

# ЭКОЛОГИЯ И ЖИЗНЬ

5(54)'2006

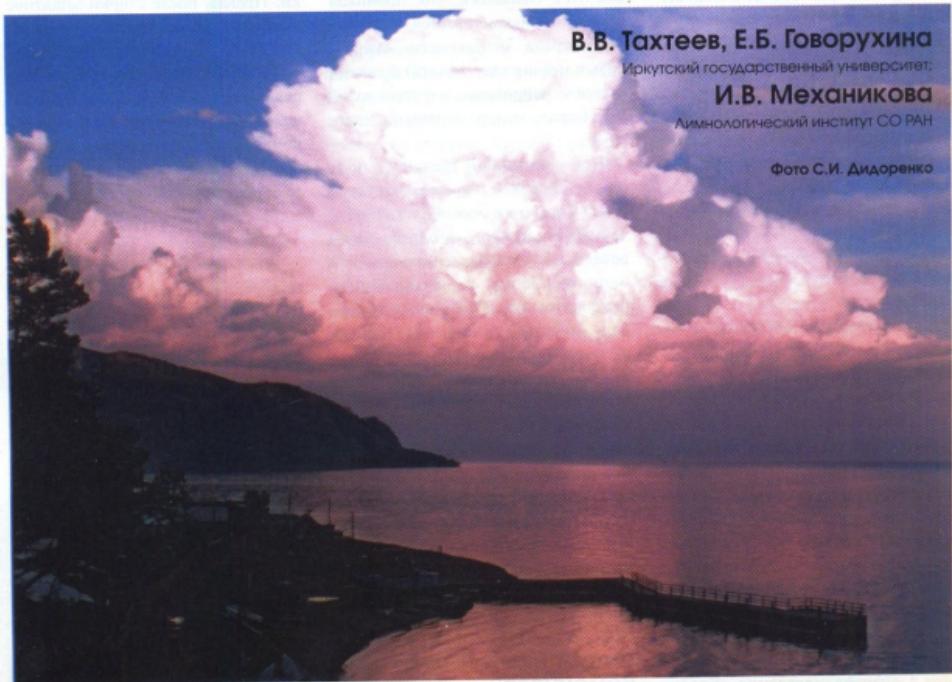
НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫЙ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЖУРНАЛ



**ВОДА И ЗДОРОВЬЕ** • ЭКОЦИКЛЫ • ПРЕДЕЛЫ  
ЭКОНОМИКИ • ДЕТИ ИНТЕРНЕТА • МАТЬ И МАТРИЦА ЖИЗНИ • ТАЙНА  
БАЙКАЛА • ЛЕО БОКЕРИЯ ОТВЕЧАЕТ НА НАШИ ВОПРОСЫ • ЧТО ЕДИМ



# НОЧНАЯ ТАЙНА БАЙКАЛА



В.В. Тахтеев, Е.Б. Говорухина

Иркутский государственный университет;

И.В. Механикова

Лимнологический институт СО РАН

Фото С.И. Диоренко

Явление суточных вертикальных миграций (СВМ) организмов, населяющих водную толщу (пелагиаль) водоемов, давно известно ученым-гидробиологам. Их совершают и обитатели пелагии озера Байкал: планктонный веслоногий ракоч эпишура (*Epischura baicalensis*), бокоплав-макротектопус (*Macrohectopus branickii*), знаменитые ракы голомянки.

И в лимнологии, и в морской биологии эти миграции традиционно трактуются как защитно-пищевые: днем организмы скрываются от хищников в глубоких слоях воды, а ночью поднимаются в верхние — для питания. В то же время существует и другая точка зрения, согласно которой, например, пелагические рако-

образные просто унаследовали миграционное поведение от своих доинных предков, и поэтому оно не имеет прямого приспособительного значения.

Вместе с тем суточные вертикальные миграции свойственны и байкальским бентосным (донным) животным, прежде всего ракообразным. Но они долгое время были изучены намного хуже, чем миграции пелагических животных. Однако исследование этого явления необходимо, чтобы понять, как функционирует целостная байкальская экосистема. Вертикальные миграции бентосных форм связывают воедино водную толщу и дно, которые чаще рассматриваются как две раздельные «подсистемы».

СВМ, безусловно, важны для расселения популяций мелководных видов и обеспечивают наличие потока генов между ними, поскольку покинувшие свои укрытия на дне мигранты посредством горизонтальных течений могут переноситься на значительные расстояния от места всплытия. В результате полная изоляция популяций в разных местах обитания становится невозможной. Животные-мигранты — это еще и живой транспортер биогенных элементов из более глубоких водных слоев в поверхностные: поглощая их на дне, они ночью выделяют их в приповерхностных слоях в качестве продуктов обмена веществ и этим способствуют повышению продуктивности экосистемы.

В Байкале одной из наиболее многочисленных групп животных в составе ночного миграционного комплекса являются амфиоподы, или бокоплавы. Это одна из самых богатых групп эндемичной байкальской фауны, насчитывающая в озере около 350 видов и подвидов.

Зачем же все-таки суточные миграции нужны ракам? Не являются ли они напрасной тратой энергии? И каково значение этих миграций не только для ракообразных, но и для экосистемы Байкала в целом?

## Наблюдения

Вопрос оказался намного сложнее и интереснее, чем предполагалось поначалу. В поисках ответа на него исследователи, в числе которых авторы этих строк, стали вести наблюдения за СВМ в разных районах озера. Это очень интересная работа. Она связана с необходимостью облавливать

водную массу в ночное время, нередко встречая рассвет с планктонной сетью и фонариком в руках.

В результате серии наблюдений установлено следующее.

Как летом, так и зимой всплытие раков в пелагию начинается с вечерними сумерками, их возвращение на дно — с первыми лучами рассвета. В дневное время лишь изредка можно заметить единичных особей, плавающих в воднойтолще. При ярком солнечном свете животные сидят в своих укрытиях на дне. Из-за этого байкальская вода и видимое через нее дно нередко создают обманчивое впечатление безжизненности.

Но совершенно иная картина ночью! СВМ амфиопод наиболее интенсивны в прибрежной полосе с глубинами до 10–15 м, в некоторых случаях до 30 м, например, в районе Ушканых островов. В зависимости от района исследований, времени, сезона года, погодных условий ко-

личество мигрантов в 1 м<sup>3</sup> водной массы может колебаться от единиц до нескольких сотен, а иногда — даже тысячи особей. Одновременный отбор проб планктонной сетью и дночерпателем на одних и тех же станциях показал, что состав доминирующих видов и их количественная доля неодинаковы в толще воды и на дне; ночной миграционный комплекс не является «зеркальным отражением» дневных сообществ. По ориентировочным оценкам, в водную толщу поднимается от 1/25 до 1/6 (вероятно, и более) особей амфиопод.

Некоторые виды встречаются в поверхностных слоях воды и над значительно большими глубинами. Так, раки *Micruropis wohlii* и *Micruropis wohlii platycercus* неоднократно регистрировались в пелагии на значительном удалении от берега, над глубинами до 800 м. Заплывая в составе миграционных скоплений далеко от берега, они



Один из наиболее активных ночных мигрантов, *Eulimnogammarus cyaneus*, в миграционных скоплениях на 99% представлен молодью.



Крупные (5–6 см) колючие амфиоподы из рода *Acanthogammarus* тоже могут совершать массовые миграции, в основном в ночное время.

иногда остаются в толще воды и в дневное время.

Какой же образ жизни ведут в светлое время суток те раки, которые ночью совершают свои загадочные польемы в пелагиаль? Многие из них днем прячутся под прибрежными камнями или зарываются в песок, насылают заросли водорослей (виды рода *Eulimnogammarus*, *Micriopus*, *Echiropus*, *Pallasea*). У большинства из них стройное тело, свидетельствующее об активной подвижности. Однако эпизодически всплывают ночью и широкотельные, вооруженные, прямоходящие и малоподвижные раки (такие, как *Brandtia latissima*, *B. armata*, похожие на маленьких неуклюжих динозавриков, казалось бы, вообще неспособных плавать) и даже симбионты байкальских губок *Brandtia parasitica*, которых днем буквально не оторвать от губок — так крепко они закрепляются на них коготками.

Таким образом, суточные миграции совершают раки большинства мелководных жизненных форм, однако их миграционная активность существенно различается. Всплывают в пелагиаль далеко не все из них. Различается состав преобладающих видов мигрантов и в разных районах Байкала, даже в случае наличия одного и того же грунта (камни, песок и т.д.).

Определенно ясно, что сигналом к началу миграций и их окончанию служит уровень освещенности. Животные избегают яркого дневного света. Проведенный эксперимент, когда в гигантском аквариуме высотой 2 м содержали байкальских амфиопид *Eulimnogammarus vittatus*, показал, что свойственные ракам в природе фотoperиодическая реакция сохраняется и в лабораторных условиях: днем они прятались в укромных местах опытной установки, а с наступлением темноты часть их начинала активно плавать по всей водной толще аквариума. Яркий свет может быть вреден для животных опосредованно (например, вы-

зывая нарушения в синтезе гормонов) или прямо. Так, ультраструктурное исследование глаз байкальского макрогектопуса позволило выявить их высокую светоулавливающую способность и предположить, что дневной свет вреден для зрительных органов раков. Это хорошо объясняет результаты наблюдений с искусственным изменением уровня освещенности, когда в ночное время при включении яркого света приповерхностные скопления макрогектопуса быстро отходили вглубь примерно на 20 м.

Парадоксально: искусственный свет умеренной интенсивности не отпугивает, а, напротив, привлекает роящихся в темноте раков. В течение нескольких лет в разных районах озера мы проводим подводные видеонаблюдения за ночной миграционной активностью бокоплавов. Они проводятся в двух режимах: с использованием галогеновых светильников, прикрепленных к боксу с камерой, и без искусственного освещения, с применением ночного инфракрасного видения. Хотя миграционная активность наблюдается при обоих режимах, однако в темноте численность мигрантов в поле зрения видеокамеры обычно, минимум на порядок, ниже, чем при искусственном освещении. К тому же они возникали в большом количестве перед светильниками не сразу, а через некоторое время; при резком повороте камеры в другую, ранее не освещавшуюся сторону численность плавающих раков временно снижалась примерно в 10–13 раз, пока они вновь не возвращались в освещенное пространство.

Однако свет, хотя и регулирует миграционное поведение раков, не является единственной причиной ихочных путешествий. В ходе наших исследований разрабатывались три возможных объяснения природы СВМ, которые получили условные названия: защитно-пищевая гипотеза, репродуктивная и температурная.

## Защитно-пищевая гипотеза

Согласно этой гипотезе, раки ночью поднимаются вверх для активного питания, когда они малозаметны для хищников. Днем же, избегая хищников, планктонные виды уходят в более глубокие слои воды, а донные ищут убежища на дне.

Для проверки этой гипотезы нами был исследован состав пищевого комка у 15 видов и подвидов амфиопид, пойманных в ночное время в толще воды. Также изучен состав пищи у 40 видов, представители которых ночью остались на дне и были собраны дночерпателем в ту же самую ночь и в тех же пунктах, где производился лов мигрирующих амфион плактонной сеть.

Оказалось, у подавляющего большинства особей разных видов, оставшихся ночью на дне, а также уоловленных на дне в дневное время, желудки и кишечники были в разной степени наполнены самой разнообразной пищей: растительные остатки (детрит), донные и планктонные диатомовые водоросли, нитчатые водоросли, кусочки донных кустистых водорослей-драпарнальдий, отстаки низших и высших ракообразных, малоштиковых червей, коловраток.

В то же время у большинства особей из миграционного комплекса кишечники были пустые, реже — с небольшим количеством пищи, несомненно съеденной на дне перед всплытием: комочки детрита, отдельные перифитонные (обрастающие лежащие на дне предметы) диатомовые водоросли, обрывки нитчатых зеленых водорослей, остатки ракообразных. Иногда встречались обломки створок планктонной диатомовой водоросли *Aulacoseira baicalensis*. Но нужно иметь в виду, что цепочки клеток этой водоросли, имеющей тяжелые кремниевые створки, после окончания вегетации неизбежно опускаются на дно.

Помимо состава пищи, доказательством планктонного питания могло бы послужить строение ротовых органов гнатоподов (хватательных ножек) ракообразных. А именно — должен иметься хорошо развитый фильтровальный аппарат. Однако особенности строения этих органов у бентосных амфиопод Байкала, по-видимому, исключают возможность их питания в толще воды. Несмотря на разный образ жизни вневремя суток,очные мигранты обладают рядом сходных черт: умеренно (не сильно) опущенные гнатоподы у них хорошо развиты и предназначены для цепления, ротовые органы устроены однотипно, челюсти приспособлены для разгрызания пищи, но не фильтрации. Все они всеядны, и это подтверждено при вскрытиях желудков. Для поедания пищи им необходимо находиться на каком-либо субстрате.

Напротив, пелагический вид *M. branickii* прекрасно приспособлен к обитанию и питанию в толще воды. Ротовые органы и гнатоподы макротектопуса густо усажены щетинками, которые вместе образуют ловчую сеть, подобную таковой у байкальской эпишуры, давно известной как классический фильтратор. Особенно сильно видоизменены челюсти *M. branickii*. Их жевательная часть выглядит слабой по сравнению с неизменно развитым щупиком, участвующим в фильтровании. Ротовых органов такого типа не имеется больше ни у одного из байкальских амфиопод. Зато их можно обнаружить у многих морских пелагических ракообразных, активно отфильтровывающих пищу, например у знаменитого антарктического криля.

Остается признать, что СВМ донных амфиопод Байкала с их питанием никак не связаны.

Задачная роль этих миграций также очень сомнительна, так как наблюдения разных авторов и подводные видеосъемки свидетельствуют об активизации питания бентосных рыб-подкаменщиков (основу

пищи которых составляют амфиоподы) именно в ночное время. С другой стороны, вне Байкала СВМ амфиопод отмечены и в таких водоемах, в которых вообще отсутствуют потребляющие их хищники, в том числе в горных озерах.

## Репродуктивная гипотеза

У некоторых морских бентосных амфиопод суточные вертикальные миграции связаны со спариванием в толще воды. При этом может наблюдаться половой диморфизм в миграционном поведении, как, например, у обитающей в дневное время в трубках амфиоподы *Ampelisca abdita*: самцы у нее совершают СВМ каждую ночь, а самки — только после линьки, когда они способны к копуляции.

Однако для амфиопод Байкала репродуктивная гипотеза также не находит подтверждения: у большинства видов суточные миграции не связаны с размножением и спариванием. Нами был проведен анализ половозрастной структуры ночных миграционных скоплений нескольких массовых видов амфиопод из разных районов Байкала. Оказалось, что у них в летнее время в толще воды мигрирует большей частью молодь и младшие возрастные группы. К примеру, у одного из наиболее активно мигрирующих видов — *Eulimnogammarus suaneus* — в миграционном комплексе молодые ракчи, вообще не имеющие еще признаков пола и, разумеется, неспособные к спариванию, составляли до 99%. Правда, единично встречались также самцы и самки, но опять же среди последних имелись всплывшие в толще вод неполовозрелые особи и, напротив, уже закончившие размножение. Исключение составлял лишь *Micriuropus vortex vortex*, у которого мигрировали в основном половозрелые особи. Впрочем, у этого вида (как и у ряда других) вертикальные

миграции наблюдаются не только в период размножения, но и в остальное время года.

## Температурная гипотеза

Мы предположили, что главным фактором, определяющим существование суточных вертикальных миграций донных амфиопод, является температура, точнее — неоднородность температурного поля. Имеется в виду разница сумм тепла (градусней) в приповерхностных и более глубоких слоях воды. Амфиоподы, будучи холоднокровными животными, нуждаются в наборе определенной суммы градусней для роста, достижения половозрелости и эмбрионального развития. При более высоких температурах воды (в пределах температурных границ существования вида) эти процессы происходят быстрее, чем при более низких. Так, установлено, что для эмбрионального развития яиц толстоарктического вида *Gammarus lacustris* необходимы 360 градусней, а для яиц байкальского вида *Gmelinoides fasciatus* (одного из активных ночных мигрантов) — 220. По-видимому, байкальские виды, живя в условиях холодноводного озера, приспособились к нему, снижая жизненно необходимую сумму тепла. Но это возможно до определенного предела. Не наберешь нужную сумму температур — не созреют половые продукты к началу периода размножения, который у мелководных видов определяется, скорее всего, продолжительностью светового дня. Ракчи невольно вынуждены «искать, где тепло».

Как показывают расчеты, сделанные нами на основании многолетних данных о среднемесячных температурах верхних слоев байкальской воды, за год разница в суммах тепла между глубинами 0 и 25 м составляет 226 градусней. Только за один август можно получить «выгоду» в 139 градусней, переместив-



**Массовый прибрежный вид байкальских амфиопод *Eulimnogammarus verrucosus* всплывает в водную толщу в основном в штормовые ночи.**



**Специализированные стервятники — виды рода *Ommatogammarus*, пытающиеся падалью, поднимаются в водную толщу, активно выискивая свои пищевые объекты по запаху.**

шились с глубины 25 м к поверхности. Учитывая, что донные амфиоподы, совершающие вертикальные миграции, в летнее время проводят в толще воды около 6 часов в сутки, эту цифру надо разделить на 4. Но даже 35 дополнительных градусодней за месяц очень существенны для холоднокровных животных. В целом за четыре самых теплых месяца расчетная «выгода» составит около 70 градусодней. Конечно, перемещение из более холодных слоев воды в более теплые совершается не мгновенно, и поэтому теоретические расчеты «температурной выгоды» несколько завышены, но тем не менее она остается существенной.

В этой связи примечательно следующее. Во-первых, в составе миграционного комплекса преобладают, как правило, молодые особи тех видов, у которых наблюдается четкая сезонная приуроченность размножения: либо к летнему периоду

(*Eulimnogammarus cyanus*, *Micruropus wohlii*, *Pallasea cancelloides* и др.), либо к зимне-весеннему (*Echiuropus smaragdinus*). В то же время у видов, у которых период размножения значительно拉伸 (например, у *Eulimnogammarus vittatus*, *E. maritimi*), в пелагии встречаются лишь единичные особи, и то нерегулярно.

Во-вторых, миграционная активность амфиопод ослаблена или вообще не проявляется в тех районах Байкала, вода в которых летом значительно прогревается до дна. Это мелководные заливы и бухты, пристенные участки крупных рек (Селенга, Баргузин). Годовая сумма градусодней в этих участках значительно выше, чем в открытом Байкале — в 2 раза и более. В таких районах у амфиопод нет необходимости совершать миграции. Сумма тепла там достаточна для их развития.

Нет такой необходимости и для видов, обитающих на глубинах свы-

ше 250–300 м. Там отсутствуют сезонные изменения температуры, а также солнечный свет, который поэтому не может оказывать влияния на процессы размножения. Потому у большинства глубоководных видов сроки размножения сильно拉伸, многие виды размножаются краткий год. Глубинные виды тоже могут подниматься в придонные слои воды, но по иным причинам. Например, такие миграции способны совершать бентопелагические стервятники (трупоеды) в поисках пищи.

Однако с этой точки зрения суточные миграции мелководных видов не имеют смысла в холодный сезон года, когда самые низкие температуры регистрируются подо льдом. Тем не менее зимой они не прекращаются совсем, хотя их интенсивность снижается. Почему? На наш взгляд, это можно объяснить тем, что регулярное увеличение двига-

тельной активности ускоряет процессы обмена веществ в организме и потому является необходимым условием для нормального развития и полового созревания животных в условиях холодноводного водоема — еще одно подтверждение девиза «Движение — это жизнь».

А как быть с пелагическим макротектопусом? Долгое время считалось, что его суточные вертикальные миграции имеют исключительно щитино-пищевую природу. Однако ряд данных подтверждает, что для миграционного поведения *Macrohectopus branickii* температурный фактор так же важен, как и для бентосных амфиопод. Отмечено, что в местах массовых скоплений *M. branickii* в Баргузинском заливе температура воды была на 1–3 °C выше, чем в соседних районах. 29 сентября 2001 г. в Малом Море напротив бухты Песчанка над глубинами от 100 до 40 м со стороны острова Ольхон прямо у поверхности воды нами было отмечено массовое скопление крупных особей макро-

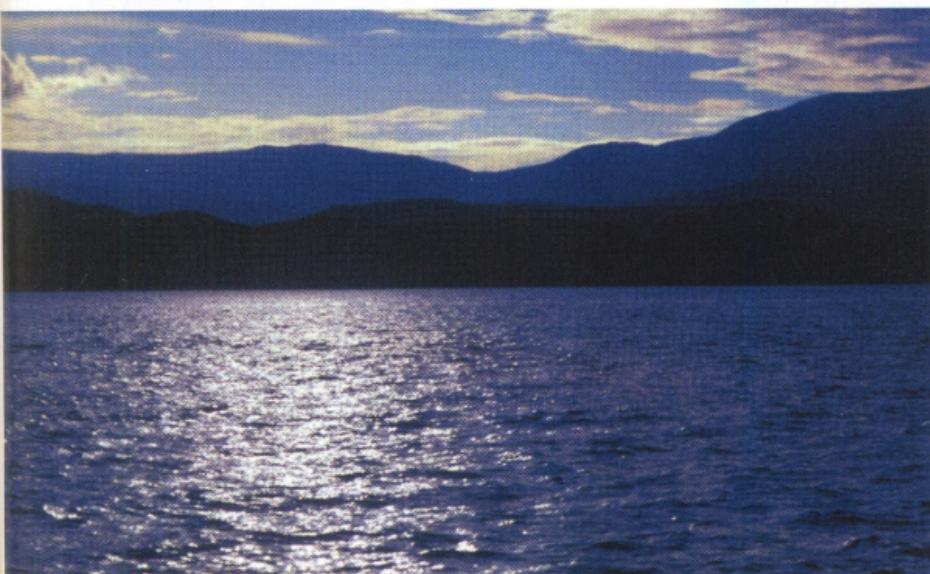
тектопуса. Время было дневное (между 16 и 17 часами), погода — ясная, солнечная, без волнения; температура приповерхностного слоя воды составляла 10,3 °C. В улове, сделанном сачком с поверхности воды, оказалась 281 особь *M. branickii*, все без исключения самки. Из них 15 были яйценосными, у 20 просвечивали гонады с готовыми к откладке яйцами, большинство же особей являлись половозрелыми, но еще не приступившими к размножению. Самок, уже отмечавших молодь, в улове не оказалось.

Это можно было бы расценить как случайность, артефакт; в литературе присутствие скоплений макротектопуса у поверхности воды в дневное время ранее не отмечалось. Однако недавно выяснилось, что подобные массовые дневные всплытия этих раков происходят на Байкале регулярно. Учитывая, что поднятие скопления в описанном нами случае не могло произойти пассивным путем в результате ветрового сноса поверхностных вод (пого-

да была штилевой), мы считаем, что макротектопус активно мигрировал днем в теплые верхние слои, чтобы быстрее набрать необходимую сумму температур.

Итак, суточные вертикальные миграции амфиопод в любом случае представляют интересную проблему не только для познания экологии Байкала, но и в целом для гидробиологии. Их, скорее всего, невозможно объяснить какой-либо единственной причиной. Проведенные исследования показали, что они не обусловлены пищедобывающим поведением, а для большинства видов также не связаны с поиском полового партнера.

На наш взгляд, основным фактором является температурный. Биологический смысл совершаемых миграций в том, чтобы набрать сумму тепла, необходимую для развития в условиях холодноводного водоема. Однако для проверки этой гипотезы необходимы дальнейшие исследования, как полевые, так и экспериментальные.



Конец ознакомительного фрагмента

Уважаемый читатель!

Размещение полного текста данного  
произведения невозможно в связи с ограничениями  
по IV части ГР РФ.

Эту книгу Вы можете почитать в Оренбургской  
областной универсальной научной библиотеке  
им. Н. К. Крупской по адресу: г. Оренбург,  
ул. Советская. 20; тел. для справок: (3532) 60-61-30