ludvigsen et al., 2018), зообентоса (Navarro-Barranco and Hughes, 2015) и на дрейф беспозвоночных в проточных системах (Perkin et al., 2014). Кроме того, искусственный свет в ночной период влияет на взаимоотношения хищник-жертва (Bolton et al., 2017; Tañanda et al., 2018; Nuñez et al., 2021; Harrison and Gray, 2024; Hassan et al., 2024), и, в основном, в пользу хищников. Свет делает гидробионтов видимыми для их естественных хищников, поэтому для оценки влияния светового загрязнения на организмы необходимо выяснить их поведенческие, в частности, фототаксические реакции на искусственный свет. Одни виды избегают искусственного света (Abeel et al., 2016; Duarte et al., 2019; Fischer et al., 2020), другие привлекаются на него (Fernandez-Gonzalez et al., 2014; Navarro-Barranco and Hughes, 2015). В целом, реакция организмов на искусственный свет видоспецифична и может варьировать в зависимости от спектральных характеристик света (Abeel et al., 2016; Brüning et al., 2016; Tañanda et al., 2018; Fischer et al., 2020; Czarnecka et al., 2021; 2022; Drozdova et al., 2021; Kühne et al., 2021; Li et al., 2022; Karnaukhov et al., 2025a). Для оценки спектральных характеристик света широко применяется показатель цветовой температуры, указывающий на то, как распределяется энергия в видимом спектре излучения. Чем выше доля длинноволнового излучения (красные, оранжевые волны) в спектре света, тем ниже его цветовая температура и теплее его цвет. И наоборот, чем выше доля коротковолнового излучения (синие, фиолетовые волны), тем выше цветовая температура света и его цвет выглядит холоднее. И хотя во всем мире ежегодно растет интерес к использованию более энергоэффективного светодиодного освещения (Hölker et al., 2023), остается малоизученным вопрос влияния разных цветовых температур светодиодного света на гидробионтов.

Озеро Байкал – уникальная природная экосистема с высоким уровнем биоразнообразия. Уровень светового загрязнения на озере Байкал имеет тенденцию к увеличению, которая, в большей степени, связана с ростом туристического потока. По данным дистанционного зондирования Земли около 10% береговой линии озера находится под воздействием светового загрязнения. Высокая прозрачность озера позволяет отдельным спектрам света проникать вплоть до 400 м в глубину (Hunt et al., 1996), что может способствовать возникновению негативных изменений на отдельных участках литорали озера, подверженных световому загрязнению. Доминирующими представителями зообентоса в озере Байкал являются амфиподы, на которых приходится 61% всех пресноводных амфипод, живущих во внутренних водах России (Takhteev et al., 2015). В литоральной зоне озера одним из наиболее успешных видов в плане распространения является *Eulimnogammarus cyaneus* (Dybowsky 1874),

ареал которого охватывает около 1/2–2/3 береговой линии Байкала (Механикова, 2015).

В связи с повсеместным увеличением уровня светового загрязнения, в том числе, на озере Байкал, а также основываясь на имеющихся данных о видоспецифичном влиянии света с разными спектральными характеристиками на организмы, мы решили оценить влияние 2 и 10 лк теплого и холодного света на поведение *E. cyaneus*. В данном исследовании мы проверили следующие гипотезы: реакция *E. cyaneus* на искусственный свет будет различаться в зависимости от (1) спектрального состава света и (2) интенсивности света.

2. Материалы и методы

2.1. Отлов и акклимация амфипод

Все эксперименты были одобрены Комиссией по экспериментальным исследованиям с использованием животных НИИ биологии Иркутского государственного университета (протокол № 14 от 22 августа 2024 года). Все эксперименты проводились в соответствии с международными этическими стандартами, которые закреплены документально в нормативно-правовых актах Российской Федерации, Хельсинкской декларации и директиве Европейского парламента и Совета Европейского союза 2010/63/ЕС от 22 сентября 2010 г. о защите животных, использующихся для научных целей.

Особей *E. cyaneus* отлавливали в прибрежной зоне озера Байкал у поселка Большие Коты с помощью гидробиологического сачка. В результате было отловлено более 500 особей, которые в тот же день транспортировались в НИИ биологии ИГУ для дальнейшей акклимации и проведения экспериментов.

В периоды акклимации и проведения экспериментов амфиподы содержались при постоянной аэрации и температуре 12 °C в 18 × 11.5 × 12 см аквариумах, количество особей в одном аквариуме не превышало 30. Период акклимации составлял 3 дня, эксперименты проводились на четвертый и восьмой дни содержания амфипод. Для содержания амфипод использовалась отстоянная водопроводная вода, которая полностью менялась в аквариумах каждые 3 дня. После смены воды в аквариумах амфипод кормили сушеным *Gammarus* sp. Во время содержания амфипод световой режим не устанавливался. В дневной период, примерно, с 10:00 до 18:00 амфиподы освещались непрямым светом, попадающим из окна и непрямым светом от ламп в лаборатории (освещенность в течение дня составляла более 70 лк). В ночной период свет отсутствовал (0 лк). Вечером, накануне проведения экспериментов, комната полностью затемнялась, обеспечивая освещенность равную 0 лк, на следующее утро, в день проведения экспериментов.

2.2. Экспериментальная установка

Эксперименты проводились в дневной период в комнате с освещенностью 0 лк. Для экспериментов использовался аквариум 19 × 52 × 10 см (Рис. 1),

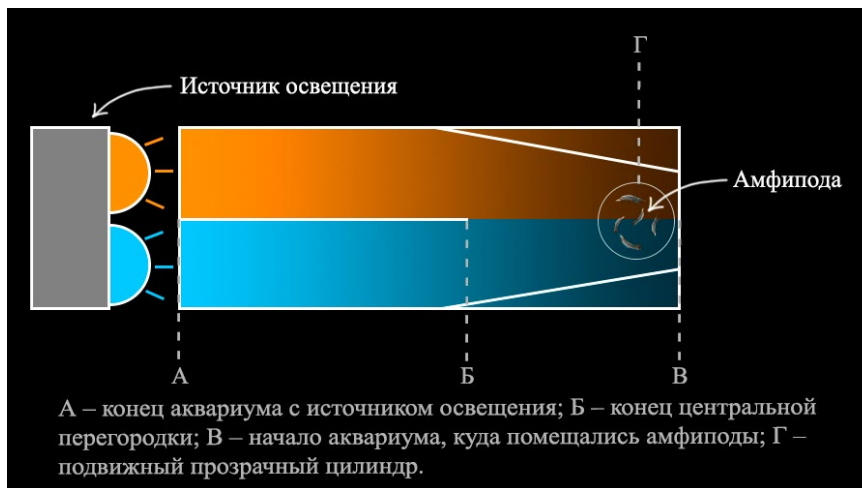


Рис.1. Схема экспериментальной установки (вид сверху).

на конце которого располагался светодиодный линейный накамерный светильник CN-20FC (NanGuang, Китай). Данный светильник способен излучать как одновременно, так и независимо теплый (цветовая температура 3200 K) и холодный свет (5600 K). Конец аквариума со стороны светильника (Рис. 1 точка А) разделялся с помощью 30 см перегородки (Рис. 1 расстояние АВ). Благодаря ей одновременно одна половина аквариума освещалась теплым светом, а другая – холодным. Либо одна половина аквариума освещалась тем или иным светом, а вторая половина при этом оставалась темной. Однако мы не могли полностью предотвратить попадание отраженного от стен аквариума света на темную половину, поэтому в начале аквариума (Рис. 1 расстояние ВВ) создавалась «смешанная» зона с более и менее освещенными половинами. При этом ближе к концу аквариума (Рис. 1 расстояние АВ) освещенность в затемненной половине составляла 0 лк. Когда же теплый и холодный свет горели одновременно, то в «смешанной» зоне была видна четкая граница между ними. Необходимый уровень освещенности, использованный в экспериментах, устанавливался и контролировался в начале аквариума (Рис. 1 точка В) с помощью люксметра DT-8809A (CEM, Макао, Китай). Измеренные с помощью анализатора спектра OPPL Light-master-II (OPPLE, China) цветовые температуры теплого и холодного света соответствовали значениям, заявленным производителем (3200 и 5600 K, соответственно).

2.3. Проведение экспериментов и анализ результатов

В начале аквариума (Рис. 1 точка В) в «смешанной» зоне размещался прозрачный пластиковый цилиндр (Рис. 1 точка Г), куда одновременно помещались 5 особей *E. cyaneus*. Амфиподы в цилиндре могли свободно перемещаться между теплым и холодным светом, либо между светом и затемненной половиной в течение 3 минут. По истечении данного времени цилиндр убирался и амфиподам давался выбор той или иной стороны аквариума в течение 1 минуты. Если амфипода заходила за

центральную перегородку аквариума в одну из его половин (Рис. 1 расстояние АВ), то это засчитывалось как «движение к теплему свету», или «движение к холодному свету», или «движение в темноту» в зависимости от выбранной стороны аквариума. Если амфипода оставалась в «смешанной» зоне (Рис. 1 расстояние ВВ), то это засчитывалось как «оставалась на месте». Всего было проведено 7 типов эксперимента, где амфиподы выбирали между: (1) теплым 10 лк и холодным 10 лк светом – W10/C10, (2) теплым 10 лк и темнотой – W10/D, (3) холодным 10 лк и темнотой – C10/D, (4) теплым 2 лк и холодным 2 лк – W2/C2, (5) теплым 2 лк и темнотой – W2/D, (6) холодным 2 лк и темнотой – C2/D, (7) двумя сторонами аквариума в полной темноте (контроль) – D/D. При этом эксперименты 1, 2 и 3 были проведены на четвертый день содержания амфипод, а остальные – на восьмой. Для каждого типа эксперимента проводилось 24 повторности, то есть в каждом эксперименте учитывался выбор 120 особей *E. cyaneus* (5 особей × 24 повторности = 120 особей).

Обработку и анализ данных проводили с помощью языка программирования R (V 4.4.2; <https://www.R-project.org/>) в программной среде RStudio. Для сравнения частот выбора зон аквариума амфиподами между разными типами эксперимента использовался Хи-квадрат Пирсона с поправкой FDR (Benjamini and Hochberg, 1995) на множественные сравнения. Различия считались статистически значимыми при $p\text{-value} < 0.05$.

3. Результаты

Сравнение выборок с помощью Хи-квадрата Пирсона показало, что условия освещения влияют на двигательную активность *E. cyaneus* ($X\text{-squared} = 87.638$, $df = 12$, $p\text{-value} = 1.413e-13$). В целом, для *E. cyaneus* в экспериментах отмечалась низкая двигательная активность, большая часть особей предпочитала оставаться в начальной зоне аквариума независимо от наличия или отсутствия искусственного освещения (Рис. 2).

При попарном сравнении результатов, полученных при разных условиях освещения, статистически значимые различия были обнаружены в 13 из 21 случаев (Таблица 1). При сравнении с контрольными условиями (D/D) различия не были обнаружены только для экспериментов W2/D и C2/D. Кроме того, не было обнаружено различий между интенсивностями при сравнении экспериментов W10/C10 и W2/C2. Также не было обнаружено различий между теплым и холодным светом ни для 10 лк при сравнении W10/D и C10/D), ни для 2 лк при сравнении W2/D и C2/D. Однако были обнаружены статистически значимые различия между интенсивностями для теплого света при сравнении W10/D и W2/D, тогда как для холодного света при сравнении C10/D и C2/D подобных различий обнаружено не было.

4. Обсуждение

Наши результаты показывают, что искусственный свет как с разным спектральным составом, так и интенсивностью влияет на поведение *E. suapeus*. В целом, по результатам экспериментов для данного вида можно отметить его малую активность как без освещения, так и с освещением. Данный вывод мы делаем, исходя из того, что большинство особей во всех экспериментах оставалось в начале аквариума в его «смешанной» зоне как в контрольных условиях, так и в экспериментах со светом и возможностью ухода в темноту. С одной стороны, низкая активность особей могла быть связана со стрессом, вызванным коротким периодом акклимации в лабораторных условиях. Однако особи данного вида демонстрировали сходную активность в другом ранее проведенном нами исследовании (Karnaikhov et al., 2025a), где период акклимации составлял не меньше недели. С другой стороны, низкая активность может являться особенностью данного вида, особи которого в дневное время предпочитают жить под камнями (Механикова, 2015). Следует напомнить, что эксперименты проводились в комнате без освещения, но в дневной период. В экспериментах, когда освещалась только одна половина аквариума, амфиподам, по-видимому, иногда было достаточно скрыться от прямого воздействия света и остаться в более затемненной половине аквариума для предотвращения дискомфорта, особенно в экспериментах с интенсивностью света 2 лк. Мы заключаем, что

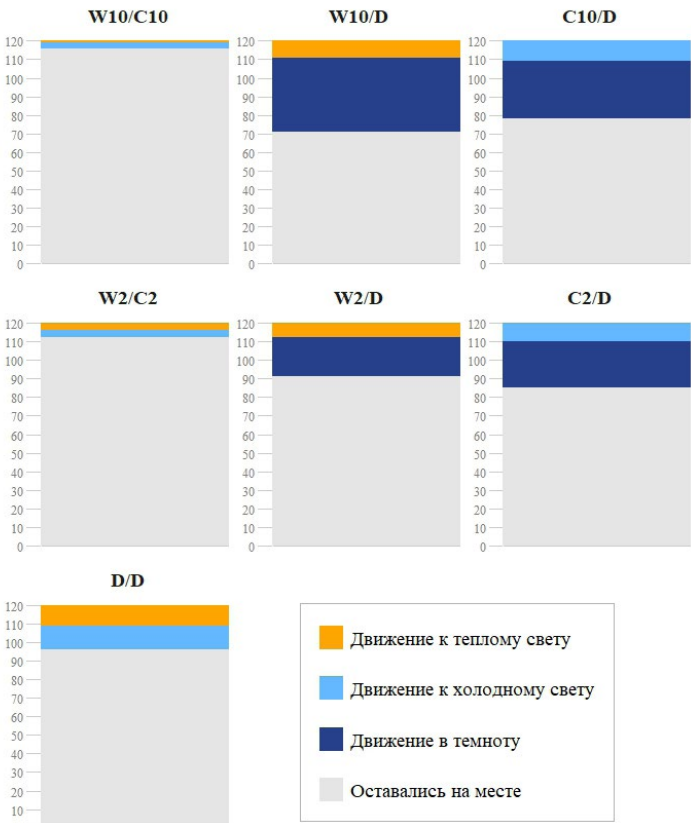


Рис.2. Выбор условий освещения особями *E. suapeus*.

и теплый, и холодный свет вызывают у особей дискомфорт и соответствующую реакцию избегания, поскольку были найдены статистически значимые различия при сравнении с контролем экспериментов с одновременным свечением теплого и холодного света обеих представленных интенсивностей, а также экспериментов, когда освещалась только одна половина аквариума тем или иным типом света с интенсивностью 10 лк. Полученные нами результаты опровергают нашу гипотезу о том, что реакция амфипод различается на теплый и холодный свет одинаковых интенсивностей. В экспериментах со светом и темнотой как для 10 лк, так и для 2 лк мы не обнаружили статистически значимых различий между теплым и холодным светом. В более ранних исследованиях для амфипод была продемонстрирована

Таблица 1. Результаты попарного сравнения (p-values) частот выбора зон аквариума особями *E. suapeus* при разных условиях освещения с помощью критерия Хи-квадрат Пирсона с поправкой FDR.

	D/D	W10/C10	W10/D	C10/D	W2/C2	W2/D
W10/C10	0.0004*	-	-	-	-	-
W10/D	0.0004*	0.0004*	-	-	-	-
C10/D	0.01*	0.0004*	0.5	-	-	-
W2/C2	0.01*	0.4	0.0004*	0.0004*	-	-
W2/D	0.3	0.0004*	0.02*	0.2	0.001*	-
C2/D	0.1	0.0004*	0.1	0.6	0.0004*	0.7

Примечание: * – статистически значимые различия

разная реакция особей внутри одного вида на свет разного спектрального состава, а именно на свет от светодиодных ламп и на свет от галогеновых ламп или натриевых ламп высокого давления (Navarro-Barranco and Hughes, 2015; Czarnecka et al., 2021; 2022; Hassan et al., 2024). И хотя в нашем исследовании и теплый, и холодный свет является светодиодным, спектральный состав у них различается распределением энергии света по длинам волн. Сложившееся противоречие с более ранними исследованиями может быть объяснено видоспецифичностью реакций разных видов на свет.

Что касается гипотезы о различной реакции амфипод на один и тот же свет разной интенсивности, то наши результаты подтверждают ее для теплого света и не подтверждают для холодного. Амфиподы статистически значимо чаще избегали света с интенсивностью 10 лк, чем с интенсивностью 2 лк в экспериментах с теплым светом и темнотой. Проведенные на данный момент исследования либо рассматривали влияние высоких интенсивностей света на поведение амфипод (Kohler et al., 2018), либо не учитывали данный параметр вовсе. В проведенной нами ранее другой работе мы не смогли подтвердить гипотезу о значении интенсивности света в реакции амфипод, но получили пограничные результаты для теплого 3000 К света у одного из исследованных видов (Karnaukhov et al., 2025a). В целом, реакция на свет, продемонстрированная *E. suapeus* в предыдущем и текущем исследованиях схожа: в обоих случаях часть особей как привлекалась, так и избегала теплого света. В настоящем исследовании мы брали для сравнения интенсивности еще меньше, чем в предыдущем. Возможно, что низкие интенсивности света оказывают большее влияние на вариативность поведения амфипод, чем высокие интенсивности. Поэтому в будущих исследованиях имеет смысл оценить изменения в поведении амфипод при различных низких интенсивностях, начиная с 0 лк, с шагом между ними до 1 лк.

В целом, можем предположить, что теплый 10 лк свет оказывает наибольшее влияние на двигательную активность особей *E. suapeus* по сравнению с другими условиями освещения, представленными в данной работе. Однако также стоит отметить, что большая часть особей в экспериментах с каким-либо светом и темнотой оставалась в «смешанной зоне», где даже на более затемненную половину немного попадал свет, а часть особей двигалась прямо к свету. Данное поведение может оказаться опасным с точки зрения выживания для отдельных особей в естественных условиях озера Байкал, поскольку даже слабый свет делает организмы видимыми для хищников, в частности, для коттоидных рыб. В нескольких исследованиях была продемонстрирована способность рыб успешно охотиться при освещенности меньше 10 лк (Tałanda et al., 2018; Harrison and Gray, 2024) и даже при 0,5 лк (Ohlberger et al., 2008). Поэтому отсутствие явной реакции избегания света у *E. suapeus* потенциально может привести к изменениям во взаимоотношении хищник-жертва (Bolton et al., 2017; Tałanda et al.,

2018; Harrison and Gray, 2024; Hassan et al., 2024) на отдельных участках литорали озера, подверженных световому загрязнению.

Стоит отметить, что в экспериментах мы использовали группы из 5 особей амфипод, хотя мы допускаем возможные различия в одиночном и групповом поведении для данного вида. Так, в исследованиях с рыбами отмечалось более активное поведение особей в группе (Bartosiewicz and Gliwicz, 2011; Tałanda et al., 2018), мы также обнаружили различия в одиночном и групповом поведении у байкальской амфиподы *Gmelinoides fasciatus* (Stebbing, 1899) (Karnaukhov et al., 2025b). Однако, выбор количества особей в данном исследовании, в первую очередь, обуславливался необходимостью ускорить процесс проведения экспериментов с обеспечением достаточного объема выборок. Тем не менее, остается открытым вопрос не только одиночного и группового поведения *E. suapeus*, но и вопрос поведения особей данного вида в ночной период, когда наблюдается световое загрязнение. Оба вопроса могут стать основой для проведения дальнейших исследований как в контексте изучения поведенческих особенностей данного вида, так и в контексте проблемы светового загрязнения.

5. Заключение

И теплый, и холодный свет 2 и 10 лк интенсивностей оказывает влияние на поведение *E. suapeus*. При этом спектральный состав света не играет роли в реакции на свет особей данного вида, поскольку особи реагировали на теплый и холодный свет одинаково. Кроме того, мы не обнаружили значимого влияния интенсивности холодного света на формирование поведения амфипод, но подтвердили значение интенсивности в этом для теплого света. Наибольшее воздействие на *E. suapeus* оказал теплый 10 лк свет, которого особи избегали в большей степени, по сравнению с другими условиями освещения. И хотя особи демонстрировали реакцию избегания как теплого, так и холодного света, большинство особей при всех условиях освещения оставались в слабоосвещенной зоне. Неспособность данного вида к активному избеганию света и развитие инфраструктуры на озере Байкал может привести к излишнему обнаружению особей естественными хищниками и, соответственно, к изменениям во взаимоотношении хищник-жертва в подверженных световому загрязнению участках литорали.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-24-00365, <https://rscf.ru/project/24-24-00365/>.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

- Механикова И.В. 2015. Морфология ротового аппарата и питание *Eulimnogammarus cyaneus* (Crustacea, Amphipoda), обитателя приустьевой зоны озера Байкал (бухта Большие Коты, Южный Байкал). Зоологический журнал 94: 1379–1386. DOI: [10.7868/S0044513415120107](https://doi.org/10.7868/S0044513415120107)
- Abeel T., Vervaecke H., Roelant E. et al. 2016. Evaluation of the influence of light conditions on crayfish welfare in intensive aquaculture. In: Food futures: ethics, science and culture. Wageningen Academic Publishers, University of Porto, Portugal, pp. 244–250. DOI: [10.3920/978-90-8686-834-6_37](https://doi.org/10.3920/978-90-8686-834-6_37)
- Bartosiewicz M., Gliwicz Z.M. 2011. Temporary Intermissions in Capturing Prey (*Daphnia*) by Planktivorous Fish (*Rutilus Ru-tilus*): Are They Due to Scramble Competition or the Need for Antipredation Vigilance? *Hydrobiologia* 668: 125–136. DOI: [10.1007/s10750-010-0577-0](https://doi.org/10.1007/s10750-010-0577-0)
- Benjamini Y., Hochberg Y. 1995. Controlling the False Discovery Rate: A Practical and Powerful Approach to Multiple Testing. *Journal of the Royal Statistical Society Series B: Statistical Methodology* 57: 289–300. DOI: [10.1111/j.2517-6161.1995.tb02031.x](https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1995.tb02031.x)
- Bolton D., Mayer-Pinto M., Clark G.F. et al. 2017. Coastal urban lighting has ecological consequences for multiple trophic levels under the sea. *Science of The Total Environment* 576: 1–9. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2016.10.037](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.037)
- Brüning A., Hölker F., Franke S. et al. 2016. Impact of different colours of artificial light at night on melatonin rhythm and gene expression of gonadotropins in European perch. *Science of The Total Environment* 543: 214–222. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2015.11.023](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.023)
- Czarnecka M., Kobak J., Grubisic M. et al. 2021. Disruptive effect of artificial light at night on leaf litter consumption, growth and activity of freshwater shredders. *Science of The Total Environment* 786: 147407. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2021.147407](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147407)
- Czarnecka M., Jermacz Ł., Glazińska P. et al. 2022. Artificial light at night (ALAN) affects behaviour, but does not change oxidative status in freshwater shredders. *Environmental Pollution* 306: 119476. DOI: [10.1016/j.envpol.2022.119476](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119476)
- Drozdova P., Kizenko A., Saranchina A. et al. 2021. The diversity of opsins in Lake Baikal amphipods (Amphipoda: Gammaridae). *BMC Ecology and Evolution* 21: 81. DOI: [10.1186/s12862-021-01806-9](https://doi.org/10.1186/s12862-021-01806-9)
- Duarte C., Quintanilla-Ahumada D., Anguita C. et al. 2019. Artificial light pollution at night (ALAN) disrupts the distribution and circadian rhythm of a sandy beach isopod. *Environmental Pollution* 248: 565–573. DOI: [10.1016/j.envpol.2019.02.037](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.02.037)
- Falcón J., Torriglia A., Attia D. et al. 2020. Exposure to Artificial Light at Night and the Consequences for Flora, Fauna, and Ecosystems. *Frontiers in Neuroscience* 14: 602796. DOI: [10.3389/fnins.2020.602796](https://doi.org/10.3389/fnins.2020.602796)
- Fernandez-Gonzalez V., Fernandez-Jover D., Toledo-Guedes K. et al. 2014. Nocturnal planktonic assemblages of amphipods vary due to the presence of coastal aquaculture cages. *Marine Environmental Research* 101: 22–28. DOI: [10.1016/j.marenvres.2014.08.001](https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2014.08.001)
- Fischer J.R., Gangloff M.M., Creed R.P. 2020. The behavioral responses of 2 Appalachian crayfish to cool and warm spectrum LED lights at night. *Freshwater Science* 39: 39–46. DOI: [10.1086/707459](https://doi.org/10.1086/707459)
- Harrison S.E., Gray S.M. 2024. Effects of light pollution on Bluegill foraging behavior. *Transactions of the American Fisheries Society* 153: 152–162. DOI: [10.1002/tafs.10451](https://doi.org/10.1002/tafs.10451)
- Hassan W., Kobak J., Czarnecka M. 2024. Artificial light at night alters foraging behavior of freshwater amphipods depending on the light spectrum and the presence of predation cues. *Current Zoology* zoae061: 1–8. DOI: [10.1093/cz/zoae061](https://doi.org/10.1093/cz/zoae061)
- Hölker F., Jechow A., Schroer S. et al. 2023. Light pollution of freshwater ecosystems: principles, ecological impacts and remedies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 378: 20220360. DOI: [10.1098/rstb.2022.0360](https://doi.org/10.1098/rstb.2022.0360)
- Hunt D.M., Fitzgibbon J., Slobodyanyuk S.J. et al. 1996. Spectral tuning and molecular evolution of rod visual pigments in the species flock of cottoid fish in Lake Baikal. *Vision Research* 36: 1217–1224. DOI: [10.1016/0042-6989\(95\)00228-6](https://doi.org/10.1016/0042-6989(95)00228-6)
- Karnaukhov D., Ermolaeva Y., Maslennikova M. et al. 2025. Species-Specific Responses of Baikal Amphipods to Artificial Lighting of Varying Intensity and Spectral Composition. *Limnological Review* 25: 11. DOI: [10.3390/limnolrev25020011](https://doi.org/10.3390/limnolrev25020011)
- Karnaukhov D., Ermolaeva Y., Maslennikova M. et al. 2025. Can the Baikal Amphipod *Gmelinoides fasciatus* (Stebbing, 1899) Have Different Responses to Light Pollution with Different Color Temperatures? *Journal of Marine Science and Engineering* 13: 1039. DOI: [10.3390/jmse13061039](https://doi.org/10.3390/jmse13061039)
- Köhler S.A., Parker M.O., Ford A.T. 2018. Species-specific behaviours in amphipods highlight the need for understanding baseline behaviours in ecotoxicology. *Aquatic Toxicology* 202: 173–180. DOI: [10.1016/j.aquatox.2018.07.013](https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2018.07.013)
- Kühne J.L., van Grunsven R.H.A., Jechow A. et al. 2021. Impact of Different Wavelengths of Artificial Light at Night on Phototaxis in Aquatic Insects. *Integrative and Comparative Biology* 61: 1182–1190. DOI: [10.1093/icb/icab149](https://doi.org/10.1093/icb/icab149)
- Li D., Huang J., Zhou Q. et al. 2022. Artificial Light Pollution with Different Wavelengths at Night Interferes with Development, Reproduction, and Antipredator Defenses of *Daphnia magna*. *Environmental Science & Technology* 56: 1702–1712. DOI: [10.1021/acs.est.1c06286](https://doi.org/10.1021/acs.est.1c06286)
- Ludvigsen M., Berge J., Geoffroy M. et al. 2018. Use of an Autonomous Surface Vehicle reveals small-scale diel vertical migrations of zooplankton and susceptibility to light pollution under low solar irradiance. *Science Advances* 4: eaap9887. DOI: [10.1126/sciadv.aap9887](https://doi.org/10.1126/sciadv.aap9887)
- Marangoni L.F.B., Davies T., Smyth T. et al. 2022. Impacts of artificial light at night in marine ecosystems—A review. *Global Change Biology* 28: 5346–5367. DOI: [10.1111/gcb.16264](https://doi.org/10.1111/gcb.16264)
- Moore M.V., Pierce S.M., Walsh H.M. et al. 2000. Urban light pollution alters the diel vertical migration of *Daphnia*. *SIL Proceedings, 1922–2010* 27: 779–782. DOI: [10.1080/03680770.1998.11901341](https://doi.org/10.1080/03680770.1998.11901341)
- Navarro-Barranco C., Hughes L.E. 2015. Effects of light pollution on the emergent fauna of shallow marine ecosystems: Amphipods as a case study. *Marine Pollution Bulletin* 94: 235–240. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2015.02.023](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.02.023)
- Núñez J.D., Bas C.C., Pérez García M. et al. 2021. Artificial light at night may increase the predation pressure in a salt marsh keystone species. *Marine Environmental Research* 167: 105285. DOI: [10.1016/j.marenvres.2021.105285](https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2021.105285)
- Ohlberger J., Mehner T., Staaks G. et al. 2008. Is ecological segregation in a pair of sympatric coregonines supported by divergent feeding efficiencies? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 65: 2105–2113. DOI: [10.1139/F08-120](https://doi.org/10.1139/F08-120)
- Perkin E.K., Hölker F., Heller S. et al. 2014. Artificial light and nocturnal activity in gammarids. *PeerJ* 2: e279. DOI: [10.7717/peerj.279](https://doi.org/10.7717/peerj.279)
- Takhteev V.V., Berezina N.A., Sidorov D.A. 2015. Checklist of the Amphipoda (Crustacea) from continental waters of Russia, with data on alien species. *rej* 24: 335370–0. DOI: [10.15298/arthscl.24.3.09](https://doi.org/10.15298/arthscl.24.3.09)
- Tałańda J., Maszczyk P., Babkiewicz E. 2018. The reaction distance of a planktivorous fish (*Scardinius erythrophthalmus*) and the evasiveness of its prey (*Daphnia pulex* × *pulicaria*) under different artificial light spectra. *Limnology* 19: 311–319. DOI: [10.1007/s10201-018-0548-0](https://doi.org/10.1007/s10201-018-0548-0)