



УДК 574.632:621.397.611(282.256.341)
DOI <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2019.27.62>

Структура ночного миграционного комплекса гидробионтов в различных районах оз. Байкал летом 2017 г. и проблема изменения трофического статуса озера

Д. А. Батранин¹, В. В. Тахтеев^{1,2}, И. О. Еропова^{1,2}, Е. Б. Говорухина¹

¹ Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

² Байкальский музей ИИЦ СО РАН, пос. Листвянка, Россия

E-mail: Amphipoda@yandex.ru

Аннотация. Описаны результаты дистанционных подводных видеонаблюдений за ночным миграционным комплексом гидробионтов (НМК) в прибрежной пелагиали оз. Байкал в июле 2017 г. на сети расположенных в разных районах озера и различных по условиям среды точек. Обсуждаются изменения таксономического богатства организмов в составе НМК по сравнению с данными предшествующих лет, а также причины увеличения количественного обилия амфипод в составе НМК как в подверженных антропогенному воздействию, так и в удалённых от его источников районах. Выдвинуто предположение, что такая ситуация является одним из последствий происходящего в настоящее время эвтрофирования озера. Установлены различия таксономического состава амфипод в НМК и в донном сообществе. Обсуждается результативность дистанционных подводных видеонаблюдений за НМК в качестве метода экологического мониторинга крупных водных экосистем.

Ключевые слова: Байкал, подводные видеонаблюдения, ночной миграционный комплекс, амфиподы, рыбы, *Macrohectopus branickii*, количественное обилие, эвтрофирование.

Для цитирования: Структура ночного миграционного комплекса гидробионтов в различных районах оз. Байкал летом 2017 г. и проблема изменения трофического статуса озера / Д. А. Батранин, В. В. Тахтеев, И. О. Еропова, Е. Б. Говорухина // Известия Иркутского государственного университета. Серия Биология. Экология. 2019. Т. 27. С. 62–86. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2019.27.62>

Введение

Байкал – одно из гигантских озёр, немногочисленных на нашей планете. Сложное геоморфологическое строение, наличие очень больших глубин и системы течений, характеристики водообмена, разнообразие биотопов и особенности структуры биоты позволяют рассматривать его как водоём океанического, а не озёрного типа.

Только в Байкале обитает пресноводная облигатно пелагическая амфипода – *Macrohectopus branickii* (Dybowsky, 1874), полностью утратившая связь с дном и совершающая протяжённые суточные вертикальные миграции (СВМ) [Вилисова, 1962; Кожов, 1962; Атлас и определитель ... , 1995 и др.]. В Байкале возник эндемичный комплекс рогатковидных рыб

(Scorpaeniformes: Cottoidei), включающий 31 вид, из которых 5 ведут пелагический образ жизни [Матвеев, 2012]. Этим рыбам, в том числе их молоди, также свойственна ночная миграционная активность. Наконец, СВМ совершает часть донных обитателей.

В результате этих миграций в прибрежной пелагиали озера в тёмное время суток формируется ночной миграционный комплекс (НМК). Из макрофауны, наблюдаемой невооруженным глазом, в состав прибрежного НМК входят донные амфиподы (Crustacea, Amphipoda), пелагический *M. branickii* и рогатковидные рыбы (в основном их молодь) [Тахтеев, Говорухина, Механикова, 2006]. Несколько видов бентосных амфипод из родов *Micruropus* и *Echiuropsus* могут считаться полупелагическими, поскольку в ночное время формируют в пелагиали массовые миграционные скопления.

Исследования НМК в Байкале проводятся нами свыше 20 лет. Сначала их вели с использованием сети Джеди [Механикова, Тахтеев, 2001; Говорухина, 2001, 2005]. С 2002 г. для этой цели стали применять дистанционную подводную видеотехнику [Тахтеев, Левашкевич, Говорухина, 2004; Мишарин, Тахтеев, Левашкевич, 2006; Дистанционные методы ... , 2014]. В результате выявлены основные закономерности формирования НМК, характер воздействия на него искусственного освещения, взаимовлияние входящих в его состав организмов, сезонные различия структуры. Установлено, что в разных районах озера формируются не менее пяти различных типов миграционного комплекса [Карнаухов, Тахтеев, Мишарин, 2016].

Количественно бедный НМК формируется в условиях ощутимых подводных течений и над мелководной платформой в осенне-зимний период. Сравнительно небольшое обилие организмов НМК в первые годы наших наблюдений было свойственно большинству районов Байкала. Однако в последние годы в большинстве исследуемых участков он становится всё более многочисленным. Возможно, это связано с изменениями, происходящими в экосистеме Байкала, прежде всего усилившимся антропогенным эвтрофированием ряда участков прибрежной зоны [Массовое развитие ... , 2014; Nearshore benthic blooms ... , 2014; Lake Baikal ... , 2016; Экологический кризис ... , 2016; Оценка качества ... , 2017 и др.].

Цель настоящей работы – описать структуру и обилие летнего ночного миграционного комплекса в разных районах Южного, Среднего и Северного Байкала в современный период и оценить возможную связь этих показателей с наблюдаемыми в озере антропогенными изменениями.

Материалы и методы

Наблюдения проводили 14–22 июля 2017 г. с борта НИС «Профессор Кожов» на якорных стоянках в восьми пунктах Южного, Среднего и Северного Байкала (рис. 1). Точки различаются по лимническим характеристикам и степени испытываемого антропогенного воздействия (табл. 1).

Исследования выполняли после наступления полной темноты с 23 до 01 ч. Для исследования таксономического состава амфипод в НМК производили тотальный (от дна до поверхности воды) отбор пробы планктонной

сетью Джели (диаметр входного отверстия 37,5 см) в нескольких, как правило, трёх повторностях. Если на точке наблюдений были доступны мягкие (песчаные или илистые) грунты, отбирали количественную пробу зообентоса с помощью дночерпателя Экмана-Берджа с площадью захвата 0,0225 м² (1–3 повторности) для определения видового состава амфипод, остающихся в это время на дне. Пробы фиксировали 4%-ным раствором формалина, лабораторную обработку проб зоопланктона и зообентоса выполняли по стандартным методикам.

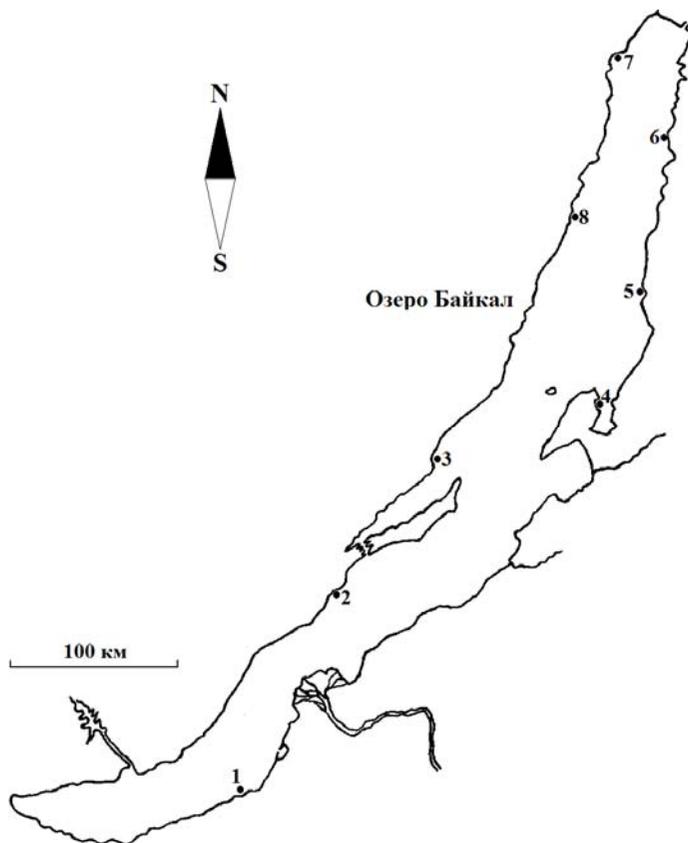


Рис. 1. Карта-схема расположения точек наблюдений: 1 – напротив пос. Ключевка, 2 – бух. Ая, 3 – бух. Зама, 4 – бух. Онгоконская, 5 – бух. Давша, 6 – м. Омагачан, 7 – бух. Сеногда, 8 – бух. Бол. Коса

Далее проводили дистанционные подводные видеонаблюдения с использованием аппаратного комплекса, подробно описанного ранее [Карнаухов, Тахтеев, Мишарин, 2016]. Его подводная часть представляет собою блок с видеокамерой, снабжённый двумя прожекторами с галогеновыми источниками света общей мощностью 150 Вт, имеется также возможность съёмки в инфракрасной части спектра в полной темноте. Изображение записывается на интегрированный цифровой носитель, а также доступно в ре-

жиме прямой трансляции. Видеоблок опускали на дно и вели съёмку в придонном слое воды на протяжении 5–8 минут (при сильном дрейфе судна вокруг якоря интервалы могли быть короче). Далее для изучения вертикального распределения организмов НМК подводный блок поднимали в столбе воды и проводили так называемую погоризонтную съёмку с интервалом в 1 м в течение 1 мин на каждом горизонте вплоть до поверхности.

Таблица 1

Характеристика точек наблюдений

№ точки	Район	Координаты	Глубина, м	Температура воды у поверхности, °С
1	Напротив пос. Клюевка	51°42.598' с.ш., 105°45.581' в.д.	15*–16	13,9
2	Бух. Ая	52°47.414' с.ш., 106°36.419' в.д.	8*–13	11,9
3	Бух. Зама	53°26.983' с.ш., 107°32.691' в.д.	13*–14	11,4
4	Бух. Онгоконская (Онгокон), Чивыркуйский залив	53°48.113' с.ш., 109°01.928' в.д.	9	17,1
5	Бух. Давша, северная часть, недалеко от м. Немнянда	54°21.337' с.ш., 109°28.779' в.д.	11,6*–12,8	13,5
6	Банка у м. Омагачан	55°85.966' с.ш., 109°43.277' в.д.	9,8*–11,2	14,8
7	Бух. Сеногда	55°34.034' с.ш., 109°14.173' в.д.	9–10*	15,2
8	Бух. Бол. Коса	54°50.646' с.ш., 108°52.395' в.д.	10–11,5*	5,3

Примечание: астериском отмечены показания глубины по счётчику лебедки, без астериска – показания по мерному тросу, на котором укреплена видеосистема. Разница показаний возникает из-за дрейфа судна вокруг якоря.

Методика анализа видеозаписей является оригинальной [Тахтеев, Левашкевич, Говорухина, 2004; Дистанционные методы ..., 2014]. Видеозапись останавливали через каждые 5 сек. и подсчитывали численность плавающих бентосных амфипод, рыб и пелагического макрогектопуса в стоп-кадре на экране монитора. Такой подход не позволяет определить число экземпляров в 1 м³ водного столба, однако предоставляет хорошую возможность сравнить обилие организмов НМК в разных районах и в разные сезоны. Всё время съёмки у дна разбивали на отрезки длительностью 1 мин (12 стоп-кадров), для каждого из них вычисляли среднее значение показателя и его стандартную ошибку. Среднее значение и его ошибку вычисляли также для интервала наблюдений целиком и для каждого глубинного горизонта. Обработка данных и графические построения выполнены в табличном процессоре Excel из пакета MS Office 2010.

Результаты

Ниже приведены результаты наблюдений на точках, описанных в табл. 1.

1. *Напротив пос. Клюевка*, 14–15.07.2017 г., глубина 15–16 м, временной промежуток наблюдений 00:17–00:55. Погода: штиль, безлунно, облачность 4 балла по 8-балльной шкале, кратковременный небольшой дождь. Дно практически ровное, без видимого уклона, выполнено слабо заиленным рыжим песком с примесью гальки, на котором разбросаны немногочисленные крупные глыбы, частично покрытые корковыми формами губок.

Плавающие амфиподы появились в кадре сразу после опускания камеры за борт и в разы увеличили свою численность по мере приближения ко дну; ближе ко дну стали единично появляться рыбы. После установки блока с камерой на дно возле неё стало быстро формироваться скопление амфипод, за 15 с достигшее численности 244 экз./стоп-кадр. Затем искусственное освещение было выключено, и съёмка на протяжении 3 мин. проводилась в режиме «ночного видения» с применением инфракрасного излучателя. Скопление рассеялось, численность амфипод снизилась на порядок и на протяжении второй и третьей минуты составляла соответственно $12,33 \pm 1,12$ и $14,29 \pm 4,0$ экз. стоп-кадр, с колебаниями от 7 до 21 экз. стоп-кадр (рис. 2, А).

Дальнейшая видеосъёмка проведена после повторной установки камеры на дно с включёнными прожекторами на протяжении 6 мин (см. рис. 2, Б). Очень быстро перед камерой сформировалось громадное миграционное скопление амфипод (от 114 до 311 экз./стоп-кадр); однако вскоре бокс потащило по дну в результате дрейфа и обилие амфипод снизилось до 65–93 экз./стоп-кадр; скопление не успевало двигаться вслед за камерой, в связи с чем наблюдается снижение кривой на промежутке между 30-й и 120-й секундами (см. рис. 2, Б). Однако затем камера твёрдо встала на дно и численность амфипод достигла экстремально высоких значений – от $276,50 \pm 15,85$ (6-я минута) до $348,50 \pm 7,15$ экз./стоп-кадр (4-я минута), с абсолютным максимумом 387 экз./стоп-кадр. Некоторое снижение численности бентосных амфипод после окончания формирования скопления закономерно и отмечалось нами в предыдущих исследованиях [Мишарин, Тахтеев, Левашкевич, 2006; Дистанционные методы ... , 2014; Суточные вертикальные ... , 2019].

Macrohectopus branickii начал появляться в кадре только после стабильной установки камеры на грунт. Его численность колебалась от $1,00 \pm 0,31$ экз./стоп-кадр на 3-й минуте до $4,58 \pm 0,72$ на 6-й минуте. В данном случае представляет интерес сам факт присутствия макрогектопуса не над большими глубинами, а над протяжённой мелководной платформой. В этом районе он в небольшом количестве отмечался и в 2014 г. [Behaviour ... , 2016].

Численность рыб в кадре была низкой, и после стабильной установки камеры на дно незначительно, но достоверно возрастала: от $1,00 \pm 0,43$ экз./стоп-кадр на 3-й минуте до $5,75 \pm 0,56$ на 6-й минуте.

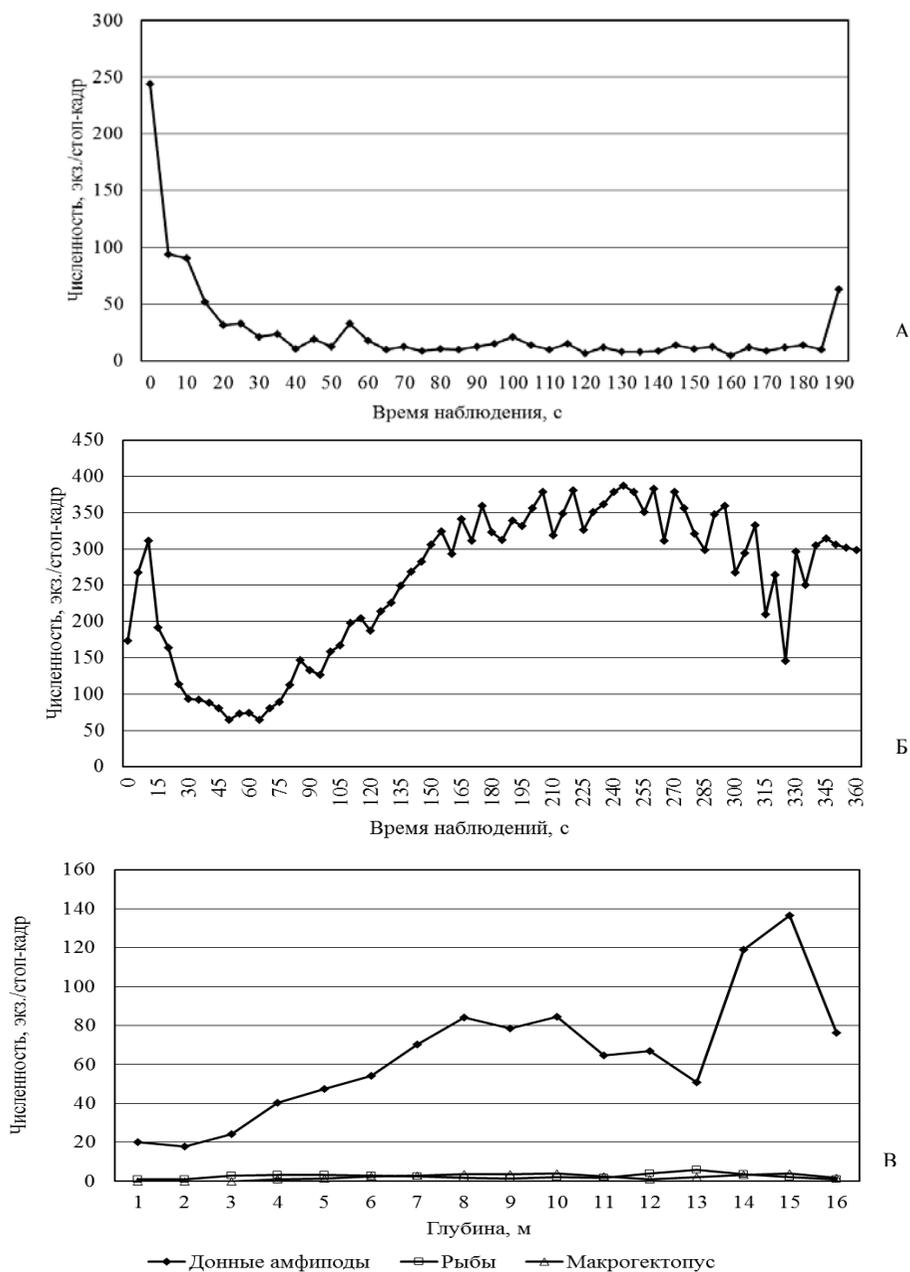


Рис. 2. Характеристики численности организмов НМК в районе пос. Ключевка в ночь с 14 на 15.07.2017: А – бентосные амфиподы у дна при видеосъёмке в режиме «ночного видения». Ноль по оси абсцисс – момент выключения искусственного освещения, 190-я секунда – момент его включения; Б – бентосные амфиподы у дна при видеосъёмке с искусственным освещением, временной промежуток 00:26–00:32. Макрогектопус и рыбы не показаны ввиду несопоставимости масштабов; В – организмы НМК на различных глубинах от поверхности до дна при видеосъёмке с искусственным освещением (здесь и на следующих рисунках), временной промежуток 00:32–00:55

При подъёме камеры и погоризонтной съёмке наибольшее скопление донных амфипод отмечено в 1 м от дна на глубине 15 м: в среднем за минуту $136,64 \pm 12,45$ экз./стоп-кадр (рис. 2, В). Начиная с глубины 7 м, число амфипод постепенно снижалось до $17,75 \pm 2,41$ на глубине 2 м. Среди них изредка отмечались спаривающиеся особи. В средних горизонтах стало больше сравнительно крупных экземпляров из рода *Pallasea* (около 5 экз./стоп-кадр); в первых двух метрах от поверхности воды они исчезли. Рыбы постоянно присутствовали в кадре в нижних горизонтах (12–16 м), их максимальная средняя численность отмечена на глубине 13 м ($6,00 \pm 0,98$ экз./стоп-кадр), абсолютный максимум – 13 экз./стоп-кадр. Макрогектопус в небольшом количестве присутствовал почти по всей водной толще (от $0,08 \pm 0,08$ до $4,18 \pm 0,73$ экз./стоп-кадр), но полностью исчез в подповерхностном слое (1–2 м).

В пробе, отобранной сетью Джеди (3 повторности), выявлены 8 видов; в составе НМК резко преобладал пелагический *M. branickii* – 438 экз. над 1 м^2 водного столба и $2,91 \text{ г/м}^2$. Возможно, это связано с тем, что другие виды амфипод легче избегают попадания в планктонную сеть. Из них субдоминантом был полупелагический *Micruropus wohlii platycercus* (Dyb.) – 9,5% по числу и 12,4% по весу, и ранее образовывавший обильные миграционные скопления в этом районе [Behaviour of ... , 2016]. Прочие виды представлены единично, в том числе неописанный вид *Leptostenus* sp. Род *Pallasea* представлен молодью видов *P. cancelloides* (Gerstf.) и *P. brandtii* (Dyb.).

При отходе с якорной стоянки на судовом эхолоте был заметен мелкозернистый звукорассеивающий слой в водной толще ближе ко дну – огромное скопление амфипод, на других станциях не проявлявшееся так ярко.

2. Бухта Ая, 15–16.07.2017, глубина 13 м, временной промежуток наблюдений 00:45–01:02. Погода: тихо, облачность 6 баллов, на небе последняя треть убывающей Луны. По показаниям эхолота, на дне имеются резкие перепады глубин; кроме того, наблюдался сильный круговой дрейф судна, поэтому удачная съёмка в придонном слое оказалась короткой (130 с). Дно выполнено серым чистым песком, с примесью гальки и редкими куртинами макрофитов. В верхнем слое воды большое количество сестона.

НМК включал все три основных компонента (рис. 3, А). При этом численность *M. branickii* была стабильно небольшой (максимум – 7 экз./стоп-кадр), численность рыб так же, но медленно увеличивалась (максимум – 15 экз./стоп-кадр к концу съёмки). Обилие бентосных амфипод было умеренным, достигло максимума (26 экз./стоп-кадр) на 75-й секунде, затем пошло на спад, что соответствует ранее выявленной закономерности снижения численности амфипод при увеличении таковой рыб [Мишарин, Тахтеев, Левашкевич, 2006; Дистанционные методы ..., 2014; Суточные вертикальные ..., 2019]. Средняя численность амфипод была в пределах 8–11 экз./стоп-кадр.

При погоризонтной съёмке выявилась совершенно различная структура НМК у дна и у поверхности воды (рис. 3, Б). По мере удаления от дна численность рыб увеличивалась, особенно быстро на глубинах менее 7 м. Макрогектопус практически исчез на глубинах от 6 м до поверхности; бентос-

ные амфиподы в этом диапазоне встречались единично (в среднем от $0,58 \pm 0,27$ до $3,42 \pm 0,89$ экз./стоп-кадр), тогда как на глубине 10–12 м – около 17 экз./стоп-кадр. Фактически в верхних слоях воды НМК состоял из молодежи рыб, численность которой достигала экстремальных значений ($238,92 \pm 32,77$ экз./стоп-кадр на глубине 2 м, абсолютный максимум – 372 экз./стоп-кадр).

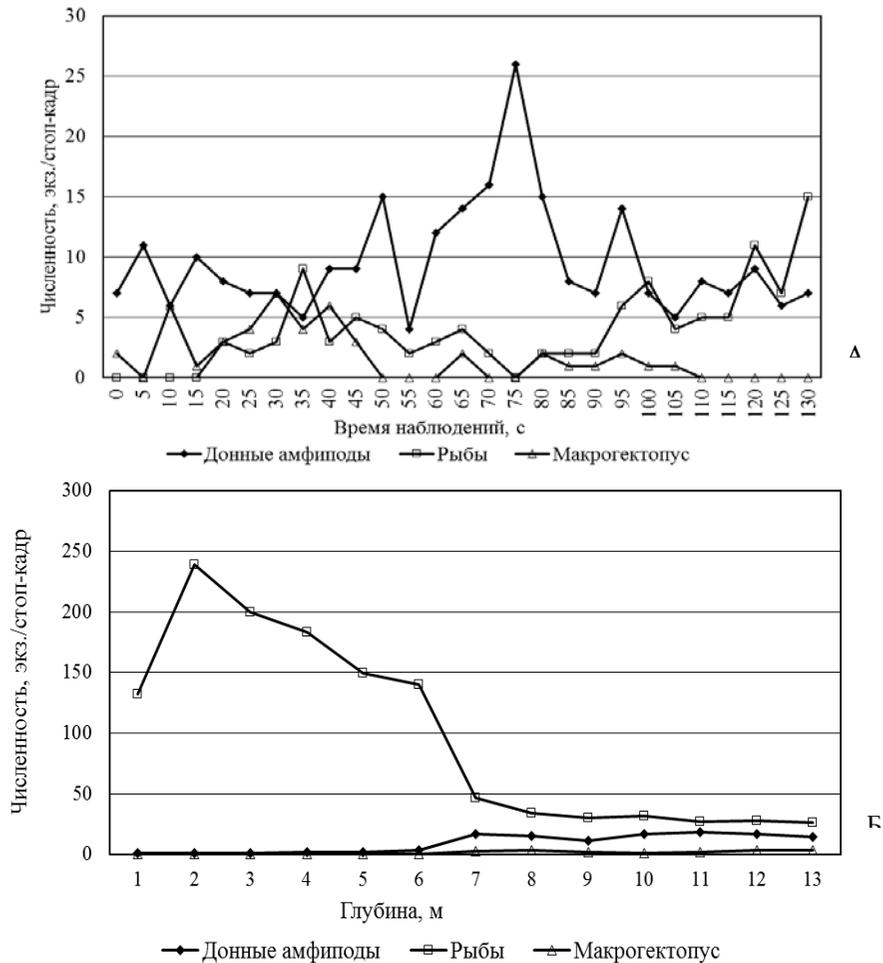


Рис. 3. Характеристики численности организмов НМК в бухте Ая в ночь с 15 на 16.07.2017 г.: А – организмы НМК у дна, временной промежуток 01:03–01:06; Б – организмы НМК на различных глубинах от поверхности до дна, временной промежуток 01:06–01:20

В улове сетью Джеди оказалось 6 видов амфипод, в том числе *M. branickii*, на его долю пришлось 36,9 % численности и 20,1 % биомассы НМК. В пробе присутствовали также *M. wohlii platycercus* (32,1 % численности, 45,2 % биомассы), *Pallasea kesslerii* (молодь, 14,3% численности), *Micruropus* sp. (по-видимому, новый вид), и единично – *P. brandtii brandtii* и

M. ciliodorsalis ciliodorsalis Sow. В дочерпательной пробе оказалось 6 совсем других видов: *Hyaellopsis carinata* Sow., *M. dybowskii* (50,0 % численности), *M. talitroides talitroides* (Dyb.), *M. laeviusculus laeviusculus* Sow., *M. fixsenii* (Dyb.) и один неопределённый вид.

3. Бухта Зама, 16–17.07.2017, глубина 14 м, временной промежуток наблюдений 23:45–00:09. Погода: тихо, пасмурно, облачность 7–8 баллов. Грунт представлен серым чистым песком и галькой, единичными валунами, на некоторых из них небольшие корковые и ветвистые губки. Макрофиты развиты слабо.

При спуске камеры отмечено, что в верхнем слое воды преобладают рыбы, в придонном – амфиподы. После установки на грунт ярко проявилась закономерность подавления миграционной активности амфипод при формировании большого скопления молоди рыб, привлекаемой на свет (рис. 4, А).

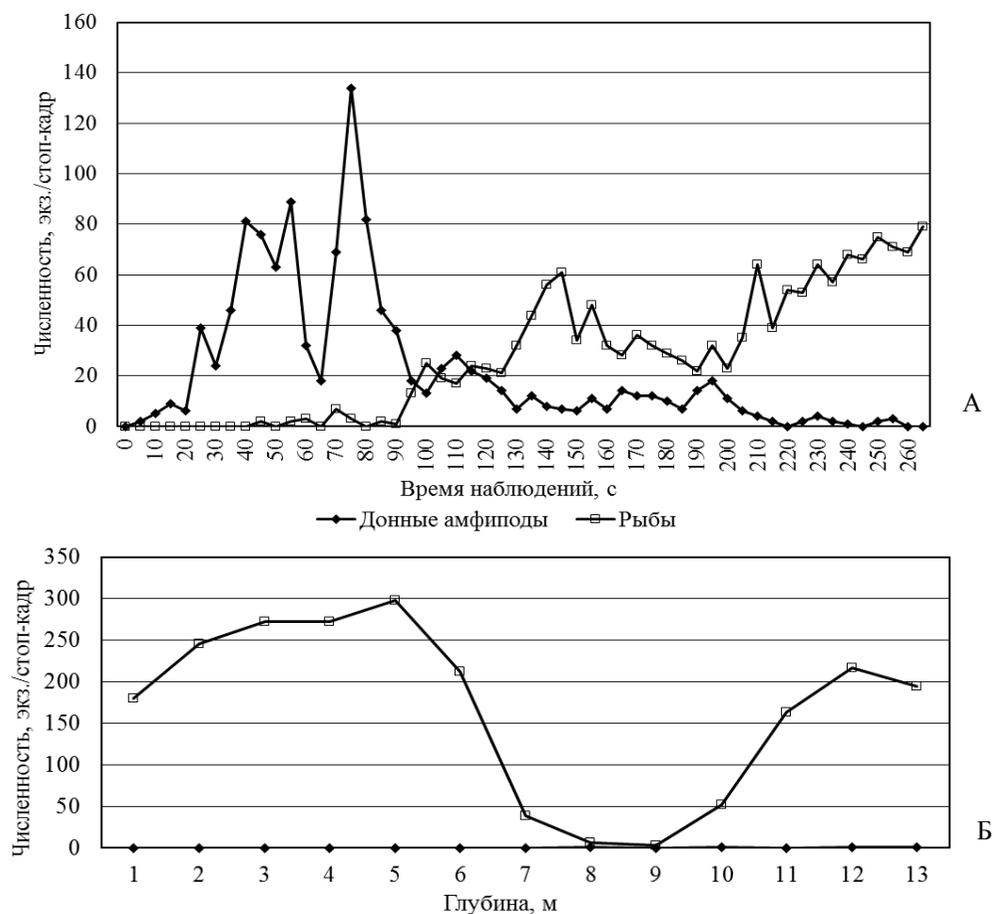


Рис. 4. Характеристики численности организмов НМК в бух. Зама в ночь с 16 на 17.07.2017: А – организмы НМК при видеосъемке у дна, временной промежуток 23:50–23:55; Б – молодь рыб на различных глубинах от поверхности до дна, временной промежуток 23:55–00:09. Амфиподы не показаны ввиду их единичного присутствия

Поначалу в придонном слое обильно присутствовали бентосные амфиподы: $36,31 \pm 9,31$ – $42,50 \pm 10,87$ экз./стоп-кадр, с максимальным значением 134. Затем последовал спад их численности (сначала резкий, далее плавный). В то же время численность рыб, единично входивших в кадр в первые 1,5 мин, возросла до $72,00 \pm 2,55$ экз./стоп-кадр на последней минуте наблюдений.

При погоризонтной съёмке выявлен интересный факт: на глубине 8–9 м скопление молоди рыб практически рассеялось (минимальная численность на 9 м – $2,33 \pm 0,83$ экз./стоп-кадр), а при дальнейшем подъёме камеры сформировалось вновь, из-за чего кривая имеет «провал» в средней части (рис. 4, Б). При этом новое скопление не поднялось снизу, а подошло со стороны. Максимальное обилие рыб отмечено на глубине 5 м – $298,33 \pm 28,28$ экз./стоп-кадр, абсолютный максимум 396 экз./стоп-кадр. Амфиподы единично присутствовали от дна до глубины 8 м, с 7 м и до поверхности полностью исчезли. Макрогектопус отсутствовал на протяжении всей съёмки.

Проба сетью Джели показала низкие значения численности и биомассы НМК (см. ниже табл. 2), по-видимому, из-за неоднородности скоплений животных-мигрантов. Выявлены 7 видов амфипод: 1 экз. *M. branickii*, мелкая молодь *P. cancelloides*, *M. ivanowi garjajewi* Baz.; единично *M. dybowski* Baz., *M. talitroides talitroides*, *Crypturopus tuberculatus* (Dyb.) и молодой экземпляр *Poekilogammarus pictus* (Dyb.).

Дночерпательная проба также оказалась небогатой: выявлены 5 видов амфипод: *M. laeviusculus laeviusculus* (65,9% численности, 40,4% биомассы), *M. fixsenii*, *P. cancelloides* (мелкая молодь), *Pseudomicrurus rotundatus magnus* Baz. и единично – *Gmelinoides fasciatus* (Stebbing).

4. Чивыркуйский залив, бухта Онгоконская, 18–19.07.2017 г., глубина 8–9 м, временной промежуток наблюдений 23:15–23:34. Погода: тихо, штиль, звёздно, облаков и Луны нет. Грунт – чёрный вязкий ил с запахом, макрофиты отсутствуют. Вода мутная, со значительным количеством сестона.

При наблюдении у дна отмечена картина, сходная с таковой в предыдущей точке, только с меньшим обилием как амфипод, так и молоди рыб (рис. 5, А). Численность амфипод возрастала на протяжении 160 с, достигнув максимума 38 экз./стоп-кадр (среднее значение на 3-й минуте – $24,67 \pm 2,34$ экз./стоп-кадр), затем начала снижаться до $5,83 \pm 0,88$ экз./стоп-кадр на 6-й минуте. В то же время обилие молоди рыб, впервые отмеченной в кадре на 160-й секунде, постепенно возрастало и на 6-й минуте превысило таковое амфипод – $8,00 \pm 0,49$ экз./стоп-кадр.

При погоризонтной съёмке наблюдалась следующая картина. В метре от дна зарегистрировано большое количество амфипод. Ближе к поверхности плотность снижалась до единичных экземпляров; при этом увеличивалось количество молоди рыб. На первых двух метрах от поверхности проявилось явление, ранее нигде в других местах не наблюдавшееся: в значительном количестве (до 43 экз./стоп-кадр, в среднем $12,25 \pm 1,70$) появились плавающие личинки и куколки хирономид (Diptera, Chironomidae), а возле самой поверхности их количество даже превзошло таковое амфипод (рис. 5, Б).

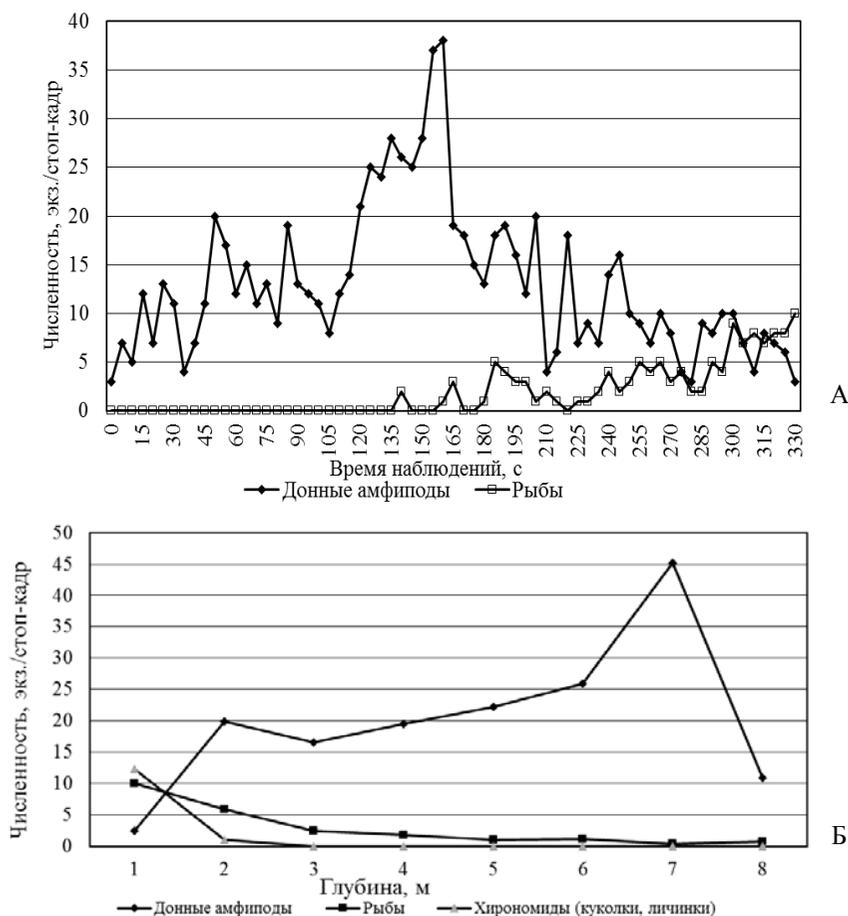


Рис. 5. Характеристики численности организмов НМК в бух. Онгоконская в ночь с 18 на 19.07.2017: А – организмы НМК при видеосъёмке у дна, временной промежуток 23:21–23:27; Б – организмы НМК на различных глубинах от поверхности до дна, временной промежуток 23:26–23:34

В целом миграционный комплекс можно охарактеризовать как небогатый. В пробе сетью Джеди (3 повторности) численность амфипод достигала 905 экз./м² при биомассе 2,53 г/м². Доминировал в НМК *Echiuropus macronychus sempercarinatus* (Vaz.) (73,0% численности, 74,6% биомассы). Всего отмечено 5 таксонов, в том числе редкий вид *E. levis* Vaz., а также *E. macronychus macronychus*, *M. wohlilii platycercus*, *G. fasciatus*. Хирономиды были отловлены сетью, но их доля в пробе была небольшой: 5,4% общей численности НМК, 5,6% биомассы. Как показала дночерпательная проба, хирономиды богато представлены в донном сообществе бухты, достигая биомассы 2,98 г/м². На дне среди амфипод резко преобладал *M. ciliodorsalis ciliodorsalis* (95% численности). Единично встречен *M. talitroides eurypus* Vaz. Таксономический состав НМК и донного биоценоза полностью различался.

5. Бухта Давша, северная часть бухты, ближе к м. Немнянда. 19–20.07.2017, глубина 12 м, временной промежуток наблюдений 23:54–00:15. Погода: тихо, звёздно, безлунно, облачность 2–3 балла. Грунт – галька, частично с макрофитами; поверхность дна ровная. Визуально вода прозрачная, однако при просмотре сетной пробы выявлено большое количество сине-зелёной водоросли *Gloeotrichia pisum* (Ag.) Thur. (определена Н. Г. Шевелевой и С. С. Воробьевой), свойственной обычно мелководным заливам. Число её колоний превышало число веслоногих рачков (гарпактицид, циклопов, эпишуры).

НМК при видеонаблюдении оказался необильным. При съёмке у дна численность плавающих амфипод не превышала 22 экз./стоп-кадр, рыб – 7 экз./стоп-кадр, при максимальном среднем значении за минуту $11,42 \pm 1,62$ экз./стоп-кадр. При этом численность тех и других демонстрировала сильные «осциллирующие» колебания. В конце съёмки (7–8-я минуты) она упала до $3,08 \pm 0,81 - 1,45 \pm 0,48$ экз./стоп-кадр для амфипод и до $1,73 \pm 0,40 - 1,75 \pm 0,47$ экз./стоп-кадр для рыб.

При погоризонтной съёмке максимальное обилие амфипод обнаружено на глубине 9 м – $23,58 \pm 2,71$ экз./стоп-кадр. Обилие рыб возрастало от $2,7 \pm 0,96$ у дна до $21,55 \pm 3,83$ экз./стоп-кадр на глубине 2 м. Замечены единичные спаривающиеся амфиподы, крупные представители рода *Pallasea*, бычок-желтокрылка *Cottocomephorus grewingkii* (Dybowski). Макрогектопус на видеозаписи не отмечен, но единично присутствовал в дочерпательной пробе.

Кроме него, в дочерпательной пробе найдены *M. littoralis littoralis* (Dyb.) (36,4 % численности, 37,3 % биомассы), *M. laeviusculus laeviusculus*, *P. cancelloides* (молодь длиной менее 5 мм), единично – *P. brandtii* (молодь) и *Pseudomicrurus rotundatulus magnus*.

В улове сетью (4 повторности) отмечены 5 таксонов амфипод. По численности резко преобладает молодь *Echiurops smaragdinus* (Dyb.) (89,7%), по биомассе – *P. kesslerii* (81,2%), причём у этого вида в НМК присутствуют и совсем мелкая молодь, и довольно крупные взрослеющие экземпляры длиной 17–20 мм. Половозрелые экземпляры достигают длины 30–33 мм [Базикалова, 1945; Тахтеев, 2000]. Обилие недавно отродившейся молоди *E. smaragdinus* длиной до 2–3 мм даёт высокое значение численности амфипод в НМК (см. табл. 2), но не биомассы. Вид размножается в зимне-весенний период [Базикалова, 1975], и после июня его взрослые особи не встречаются. Единичными особями представлены *Echiurops* sp. (неописанный вид), *M. wohlii platycercus* и *M. koshowi setosus* Baz.

6. Мыс Омагачан, банка напротив мыса. 20–21.07.2017, глубина 9,8–11,2 м, временной промежуток наблюдений 23:34–23:58. Грунт – окатанные валуны из размытой морены; дочерпательную пробу отобрать не удалось. Погода: штиль, ясно, безоблачно.

Миграционный комплекс состоял из бентосных амфипод, рыба лишь однажды появилась в кадре на 5-й минуте наблюдений. Макрогектопус отсутствовал на видеозаписи и в улове сетью. НМК в среднем малообилён – $23,30 \pm 2,53$ экз./стоп-кадр за все время съёмки, колебания – от 3 экз./стоп-

кадр (6-я минута) до 92 экз./стоп-кадр (3-я минута). Однако эти показатели заметно выше, чем в предыдущие годы. Существенное увеличение численности отмечено на 3–4-й минутах (рис. 6), затем отмечено снижение до $9,92 \pm 1,24$ экз./стоп-кадр на 7-й минуте. Максимальное среднее обилие составило $59,92 \pm 5,53$ экз./стоп-кадр (4-я минута).

При погоризонтной съёмке также наблюдалось единственное появление рыб в кадре на глубине 7 м. Амфиподы были немногочисленны, от $0,83 \pm 0,44$ экз./стоп-кадр на глубине 3 м до $12,67 \pm 1,81$ на отметке 9 м. Отмечено усиление течения воды в верхних слоях.



Рис. 6. Динамика численности амфипод в НМК на банке у м. Омагачан в ночь с 20 на 21.07.2017 по данным видеосъёмки у дна, временной промежуток 23:38–23:54

Улов сетью Джели представлен всего двумя видами амфипод, однако большое количество недавно отродившейся (до 1,7 мм длиной) молоди *Echiurops smaragdinus* (640 экз./м²) создает высокое количественное обилие НМК при низкой биомассе ($0,32$ г/м² для *E. smaragdinus* и $0,38$ г/м² общая). Единственным экземпляром представлен *Micrurops wohlii platycercus*. В НМК отмечена также одна личинка Chironomidae.

7. Бухта Сеногда. 21–22 июля 2017 г., глубина 9,9 м, временной промежуток наблюдений 23:47–00:03. Грунт – каменные плиты, замытые валуны, галька, чередующиеся с серым песком. Погода штилевая.

Бухта расположена примерно в 10 км на юго-запад от г. Северобайкальска и подвержена влиянию Ангаро-Кичерского течения, несущего речные воды. Это течение проходит мимо устья р. Тья, в которую поступают загрязнители от г. Северобайкальска. Имеются данные о том, что в бух. Сеногда, как и вообще в прибрежной зоне юго-западнее Северобайкальска, в 2013 и 2014 гг. происходило обильное развитие водорослей *Spirogyra* spp. Вследствие образования огромного количества детрита после её отмирания, наблюдались сокращение численности зоопланктона и гибель (до 60 %) ракообразных на расстоянии 20–350 м от уреза; выпадение из планктонного сообщества коловраток [Шевелева, Тимошкин, Мишарина, 2017]. Во время нашего посещения берег бухты был чистым, скопления плавающей спирогиры не наблюдались. Однако при погружении видеобокса

было заметно огромное количество частиц сестона неясной природы в верхних слоях воды.

НМК практически целиком состоял из донных амфипод и оказался очень обильным. При видеосъёмке у дна их численность почти постоянно превышала 60–80 экз./стоп-кадр (рис. 7, А). Её максимальное среднее значение $103,54 \pm 2,50$ экз./стоп-кадр, абсолютный максимум 118 экз./стоп-кадр. Однако столь большое количество плавающих амфипод наблюдалось только в придонном слое (глубина 8–9 м). Отмечены крупные плавающие представители рода *Acanthogammarus*. Начиная с горизонта 7 м численность амфипод резко падает и достигает нуля на отметках 1–3 м от поверхности воды (см. рис. 7, Б). Рыбы присутствовали в кадре непостоянно, не более 4 экз./стоп-кадр (см. рис. 7, А).

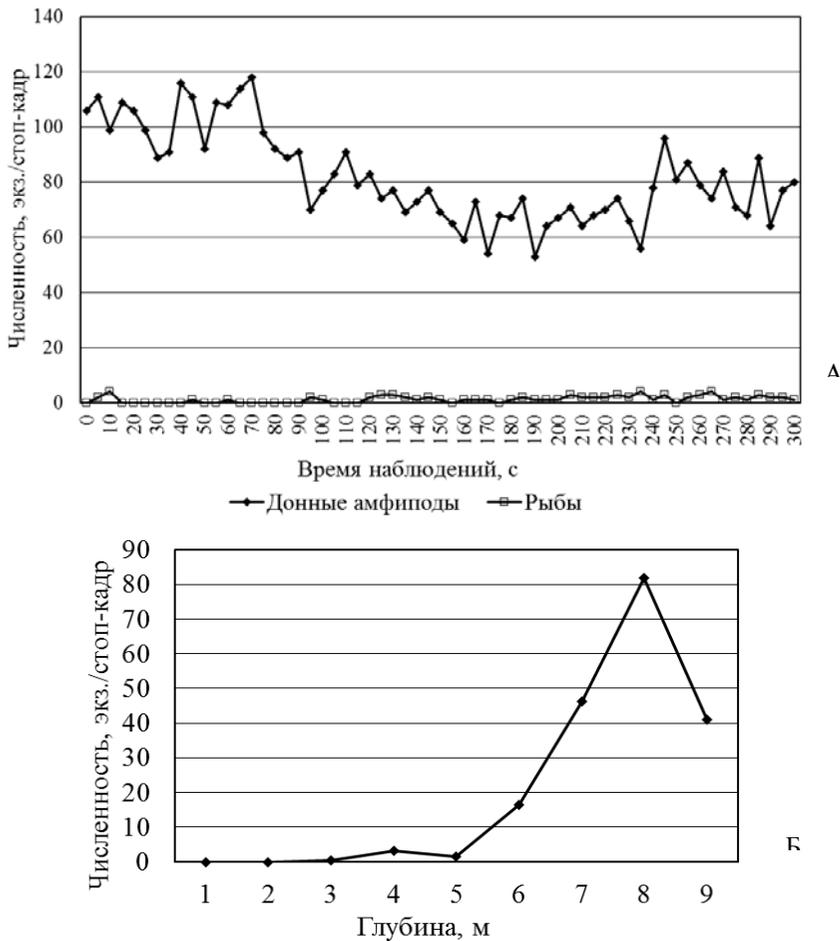


Рис. 7. Характеристики численности организмов НМК в бух. Сеногда в ночь с 21 на 22.07.2017: А – организмы НМК при видеосъёмке у дна, временной промежуток 23:52–23:57; Б – амфиподы в составе НМК на различных глубинах от поверхности до дна, временной промежуток 23:55–00:03

В составе НМК на этой точке доминировал *M. talitroides talitroides* (88 экз./м², или 71 %), чего ранее не наблюдалось ни в одном районе Байкала. По-видимому, данный вид не способен всплывать слишком высоко, поэтому почти весь НМК сосредоточен близко ко дну. В его состав также входили *M. wohlii platycercus* (21 экз./м², 17 % численности, 53,5 % биомассы) и единичные экземпляры *Echiuropsus morawitzii* (Dyb.), *M. fixsenii*, *P. cancelloides* (молодь) и *Poekilogammarus megonychus megonychus* Sow., всего 6 видов.

В составе бентоса по численности лидирует *M. fixsenii* (267 экз./м², или 30 %), по биомассе – *P. cancelloides* (1,56 г/м², или 61,4 %). Всего в дночерпательной пробе 8 видов, в том числе *Micruropus laeviusculus* (переходная форма к подвиду *M. l. dubius*), *M. littoralis littoralis*, *M. ciliodorsalis ciliodorsalis*, *Micruropus* sp., *Echiuropsus* aff. *levis*, *Echiuropsus* sp. (молодь). Общих с НМК видов 2 (16,7 %); показательно, что имеющий короткие уropоды 3 и вроде не склонный к длительному плаванию *M. talitroides* в пробе бентоса совершенно отсутствовал.

Бухта Большая Коса. 22–23 июля 2017 г., глубина 11,5 м, временной промежуток наблюдений 23:26–23:46. Температура воды значительно ниже, чем в «обогреваемой» течением бух. Сеногда (см. табл. 1). На дне плотные галька, гравий, единичные глыбы; имеются крупные ветвистые губки *Lubomirskia baicalensis* (Pallas),¹ в том числе с заметным некрозом части ветвей, причины которого в настоящее время исследуются [Современное состояние ... , 2016]. Пробу дночерпателем на плотном грунте отобрать не удалось.

Бухта – типичный район открытого Байкала и значительно сильнее, чем Сеногда, удалена от источников загрязнения (свыше 90 км от Северобайкальска). Взвесь в воде отсутствовала. Видимо, эти обстоятельства обусловили довольно низкое обилие организмов НМК. Численность амфипод удерживается в интервале 10–30 экз./стоп-кадр, с единственным пиком до 98 экз./стоп-кадр на 3-й минуте. Среди мелких амфипод регулярно появляются крупные плавающие особи из рода *Acanthogammarus*. Рыбы отсутствовали.

При погоризонтной съёмке численность амфипод закономерно колебалась от 2,08±0,52 на глубине 3 м до 26,42±4,35 экз./стоп-кадр на глубине 1 м. На глубине от 7 до 1 м стали появляться рыбы, от 1 до 8 экз./стоп-кадр.

В пробе сетью Джеди присутствовали личинки хирономид (15 экз./м²) и точнее не определённые амфиподы рода *Micruropus* (36 экз./м²). Уровень биомассы НМК крайне низкий – 0,04 г/м².

Обсуждение

В составе НМК зарегистрированы 24 «донных» (а на самом деле плавающих ночью) вида и 1 пелагический: из рода *Micruropus* – 9 видов (два из них определены до рода), *Crypturopsus* – 1 вид; *Echiuropsus* – 6 видов (один из них неопределённый), *Gmelinoides* – 1 вид; *Pseudomicruropus* – 1 вид; *Poekilogammarus* – 2 вида; *Pallasea* – 3 вида; *Leptostenus* – 1 новый для науки вид, а также *Macrohectopus branickii* (в двух пробах).

¹ Среди части специалистов существует неверное мнение, что в северной части Байкала ветвистые губки отсутствуют.

В бентосных сообществах зарегистрированы 16 видов (не считая случайно попавшего макрогектопуса в одной пробе), в том числе из рода *Hyallelopsis* – 1 вид; *Micruropus* – 9 видов; *Pallasea* – 2 вида; *Echiuropus* – 2 вида; *Gmelinoides* – 1 вид; *Pseudomicruropus* – 1 вид. В собранном материале имеются новые для науки виды.

Видовой состав амфипод в НМК и в донных сообществах совершенно разный, лишь иногда имеются немногие общие виды (бухты Зама, Сеногда). Таксономическое богатство НМК на треть выше, чем в донных биоценозах в ночное время (следует заметить, что дночерпатель, возможно, охватывает слишком малую площадь). При этом сравнение показателей численности и биомассы амфипод в миграционном комплексе и в донном биоценозе показывает, что в основном они выше на дне, часто значительно (см. табл. 2). Исключение составляет район пос. Ключевка, где показатели в пелагиали оказались выше вследствие привала *M. branickii*: в пробе этого вида оказалось гораздо больше, чем зафиксировано на видеозаписи – 81,5 % по численности и 74,5 % по биомассе.

Таблица 2

Численность и биомасса амфипод на исследованных точках в пелагиали (в составе НМК) и в донных биоценозах

Район	Локация	Численность, экз./м ²	Биомасса, г/м ²
Напротив пос. Ключевка, 14–15.07.2017	В составе НМК	537	3,90
	В составе зообентоса	133	0,27
Бух. Ая, 15–16.07.2017	В составе НМК	254	2,08
	В составе зообентоса	1156	4,33
Бух. Зама, 16–17.07.2017	В составе НМК	81	0,46
	В составе зообентоса	911	1,16
Бух. Онгоконская, 18–19.07.2017	В составе НМК	302	0,84
	В составе зообентоса	978	2,04
Бух. Давша, 19–20.07.2017	В составе НМК	353	1,90
	В составе зообентоса	326	3,33
М. Омагачан, 20–21.07.2017	В составе НМК	661	0,38
	В составе зообентоса	Нет данных	Нет данных
Бух. Сеногда, 21–22.07.2019	В составе НМК	124	0,61
	В составе зообентоса	889	2,53
Бух. Бол. Коса, 22–23.07.2019	В составе НМК	36	0,04
	В составе зообентоса	Нет данных	Нет данных

Примечание: в пробах зообентоса не учтён *M. branickii* как пелагический вид, случайно попавший в дночерпатель.

Показатели численности и биомассы НМК в 1 м³ водного столба малы (3–36 экз./м³ и менее 0,01–0,26 г/м³ соответственно). Однако сетью Джели отлавливаются явно не все мигранты. Так, на примере совершающих СВМ мизид путем эхолотирования пелагических скоплений показано, что ночные подъемы со дна в пелагиаль в прибрежной и эстуарной зонах моря гораздо более распространены, чем показывают лов ловушками и сетной отбор проб [Kringel, Jumars, Holliday, 2003].

Количественное обилие организмов НМК в районе пос. Ключевка оказалось очень значительным, ранее нигде нами не наблюдавшимся (табл. 3, см. рис. 2, Б). Аналогичные наблюдения на этом участке были проведены нами в 2014 г. [Behaviour ..., 2016]. Сравнение данных за всё время съёмки в придонном слое показывает, что всего за три года количественное обилие бентосных и полупелагических амфипод возросло вчетверо (см. табл. 3). *M. branickii* всегда присутствовал в небольшом количестве, но и его обилие возросло в 9,6 раз (см. табл. 3). Особенностью биологии макрогектопуса считалось то, что он избегает выходить на мелководья и держится за изобатой около 100 м, которая является обычно краем его ареала [Бекман, Афанасьева, 1977; Атлас и определитель ..., 1995; Изучение распределения ..., 2002]. Однако в пробе, отобранной в районе Ключевки сетью Джеди с глубины 15 м, макрогектопус оказался доминирующим видом (см. выше). Его немногочисленное присутствие в литоральной зоне на малых глубинах отмечено нами также в бухтах Ая, Зама, Давша.

Таблица 3

Средняя численность амфипод и макрогектопуса в составе НМК напротив пос. Ключевка по данным видеосъёмки у дна в разные годы

Дата съёмки, время	Число стоп-кадров	Количество амфипод, экз./стоп-кадр	Количество макрогектопуса, экз./стоп-кадр
04–05.08.2014, 23:34–00:09	186	63,33±2,78	0,23±0,03
14–15.07.2017, 00:00–01:00	73	254,67±1,39	2,21±0,03

Очевидно, требуется специальное исследование закономерностей поведения макрогектопуса в Байкале при различных условиях, для чего необходимо сочетать работы с применением высокочувствительного эхолота с видеонаблюдениями и традиционными сборами планктонной сетью.

Район у м. Омагачан можно охарактеризовать как один из участков прибрежной зоны, наименее подверженных антропогенному влиянию. На восточном берегу северной части Байкала практически нет даже небольших поселений, значительная его часть входит в состав Баргузинского биосферного заповедника, преобладающее направление циркуляционного течения с юга на север в течение всего года [Фиалков, 1983; Верболов, 1996] исключает прямое влияние ближайшей антропогенно изменённой зоны – Байкало-Амурской железнодорожной магистрали и связанных с ней населённых пунктов. Однако и здесь отмечаются изменения.

Подводные видеонаблюдения НМК проводились нами у м. Омагачан в 2004, 2006 и 2017 гг., что позволяет сделать сравнение за 13 лет (табл. 4).

Миграционный комплекс в районе ранее являлся очень бедным и был представлен только полупелагическими амфиподами *M. wohlii platycercus* при незначительном участии номинативного подвида *M. wohlii wohlii* [Мишарин, Тахтеев, Левашкевич, 2006]. В 2017 г. обилие амфипод в составе НМК было умеренным и превышало таковое в 2006 г. в 9,4 раза, а по сравнению с 2004 г. – в 142,9 раза (см. табл. 4; возможна некоторая поправка на различие в сезонах). Придерживаясь предложенной классификации [Карна-

угов, Тахтеев, Мишарин, 2016], мы констатируем здесь смену типа миграционного комплекса с первого (количественно очень бедного, с единичными особями плавающих амфипод) на второй (умеренное количество амфипод и малое – рыб).

Таблица 4

Средняя численность амфипод в составе НМК на банке у м. Омагачан по данным видеосъемки у дна в разные годы

Дата съемки, время	Число стоп-кадров	Количество амфипод, экз./стоп-кадр
07.10.2004, 22:20–24:00	160	0,19±0,04
27.06.2006, 02:00–03:00	97	2,89±0,13
20.07.2017, 23:30–24:00	85	27,15±2,53

Мы полагаем, что среди организмов НМК наиболее показательным индикатором изменения трофического статуса озера на уровне консументов являются именно амфиподы. Так, значительные скопления молоди рыб возле искусственного источника света наблюдались и ранее, до начала массового развития туристической инфраструктуры на Байкале, и являются совершенно естественным явлением в отдельных участках озера [Волкова, 1978; Мишарин, Тахтеев, Левашкевич, 2006]. Например, в июле 2004 г. в бух. Бол. Коты над глубиной 7 м обилие рыб достигало 150 экз./стоп-кадр, в июле 2005 г. – 48 экз./стоп-кадр [Карнаухов, Тахтеев, Мишарин, 2016]. Не проявлявших же ранее такой реакции амфипод можно считать весьма показательным и удобным объектом для регулярного экологического мониторинга Байкала с помощью подводных видеонаблюдений.

Дистанционные видеонаблюдения за НМК (в перспективе – автоматизированные), по нашему мнению, могут стать эффективным методом длительного экологического мониторинга Байкала и других крупных (в том числе морских) водоемов [Изучение ..., 2013; Дистанционные методы ..., 2014; Суточные вертикальные ..., 2019].

Заключение

Можно констатировать, что в последние годы в оз. Байкал произошло повышение количественного обилия ночного миграционного комплекса в литоральной зоне, прежде всего за счёт бентосных и полупелагических амфипод. Это свидетельство общего повышения продуктивности экосистемы Байкала, которое сказывается не только на уровне первичной продукции, но и на уровне организмов-консументов.

Очевидно, последствия эвтрофирования на этом уровне могут проявляться и в удалении от источников загрязнения (пример – бух. Давша). Повышение обилия НМК, наблюдаемого с помощью видеотехники, охватило в значительной степени Южный Байкал, но наблюдается также и в Северном.

Как и в предыдущих наших исследованиях, проявляется отрицательная взаимозависимость между численностью амфипод и рыб в составе НМК. С увеличением количества рыб происходит уменьшение числа амфипод.

Впервые в составе НМК отмечается присутствие личинок и куколок хирономид (в бух. Онгоконская, у м. Омагачан и в бух. Бол. Коса).

Наблюдается регулярное, хотя чаще всего немногочисленное, присутствие пелагического бокоплава макрогектопуса в мелководной зоне Южного, Среднего и Северного Байкала при относительно высоких температурах воды. Явление пока не имеет объяснения и свидетельствует о том, что экология этого ключевого в экосистеме озера вида изучена совершенно недостаточно.

Авторы благодарят участников экспедиции и экипаж НИС «Профессор Кожов» за помощь в сборе материалов. Работа выполнена при финансовой поддержке проектов РФФИ (№ 17-29-05067-офи, 16-04-00786).

Список литературы

Атлас и определитель пелагиобионтов Байкала (с краткими очерками по их экологии) / О. А. Тимошкин [и др.]. Новосибирск : Наука. Сиб. издат. фирма РАН, 1995. 694 с.

Базикалова А. Я. Амфиподы озера Байкала // Тр. Байкал. лимнолог. ст. 1945. Т. 11. С. 1–440.

Базикалова А. Я. К систематике байкальских амфипод (Роды *Carinogammarus* Stebbing, *Eucarinogammarus* (Sow.) и *Asprogammarus* gen. n.) // Новое о фауне Байкала. Ч. 1. Новосибирск : Наука, 1975. С. 31–81.

Бекман М. Ю., Афанасьева Э. Л. Распределение и продукция макрогектопуса // Биологическая продуктивность пелагиали Байкала и ее изменчивость. Новосибирск : Наука, 1977. С. 76–98.

Верболов В. И. Течения и водообмен в Байкале // Водные ресурсы. 1996. Т. 23, № 4. С. 413–423.

Вилисова И. К. К экологии байкальского пелагического бокоплава *Macrohectopus branickii* Dyb. // Систематика и экология ракообразных Байкала / Тр. Лимнолог. ин-та. 1962. Т. 2 (22), ч. 1. С. 156–171.

Волкова Л. А. Особенности привлечения молоди рыб Байкала на искусственный свет в водоеме // Экологические исследования водоемов Сибири. Иркутск : Иркут. гос. ун-т, 1978. С. 63–75.

Говорухина Е. Б. Популяционная структура некоторых массовых видов байкальских амфипод в составе ночного миграционного комплекса // Исследования фауны водоемов Восточной Сибири. Иркутск : Иркут. гос. ун-т, 2001. С. 109–115.

Говорухина Е. Б. Биология размножения, сезонная и суточная динамика населения литоральных и сублиторальных видов амфипод озера Байкал : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Иркутск : Иркут. гос. ун-т, 2005. 19 с.

Дистанционные методы экологических исследований и мониторинга в лимнологии и океанологии и их применение на озере Байкал / В. В. Тахтеев, Д. Ю. Карнаухов, А. С. Мишарин, Е. Б. Говорухина // Развитие жизни в процессе абиотических изменений на Земле: Материалы III Всерос. науч.-практич. конф. (23–30 сент. 2014 г., пос. Листвянка, Иркутская обл.). Иркутск : Изд-во Ин-та географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2014. С. 374–381.

Изучение ночного миграционного комплекса гидробионтов как новый метод экологического мониторинга крупных водоемов / В. В. Тахтеев, А. С. Мишарин, Е. Б. Говорухина, Д. С. Бедулина // Биоразнообразие: глобальные и региональные процессы: Материалы Всерос. конф. мол. ученых. Улан-Удэ (Россия), 16–21 сент. 2013 г. Улан-Удэ : Изд-во БНЦ СО РАН, 2013. С. 83–84.

Изучение распределения пелагической амфиподы *Macrohectopus branickii* (Dyb.) в Малом Море озера Байкал гидроакустическим методом / Н. Г. Мельник, С. Г. Шубенков,

С. Б. Попов, Л. Рудстам, И. В. Ханаев, С. И. Дидоренко, П. П. Шерстянкин, Н. М. Буднев // Экологические, физиологические и паразитологические исследования пресноводных амфипод. Иркутск : Иркут. гос. ун-т, 2002. С. 27–45.

Карнаухов Д. Ю., Тахтеев В. В., Мишарин А. С. Особенности структуры ночного миграционного комплекса гидробионтов в различных участках озера Байкал // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Биология. Экология. 2016. Т. 18. С. 87–98.

Кожов М. М. Биология озера Байкал. М. : Изд-во АН СССР, 1962. 316 с.

Массовое развитие зеленых нитчатых водорослей родов *Spirogyra* и *Stigeoclonium* в прибрежной зоне Южного Байкала / О. А. Тимошкин, Н. А. Бондаренко, Е. А. Волкова, И. В. Томберг, В. С. Вишняков, В. В. Мальник // Гидробиол. журнал. 2014. Т. 50, № 5. С. 15–26.

Матвеев А. Н. Рыбы (Pisces) озера Байкал и водоемов его бассейна // Байкаловедение : в 2 кн. Новосибирск : Наука, 2012. Кн. 2. С. 692–703.

Механикова И. В., Тахтеев В. В. Суточные вертикальные миграции амфипод озера Байкал: возможные причины и экологическое значение // Исследования фауны водоемов Восточной Сибири. Иркутск : Иркут. гос. ун-т, 2001. С. 88–108.

Мишарин А. С., Тахтеев В. В., Левашкевич А. М. Сравнительная характеристика ночной миграционной активности гидробионтов на различных участках литорали озера Байкал // Гидробиология водоемов юга Восточной Сибири. Иркутск : Иркут. гос. ун-т, 2006. С. 52–66.

Оценка качества вод Среднего и Северного Байкала по состоянию прибрежного фитопланктона / О. О. Русановская, Г. И. Кобанова, С. В. Шимараева, Е. В. Пислегина, Л. С. Кращук, Е. А. Зилов // XXI век. Техносферная безопасность (Иркут. нац. исслед. техн. ун-т). 2017. Т. 2, № 2. С. 30–37.

Современное состояние спонгиофауны озера Байкал и проблема сохранения ее разнообразия / Л. С. Кравцова, И. В. Ханаев, О. О. Майкова, Н. А. Букшук, М. В. Сакирко, Н. В. Кулакова, Т. В. Бутина, И. А. Небесных, С. И. Беликов // Вестн. науч. конф. 2016. № 8–3 (12). Исследование причин беспрецедентной гибели эндемичных губок озера Байкал: по матер. Междунар. рабочего совещ. 6–10 сент. 2016 г., Лимнолог. ин-т, г. Иркутск. С. 24–25.

Суточные вертикальные миграции гидробионтов в прибрежной зоне оз. Байкал / В. В. Тахтеев, Д. Ю. Карнаухов, Е. Б. Говорухина, А. С. Мишарин // Биол. внутр. вод. 2019. № 2. С. 50–61.

Тахтеев В. В. Очерки о бокоплавах озера Байкал (систематика, сравнительная экология, эволюция). Иркутск : Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2000. 355 с.

Тахтеев В. В., Говорухина Е. Б., Механикова И. В. Ночная тайна Байкала // Экология и жизнь. 2006. № 5 (54). С. 56–61.

Тахтеев В. В., Левашкевич А. М., Говорухина Е. Б. О влиянии искусственного освещения на интенсивность ночных вертикальных миграций амфипод озера Байкал // Экология. 2004. № 6. С. 468–470.

Фиалков В. А. Течения прибрежной зоны озера Байкал. Новосибирск : Наука, 1983. 192 с.

Шевелева Н. Г., Тимошкин О. А., Мишарина Е. А. Динамика зоопланктонных сообществ мелководья Северного Байкала во время цветения воды из-за обилия зеленых нитчатых водорослей *Spirogyra* spp. (Chlorophyta, Zygnematorphyceae) в 2013–2014 гг. // Бюлл. Моск. об-ва испыт. прир. Отд. биол. 2017. Т. 122, № 4. С. 35–44.

Экологический кризис в прибрежной зоне озера Байкал / О. А. Тимошкин, В. В. Мальник, М. В. Сакирко, Н. А. Бондаренко, Н. А. Рожкова, Н. Г. Шевелева, Е. А. Волкова, А. В. Непокрытых, Е. П. Зайцева, О. В. Медвежонкова, А. Г. Лухнев, Ю. М. Зверева, А. Е. Побережная, А. А. Широкая, Н. В. Потапская, И. В. Томберг, В. М. Домышева, Е. М. Тимошкина, А. Б. Купчинский // Шестая междунар. Верещагинская Байкальская конф., 4-й Байкал. микробиол. симп. с междунар. участием «Микроорганизмы и вирусы

в водных экосистемах». 7–12 сент., 2015 г. : тез. докл. и стенд. сообщ. Иркутск, 2015. С. 37–42.

Behaviour of Lake Baikal amphipods as a part of the night migratory complex in the Kluevka settlement region (South-Eastern Baikal) / D. Yu. Karnaukhov, D. S. Bedulina, A. Kaus, S. O. Prokosov, L. Sartoris, M. A. Timofeyev, V. V. Takhteev // *Crustaceana*. 2016. Vol. 89, N 4. P. 419–430. <https://doi.org/10.1163/15685403-00003530>

Kringel K., Jumars P. A., Holliday D. V. A shallow scattering layer: High-resolution acoustic analysis of nocturnal vertical migration from the seabed // *Limnology and Oceanography*. 2003. Vol. 48, N 3. P. 1223–1234. <https://doi.org/10.2307/3096649>

Lake Baikal ecosystem faces the threat of eutrophication / G. I. Kobanova, V. V. Takhteev, O. O. Rusanovskaya, M. A. Timofeyev // *Int. J. Ecol.* 2016. Article ID 6058082, 7 p. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/6058082>

Nearshore benthic blooms of filamentous green algae in Lake Baikal / L. S. Kravtsova, L. A. Izhboldina, I. V. Khanaev, G. V. Pomazkina, E. V. Rodionova, V. M. Domysheva, M. V. Sakirko, I. V. Tomberg, T. Ya. Kostornova, O. S. Kravchenko, A. B. Kupchinsky // *J. Great Lakes Res.* 2014. Vol. 40. P. 441–448. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2014.02.019>

Structure of the Nocturnal Migratory Complex of Hydrobionts in Different Parts of Lake Baikal in the Summer of 2017 and the Problem of the Changes in the Trophic Status of the Lake

D. A. Batranin¹, V. V. Takhteev^{1,2}, I. O. Eropova^{1,2}, E. B. Govorukhina¹

¹*Irkutsk State University, Irkutsk, Russian Federation*

²*Baikal Museum ISC SB RAS, Listvyanka, Russian Federation*

Abstract. The article describes the results of studies of the nocturnal migratory complex (NMC) of aquatic organisms in the coastal pelagic zone of the Lake Baikal in July 2017 at 8 sites different in environmental conditions, at depths from 5 to 17 m. Along with the traditional samples using plankton net and bottom grab held remote underwater video observation according to the original methodology. NMC is composed by benthic amphipods during nights pop-up in the pelagial, obligate pelagic amphipods *Macrohectopus branickii* (Dyb.) and juvenile fish (mainly from the Cottoidei suborder). There is an increase in the quantitative abundance of amphipods in the composition of NMC both in areas exposed to anthropogenic impact and in areas remote from its sources. Near the Cape of Omagachan, away from any settlements, the number of benthic amphipods in the NMC has increased 15.2% over the period from 2004 to 2006 and 9.4 times for 2006–2017. In the area opposite the village of Klyuevka (Southern Baikal) the number of floating amphipods in the field of view of the camera reached extremely high values – up to 250–350 specimens in the freeze frame, for the period 2014–2017 it increased 4 times. Most likely, this is one of the consequences of eutrophication of the lake, which is happening now. In the bays Aya and Zama in the composition of NMC was dominated by juvenile fish, which formed the different density concentrations at different depths. Relatively poor NMC marked bays Ongokon (Chivyrkuisky Bay) and Davsha (Northern Baikal), where the number of swimming amphipods in the frame did not exceed 37 to 45 and from 22 to 24 specimens, respectively. The taxonomic composition of amphipods in NMC and in the benthic community is almost completely different at the same time of research. In nocturnal migratory aggregations, a significant role belongs to the semi-pelagic species *Micruropus wohlii platycercus* (Dyb.), although its abundance varies greatly in different areas, and sometimes it is absent in nocturnal clusters (Zama Bay). In the Bay Senogda under the influence of the closely located city of Severobaikalsk, revealed abundant migratory complex with dominance of the species *Micruropus talitroides* (Dyb.). For the first time, larvae and pupae of Chi-

ronomidae were recorded in NMC. Pelagic amphipoda *M. branickii* was regularly observed in the coastal zone, in the area of the village Klyuevka its number in the summer in coastal NMC also increased 9.6 times over the period 2014–2017. Remote underwater video observations for NMC is an effective method of basic environmental monitoring of large aquatic ecosystems, they allow you to track changes in the trophic status of the reservoir at the level of organisms-consuments.

Keywords: Baikal Lake, underwater video surveillance, nocturnal migratory complex, amphipods, fishes, *Macrohectopus branickii*, quantitative abundance, eutrophication.

For citation: Batranin D.A., Takhteev V.V., Eropova I.O., Govorukhina E.B. Structure of the Nocturnal Migratory Complex of Hydrobionts in Different Parts of Lake Baikal in the Summer of 2017 and the Problem of the Changes in the Trophic Status of the Lake. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Biology. Ecology*, 2019, vol. 27, pp. 62-86. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2019.27.62> (in Russian)

References

Timoshkin O.A., Mazepova G.F., Melnik N.G. (eds.). *Atlas i opredelitel' pelagobiontov Bajkala (s kratkimi ocherkami po ikh ekologii)* [Guide and key to pelagic animals of Baikal (with ecological notes)]. Novosibirsk, Nauka Publ., Siberian Publishing Firm RAS, 1995, 694 p. (in Russian)

Bazikalova A.Ya. Amfipody ozera Baikala [Les amphipodes du Baikal]. *Trudy Baikalskoi limnologicheskoi stantsii* [Travaux de la Station Limnologique du Lac Baikal]. 1945, vol. 11, pp. 1-440. (in Russian, with French summary)

Bazikalova A.Ya. K sistematike baikal'skikh amfipod (Rody *Carinogammarus* Stebbing, *Eucarinogammarus* (Sow.) i *Asprogammarus* gen. n.) [To the systematics of Baikal amphipods (*Carinogammarus* Stebbing, *Eucarinogammarus* (Sow.) and *Asprogammarus* gen. n.)]. *Novoe o faune Baikala* [New data on the fauna of Lake Baikal]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1975, vol. 1, pp. 31-81. (in Russian)

Bekman M.Yu., Afanasieva E.L. Raspredelenie i produktsiya makrohektopusa [Distribution and production of *Macrohectopus*]. *Biologicheskaya produktivnost' pelagiali Baikala i ee izmenchivost'* [Biological productivity of the pelagic zone of Lake Baikal and its variability]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1977, pp. 76-98. (in Russian)

Takhteev V.V., Karnaukhov D.Yu., Misharin A.S., Govorukhina E.B. Distantсионные методы экологических исследований и мониторинга в лимнологии и океанологии и их применение на озере Байкал [Remote methods of ecological research and monitoring in Limnology and Oceanology and their application on Lake Baikal]. *Razvitie zhizni v protsesse abioticheskikh izmenenii na Zemle* [Development of life in the process of abiotic changes on Earth: III Sci. Conf., Listvyanka, Russia]. Irkutsk, V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS Publ., 2014, pp. 374-381. (in Russian)

Govorukhina E.B. Populyatsionnaya struktura nekotorykh massovykh vidov baikal'skikh amfipod v sostave nochnogo migratsionnogo kompleksa [Structure of populations of some mass species of baikalian amphipods in the night migratory complex]. *Issledovaniya fauny vodoemov Vostochnoi Sibiri* [Researches of the water fauna of East Siberia basins]. Irkutsk, Irkutsk St. Univ. Publ., 2001, pp. 109-115. (in Russian)

Govorukhina E.B. *Biologiya razmnozheniya, sezonnaya i sutochnaya dinamika naseleniya litoral'nykh i sublitoral'nykh vidov amfipod ozera Baikal* [Biology of Reproduction, Seasonal and Daily Population Dynamics of Intertidal and Subtidal Species of Amphipods of Lake Baikal: Candidate in Biology dissertation abstract]. Irkutsk, Irkutsk St. Univ. Publ., 2005, 19 p. (in Russian).

Takhteev V.V., Misharin A.S., Govorukhina E.B., Bedulina D.S. Izuchenie nochnogo migratsionnogo kompleksa gidrobiontov kak novyi metod ekologicheskogo monitoringa krupnykh vodoemov [The study of the nocturnal migratory complex of hydrobionts as a new method of environmental monitoring of large bodies of water]. *Bioraznoobrazie: global'nye i*

regional'nye protsessy [Biodiversity: global and regional processes]. Ulan-Ude, Buryat Scientific Center SB RAS Publ., 2013, pp. 83-84. (in Russian)

Melnik N.G., Shubenkov S.G., Popov S.B., Rudstam L., Khanaev I.V., Didorenko S.I., Sherstyankin P.P., Budnev N.M. Izuchenie raspredeleniya pelagicheskoi amfipody *Macrohectopus branickii* (Dyb.) v Malom More ozera Baikal gidroakusticheskim metodom [Hydroacoustic survey of the pelagic amphipods *Macrohectopus branickii* (Dyb.) distribution in Maloye More of Lake Baikal]. *Ekologicheskie, fiziologicheskie i parazitologicheskie issledovaniya presnovodnykh amfipod* [Ecological, physiological and parasitological studies of freshwater amphipods]. Irkutsk, Irkutsk St. Univ. Publ., 2002, pp. 27-45. (in Russian)

Karnaukhov D.Yu., Takhteev V.V., Misharin A.S. Osobennosti struktury nochnogo migratsionnogo kompleksa gidrobiontov v razlichnykh uchastkakh ozera Baikal [Structural Features of the Nocturnal Migratory Complex of Hydrobionts in Different Parts of Baikal Lake]. *Bull. Irkutsk St. Univ. Ser. Biol. Ekol.*, 2016, vol. 18, pp. 87-98. (in Russian)

Kozhov M.M. *Biologiya ozera Baikal* [Biology of lake Baikal]. Moscow, AS USSR Publ., 1962, 316 p. (in Russian)

Timoshkin O.A., Bondarenko N.A., Volkova E.A., Tomberg I.V., Vishnyakov V.S., Mal'nik V.V. Massovoe razvitiye zelenykh nitchatykh vodoroslei rodov *Spirogyra* i *Stigeoclonium* v pribrezhnoi zone Yuzhnogo Baikala [Mass development of green filamentous algae of *Spirogyra* and *Stigeoclonium* genera in the coastal zone of Southern Baikal]. *Gidrobiologicheskii zhurnal* [Hydrobiological journal], 2014, vol. 50, no. 5, pp. 15-26. (in Russian)

Matveyev A.N. Ryby (Pisces) ozera Baikal i vodoemov ego basseina [Fishes (Pisces) of Lake Baikal and its basins]. *Baikalovedenie* [Baicalogy]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2012, vol. 2, pp. 692-703. (in Russian)

Mekhanikova I.V., Takhteev V.V. Sutochnye vertikal'nye migratsii amfipod ozera Baikal: vozmozhnye prichiny i ekologicheskoe znachenie [Daily vertical migrations of Lake Baikal amphipods: probable causes and ecological importance]. *Issledovaniya fauny vodoemov Vostochnoi Sibiri* [Researches of the water fauna of East Siberia basins]. Irkutsk, Irkutsk St. Univ. Publ., 2001, pp. 88-108. (in Russian)

Misharin A.S., Takhteev V.V., Levashkevich A.M. Sravnitel'naya kharakteristika nochnoi migratsionnoi aktivnosti gidrobiontov na razlichnykh uchastkakh litorali ozera Baikal [The comparative characteristic of night migratory activity of hydrobionts on the various sites in the littoral zone of Lake Baikal]. *Gidrobiologiya vodoemov yuga Vostochnoi Sibiri* [Hydrobiology of the basins in South of East Siberia]. Irkutsk, Irkutsk St. Univ. Publ., 2006, pp. 52-66. (in Russian)

Verbolov V.I. Currents and water exchange in Lake Baikal. *Water Resources*, 1996, vol. 23, no. 4, pp. 381-391.

Vilisova I.K. K ekologii baikal'skogo pelagicheskogo bokoplava *Macrohectopus branickii* Dyb. [To the ecology of Baikal pelagic amphipod *Macrohectopus branickii* Dyb.]. *Sistematika i ekologiya rakoobraznykh Baikala. Trudy Limnologicheskogo instituta* [Taxonomy and ecology of crustaceans of Baikal. Proc. of the Limnological Institute]. 1962, vol. 2 (22), part 1, pp. 156-171. (in Russian)

Volkova L.A. Osobennosti privlecheniya molodi ryb Baikala na iskusstvennyi svet v vodoeme [Features of attracting of young fish in Lake Baikal to artificial light in the water basin]. *Ekologicheskie issledovaniya vodoemov Sibiri* [Ecological studies of water bodies of Siberia]. Irkutsk, Irkutsk St. Univ. Publ., 1978, pp. 63-75. (in Russian)

Rusanovskaya O.O., Kobanova G.I., Shimaraeva S.V., Pislegina E.V., Krasschuk L.S., Zilov E.A. Otsenka kachestva vod Srednego i Severnogo Baikala po sostoyaniyu pribrezhnogo fitoplanktona [Assessment of water quality of the Middle and Northern Baikal on the state of coastal phytoplankton]. *XXI vek. Tekhnosfernaya bezopasnost'* [XXI century. Technosphere safety]. 2017, vol. 2, no. 2, pp 30-37. (in Russian)

Kravtsova L.S., Khanaev I.V., Maikova O.O., Sakirko M.V., Bukshuk N.A., Kulakova N.V., Butina T.V., Nebesnykh I.A., Belikov S.I. Sovremennoe sostoyanie spongiofauny ozera Baikal

i problema sokhraneniya ee raznoobraziya [Modern state of spongiofauna of Lake Baikal and the problem of preserving of its diversity]. *J. Sci. Conf.*, 2016, no. 8-3 (12), pp. 24-26. (in Russian)

Takhteev V.V., Karnaukhov D.Yu., Govorukhina E.B., Misharin A.S. Diel Vertical Migrations of Hydrobionts in the Coastal Area of Lake Baikal. *Inland Water Biology*. 2019, vol. 12, no. 2, pp. 178-189. <https://doi.org/10.1134/S1995082919020147>

Takhteev V.V. *Ocherki o bokoplavakh ozera Baikal (sistematika, sravnitel'naya ekologiya, evolyutsiya)* [Essays on the amphipods of Lake Baikal (systematics, comparative ecology, evolution)]. Irkutsk, Irkutsk St. Univ. Publ., 2000, 355 p. (in Russian)

Takhteev V.V., Govorukhina E.B., Mekhanikova I.V. Nochnaya taina Baikala [Night secret of Baikal]. *Ekologiya i zhizn* [Ecology and Life], 2006, no. 5 (54), pp. 56-61. (in Russian)

Takhteev V.V., Levashkevich A.M., Govorukhina E.B. Effect of artificial illumination on the intensity of nocturnal vertical migrations of amphipods in Lake Baikal. *Russian J. Ecol.*, 2004, vol. 35, no. 6, pp. 421-423.

Fialkov V.A. *Techeniya pribrezhnoi zony ozera Baikal* [Currents in the coastal zone of Lake Baikal]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1983, 192 p. (in Russian)

Shevelyova N.G., Timoshkin O.A., Misharina E.A. Dinamika zooplanktonnykh soobshchestv melkovod'ya Severnogo Baikala vo vremya tsveteniya vody iz-za obiliya zelenykh nitchatykh vodoroslei *Spirogyra* spp. (Chlorophyta, Zygnematophyceae) v 2013–2014 gg. [Dynamics of zooplankton communities in the shallow waters of Northern Baikal during water flowering due to the abundance of green filamentous algae *Spirogyra* spp. (Chlorophyta, Zygnematophyceae) in 2013–2014]. *Byulleten Moskovskogo obshchestva ispytatelei prirody. Otdel biologicheskii* [Bull. Moscow Soc. Natur. Biol. Dept], 2017, vol. 122, no. 4, pp. 35-44. (in Russian)

Timoshkin O. A., Malnik V.V., Sakirko M.V., Bondarenko N.A., Rozhkova N.A., Sheveleva N.G., Volkova E.A., Nepokrytykh A.V., Zaitseva E.P., Medvezhonkova O.V., Lukhnev A.G., Zvereva Y.M., Poberezhnaya A.E., Shirokaya A.A., Potapskaya N.V., Tomberg I.V., Domysheva V.M., Timoshkina E.M., Kupchinsky A.B. Ecological crisis in the coastal zone of Lake Baikal. *6th int. Vereshchagin Baikal Conf., 4th Baikal microbiological Symp., Irkutsk, Russia*. Irkutsk, 2015, pp. 37-42.

Karnaukhov D.Yu., Bedulina D.S., Kaus A., Prokosov S.O., Sartoris L., Timofeyev M.A., Takhteev V.V. Behaviour of Lake Baikal amphipods as a part of the night migratory complex in the Kluevka settlement region (South-Eastern Baikal). *Crustaceana*. 2016, vol. 89, no. 4, pp. 419-430. <https://doi.org/10.1163/15685403-00003530>

Kringel K., Jumars P.A., Holliday D. V. A shallow scattering layer: High-resolution acoustic analysis of nocturnal vertical migration from the seabed. *Limnology and Oceanography*, 2003, vol. 48, no. 3, pp. 1223-1234. <https://doi.org/10.2307/3096649>

Kobanova G.I., Takhteev V.V., Rusanovskaya O.O., Timofeyev M.A. Lake Baikal ecosystem faces the threat of eutrophication. *Int. J. Ecol.*, 2016, article ID 6058082, 7 p. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/6058082>

Kravtsova L.S., Izhboldina L.A., Khanaev I.V., Pomazkina G. V., Rodionova E.V., Domysheva V.M., Sakirko M.V., Tomberg I.V., Kostornova T.Ya., Kravchenko O.S., Kupchinsky A.B. Nearshore benthic blooms of filamentous green algae in Lake Baikal. *J. Great Lakes Res.*, 2014, vol. 40, pp. 441-448. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2014.02.019>

Батранин Дмитрий Александрович
студент
Иркутский государственный университет
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
тел.: (3952) 24–19–27
e-mail: badmal3477@gmail.com

Batranin Dmitry Aleksandrovich
Student
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003,
Russian Federation
tel.: (3952) 24–19–27
e-mail: badmal3477@gmail.com

Тактеев Вадим Викторович
доктор биологических наук, профессор
Иркутский государственный университет
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
Байкальский музей Иркутского научного
центра СО РАН
Россия, 664520, Иркутская область,
пос. Листвянка, ул. Академическая, 1
тел.: (3952) 24–19–27
e-mail: Amphipoda@yandex.ru

Takhteev Vadim Victorovich
Doctor of Sciences (Biology), Professor
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003,
Russian Federation
Baikal Museum ISC SB RAS
1, Akademicheskaya St., Listvyanka settl.,
Irkutsk region, 664520, Russian Federation
tel.: (3952) 24–19–27
e-mail: Amphipoda@yandex.ru

Еропова Ирина Олеговна
инженер, ассистент
Иркутский государственный университет
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
тел.: (3952) 24–19–27
аспирант
Байкальский музей Иркутского научного
центра СО РАН
Россия, 664520, Иркутская область,
пос. Листвянка, ул. Академическая, 1
тел.: (3952) 45–31–45
e-mail: eropova.irina@yandex.ru

Eropova Irina Olegovna
Engineer, Assistant
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003,
Russian Federation
tel.: (3952) 24–19–27
Postgraduate
Baikal Museum ISC SB RAS
1, Akademicheskaya St., Listvyanka settl.,
Irkutsk region, 664520, Russian Federation
tel.: (3952) 45–31–45
e-mail: eropova.irina@yandex.ru

Говорухина Екатерина Борисовна
кандидат биологических наук, доцент
Иркутский государственный университет
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
тел.: (3952) 42–64–17
e-mail: kgovoruhina@mail.ru

Govorukhina Ekaterina Borisovna
Candidate of Science (Biology), Associate
Professor
Irkutsk State University
1 K. Marx St., Irkutsk, 664003,
Russian Federation
tel.: (3952) 42–64–17
e-mail: kgovoruhina@mail.ru

Дата поступления: 28.11.2018

Received: 28.11.2018