

УДК 574.5 + 574.6

## О СООТНОШЕНИИ ОКСИФИЛЬНОСТИ И ХОЛОДОЛЮБИВОСТИ ЭНДЕМИЧНЫХ И ОБЩЕСИБИРСКИХ ГИДРОБИОНТОВ

© 2007 Д.И. Стом<sup>1</sup>, А.А. Ключевская<sup>1</sup>, А.Д. Стом<sup>2</sup>, А.Э. Балаян<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Иркутский государственный университет,

<sup>2</sup> НИИ Биологии при Иркутском государственном университете, г. Иркутск

Проанализированы экологические особенности нескольких групп беспозвоночных животных водоемов Байкала и Прибайкалья. Показано, что по отношению к некоторым стрессирующим агентам гидробионты населяющие прибайкальские водоемы и водотоки менее устойчивы, чем представители байкальской фауны. Ставятся под сомнение некоторые из гипотез выдвинутых для объяснения процесса «несмешиваемости» байкальских и общесибирских видов гидробионтов.

Многокомпонентность сточных вод затрудняет их анализ. Кроме того, несмотря на всю ценность традиционных методов химического и физико-химического анализа они не позволяют интегрально оценивать качество вод как среды обитания для организмов. Поэтому в последние годы большое внимание уделяется биологическому тестированию, т.е. определению состояния вод по их влиянию на гидробионтов [1]. Более того, некоторые методы биотестирования применяются при проведении государственного экотоксикологического контроля. Но все это касается биологических методов анализа, в которых используются индикаторные тест-организмы. Значительно меньше прогресс затронул использование в токсикометрии представительных тест-организмов, то есть тех гидробионтов, которые по своим физиологическим и биологическим свойствам близки или прямо представляют ту группу организмов, которую следует охранять в первую очередь. Сказанное справедливо и по отношению к байкальским представительным тест-организмам. Некоторые аспекты, связанные с этой проблемой, рассматриваются в данном сообщении.

Широко распространены представления, согласно которым в основе обособленности байкальских эндемиков от общесибирских видов лежит более узкая по сравнению с палеарктиками экологическая валентность и большая «холодолюбивость» коренных обитателей оз. Байкал. При этом в предотвращении внедрения в Байкал общесибирских ви-

дов большинство исследователей определяющим считает пониженную температуры воды озера [2, 3].

Анализ полученных нами экспериментальных материалов показал некоторую упрощенность подобных представлений. Относительность «холодолюбивости» байкальских эндемичных гидробионтов по отношению к общесибирским видам выявляется при анализе экологических характеристик коренных и общесибирских видов ручейников, планарий и амфипод. С одной стороны, эндемичные байкальские гидробионты (например: Amphipoda, Trichoptera, Turbellaria), населяющие большие глубины отличаются более высокой чувствительностью к действию токсиكانтов, недостатку кислорода, повышенной температуре, и проявляют преференцию к более низким температурам [4, 5]. Но вместе с тем по отношению к некоторым факторам у организмов, населяющих верхнюю литораль озера устойчивость выше, чем у близких к ним видов, живущих в реках и ручьях, впадающих в Байкал. Последнее, по-видимому, связано с тем, что в этих реках более стабильный температурный режим. При этом колебания ряда экологических факторов, в частности температуры, уровня трофности, содержания кислорода и биогенных элементов, выражены слабее, чем в верхней литорали озера [6]. Проиллюстрируем сказанное на примере результатов опытов с амфиподами выполненными нами совместно с М.А. Тимофеевым и другими сотрудниками. *Eulimnogammarus*

*vitatus* (Dyb.), *E. verrucosus* (Gerstf.), *E. marituji* Baz., *E. cyaneus* (Dyb.), *Gmelinoides fasciatus* (Dyb.), *Brandtia parasitica* (Dyb.) относятся к литоральным видам. При этом *G. fasciatus* и *E. cyaneus* обитают в верхней литоральной зоне Байкала, а другие из названных видов гаммарид предпочитают несколько большие глубины. *Ommatogammarus flavus* (Dyb.) и *O. albinus* (Dyb.) могут быть отнесены к глубоководным видам амфипод, они чаще всего встречаются в диапазоне глубин от 100 до 600 м. *Gammarus lacustris* Sars - типичный представитель голарктических бокоплавов. Он заселил многие относительно прогреваемые мелководные водоемы бассейна озера Байкал, но в самом открытом Байкале практически не встречается [7].

Устойчивость к солям  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{HgCl}_2$  и  $\text{CdCl}_2$  у глубоководных *O. flavus* и *O. albinus*, была почти на порядок ниже, чем у *G. fasciatus* и *G. lacustris*. Представители этих глубоководных амфипод отличались и повышенной чувствительностью к гипоксии [8]. Но что особенно интересно в плане обсуждаемых нами вопросов, токсикорезистентность *G. lacustris* к  $\text{CuSO}_4$  и  $\text{CdCl}_2$  была ниже, чем у *G. fasciatus*. В частности, для последнего LC50 при суточной экспозиции по отношению к  $\text{CuSO}_4$  равнялась  $6 \cdot 10^{-6}$  моль/л<sup>-1</sup>, к  $\text{CdCl}_2$  -  $5,5 \cdot 10^{-5}$  моль/л<sup>-1</sup>, а для *G. lacustris* эти концентрации составляли соответственно,  $1,5 \cdot 10^{-6}$  моль/л<sup>-1</sup> и  $4,5 \cdot 10^{-5}$  моль/л<sup>-1</sup> [9].

Эксперименты показали, что резистентность бокоплавов к гипертермии падает в ряду: *G. fasciatus* = *G. lacustris* > *E. cyaneus* > *E. vittatus* > *B. parasitica* = *E. marituji* = *E. verrucosus* > *O. albinus* = *O. flavus* [10, 11]. Различия в термоустойчивости амфипод заселяющих разные биотопы хорошо деонстрируют следующие цифры. При температуре 25°C уже через 30 мин почти все рачки вида *O. flavus* и *O. albinus* погибали. С другой стороны, даже спустя 10 час. при этих же температурных условиях оставалось живыми до 90% *E. cyaneus*, *G. fasciatus*, *G. lacustris*. Промежуточные значения критических температур выявили у *E. verrucosus*, *E. vittatus*, *E. marituji*. Пятьдесят процентов экземпляров эндемичного рачка *E. verrucosus* отмирала в

течении 1,8 час. Подчеркнем, что кривые гибели *G. fasciatus* и *G. lacustris* при 25°C практически не отличались. При определении термопреферендума более глубоководные амфиподы выбирали соответственно более низкие температурные зоны в отличие от литоральных. *O. flavus* и *O. albinus* в большей степени скапливались в диапазоне температур 3-4°C. Максимальный процент распределения *E. verrucosus*, *E. vittatus* находился в зоне температур 5-6°C. Для *E. cyaneus* оптимальными оказались 9-10°C. *G. lacustris* скапливался в большей степени в воде с температурой 15-16°C, а *G. fasciatus* на участках установки с температурой 17-18°C. Еще раз подчеркнем, что *G. fasciatus* населяет верхнюю литоральную зону Байкала. Этот рачок широко распространился за пределы озера. Он обладает наиболее широкой экологической валентностью по сравнению с другими эндемичными видами амфипод. В экспериментах *G. fasciatus* выбирал не только наиболее высокие температуры, но и отличался повышенной терморезистентностью, устойчивостью к гипоксии и к солям тяжелых металлов. Здесь в плане развиваемых представлений важно подчеркнуть, что значения термопреферендума эндемика *G. fasciatus* хоть и незначительно, но все же были выше чем, у голоарктика *G. lacustris*.

Зависимости скоростей движения у личинок ручейников от температуры чаще всего описывались кривыми, восходящими до определенной точки, на которую приходился максимум активности. После данной точки кривые начинали приближаться к оси абсцисс. В этих опытах резкое повышение скоростей движения ларв, равно как и полная потеря активности при росте температуры, служили индикаторами нарушения их нормального физиологического состояния. Для эндемиков *Protobaicalina spinosa* Mart. и *Baicalina bellicosa* Mart. температура в 15°C была пределом. При дальнейшем личинки ручейников начинали терять способность к перемещению, вплоть до полного ее подавления к 30°C. При этом личинки ручейников *P. spinosa* были неподвижны при температурах: 5, 20, 25 и 30°C и активно перемещались

только в диапазоне 10<sup>0</sup>С и 15<sup>0</sup>С. Ларвы *B. bellicosa* передвигались при 5-25<sup>0</sup>С, пик скоростей приходился на 15<sup>0</sup>С. До этого пика скорость движения росла, а после - равномерно падала. Для ларв эндемичного вида *Baicalina thamastoides* Mart., которые обитают на меньших глубинах по сравнению с другими эндемиками, максимум скорости приходился на 20<sup>0</sup>С. Неэндемики *H. nigrovittatus* и *Mystrophora altaica* Mart. оказались менее чувствительными к повышенным температурам. Максимум их скоростей приходился на 20-25<sup>0</sup>С. Здесь отметим, что перемещения *H. nigrovittatus* начинались при температуре замерзания воды. Интенсивность движения плавно увеличивалась от 10<sup>0</sup>С до 25<sup>0</sup>С с 0,3 до 0,8 мм/сек. В диапазоне 25-30<sup>0</sup>С наступало рассеивание личинок по установке и их последующая гибель. Скорость перемещения личинок ручейников *H. nigrovittatus* была выше, чем скорость других ларв, эндемичных и неэндемичных видов, и при 25<sup>0</sup>С достигала 1,2 мм/сек.

Личинки *M. altaica* начинали активные перемещения при температуре около 2,5<sup>0</sup>С. Правда, при этом скорости их движения были невысокими - около ≈ 0,3 мм/сек. Личинки ручейников *M. altaica* наращивали скорость перемещения от 10 до 25<sup>0</sup>С от значений с 0,2 до 0,45 мм/сек. Далее они начинали беспорядочно двигаться по установке, не реагировали на свет и погибали. По степени повышения устойчивости к температуре, все исследованные виды личинок ручейников располагали в следующем порядке: *P. spinosa* < *B. bellicosa* < *B. thamastoides* < *M. altaica* < *H. nigrovittatus*.

Из приведенного ряда следует, что *B. thamastoides* по экологическим характеристикам ближе, чем другие эндемичные личинки Trichoptera, к ларвам неэндемиков. По резистентности к гипоксии изученные виды личинок формировали следующий ряд (в порядке возрастания): *M. altaica* < *P. spinosa* < *B. bellicosa* < *B. thamastoides* < *Oligoplectrodes potanini* Mart. < *H. nigrovittatus*.

Из испытанных личинок неэндемичные виды *O. potanini* и *H. nigrovittatus* отличались наименьшими уровнями критического содержания кислорода - 0,3 мг/дм<sup>3</sup> и 0,2 мг/дм<sup>3</sup> (со-

ответственно, за критический уровень принимали концентрацию кислорода при которой наблюдали 100% гибель всех особей). Из эндемичных личинок ручейников *B. thamastoides* показали наибольшую устойчивость к гипоксии - критический уровень кислорода - 0,9 мг/дм<sup>3</sup>. Меньшие уровни насыщения кислородом воды отмечали для *B. bellicosa* - 2,2 мг/дм<sup>3</sup>, *P. spinosa* - 2,7 мг/дм<sup>3</sup>. Среди всех изученных ларв самыми чувствительными к недостатку кислорода проявили себя личинки неэндемичных ручейников *M. altaica*. Их гибель наступала при концентрации кислорода 2,9 мг/дм<sup>3</sup>. Повышенные требования *M. altaica* к содержанию кислорода, по-видимому, связаны с условиями их обитания [5].

Высокая чувствительность личинок *M. altaica*, по сравнению с эндемичными видами, к недостатку кислорода на первый взгляд в противоречит с общепринятыми представлениями о том, что байкальские обитатели отличаются большей, чем другие виды оксифильностью [13].

Планарии показывали довольно хорошо выраженный термопреферендум. Общесибирская *Phagocata sibirica* (Zabusov) выбирала диапазоны температур 0-5<sup>0</sup>С. При этих температурах они имели максимальную скорость передвижения (2,7 мм/сек). При увеличении температуры, скорость передвижения планарии постепенно снижалась и достигала самых низких значений - 0,2 мм/сек, при 30<sup>0</sup>С. Байкальская литоральная *Baicalobia guttata* (Gerstfeldt) в условиях эксперимента в основном концентрировалась в зоне более высоких температур - 0-10<sup>0</sup>С и показывала минимальную скорость передвижения при низких температурах (5<sup>0</sup>С) - 0,7 мм/сек. При повышении температуры скорости перемещения после достигали пика при 25<sup>0</sup>С - 1,9 мм/сек. Отличия, по-видимому, связаны с тем, что большая часть *B. guttata* обитает в верхней литоральной зоне Байкала, где летом происходит большее прогревание воды. Другой байкальский эндемичный вид *Armilla livanovi* (Sabussow) предпочитает большие, чем *B. guttata* глубины (3-35 м), где колебания температуры выражены слабее и

среднегодовые величины несколько ниже, чем в самой верхней литорали, выбирал более низкие значения температур 2-4°C. Рассмотрение величин термопреференции и температурного оптимума двигательной активности изученных планарий позволило их расположить в следующий ряд (в порядке возрастания) *Ph. sibirica* (0-5°C) < *A. livanovi* (2-4°C) < *B. guttata* (0-10°C). Следовательно, видам турбеллярий с более высокими значениями термопреференции соответствовали и большие значения температурного оптимума двигательной активности. Самые низкие величины термопреференции и температурного оптимума скоростей передвижения установили у *Ph. sibirica*. Следовательно, термопреферендум и температурные оптимумы скоростей передвижения испытанных видов планарий, соответствуют показателям температур зон их обитания. При этом эндемичная планария *A. livanovi* предпочитающая большие (до 40 м) глубины [14], показывала более низкие значения термопреферендума и температурного оптимума скоростей передвижения, чем эндемик *B. guttata*, обитающий в верхней литоральной зоне Байкала. Неэндемик *Ph. sibirica*, населяющий прибрежные горные реки с высокими скоростями и относительно стабильным низким температурным режимом, где, даже летом, температура очень слабо поднимается, обнаруживал еще более низкие значения предпочитаемых температур и температурного оптимума скоростей передвижения. Наибольшие значения скоростей передвижения *Ph. sibirica* по сравнению с литоральными *B. guttata* и *A. livanovi*, по-видимому связаны с условиями обитания этого вида в быстрых реках, где важна способность противостоять сильному течению.

Токсикометрия выявила, что максимальные концентрации пирокатехина, гидрохинона,  $\text{CuSO}_4$  и ТВИН-40 не вызывавшие гибели планарий *Ph. sibirica* и *B. guttata* в течение 24 часов оказались довольно близки. В опытах по оценке гидропреференции все виды исследуемых нами турбеллярий не проявили ни реакции избегания, ни реакции предпочтения байкальской воды по отноше-

нию к воде из рек, впадающих в Байкал, и мелких озерков.

Литоральная байкальская планария *B. guttata* распространена не только в литорали Байкала, но и в Ангаре и Енисее [14]. Она также обладает широкой экологической валентностью; в условиях эксперимента выбирала достаточно высокие температуры и была устойчива к действию гипертермии.

Приведенные выше материалы свидетельствуют о схожести требований к экологическим факторам у отдельных близких видов байкальских эндемиков и общесибирских гидробионтов. В частности, по некоторым показателям (терморезистентности, устойчивости к гипоксии, токсикорезистентности) *G. fasciatus* весьма схожи с голоарктическим *G. lacustris*, а байкальская эндемичная планария *B. guttata* (по токсикорезистентности, устойчивости к гипертермии, отсутствию реакции гидропреференции) к общесибирской *Ph. sibirica*. Личинки эндемичных ручейников *B. thamastoides* показывают аналогичное отношение к некоторым факторам: терморезистентность, устойчивость к гипоксии, в частности с неэндемичными видами *O. potanini* и *H. nigrovittatus*. То есть, для этих видов требуются сходные экологические условия. Следовательно, есть основание предположить, что причинами ограничивающими внедрение в озеро космополитов и расселении эндемиков за пределы Байкала могут быть не только различия в экологических особенностях, но и их близость существенно усиливающая конкуренцию между ними.

Таким образом, отдельные общесибирские виды беспозвоночных по некоторым параметрам более «холодолобивы» и оксифильны, чем байкальские эндемики населяющие верхнюю литораль. Поэтому их «несмешиваемость» не может быть объяснена только пониженными температурами и повышенным содержанием кислорода. Важно также подчеркнуть, что не всегда токсикорезистентность байкальских гидробионтов ниже, чем у представителей беспозвоночных близких к ним групп.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абалаков А.Д., Стом Д.И., Примина С.П.* Концепция экологического мониторинга Ковыктинского газового комплекса. Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 2006.
2. *Бекман М.Ю.* О возможности специфического влияния байкальской воды на организм // Докл. АН СССР. 1952. Т. 87, № 2.
3. *Кожов М.М.* Биология озера Байкал. М.: Наука, 1962.
4. *Тимофеев М.А.* Сравнительная оценка отношения байкальских гаммарид и голарктического *Gammarus lacustris* Sars к абиотическим факторам: Автореф. дис... канд. биол. наук. 2000.
5. *Стом А.Д.* О некоторых экологических особенностях байкальских беспозвоночных // Материалы докл. IX Всерос. науч.-практ. конф. «Безопасность-04». Иркутск, 2004.
6. *Шимараев М.Н.* Общая схема взаимодействия обменных процессов в Байкале // Водные ресурсы Байкальского региона: Проблемы формирования и использования на рубеже тысячелетий: Материалы науч.-практ. конф. 1998.
7. *Тахтеев В.В.* Фауна бокоплавов прибрежной зоны Байкала в районе Б. Котов: Метод. указания. Иркутск: ИГУ, 1993.
8. *Тимофеев М.А., Кириченко К.А., Рохин А.В.* К вопросу о существовании механизмов устойчивости к гипоксии у байкальских амфипод // Бюл. ВСНЦ СО РАМН. 2003. № 7.
9. *Тимофеев М.А., Стом Д.И., Храпцова Т.Г.* Исследование резистентности нескольких эндемичных байкальских амфипод и космополита *Gammarus lacustris* Sars к соединениям тяжелых металлов // Проблемы систематики, экологии и токсикологии беспозвоночных: Сб. статей. Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 2000.
10. *Timofeyev M.A., Shatilina J.M., Stom D.I.* Attitude to temperature factor of some endemic amphipods from Lake Baikal and Holarctic *Gammarus lacustris* Sars, 1863: A comparative experimental study *Arthropoda Selecta* 10 (2): 93-101.
11. *Камалтынов Р.М.* Амфиподы (Amphipoda: Gammaridea) // Аннотированный список фауны озера Байкал и его водосборного бассейна / Под ред. О.А. Тимошкина. Новосибирск: Наука, 2001. Т. 1: Озеро Байкал, кн. 1.
12. *Мазенова Г.Ф.* Об эндемичных и палеарктических элементах в фауне озера Байкал // Аннотированный список фауны озера Байкал и его водосборного бассейна / Под ред. О.А. Тимошкина. Новосибирск: Наука, 2004. Т. 1: Озеро Байкал, кн. 2.
13. *Лепнева С.Г.* Ручейники. М.; Л.: Наука, 1964. Т. II, вып. 1.
14. *Тимошкин О.А.* Ресничные черви (Plathelminthes: Turbellaria) // Аннотированный список фауны озера Байкал и его водосборного бассейна / Под ред. О.А. Тимошкина. Новосибирск: Наука, 2001. Т. 1: Озеро Байкал, кн. 1.

## ABOUT CORRELATION OF COLD-PREFERABILITY AND OXIPHILITY OF ENDEMIC AND SIBERIAN HYDROBIONTS

© 2007 D.I. Stom<sup>1</sup>, A.A. Kluchevskaya<sup>1</sup>, A.D. Stom<sup>2</sup>, A.E. Balayan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Irkutsk State University,

<sup>2</sup> Scientific-research Institute of Biology of Irkutsk State University, Irkutsk

Ecological features of several groups invertebrates animal reservoirs of Baikal and Siberian fauna are analysed. It is shown, that in relation to the some stressfully factors to agents hydrobionts occupying non-Baikalian reservoirs and water-currents are less steady, than representatives of the Baikal fauna. Some of hypotheses put forward for an explanation of process «immibility» Baikal and non-Baikalian kinds hydrobionts are put under doubt.