

**К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ АБИОТИЧЕСКИХ
И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА СУТОЧНУЮ
МИГРАЦИОННУЮ АКТИВНОСТЬ ГИДРОБИОНТОВ
ОЗЕРА БАЙКАЛ**

**А.В. Лавникова, С.А. Бирицкая, Л.Б. Бухаева, Д.И. Голубец, Я.К. Ермолаева,
Н.А. Кульбачная, М.А. Масленникова, В.А. Пушница, Е.А. Щукова,
Д.Ю. Карнаухов, Е.А. Зилов**

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Иркутский государственный университет», ул. Карла Маркса, г. Иркутск, 1664003, Россия.
E-mail: lavnikova_arina@mail.ru*

Суточные вертикальные миграции (СВМ) гидробионтов являются широко распространенным явлением, как в малых, так и в крупных водоемах. Они наблюдаются, в том числе в самом глубоком озере мира – Байкале. Основными представителями ночного мигрирующего комплекса в озере являются уникальные байкальские амфиподы и низшие ракообразные (Cladocera, Copepoda, Ostracoda). В рамках данного исследования было выявлено, что искусственное освещение и изменение уровня воды в озере способны влиять на ночную миграционную активность гидробионтов.

**TO THE QUESTION OF INFLUENCE OF ABIOTIC AND
ANTHROPOGENIC FACTORS ON THE DAILY VERTICAL
MIGRATION ACTIVITY ON THE AQUATIC ORGANISMS
OF LAKE BAIKAL**

**A.V. Lavnikova, S.A. Biritskaya, L.B. Bukhaeva, D.I. Golubets, Ya.K. Ermolaeva,
N.A. Kulbachnaya, M.A. Maslennikova, V.A. Pushnitsa, E.A. Shchukova,
D. Yu. Karnaukhov, E.A. Silov**

Irkutsk State University, 1 Karl Marx St., Irkutsk, 664003, Russia. E-mail: lavnikova_arina@mail.ru

Daily vertical migration (DVM) of aquatic organisms is a widespread phenomenon in both small and large water bodies. It is observed, including in the deepest lake in the world – Baikal. Unique Baikal amphipods and lower crustaceans (Cladocera, Copepoda, Ostracoda) are the main representatives of the nocturnal migratory complex. As part of this study, it was found that artificial lighting and changes in the lake water level can affect the nighttime migratory activity of aquatic organisms.

Введение

Байкал самое древнее и глубокое пресноводное озеро в мире. В озере обитает большое количество эндемичных видов (Kozhov, 1963), что в совокупности с рядом абиотических факторов делает его экосистему уникальной.

Однако на протяжении нескольких лет территория вокруг озера застраивается новыми турбазами, вследствие чего на прибрежную зону оказывается сильное

антропогенное воздействие. В частности некоторые участки береговой линии в ночное время подвержены влиянию искусственного освещения от зданий, башен и прочих сооружений, а также транспортных средств. Такое освещение вызывает нарушения в естественных циклах смены света и темноты. В результате гидробионты на этих участках подвергаются влиянию светового загрязнения. Предполагается, что световое загрязнение может быть одним из факторов, способствующих усилению хищничества, неадекватному миграционному поведению, а также сокращению времени, доступного для поиска пищи.

На данный момент имеется большое количество исследований влияния светового загрязнения на морские экосистемы (Longcore, Rich, 2004; Navarro-Barranco, Hughes, 2015; Bolton et al., 2017). Например, исследование, проведенное в Великобритании, выявило, что состав сообщества макробеспозвоночных существенно менялся в зависимости от градиента искусственного освещения. Была установлена прямая зависимость: с увеличением освещенности, увеличивалась и общая биомасса сообщества. При этом отдельные таксоны по-разному относились к искусственному свету, например, с увеличением освещенности численность амфипод *Nephtys* spp. и *Lanice conchilega* (Pallas, 1766) уменьшалась на 27 %, в то время как численность *Tellinidae* spp., *Arenicola marina* (Linnaeus, 1758) и *Nereididae* spp. увеличивалась на 20 % (Garratt et al., 2019). Исследование, проведенное в прибрежных водах Гуардамар дель Сегура (провинция Аликанте, Испания), выявило, что амфиподы могут привлекаться на искусственный свет (Fernandez-Gonzalez et al., 2014). Однако, работ, посвящённых исследованию светового загрязнения на пресноводные водоёмы крайне мало.

Для озера Байкал, как и для большинства других крупных водоемов свойственно такое явление, как суточные вертикальные миграции (СВМ) – периодические миграции донных и пелагических организмов в верхние слои. СВМ гидробионтов являются широко распространенным явлением как в крупных реках, озерах и морях (Грезе, 1965; Nishihama, Hirakawa, 1998; Тахтеев и др., 2014, 2019; Karnaukhov et al., 2016), так и в небольших водоемах (Лабай, Лабай, 2014). Активными участниками СВМ являются ракообразные, в частности такие группы как: мизиды (Euclide et al., 2017), амфиподы (Fincham, 1970; Drolet, Barbeau, 2009; Fernandez-Gonzalez et al., 2014), изоподы (Macquart-Moulin, 1992), антарктический криль (Okkonen et al., 2020), водяные блохи (Griffin et al., 2020), остракоды (Pacheco et al., 2014) и веслоногие ракообразные (Takahashi et al., 2009). Данные группы гидробионтов также входят в ночной мигрирующий комплекс (НМК), формирующийся в прибрежно-пелагической зоне морей и крупных озер, включая Байкал, за счет суточных вертикальных миграций донных животных и их смешения с пелагическими гидробионтами.

В озере Байкал ввиду большого биоразнообразия обитающих в нем видов амфипод (более 350 видов и подвидов) (Takhteev et al., 2015), наибольшему изучению СВМ подверглась именно эта группа (Тахтеев и др., 2014, 2019; Karnaukhov et al., 2016). Они составляют основную часть миграционного комплекса. При этом только несколько десятков видов регулярно участвуют в миграциях в ночное время. Основу НМК составляет еще меньшее число видов. Причем таксономический состав, соотношение видов и общая численность различаются на разных участках (Тахтеев и др., 2019). Кроме того в состав ночных мигрирующих сообществ в Байкале, помимо бентосных амфипод, входят единственная пресноводная пелагическая амфипода *Macrohectopus branickii* (Dybowsky, 1874) и представители низших ракообразных (Cladocera, Copepoda, Ostracoda). Доминирующим представителем низших

ракообразных в озере является пелагическая копепода *Epischura baikalensis* (Sars, 1900), которая является основным источником питания для пелагической амфиподы *M. branickii*, регулярно мигрирующей за ней с глубины 200–700 м.

В процессе изучения СВМ гидробионтов в поверхностные воды в ночное время, в результате которых формируется НМК, было выявлено, что миграции в основном зависят от различных абиотических факторов среды (тип грунта, близость приустьевых участков рек, расположение участка (у мыса или в глубине бухты), лунный свет). При этом в последнее время все больше прослеживается влияние антропогенного фактора. Одним из видов этого воздействия является искусственное освещение, которое способно менять условия на участках прибрежной полосы, что делает участников миграций уязвимыми. Например, искусственный свет в ночной период в прибрежной зоне может делать мигрантов видимыми для потенциальных хищников, что способно приводить к нарушению миграционного комплекса в озере.

Целью данной работы было выявить возможное влияние искусственного освещения на ночную миграционную активность гидробионтов в озере Байкал.

Материалы и методы

Пробы отбирались в пос. Танхой, находящемся на южном берегу оз. Байкал, в начале сентября 2021 и 2022 гг. Берег озера имел пологий уклон, грунт в 2021 г. был каменистый ($d > 200$ мм), в тоже время на этом же участке в 2022 г. грунт был представлен галькой ($d = 20–200$ мм). В пределах данной местности было выбрано несколько участков меньшего размера, отдаленных друг от друга на расстояние 3 м.

Для отбора проб зоопланктона использовали нейстонную сеть (0,2х0,5 м, длина конуса 1 м, диаметр ячеи 100 мкм). Материал собирали над глубиной 0,5 м при дневном освещении с 12:00 до 14:00 и без освещения в ночное время. Для исследования влияния искусственного освещения в ночной период был использован прожектор с разными режимами освещения: белый свет с интенсивностью 30 lx, освещение 30 lx с применением синего фильтра и освещение 30 lx с красным фильтром. Отбор проб в ночное время проводили в период с 22:00 до 01:00. Все пробы отбирались в трёх повторностях. После облова пробы фиксировались 4 % раствором формалина.

В лаборатории пробы зоопланктона обрабатывались по общепринятой в гидробиологии методике. Небольшими порциями пробы просматривали в камере Богорова под стереомикроскопом. Всего было отобрано и обработано 30 количественных проб.

Результаты и обсуждение

Было обнаружено 7 групп гидробионтов, отдельно учитывались науплии *Soropoda*. Определение видовой принадлежности организмов производилось для представителей амфипод и *Calanoida*, которые в Байкале в основном представлены видом *E. baikalensis*.

По результатам 2021 г. (рис. 1), мы наблюдали классическую картину суточных вертикальных миграций зоопланктона. В дневное время планктон представлен видом *E. baikalensis*, при полном отсутствии представителей амфипод. В ночной период преобладающей группой гидробионтов также остались представители *Calanoida*, при этом увеличилось количество особей таких групп гидробионтов, как *Cyclopoidea* и *Haracticoida*, также участвующих в суточных вертикальных

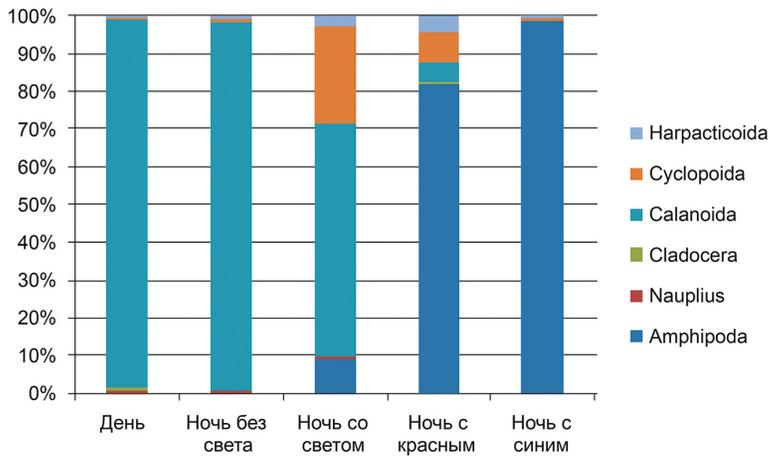


Рис. 1. Средняя численность гидробионтов/м³ в 2021 г.

миграциях. При использовании осветительных установок было обнаружено, что освещение привлекает амфипод, т.к. при использовании света в ночной период мы наблюдали их появление и доминирование по численности. При этом численность *E. baikalensis* уменьшилась на 82 % при использовании белого света по сравнению с ночью без света. Это можно объяснить тем, что амфиподы являются потенциальными хищниками по отношению к эпишуре (Тахтеев и др., 2000).

Исходя из полученных данных (Рис. 1–3) можно предположить, что группы гидробионтов Calanoida и Amphipoda наиболее подвержены влиянию светового загрязнения. Среди представителей Copepoda, Calanoida наибольшее влияние оказывается на *E. baikalensis*. Однако наибольшему воздействию от всех режимов искусственного освещения подвергаются представители группы Amphipoda.

По данным 2022 г. (рис. 3) мы обнаружили резкое снижение численности всех групп гидробионтов. Возможно, это связано с изменением уровня воды в Байкале. Во время отбора проб в 2022 г. уровень воды упал на 37 см по сравнению с 2021 годом. Вследствие чего мы наблюдали изменение типа грунта над глубиной отбора проб (которая составляла 0,5 м), что возможно и вызвало такие колебания в численности гидробионтов (так как тип грунта играет определяющую роль в качественном и количественном составе сообщества (Тахтеев, Дидоренко, 2015)). В дневной и ночной период доминирующими группами были Calanoida

Таблица 1

Средняя численность гидробионтов (экз./м³) на литорали озера у пос. Танхой в 2021 г.

	Harpacticoida	Cyclopoida	Calanoida	Cladocera	Nauplius	Amphipoda
День	26 ± 11,9	20 ± 8,4	5814 ± 1117,8	53 ± 19,6	31 ± 12,9	0
Ночь без света	725 ± 261,8	713 ± 361,3	67 037 ± 37 007,7	0	423 ± 222,7	0
Ночь со светом	572 ± 297,4	5037 ± 768,1	11 922 ± 6035,4	30 ± 30	88 ± 71,5	1758 ± 972,2
Ночь с красным фильтром	697 ± 378,3	1232 ± 852,2	747 ± 629,5	103 ± 98,3	3 ± 3,3	12 633 ± 11 256,8
Ночь с синим фильтром	277 ± 234,2	280 ± 280	3 ± 3,3	78 ± 19,2	5 ± 5	39 748 ± 2354,6

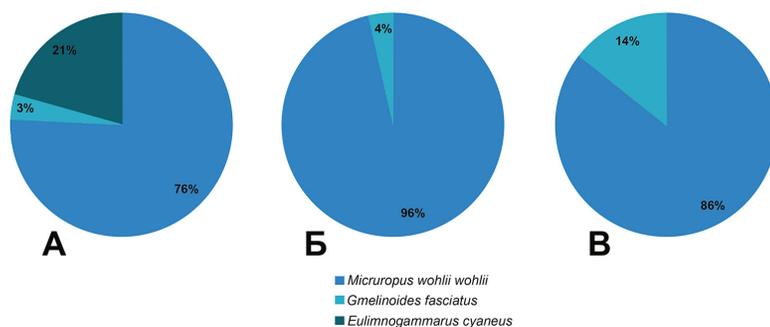


Рис. 2. Процентное соотношение амфипод в 2021 г. при разных режимах освещения: А – 30 лх с красным фильтром; Б – 30 лх с синим фильтром; В – белый свет 30 лх

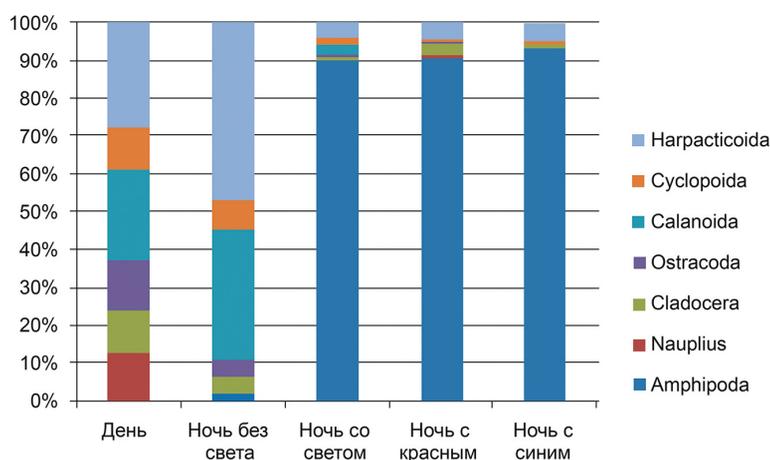


Рис. 3. Средняя численность гидробионтов/м³ в 2022 г.

и Harpacticoida. Аналогично 2021 г. при использовании искусственного освещения, нами было отмечено увеличение численности амфипод.

Результаты определения видовой принадлежности амфипод (рис. 2, 4) показали, что представители рода *Micruropus* являются основными участниками суточных вертикальных миграций из числа амфипод на данном участке. Субдоминантную позицию занимают амфиподы рода *Eulimnogammarus*. При этом видовой состав в 2021 и 2022 гг. отличался, что также можно объяснить изменением уровня воды.

Таблица 2

Средняя численность гидробионтов (экз./м³) на литорали озера у пос. Танхой в 2022 г.

	Harpacticoida	Cyclopoida	Calanoida	Ostracoda	Cladocera	Nauplius	Amphipoda
День	37 ± 13,64	15 ± 7,64	32 ± 17,40	18 ± 3,33	15 ± 15	17 ± 12,02	0
Ночь без света	52 ± 21,67	8 ± 4,41	38 ± 20,28	5 ± 5	5 ± 2,89	0	2 ± 1,67
Ночь со светом	13 ± 6,01	7 ± 6,67	8 ± 8,33	2 ± 1,67	3 ± 3,33	0	298 ± 256,75
Ночь с красным фильтром	18 ± 11,67	2 ± 1,67	0	3 ± 3,33	13 ± 6,01	2 ± 1,67	372 ± 143,07
Ночь с синим фильтром	50 ± 40	8 ± 4,41	0	3 ± 3,33	7 ± 6,67	2 ± 1,67	1010 ± 242,09

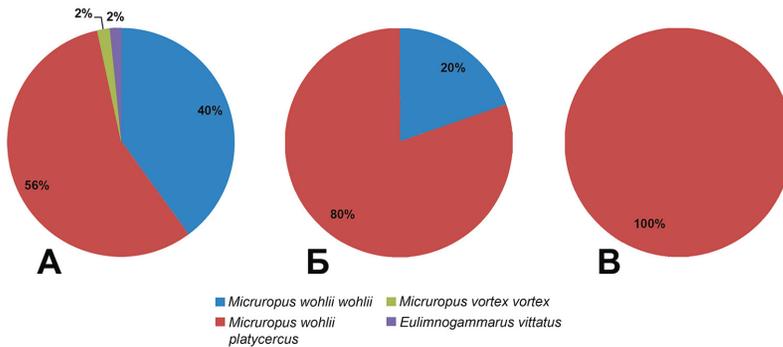


Рис. 4. Процентное соотношение амфипод в 2022 г при разных режимах освещения: А – 30 lx с красным фильтром; Б – 30 lx с синим фильтром; В – белый свет 30 lx

Заключение

Искусственное освещение и понижение уровня воды в совокупности могут влиять на миграционную активность гидробионтов. Данное исследование требует продолжения. Однако даже на основе полученных данных можно говорить о том, что совместное действие абиотических и антропогенных факторов в определенных сочетаниях, а также их временная динамика способны определять миграционную активность байкальских организмов. Стоит отметить, что длительное воздействие светового загрязнения может привести к перестройке трофических связей внутри сообщества и изменит естественный состав на подверженных участках. Это произойдет в виду того, что оно способно повышать естественный для ночного времени фон мигрирующих организмов, что впоследствии может стать угрозой для представителей НМК, так как они становятся легкой добычей для хищников.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ.

Литература

- Грезе И.И. 1965. О суточных вертикальных миграциях некоторых бокоплавов в Черном и Азовском морях // Бентос. Киев: Наукова думка. С. 9–14.
- Лабай В.С., Лабай С.В. 2014. Суточные вертикальные миграции высших ракообразных (Crustacea: Malacostraca) в лагунном озере Птичьё (Южный Сахалин) // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. Вып. 6. Владивосток: Дальнаука. С. 369–379.
- Тахтеев В.В., Бессолицына И.А., Механикова И.В., Верхотуркина Е.Б., Кравцова Л.С. 2000. Ночные вертикальные миграции байкальских амфипод: экологическое и эволюционное значение // Матер. конф. чтения памяти проф М.М. Кожова. Проблемы экологии. Иркутск, 1–3 ноября 2000 г. Иркутск: Иркутский ун-т. С. 104–107.
- Тахтеев В.В., Дидоренко С.И. 2015. Фауна и экология бокоплавов озера Байкал: Учебное пособие. Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН. 115 с.
- Тахтеев В.В., Карнаухов Д.Ю., Мишарин А.С., Говорухина Е.Б. 2014. Дистанционные методы экологических исследований и мониторинга в лимнологии и океанологии и их применение на озере Байкал // Развитие жизни в процессе абиотических изменений на Земле. Вып. 3. С. 374–381.
- Тахтеев В.В., Карнаухов Д.Ю., Говорухина Е.Б., Мишарин А.С. 2019. Суточные вертикальные миграции гидробионтов в прибрежной зоне оз. Байкал // Биология внутренних вод. № 2. С. 50–61.
- Bolton D., Mayer-Pinto M., Clark G.F., Dafforn K.A., Brassil W.A., Becker A., Johnston E.L. Urban. 2017. Lighting Has Ecological Consequences for Multiple Trophic Levels under the Sea // Science of the Total Environment. N 576. P. 1–9.
- Drolet D., Barbeau M.A. 2009. Differential emigration causes aggregation of the amphipod *Corophium volutator* (Pallas) in tide pools on mudflats of the upper Bay of Fundy, Canada // Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. Vol. 370. N 1–2. P. 41–47.

- Euclide P.T., Hansson S., Stockwell J.D. 2017.** Partial diel vertical migration in an omnivorous macroinvertebrate, *Mysis diluviana* // *Hydrobiologia*. Vol. 787. P. 387–396.
- Fernandez-Gonzalez V., Fernandez-Jover D., Toledo-Guedes K., Valero-Rodriguez J.M., Sanchez-Jerez P. 2014.** Nocturnal planktonic assemblages of amphipods vary due to the presence of coastal aquaculture cages // *Marine Environmental Research*. Vol. 101. P. 22–28.
- Fincham A.A. 1970.** Amphipods in the surf plankton // *Journal Marine Biological Association U.K.* Vol. 50. P. 177–198.
- Garratt M.J., Jenkins S.R., Davies T.W. 2019.** Mapping the consequences of artificial light at night for intertidal ecosystems // *Science of the Total Environment*. Vol. 691. P. 760–768.
- Griffin J.E., O'Malley B.P., Stockwell J.D. 2020.** The freshwater mysid *Mysis diluviana* (Audzijonyte & Väinölä, 2005) (Mysida: Mysidae) consumes detritus in the presence of *Daphnia* (Cladocera: Daphniidae) // *Journal of Crustacean Biology*. Vol. 40. N 5. P. 520–525.
- Karnaukhov D. Yu., Bedulina D.S., Kaus A., Prokosov S.O., Sartoris L., Timofeyev M.A., Takhteev V.V. 2016.** Behaviour of Lake Baikal amphipods as a part of the night migratory complex in the Kluevka settlement region (South-Eastern Baikal) // *Crustaceana*. Vol. 89. N 4. P. 419–430.
- Kozhov M.M. 1963.** Lake Baikal and its life. W. Junk Publishers. 344 p.
- Longcore T., Rich C. 2004.** Ecological Light Pollution // *Frontiers in Ecology and the Environment*. Vol. 2. N 4. P. 191–198.
- Macquart-Moulin C. 1992.** La migration nocturne de *Eurydice truncata* Norman, 1868 (Isopoda, Cirolanidae) au dessus du plateau continental et de La Marge // *Crustaceana*. Vol. 62. N 2. P. 201–213.
- 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*. N 94. P. 235–240.
- Nishihama S., Hirakawa K. 1998.** Diel vertical migration of chaetognaths in the Tsushima Current area of the Japan Sea // *Bulletin of the Japan Sea*. Vol. 48. P. 71–83.
- Okkonen S., Ashjian C., Campbell R.G., Alatalo P. 2020.** Krill diel vertical migration: A diagnostic for variability of wind forcing over the Beaufort and Chukchi Seas // *Progress in Oceanography*. Vol. 181. N 2. P. 102–265.
- Pacheco A., Gomez G., Santoro P., Malebran M., Cortes C., Riascos J. 2014.** Moon phase effects and timing of emerging macrobenthic assemblages in a sheltered soft-bottom sublittoral habitat // *Journal of Sea Research*. Vol. 86. P. 34–42.
- Takahashi K., Kuwata A., Sugisaki H., Uchikawa K., Saito H. 2009.** Downward carbon transport by diel vertical migration of the copepods *Metridia pacifica* and *Metridia okhotensis* in the Oyashio region of the western subarctic Pacific Ocean // *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*. Vol. 56. N 10. P. 1777–1791.
- 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 // *Arthropoda Selecta*. Vol. 24. N 3. P. 335–370.