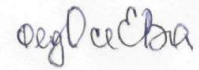


На правах рукописи



Федосеева Елена Васильевна

**СОПОСТАВЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ОКИСЛИТЕЛЬНО-
ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЙ СРЕДЫ НА ВЫЖИВАЕМОСТЬ
И ПОВЕДЕНЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ БАЙКАЛЬСКИХ АМФИПОД
И ГОЛАРКТИЧЕСКОГО *GAMMARUS LACUSTRIS***

03.00.18 - Гидробиология

03.00.16 – Экология

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата биологических наук

Москва-2010

Работа выполнена в Научно-исследовательском институте биологии Иркутского государственного университета и в лаборатории экотоксикологического анализа факультета почвоведения Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова

Научный руководитель: доктор биологических наук,
профессор, заслуженный работник ВШ
Стом Дэвард Иосифович

Научный консультант: доктор биологических наук
Терехова Вера Александровна

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, профессор
Садчиков Анатолий Павлович

кандидат биологических наук
Медянкина Мария Владимировна

Ведущая организация: Российский университет дружбы народов

Защита состоится 29 апреля 2010 года в 13.00 часов на заседании Диссертационного совета Д.501.001.55 при Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова по адресу: 119991, Москва, Ленинские горы, д.1., корп. 12, МГУ, Биологический факультет, аудитория 389

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Биологического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова

Автореферат разослан «29» марта 2010 года

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат биологических наук



Н.В. Карташева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы

Экосистема озера Байкал уникальна по разнообразию видов и степени их эндемизма (Аннотированный список..., 2001). Одной из самых многочисленных групп (более 272 видов и 76 подвидов), характеризующейся почти полным эндемизмом в оз. Байкал, являются амфиподы (Crustacea; Amphipoda) (Тахтеев, 2000; Камалтынов, 2001). Данная группа байкальских гидробионтов представляет собой наиболее показательную для изучения феномена «относительной несмешиваемости» байкальской и общесибирской фаун (Верещагин, 1935; Тимошкин, 2001). Представителем амфипод в общесибирской фауне является голарктический *Gammarus lacustris*, который отсутствует в открытом Байкале, но населяет заливы озера и расположенные по его берегам водоемы. Ранее было показано, что *G. lacustris* байкальской воде предпочитает воды малых водоемов (Стом, Тимофеев, 1999; Тимофеев, 2000). На протяжении многих десятилетий в рамках исследований экологии амфипод, проблемы «относительной несмешиваемости» изучали отношение байкальских амфипод и представителей общесибирской фауны к гипоксии (Базикалова, 1941; Кириченко, 2007), к токсикантам (Черепанов, 1981; Камалтынов, 1987), гидрохимическим факторам (Бекман, 1954), группе абиотических факторов, в том числе гуминовым веществам (Тимофеев, 2000; Шатилина, 2005). Однако комплексных исследований по сравнению реакций представителей байкальской и общесибирской фаунистических групп на физико-химические условия, определяющие редокс-состояние среды, ранее не проводилось.

Окислительно-восстановительное (О-В) состояние среды оказывает значительное влияние на жизнедеятельность организмов (Эрнестова, 1995; Ветрова, 2002; Vagramyan et al., 2000; Point et al., 2007, и др.). Его предложено классифицировать как окислительное, когда в воде присутствует свободный кислород, а в числе продуктов его активации регистрируется перекись водорода, и как восстановительное, когда вместо перекиси водорода в воде обнаруживаются вещества восстановительной природы, в частности, органические соединения (Никаноров, 1989; Штамм, 1985; Эрнестова, 1995; Khalid et al., 1978; Sivan et al., 1998; Hutchins et al., 2008, и др.). Байкал характеризуется низким уровнем содержания органических веществ (ОВ), высокой концентрацией растворенного кислорода, а также некоторыми другими факторами, которые способствуют образованию активных форм кислорода (Тарасова, 1975; Вотинцев, 1978; Добрынин и др., 1990; Эрнестова, 1995, и др.). Поэтому следовало ожидать, что для оз. Байкал характерен сдвиг в сторону окислительного редокс-состояния, и эндемичные байкальские гидробионты более приспособлены к окислительным условиям среды. При этом гидробионты, обитающие в сопредельных с Байкалом водоемах, более насыщенных ОВ и с меньшим содержанием кислорода, должны быть менее адаптированы к окислительным условиям среды. Предполагают, что на эволюционном становлении

биоты оз. Байкал сказались условия низкого содержания ОВ (Vehoff, 1994). Кроме этого, некоторыми исследователями выдвинута гипотеза о значительной роли в эволюции биоты оз. Байкал окислительного стресса (Konstantinov et al., 2002; Timofeyev et al., 2006 и др.).

В связи со сказанным представлялось актуальным исследовать и сопоставить влияние окислительно-восстановительного состояния среды на некоторые эндемичные байкальские виды амфипод и представителя общесибирской фауны - *G. lacustris*.

Цель работы: сравнительное исследование чувствительности амфипод, представляющих байкальскую и общесибирскую фауны, к окислительно-восстановительным условиям среды.

Основные задачи:

- 1) оценить чувствительность некоторых видов байкальских эндемичных амфипод (*Eulimnogammarus vittatus*, *E. cyaneus*, *E. verrucosus*, *Pallasea cancellus*, *Gmelinoides fasciatus*, *Ommatogammarus flavus*) и голарктического вида *G. lacustris* к окислительным и восстановительным условиям среды обитания, а также некоторым другим гидрохимическим факторам по показателю выживаемости и поведенческим реакциям;
- 2) сравнить влияние окисленных и восстановленных форм редокс-активных соединений на представителей байкальской (*E. vittatus*) и общесибирской (*G. lacustris*) фаун в присутствии гуминовых веществ и перекиси водорода;
- 3) проанализировать эффективность и информативность тест-реакций амфипод на присутствие токсикантов и О-В условия в модельных экспериментах с целью выработки практических рекомендаций для экотоксикологической оценки среды;
- 4) охарактеризовать основные гидрохимические параметры (содержание ОВ, перекиси водорода, кислорода), влияющие на О-В баланс, в исследуемых биотопах оз. Байкал и прилегающих водоемов.

Защищаемые положения

1. Чувствительность амфипод - представителей байкальской и общесибирской фаун - к окислительно-восстановительным условиям среды обитания, судя по критерию выживаемости и поведенческим реакциям, различается.
2. Байкальские виды амфипод (*E. vittatus*, *E. cyaneus*, *E. verrucosus*, *P. cancellus*) в целом обладают меньшей чувствительностью к окислительным условиям среды по сравнению с голарктом – *G. lacustris*, который демонстрирует меньшую по сравнению с изученными эндемичными видами амфипод чувствительность к восстановительным условиям среды.

Научная новизна

Впервые проведено комплексное изучение реакции ряда байкальских эндемичных амфипод и голарктического *G. lacustris* на условия окислительного стресса, на присутствие веществ восстановительной природы – препараты ГВ и аскорбиновую кислоту (АК), окисленные и восстановленные формы соединений, величину рН и некоторые ионы. Проведенные эксперименты и привлеченные литературные данные позволяют сделать заключение о том, что исследованные байкальские амфиподы более адаптированы к окислительным условиям, тогда как голарктический *G. lacustris* – к восстановительным. Выявлена взаимосвязь между реакцией байкальских амфипод на ГВ и H_2O_2 и удаленностью их распространения за пределами оз. Байкал. Обнаруженные закономерности и взаимосвязи, характеризующие экологические особенности исследованных видов амфипод, вносят определенный вклад для выяснения причин сложившегося пространственно распределения байкальской и общесибирской фаунистических групп амфипод.

Практическое значение: Разработана методика экспресс-оценки токсичности воды и физиологического состояния бокоплавов на основе двигательной активности амфипод, инициированной действием света. Результаты экспериментов по изучению токсикорезистентности и реакций амфипод на гидрохимические факторы могут быть полезны для прогнозирования устойчивости байкальских видов к изменяющимся условиям окружающей среды, при разработке программ экологического мониторинга водоемов Байкальского региона.

В ходе гидрохимического анализа уровня и качественного состава ОВ в изучаемом районе оз. Байкал и прилегающих к нему водоемах определены численные значения $C_{орг}$, C/N и интенсивности флуоресценции, которые могут быть использованы для построения калибровочной кривой при дальнейшей оценке содержания органического углерода и отношения C/N в байкальской и ангарской воде по высокоточным показателям интенсивности флуоресценции. При этом возможно измерение на флуориметрах любых марок, поскольку интенсивность флуоресценции нормирована на интенсивность сигнала комбинационного рассеяния света в воде.

На основе существенного повышения токсичности гидрохинона при биохимическом окислении микромицетами в пара-бензохинон и последующего его превращения в инертные продукты, предложены принципы получения высокоэкологичных не приводящих к накоплению токсичности в среде препаратов бактерицидного и альгицидного действия. Результаты исследований используются при чтении курсов лекций “Прикладная экология”; “Экотоксикология”; “Рациональное природопользование” на биолого-почвенном факультете ИГУ и проведении учебных практик студентов ИГУ и МГУ им. М.В. Ломоносова. Работа выполнена частично при поддержке грантов: Роснауки ФЦП (ГК №02.740.11.0018 от 15.06.2009 г. и ГК №02.740.11.0335 от 07.07.2009 г.), а также РФФИ № 02-04-49976, №

04-04-48945 ,08-04-98057-Сибирь_а. Материалы диссертации были использованы при подготовке отчетов по этим проектам.

Апробация работы

Материалы диссертации докладывались на 4-ой Верещагинской Байкальской конференции (Иркутск, 2005); на Международной конференции «Водные экосистемы, организмы, инновации» (Москва, 2006, 2007, 2008); на 6-ой ежегодной молодежной конференции ИБХФ РАН-ВУЗЫ «Биохимическая физика» (Москва, 2006); на 27-ом Симпозиуме «Geoinformation in Europe» (Bozen, Italy, 2007); Научно-практическом семинаре «Достижения современной биотехнологии в решении эколого-биотехнологических проблем» (Иркутск, 2007), IV Всероссийской научной конференции «Гуминовые вещества в биосфере», посвященной памяти Д.С. Орлова (Москва, 2007), XVII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии (Москва, 2007 г.), XIV Международной конференции «International Humic Substances Society» (Москва – Санкт-Петербург, 2008 г.), Объединенной III Всероссийской конференции по водной токсикологии, посвященной памяти Б.А. Флерова (Ярославская обл., п. Борок, 2008 г.), 17-ой международной конференции «Environmental Bioindicators» (Москва, МГУ, 2009 г.), заседаниях лаборатории водной токсикологии НИИ биологии ИГУ, лаборатории экотоксикологического анализа факультета почвоведения МГУ, кафедры гидробиологии биологического факультета МГУ (2010) и других.

Публикации

По теме диссертации опубликовано 16 работ, из них в журналах рекомендованных ВАК – 3.

Объем и структура диссертации

Диссертация изложена на 170 страницах и состоит из введения, 5 теоретических и экспериментальных глав, выводов, списка литературы. Работа иллюстрирована 44 рисунками, 18 таблицами и содержит 19 приложений. Список использованной литературы включает 244 работы (136 отечественных и 106 зарубежных источников).

Глава 1. Обзор литературы

Отражены исследования по анализу причин «относительной несмешиваемости» байкальской и общесибирской фаун. Приводятся литературные данные об О-В состоянии среды, его значении и методах его оценки, вкладе в становление редокс-состояния среды перекиси водорода и ОВ. Рассматриваются методы исследования и измерения перекиси водорода и ОВ в воде. Охарактеризованы пути поступления и деградации в водной среде ОВ и H₂O₂, изложены различные аспекты влияния этих веществ на гидробионтов.

Глава 2. Объекты и методы исследования

Объекты

Основой для написания диссертации послужили материалы, собранные в течение 2004 – 2009 гг. Основная часть экспериментальной работы выполнялась на базе Байкальской биологической станции НИИ Биологии ИГУ в пос. Большие Коты (Южный Байкал) и в лаборатории экотоксикологического анализа почв факультета почвоведения МГУ.

В качестве объектов исследования были выбраны голарктический вид амфипод *Gammarus lacustris* (Sars, 1963), байкальские – *Eulimnogammarus vittatus* (Dyb., 1874), *E. cyaneus* (Dyb., 1974), *E. verrucosus* (Gerstf., 1858), *Pallasea cancellus* (Pallas, 1772), *Gmelinoides fasciatus* (Stebb., 1899), *Ommatogammarus flavus* (Dyb., 1874). Исследованные байкальские виды, за исключением *O. flavus*, распространились за пределами оз. Байкал, поэтому некоторые авторы их относят к субэндемикам (Тимошкин, 2001). Видовую идентификацию проводили по ключам В.В. Тахтеева (1993). Байкальских литоральных амфипод отлавливали гидробиологическими сачками и с помощью водолазов с глубины 0,5-3 м; глубоководных эндемиков – с помощью специально оборудованных ловушек с глубины 100-150 м. Голарктических рачков ловили в озере, расположенном вблизи впади Б. Коты в 2-3 км от берега оз. Байкал (далее - малое озеро). Для ряда экспериментов байкальских амфипод, распространившихся за пределы озера Байкал, отлавливали в р. Ангаре в черте г. Иркутска (на расстоянии около 65 км от Байкала) с глубины 0,3-3 м гидробиологическими сачками. Рачков перед экспериментами выдерживали в аквариумах отдельно по видам. Если дополнительно в тексте работы не оговорено, при проведении экспериментов и содержании рачков использовали воду, по температуре более близкую к той, при которой осуществляли отлов и естественной для бокоплавов. Для байкальских и ангарских прибрежных амфипод температуру поддерживали на уровне +8-10 °С; для голарктического вида – +12-14 °С; для глубоководного вида бокоплавов - в диапазоне +4-8 °С. Для предварительной адаптации и экспериментов с амфиподами из оз. Байкал брали байкальскую воду; для *G. lacustris* – из малого озера, для амфипод, отловленных в р. Ангаре, - ангарскую воду. В случае использования в экспериментах с *G. lacustris* байкальской воды рачков предварительно выдерживали в аквариумах с водой из оз. Байкал.

Гумусовые вещества (гуминовые и фульвокислоты), которые представляют собой растворимую фракцию ГВ, являются их наиболее реакционноспособной частью (Перминова, 2000), поэтому в качестве модельных ОВ были взяты препараты ГВ: «Гумат-80» (Левинский, 2003) для экспериментов по определению гидропреференции амфипод и гумат калия из леонардита «Powhumus» для экспериментов по выживаемости амфипод. Состав использованных в работе ГП приведен в работах Федосеевой Е.В. и др. (2009), Д.М. Шубиной и др. (2010). Автор признателен за

предоставление препарата «Powhumus» доктору В. Stern, «Гумат-80» - Ю.В. Макушеву. Для создания восстановительных условий вносили гидрохинон и железистосинеродистый калий (Macalady et al., 1986; Husson et al., 2006), окислительных – пара-бензохинон, железосинеродистый калий и H_2O_2 (Macalady et al., 1986; Bagramyan et al., 2000; Husson et al., 2006; Pshybytko et al., 2008). В водных растворах гидрохинона, пара-бензохинона, железосинеродистого и железистосинеродистого калия, ГП измеряли О-В потенциал.

Методы

Изучение тест-реакций амфипод. В экспериментах по изучению тест-реакций брали одноразмерных гидробионтов. Опыты по оценке тест-реакций амфипод на редокс-активные соединения осуществляли при температуре $+6-8^{\circ}C$ в темноте. В этих условиях изучаемые соединения наименее подвергались О-В преобразованиям (как показали модельные эксперименты по изучению спектров поглощения в видимой и ультрафиолетовой области).

Реакции гидропреференции изучали в двухкамерных установках (бокс 20×40 см с поперечной перегородкой, не доходящей до конца) по методике, аналогичной описанной в работах Д.И. Стома, М.А. Тимофеева (1999), М.А. Тимофеева (2000), De Graeve (1982). Длительность опытов составляла 3 ч. В экспериментах с перекисью водорода и редокс-активными соединениями растворы обновляли каждые 1,5 ч. Кроме того, в начале и конце эксперимента в потоках измеряли концентрацию H_2O_2 с помощью метода титрования (Петрухин, 1992) или фотометрического метода (Холодкевич, Любимцев, 1997) в зависимости от содержания перекиси. Там, где дополнительно не оговорено, результаты распределения амфипод в проточной установке представлены на 90 мин. эксперимента.

В токсикологических экспериментах гидробионтов помещали в емкости на 40 мл с опытными растворами, приготовленными на байкальской воде. Все опыты с H_2O_2 производили в склянках, обмотанных фольгой. Выживших рачков подсчитывали каждые два часа, в большинстве случаев в течение 24 часов. Эксперименты по изучению устойчивости амфипод к $3 \cdot 10^{-2}$ моль/дм³ перекиси водорода длились 24 часа; $1,5 \cdot 10^{-2}$ моль/дм³; $3 \cdot 10^{-5}$ моль/дм³ – 72 часа; $3 \cdot 10^{-6}$ моль/дм³ – 96 часов. В опытах с H_2O_2 , продолжавшихся более 24-х часов, каждые 3 часа осуществляли смену растворов. В начале и конце эксперимента измеряли концентрацию H_2O_2 .

Двигательную активность, инициированную действием света, измеряли в камере $2 \times 8 \times 6$ см по количеству перемещений через середину камеры при воздействии естественного света на уровне 9 тыс. люкс. Перед помещением в камеру амфиподы находились в темноте при температуре воды $6-8^{\circ}C$. Рачка погружали в камеру. Через 30 секунд после погружения бокоплава начинали подсчет. Количество перемещений через середину камеры фиксировали в течение одной минуты. Чтобы исключить влияние температуры на рачков в этих экспериментах, температура растворов в камере поддерживалась на уровне $6-8^{\circ}C$.

Измерение гидрохимических параметров. Данные по исследуемым гидрохимическим показателям в воде Байкала, малого озера и р. Ангары были получены в летние периоды 2006-2007 гг. Для определения температуры, уровней рН, кислорода, общей минерализации были взяты пробы воды с глубины 0,05-0,1 м. Измерения проводили с помощью поверенных портативных приборов с уточненным уровнем погрешности. Пробы воды для измерения уровня перекиси водорода отбирали в водоемах три раза в сутки (11.00-13.00; 14.00-16.00 и 18.30-20.30) при разных погодных условиях. Образцы воды для оценки уровня H_2O_2 преимущественно брали из поверхностной зоны – с глубины 0,05-0,1 м, в ряде случаев – с глубины 2 м. Содержание H_2O_2 в природной воде определяли с помощью спектрофотометрического метода (Любимцев, Холодкевич, 1997). Порядок проведения экспериментов по оценке качественного и количественного состава ОВ описан в работе Е.В. Федосеевой и др. (2010).

Оценка взаимодействия редокс-активных соединений с ГП и H_2O_2 методами молекулярной спектроскопии. Для выполнения этой задачи осуществляли модельные эксперименты по изучению спектров поглощения в видимой и ультрафиолетовой области растворов фенольных соединений и гексацианоферратов калия и их смесей с ГП и H_2O_2 . Для более подробного изучения взаимодействия пара-бензохинона и гидрохинона с ГП проводили исследования ЯМР гумата и ЭПР водных растворов фенольных соединений, а также их смесей с ГП.

Статистическая обработка данных. Представленные в работе данные являются средними из 5-10 повторностей, для каждой повторности брали от 8 до 20 особей бокоплавов. В тексте представлены среднеарифметические величины и значения доверительных интервалов (при $P \geq 0,95$). Производили оценку значимости различий среднеарифметических значений для зависимых и независимых выборок с помощью параметрических критериев (при $P \geq 0,95$); в тексте осуществляется сравнение рассчитанных t (величин значимости различий) со справочными $t_{0,95}$.

Результаты

Глава 3. Реакция некоторых байкальских амфипод и голарктического *G. lacustris* на изменение окислительно-восстановительных условий и отдельных гидрохимических параметров среды

Для оценки реакций изучаемых амфипод моделировали разные варианты гидрохимических условий: рН, присутствие солей металлов, веществ окислительной и восстановительной природы.

Выявлены особенности реакций разных видов байкальских амфипод *E. vittatus*, *E. verrucosus*, *E. cyaneus* на изменение отдельных гидрохимических параметров водной среды. В экспериментах по исследованию предпочтения этих видов бокоплавов по отношению к растворам солей $MgSO_4$, $CaCl_2$ и KCl установлено, что их чувствительность к солям металлов не одинакова. Реакция эндемичных гаммарид на

ионы кальция оказалась менее выраженной. Реакция избегания CaCl_2 рачками *E. vittatus* и *E. verrucosus* проявлялась лишь при 5-кратном увеличении содержания Ca^{2+} относительно уровня содержания этих катионов в воде оз. Байкал, *E. cyaneus* распределялся равномерно между потоками с чистой водой и с внесением такого же количества CaCl_2 . Уход *E. verrucosus* от KCl отмечали в том случае, когда концентрация K^+ в потоке была в 4 раза выше, чем в Байкале, *E. vittatus* и *E. cyaneus* не проявляли различий между потоками с чистой водой и с внесением такого же количества KCl . Наиболее чувствительными рачки были к присутствию магния. Избегание байкальских *E. cyaneus*, *E. vittatus* и *E. verrucosus* наблюдали при 1,5-кратном увеличении ионов Mg^{2+} в потоке воды. Реакции байкальских *E. vittatus*, *E. verrucosus*, *E. cyaneus* по выбору вод из различных водоемов (оз. Байкал и расположенных в п. Б. Коты малого озера и р. Большая Котинка), а также по выбору уровня pH описаны в работе Е.В. Федосеевой и др. (2008).

В сравнительных экспериментах анализировали чувствительность некоторых байкальских амфипод и голарктического *G. lacustris* к присутствию в среде перекиси водорода, условиям окислительного стресса, ГВ и аскорбиновой кислоте.

Распределение некоторых байкальских амфипод и голарктического *G. lacustris* в проточных установках в присутствии различных концентраций ГП. Ряд

Таблица 1
Распределение байкальских амфипод и *G. lacustris* между камерами проточной установки с внесением ГП различных концентраций и с чистой водой (на 90 мин. эксперимента)*

Виды амфипод Концентрация гумата, г/дм ³	<i>G. lacustris</i>	<i>G. fasciatus</i>	<i>P. cancellus</i>	<i>E. cyaneus</i>	<i>E. vittatus</i>	<i>E. verrucosus</i>	<i>O. flavus</i>
0,05							
0,1							
0,25							
0,5							

*Примечание: светло-серый цвет колонки – предпочтение потока с внесением гумата; серый – равномерное распределение между потоками с внесением гумата и с чистой водой; темно-серый – избегание потока с внесением гумата

воды и растворами гумата в диапазоне концентраций 0,05 – 0,5 г/дм³ (табл. 1). Добавление ГП приводило к защелачиванию среды, однако, можно констатировать, что уровень pH не был определяющим фактором при избегании растворов гумата изученными видами амфипод. Это доказали эксперименты с выравниванием pH на

чувствительности амфипод к ГП в целом можно представить в следующем виде (по возрастанию): *G. lacustris* < *P. cancellus* < *G. fasciatus* < *E. cyaneus* < *E. verrucosus* = *E. vittatus*.

Меньшая чувствительность представителя общесибирской фауны проявлялась в том, что его преференция по отношению к гумату была более выраженной по сравнению с таковой эндемиков оз. Байкал. Для глубоководного *O. flavus* не удалось выявить тенденцию по распределению рачков между потоками чистой

уровне 7,9 в потоках с внесением гумата и без него, при котором не происходило качественного изменения распределения бокоплавов между потоками с ГП и без него.

Устойчивость некоторых байкальских амфипод и голарктического *G. lacustris* к АК. По показателю выживаемости амфипод в $0,03$ моль/дм³ растворе АК выявлена большая устойчивость *G. lacustris* к этому восстановителю по сравнению с байкальскими бокоплавами *G. fasciatus*, *E. cyaneus* и *E. vittatus*. Эксперименты по распределению рачков между потоками с чистой байкальской водой и с растворами $11,4 \cdot 10^{-3}$ моль/дм³; $2,3 \cdot 10^{-3}$ моль/дм³ и $4,5 \cdot 10^{-4}$ моль/дм³ АК обнаружили меньшую чувствительность *G. lacustris* по сравнению с *E. vittatus*. Так, при двух более высоких концентрациях АК голарктические и байкальские рачки распределялись между потоками с чистой водой оз. Байкал и водой с внесением кислоты равномерно. При внесении $4,5 \cdot 10^{-4}$ моль/дм³ АК $73,2 \pm 12,4\%$ рачков *G. lacustris* находилось в потоке с кислотой, тогда как *E. vittatus* от него уходил ($70 \pm 10,6\%$ бокоплавов этого вида располагались в отсеке с чистой водой).

Распределение некоторых байкальских амфипод и голарктического *G. lacustris* в проточных установках в присутствии различных концентраций ГП. На основании данных, приведенных в таблице 2, исследуемые виды можно расположить в

Таблица 2

Распределение байкальских амфипод и *G. lacustris* между камерами проточной установки с внесением H₂O₂ различных концентраций и с чистой водой (на 90 мин. эксперимента)*

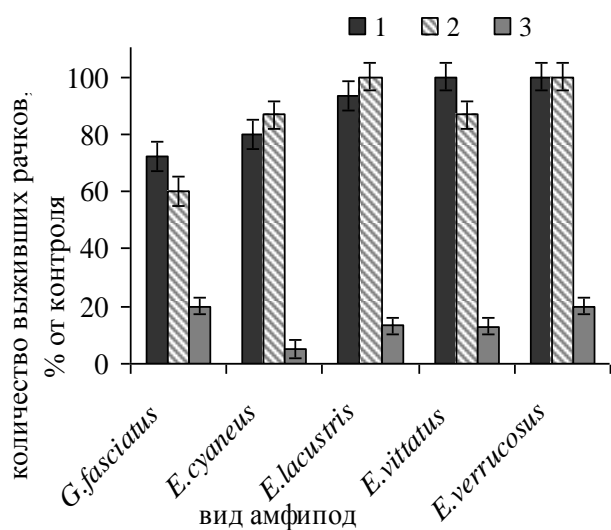
Виды амфипод Концентрация H ₂ O ₂ , моль/дм ³	<i>G. lacustris</i>	<i>G. fasciatus</i>	<i>P. cancellus</i>	<i>E. vittatus</i>	<i>E. verrucosus</i>	<i>O. flavus</i>
$1,5 \cdot 10^{-4}$						
$3 \cdot 10^{-4}$						
$1,5 \cdot 10^{-3}$						
$3 \cdot 10^{-3}$						

*Примечание: светло-серый цвет колонки – предпочтение потока с внесением перекиси водорода; серый – равномерное распределение между потоками с внесением перекиси водорода и с чистой водой; темно-серый – избегание потока с внесением перекиси водорода

следующем порядке по убыванию чувствительности амфипод к H₂O₂: *G. fasciatus* = *G. lacustris* > *P. cancellus* > *E. verrucosus* > *E. vittatus*).

Меньшая чувствительность байкальских видов, кроме *G. fasciatus*, к перекиси водорода по сравнению с *G. lacustris* проявлялась в том, что предпочтение ими H₂O₂ было более выраженным. Глубоководные рачки *O. flavus* распределялись равномерно между потоками во всем диапазоне исследованных концентраций (от $1,5 \cdot 10^{-4}$ моль/дм³ до $3 \cdot 10^{-3}$ моль/дм³).

Устойчивость некоторых байкальских амфипод и голарктического *G. lacustris* к условиям окислительного стресса. Сравнительную оценку устойчивости



1 – $3 \cdot 10^{-2}$ моль/дм³ раствор H₂O₂; 2 - смесь $3 \cdot 10^{-2}$ моль/дм³ раствора H₂O₂ и $1 \cdot 10^{-2}$ хлористого кобальта; 3 - смесь $3 \cdot 10^{-2}$ моль/дм³ раствора H₂O₂ и $1 \cdot 10^{-3}$ хлористого железа

Рис. 1. Выживаемость байкальских амфипод и *G. lacustris* в растворе H₂O₂ и её смесях с солями железа и кобальта на 4 ч. эксперимента

окислительного стресса в присутствии ингибитора каталазы - 3-амино-1,2,4-триазола в концентрации 10^{-2} моль/дм³ (Eric Le Bourg, 2001). Экспериментально выявили, что устойчивость к H₂O₂ в присутствии солей железа и кобальта и без них в целом не зависела от глубин обитания организмов и дальности их выхода за пределы оз. Байкал, но коррелировала с размерами рачков. Крупные амфиподы, например *E. verrucosus*, обнаруживали большую устойчивость к окислительным условиям. Наименьшую резистентность проявляли *E. cyaneus* и *G. fasciatus* (рис. 1). При этом последний был менее устойчивым при более длительном экспонировании в растворах H₂O₂. Статистически значимого влияния добавления 3-амино-1,2,4-триазола на выживаемость в $0,03$ моль/дм³ перекиси водорода не выявлено только в опытах с *G. fasciatus*, количество живых рачков остальных изученных видов (*E. verrucosus*, *E. vittatus*, *E. cyaneus*) в присутствии ингибитора снижалось.

разных видов амфипод проводили по показателю выживаемости. При реакции ионов железа и кобальта с перекисью водорода образуются высоко реакционноспособные радикалы OH* (Пурмаль, 1984; Nakkinen et al., 2004). Поэтому условия окислительного стресса создавали растворами H₂O₂ различных, в том числе, повышенных концентраций ($0,3$; $0,15$; $3 \cdot 10^{-2}$; $1,5 \cdot 10^{-2}$; $3 \cdot 10^{-5}$ и $3 \cdot 10^{-6}$ моль/дм³) по отдельности и совместно с металлами переменной валентности (хлорным железом (III) и хлористым кобальтом). Кроме того, исследовали выживаемость амфипод в условиях

Глава 4. Влияние редокс-активных соединений на амфипод - представителей байкальской и общесибирской фауны

Благодаря экспрессности, чувствительности и воспроизводимости поведенческие реакции гидробионтов считаются весьма перспективными как для индикации токсичности водной среды, так и выяснения первичных эффектов особенно неустойчивых продуктов (Флеров, 1979; Брагинский и др., 2005). В этой связи нами предложена новая методика экспресс-оценки токсичности воды и определения

физиологического состояния амфипод на основе их двигательной активности, инициированной действием света. Методика экспрессна и технически проста в исполнении в отличие от способов оценки гидропреференции, однако менее чувствительна. Использование же комплексного подхода, включающего следующие тест-реакции: 1) выживаемость рачков; 2) двигательную активность, инициированную действием света для оценки воздействия высоких и средних концентраций ксенобиотика; 3) реакцию гидропреференции как наиболее чувствительный метод при выявлении влияния низких концентраций токсиканта – позволяет получить максимальную информацию о воздействии действия пар редокс-соединений на амфипод.

Влияние некоторых редокс-активных соединений на *E. vittatus* и *G. lacustris*.

Сопоставляли токсикорезистентность представителей амфипод байкальской и общесибирской фаун к окисленным (пара-бензохинон и гексацианоферрат (III) калия) и восстановленным формам (гидрохинон и гексацианоферрат (II) калия) некоторых редокс-пар соединений. Тестирование проводили на видах *E. vittatus* и *G. lacustris*. В экспериментах по изучению выживаемости и гидропреференции амфипод *E. vittatus* проявлял меньшую чувствительность к окисленным формам редокс-соединений по сравнению с *G. lacustris*, обнаруживавшим меньшую чувствительность к восстановленным формам. Поведенческие тест-реакции (гидропреференция; двигательная активность, инициированная действием света) по оценке действия перекиси водорода на *G. lacustris* и *E. vittatus* также свидетельствовали о меньшей чувствительности байкальского вида к H_2O_2 (табл. 3).

Таблица 3

Сравнение тест-реакций *E. vittatus* и *G. lacustris*
на присутствие редокс-активных соединений

Тест-реакция		Выживаемость ¹	Двигательная активность, инициированная действием света	Гидропреференция
Соединение		Гексацианоферрат (III) калия		
Концентрация, моль/дм ³	1·10 ⁻²	<i>E. vittatus</i> > <i>G. lacustris</i> (на 2-ой час: осталось живыми 80±10,5% рачков <i>E. vittatus</i> и 48±5,3% рачков <i>G. lacustris</i>)	<i>E. vittatus</i> снижал двигательную активность до 9,2±3,5 перемещений/мин. (контроль – 14,8±3,7), <i>G. lacustris</i> ее увеличивал до 15,3±2,8 перемещений/мин (контроль – 12,3±1,5)	⁵
	1·10 ⁻³	<i>E. vittatus</i> = <i>G. lacustris</i>	-	-
	1·10 ⁻⁴	-	Оба вида не изменяли двигательной активности	На 60 мин. эксперимента особи вида <i>G. lacustris</i> распределялись равномерно; 67±8% рачков <i>E. vittatus</i> заходило в поток с $K_3[Fe(CN)_6]$
Соединение		Гексацианоферрат (II) калия		
Концентрация, моль/дм ³	1·10 ⁻²	<i>E. vittatus</i> > <i>G. lacustris</i> (со 2-го по 24-ый час)	Оба вида не изменяли двигательной активности	-
	1·10 ⁻³	<i>E. vittatus</i> > <i>G. lacustris</i> (с 4-го по 24-ый час)	-	-

Продолжение таблицы 3

Концентрация, моль/дм ³	1·10 ⁻⁴	-	Оба вида не изменяли двигательной активности	На 60 мин. эксперимента особи вида <i>G. lacustris</i> распределялся равномерно; 62±8% рачков <i>E. vittatus</i> уходило от потока с K ₄ [Fe(CN) ₆]
Соединение		Пара-бензохинон		
Концентрация, моль/дм ³	1·10 ⁻³	<i>E. vittatus</i> < <i>G.lacustris</i> (на 2-ой час: оставалось живыми 91±14,2% рачков <i>G. lacustris</i> и 30±12% рачков <i>E. vittatus</i>)	Оба вида не изменяли двигательной активности	-
	1·10 ⁻⁴	<i>E. vittatus</i> = <i>G.lacustris</i>	-	-
	1·10 ⁻⁵	<i>E. vittatus</i> = <i>G.lacustris</i>	Оба вида не изменяли двигательной активности	Особь обоих видов <i>E. vittatus</i> и <i>G. lacustris</i> уходили от потока с пара-бензохиноном
Соединение		Гидрохинон		
Концентрация, моль/дм ³	1·10 ⁻²	<i>E. vittatus</i> < <i>G.lacustris</i> (на 12-ый час: осталось живыми 45±15,3% рачков <i>G. lacustris</i> , все рачки <i>E. vittatus</i> погибли)	Оба вида не изменяли двигательной активности	-
	1·10 ⁻³	<i>E. vittatus</i> = <i>G.lacustris</i>	-	-
	1·10 ⁻⁴	<i>E. vittatus</i> < <i>G.lacustris</i> (на 24-ый час: оставалось живыми 97,5±4,6% рачков <i>G. lacustris</i> и 63±12,2% особей <i>E. vittatus</i>)	Оба вида не изменяли двигательной активности	Особь обоих видов <i>E. vittatus</i> и <i>G. lacustris</i> уходили от потока с гидрохиноном
Соединение		Перекись водорода		
Концентрация, моль/дм ³	0,15	-	<i>G. lacustris</i> снижал двигательную активность более значительно до 1,6±0,6 перемещений/мин. (контроль - 10,5±1,7), чем <i>E. vittatus</i> до 6,4±1,3 перемещений/мин (контроль - 13±2,2) ²	-
	3·10 ⁻²	<i>E. vittatus</i> = <i>G.lacustris</i>	-	-
	3·10 ⁻⁴	-	-	87,5±12,5% рачков <i>E. vittatus</i> заходило в поток с H ₂ O ₂ , 62,2±10,6% рачков <i>G. lacustris</i> уходило от потока с H ₂ O ₂

¹ = - выживаемость двух видов равна; < (>) – выживаемость одного из видов меньше (больше); ² - после предварительной 30-минутной экспозиции в 0,15 моль/дм³ растворе H₂O₂; ⁵ – опыты не проводили

Наиболее значительными различия в выживаемости *G. lacustris* и *E. vittatus* были в растворах гидрохинона: об этом свидетельствуют более высокие величины *t*. Различия же между электронно-акцепторными и электронно-донорными свойствами железосинеродистого и железистосинеродистого калия выражаются значительно слабее, чем у гидрохинона и пара-бензохинона. Возможно, именно с этим связаны различия в реакции амфипод на эти пары соединений.

Влияние редокс-активных соединений на *E. vittatus* и *G. lacustris* в присутствии перекиси водорода. Для редокс-активных соединений характерна повышенная способность к О-В реакциям. Одним из активных веществ, вызывающих

редокс-преобразования, является, в частности, перекись водорода (Елин, 2001; Глинка, 2003; Brunmark et al., 1989). В связи с этим анализировали действие H_2O_2 (в концентрации $3 \cdot 10^{-2}$ моль/дм³) на токсичность редокс-соединений (пара-бензохинон, гидрохинон, железосинеродистый и железистосинеродистый калия).

В условиях наших опытов по изучению спектров поглощения под действием H_2O_2 в большей степени происходило восстановление пара-бензохинона до менее токсичной формы – гидрохинона; перекись водорода также способствовала переходу ферроцианида калия в феррицианид, но обратного перехода перекись не вызывала. При сравнении выживаемости *E. vittatus* и *G. lacustris* в смесях H_2O_2 с указанными выше редокс-соединениями выявлено, что байкальские рачки характеризовались большей по сравнению с *G. lacustris* выживаемостью в смесях перекиси водорода с $1 \cdot 10^{-4}$ моль/дм³ пара-бензохиноном ($t_{\geq t_{0,95}}=2,37$ на 4-ый и 24-ый часы эксперимента), с $1 \cdot 10^{-2}$ и $1 \cdot 10^{-3}$ моль/дм³ $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ и $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ тех же концентраций ($t_{\geq t_{0,95}}=2,57$). Данные результаты, по видимому, во многом могут быть следствием большей по сравнению с голарктом устойчивости *E. vittatus* к перекиси водорода. Байкальский рачок также обнаруживал более высокую выживаемость в смесях нефтепродуктов (нефть, дизельное топливо) и H_2O_2 по сравнению с *G. lacustris*. Увеличение количества выживших байкальских бокоплавов при добавлении перекиси отмечали в $10 \text{ см}^3/\text{дм}^3$ и $5 \text{ см}^3/\text{дм}^3$ нефти, а также в $10 \text{ см}^3/\text{дм}^3$ и $1 \text{ см}^3/\text{дм}^3$ дизельном топливе. Выживаемость *G. lacustris* возрастает только в случае внесения H_2O_2 в $10 \text{ см}^3/\text{дм}^3$ и $5 \text{ см}^3/\text{дм}^3$ эмульсии нефти.

Способность гидрохинона к окислительным преобразованиям была использована нами для создания препарата бактерицидного и альдицидного действия повышенной экологичности. Принцип действия их основан на том, что при добавлении гидрохинона в среду роста штамма *Penicillium aculeatum* происходит биохимическое окисление, а это вызывает значительное увеличение токсичности. При этом пара-бензохинон быстро трансформируется в нетоксичные продукты окислительной конденсации.

Влияние редокс-активных соединений на *E. vittatus* и *G. lacustris* в присутствии ГП. Добавление самых различных восстановителей ослабляло угнетение тест-функций живых организмов пирокатехином и гидрохиноном (Балаян, 1986). По некоторым сообщениям, препараты ГВ в водной среде могут выполнять функцию восстановителей (Перминова, 2000; Линник и др., 2004; Dunnivant et al., 1992; Kappler et al., 2003). Поэтому изучали влияние ГП (в концентрации $0,2 \text{ г}/\text{дм}^3$ гумата) на токсичность гидрохинона и пара-бензохинона и их совместное действие на представителей разных групп амфипод.

Выявлено, что при внесении гумата происходило увеличение количества выживших рачков *G. lacustris* в $1 \cdot 10^{-3}$ моль/дм³ растворах пара-бензохинона ($t_{\geq t_{0,95}}=2,37$). Хорошо известно, что восстановление хинонов идет через стадию образования радикалов – семихинонов (Burguera, 1984; Запрометов, 1993; Елин,

2001). В условиях наших опытов наблюдали рост сигнала ЭПР в смеси «хинон-гумат-радикальная ловушка». Поэтому, скорее всего, снижение токсичности пара-бензохинона в присутствии гумата могло быть следствием его взаимодействия с ГП. В смеси $1 \cdot 10^{-2}$ моль/дм³ гидрохинона с 0,2 г/дм³ гуматом достоверно большую выживаемость также обнаруживал *G. lacustris* по сравнению с таковой *E. vittatus* ($t \geq t_{0,95} = 2,37$ на 4-ый и 8-ой часы эксперимента).

Глава 5. Характеристика некоторых гидрохимических параметров в оз. Байкал в районе бухты Б. Коты и сопредельных водоемов

В плане развиваемых представлений представляло интерес сравнить гидрохимические характеристики водоемов, откуда брали исследуемые виды амфипод. С этой целью измеряли некоторые гидрохимические параметры вод оз. Байкал, малого озера и р. Ангары (рис. 2). Полученные нами результаты были сопоставлены с данными, опубликованными в работах Тарасовой Е.Н. (1875), Ветрова В.А. (1997), Грачева М.А. (2002), Астраханцевой О.Ю. (2002).

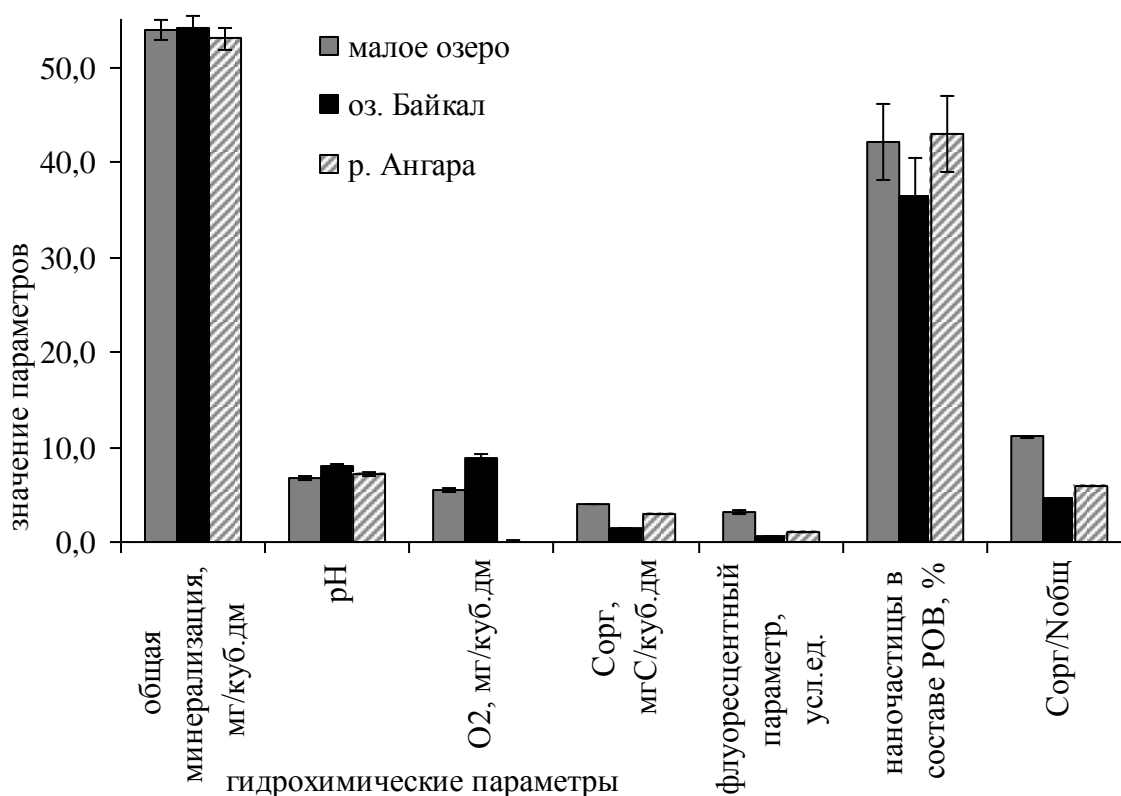


Рис. 2. Некоторые гидрохимические показатели для вод Байкала, р. Ангары и малого озера^{1, 2}

¹ - статистически значимые различия между малым озером и оз. Байкал зафиксированы по всем гидрохимическим показателям, кроме общей минерализации; ² - уровень растворенного кислорода в воде р. Ангары не измеряли

В изученных районах между водами оз. Байкал, малого озера озера и р. Ангары нами были обнаружены различия в содержании ОВ и концентрации кислорода,

подтверждены различия в уровне рН. Содержание $C_{\text{орг}}$ и РОВ убывала в ряду: малое озеро > р. Ангара > оз. Байкал. Количество наночастиц РОВ снижалось в следующем порядке: р. Ангара \geq малое озеро > оз. Байкал. Измерения $C_{\text{орг}}$, отношения С/Н и спектральные характеристики показали, что воды озера Байкал и малого озера отличались не только по количественному содержанию ОВ, но и по их качественному составу. Для проб воды из оз. Байкал наблюдали пропорциональную зависимость флуоресцентного параметра от $C_{\text{орг}}$, для проб из малого озера отмечали значительное отклонение от пропорциональной зависимости; отношение С/Н байкальской воды более чем в 2 раза было ниже такового в воде второго водоема. Уровень рН убывал в ряду: оз. Байкал > р. Ангара > малое озеро. Концентрация растворенного кислорода в воде оз. Байкал более чем, в 1,5 раза превышала таковую в малом озере. Уровень общей минерализации для вод оз. Байкал, малого озера и р. Б. Котинка в изученных районах взятия проб существенно не отличался.

Анализы по измерению содержания перекиси водорода в Байкале и малом озере не выявили значительных различий в концентрации H_2O_2 . В исследованных водоемах H_2O_2 в среднем находилась на уровне $1 \cdot 10^{-7}$ - $1 \cdot 10^{-7}$ моль/л. Максимальный уровень перекиси был зафиксирован днем в районе 14-16 часов в солнечные дни, минимальный - в утреннее и вечернее время. Концентрация перекиси, определенная в оз. Байкал и малом озере, свидетельствовала о ненарушенности механизма самоочищения в данных водоемах (Штамм и др., 1991; Эрнестова, 1995). Об этом также говорит четкая суточная динамика пероксида водорода (Любимцев, Холодкевич, 1997). И, наконец, в Байкале, в котором содержание ОВ ниже 10 мг/л, уровень перекиси сравнительно невысокий; в случае же увеличения содержания ОВ, пропорционально должна была бы повышаться и концентрация H_2O_2 (Hakkinen et al., 2004).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании результатов проведенных экспериментов можно утверждать, что чувствительность изученных байкальских амфипод и представителя общесибирской фаун различается. При этом байкальские виды амфипод (*E. vittatus*, *E. cyaneus*, *E. verrucosus*, *P. cancellus*) в целом обладали меньшей чувствительностью к окислительным условиям среды по сравнению с *G. lacustris*, который показал меньшую чувствительность к восстановительным условиям среды. Наиболее заметные различия в реакциях на присутствие перекиси водорода, ГП и АК прослеживаются между *G. lacustris* и представителями байкальского комплекса - *E. vittatus* и *E. verrucosus*. Последние два вида байкальских амфипод *E. vittatus* и *E. verrucosus* можно рекомендовать как более чувствительные тест-организмы при оценке загрязнения, вызванном увеличением органического вещества и восстановительным редокс-состоянием среды. В рядах чувствительности к ГП и H_2O_2 рядом находились байкальский *G. fasciatus* и голарктический *G. lacustris*. Причиной

подобного размещения могут быть высокие адаптационные возможности *G. fasciatus* (Бородич, 1979; Тимофеев, 2000; Чертопруд, 2006; Рапов, 1996).

Внутри группы изученных байкальских амфипод также наблюдали различия в откликах на изменение гидрохимических и О-В условий. Так по опубликованным ранее данным (Тимофеев, 2000; Тимофеев, Кириченко, 2004) дальности выхода за пределы оз. Байкал по системе рек Ангара-Енисей (до их зарегулирования) эндемичных амфипод можно расположить в ряду (по мере удаления от Байкала): *E. verrucosus* < *E. vittatus* < *E. cyaneus* < *P. cancellus* < *G. fasciatus*. При сравнении рядов чувствительности бокоплавов к H_2O_2 и ГП, представленных в 3 главе, и ряда дальности их распространения обнаруживается хорошо выраженные взаимозависимости. Большей степенью предпочтения по отношению к растворам ГП отличались те виды байкальских амфипод, которые расселились на более дальнее расстояние от оз. Байкал. Эндемики, получившие наименьшее распространение вне озера, показывали большую преференцию по отношению к перекиси водорода.

Неоднозначность откликов *O. flavus* на растворы ГП и перекиси водорода, по-видимому, связана с тем, что из-за относительно постоянных условий на тех глубинах, на которых обитает этот вид, у него слабо выражена адаптация к изменению гидрохимии. В работе М.А. Тимофеева (2000) со стабильностью режимов в зоне обитания *O. flavus* связывались «ослабленность термопреферентного поведения, низкая терморезистентность и устойчивость к гипоксии» этого вида.

Из трех представителей байкальской фауны *E. vittatus*, *E. verrucosus* и *E. cyaneus* последний проявлял наименьшую чувствительность к качеству воды, что обнаруживалось в экспериментах с ГП и H_2O_2 , при выборе бокоплавами вод из различных водоемов, потоков с различным содержанием солей металлов, в опытах по варьированию рН. Это может быть результатом того, что *E. cyaneus* населяет узкую прибрежно-прибойную зону оз. Байкал. Здесь особенно велики колебания параметров среды обитания. Необходимость приспособления к ним и объясняет его более широкую экологическую валентность (Вейнберг и др. 1998; Тимофеев, 2000; Shatilina et al., 2002), являющуюся, по всей видимости, причиной более низкой чувствительности *E. cyaneus* к качеству воды.

Измерение и литературный анализ гидрохимических показателей вод оз. Байкал и малого озера позволяют дать следующее объяснение различий в реакции байкальских и голарктических амфипод на содержание ГВ. Обитающий в условиях большего содержания ОВ *G. lacustris* выбирал потоки с внесением ГП, а также лучше выживал в смесях редокс-активных соединений с гуматом. Несмотря на сходное содержание H_2O_2 в двух изучаемых водоемах эндемики оз. Байкал и *G. lacustris* реагировали на добавление этого соединения неодинаково. Это может быть следствием большей общей устойчивостью байкальских видов к окислительным условиям, о чем свидетельствует, например, больший уровень растворенного кислорода в оз. Байкал по сравнению с малым озером, а также, согласно Л.С.

Эрнестовой (1995), высокое содержание продуктов активации кислорода в воде Байкала.

ВЫВОДЫ

1. Байкальские виды амфипод (*Eulimnogammarus vittatus*, *E. cyaneus*, *E. verrucosus*, *Pallasea cancellus*) в целом были устойчивее и проявляли более выраженную преференцию к окислительным условиям среды (окислительному стрессу, присутствию перекиси водорода и окисленных форм редокс-соединений) по сравнению с голарктическим *Gammarus lacustris*. Последний характеризовался меньшей по сравнению с изученными байкальскими эндемичными видами амфипод устойчивостью и менее отчетливой преференцией к восстановительным условиям среды (присутствию гуминовых веществ, аскорбиновой кислоты, восстановленных форм редокс-соединений).
2. Среди изученных байкальских амфипод большее предпочтение по отношению к растворам гуминового препарата и меньшее относительно растворов перекиси водорода проявляли те виды, которые расселились дальше за пределы оз. Байкал. Глубоководный вид *Ommatogammarus flavus* не обнаруживал реакций преференции к потокам с байкальской чистой водой, а также растворам гуминового препарата и H_2O_2 .
3. Байкальский вид *E. cyaneus*, обитающий в узкой прибрежной полосе, отличался наименьшей чувствительностью к качеству воды, что было выявлено в экспериментах при моделировании гидрохимических условий. Байкальские виды амфипод - *E. vittatus* и *E. verrucosus* - обнаружили большую чувствительность к воде различных водоемов, варьированию pH, присутствию солей металлов, гуминового препарата и H_2O_2 .
4. Резистентность вида *E. vittatus* по выживаемости в среде, содержащей H_2O_2 в сочетании с пара-бензохиноном, железосинеродистым и железистосинеродистым калием, нефтью и дизельным топливом (но не гидрохинона), была выше, чем *G. lacustris*. В смесях гуминового препарата с пара-бензохиноном и гидрохиноном, наоборот, большую выживаемость обнаруживал голарктический вид.
5. Устойчивость амфипод к окислительному стрессу (высокие концентрации H_2O_2 , смеси H_2O_2 с солями железа и кобальта) зависела от размеров рачков: менее резистентными были самые мелкие - *Gmelinoides fasciatus* и *E. cyaneus*, более устойчивыми оказались более крупные особи вида *E. verrucosus*.
6. Предложен экспрессный способ определения токсичности воды по подавлению иницированной действием естественного света (9000 люкс) двигательной активности амфипод (*E. vittatus* и *G. lacustris*). Использование комплекса тест-реакций позволяет получить максимальную информации о чувствительности

амфипод к моделируемым условиям и различиях в откликах байкальских и голарктического амфипод.

7. Гидрохимические параметры, влияющие на становление окислительно-восстановительного состояния среды, определенные в местах отлова изученных амфипод, в некоторой степени определяли реакции амфипод на вещества окислительной и восстановительной природы.

Публикации по теме диссертации:

1. ***Бандолина Е.В.** Некоторые аспекты экологической валентности эндемичного водяного ослика *Baikalasellus angarensis* (Crustacea, Isopoda, Asellidae), в связи с эволюцией байкальских ракообразных / **Бандолина Е.В.**, Натяганова А.В., Стом Д.И. // Бюлл. ВСНЦ СО РАМН (Иркутск). 2005. - № 6. – С. 118-122.
2. **Bandolina E.V.** Differential sensitivity of Baikal and Non-Baikal amphipods to the same admixings / **Bandolina E.V.**, Stom D.I., Sherbakov D. Yu. // IV Верещагинская Байкальская конференция: тезисы докладов и стендовых сообщений. - Иркутск, 2005. – С. 15.
3. **Бандолина Е.В.** О комплексном воздействии некоторых веществ на бокоплавов // IX Всероссийская научно-практическая конференция студентов и аспирантов «Проблемы безопасности современного мира: средства защиты и спасения «Безопасность-06»: тезисы докладов. – Иркутск, 2005. – С. 153-154.
4. ***Бандолина Е.В.** Чувствительность байкальских и небайкальских амфипод к некоторым компонентам водной среды / **Бандолина Е.В.**, Стом Д.И. // Известия Самарского научного центра РАН. 2006. - Том 8, №2. - С. 599-604.
5. **Федосеева Е.В.** Влияние окислительного стресса на байкальских и небайкальских амфипод / **Федосеева Е.В.**, Стом Д.И. // Международная конференция «Водные экосистемы, организмы, инновации»: тезисы межд. конф. - Москва, 2006. С. 25
6. **Федосеева Е.В.** Влияние различных окислительных и восстановительных условий на байкальских и небайкальских амфипод / **Федосеева Е.В.**, Стом Д.И. // Шестая ежегодная молодежная конференция ИБХФ РАН-ВУЗЫ «Биохимическая физика»: труды конф. - Москва, 2006. - С. 256-264.
7. **Федосеева Е.В.** Применение различных методов детоксикации в условиях отдельного водоема // Научно-практический семинар «Достижения современной биотехнологии в решении эколого-биотехнологических проблем»: материалы конф. - Иркутск, 2007. - С. 46-53.
8. Горшкова О.М. Некоторые гидрохимические параметры и наночастицы растворенного органического вещества вод оз. Байкал и других водоемов Байкальского региона / Горшкова О.М., Гордеев В.Ю., Краснушкин А.В., Романкевич Е.А., **Федосеева Е.В.** // XVII Международная научная конференция

(Школа) по морской геологии: материалы межд. конференции, - Москва, 2007. – С. 105-106.

9. **Федосеева Е.В.** Роль гуматов в пространственно-временном распределении байкальских и небайкальских амфипод / **Федосеева Е.В.**, Стом Д.И. // IV Всероссийская научная конференция «Гуминовые вещества в биосфере», посвященной памяти Д.С.Орлова: труды конференции, - Москва, 2007. – С. 103-109.
10. **Федосеева Е.В.** Возможное влияние гидрохимических факторов на предпочтение воды байкальскими и небайкальскими амфиподами / **Федосеева Е.В.**, Быкова Н.В., Стом Д.И. // Деп. в ВИНТИ, 29.05.2008 г., №466-В2008, 18 с. ил.
11. Terekhova V. Biotic control of humic substances ecotoxicity and their remediation effect in contaminated environment / Terekhova V., Poputnikova T., **Fedoseeva E.**, Rakhleeva A., Vavilova V., Kaniskin M., Timofeev M., Ibatullina I., Yakovlev A. // From Molecular understanding to innovate applications of humic substances: Proceedings of the 14th Meeting if Int. Humic Substances Society. – PP. 687-690.
12. **Федосеева Е.В.** Особенности лабораторных тест-систем с применением байкальских и общесибирских гидробионтов / **Федосеева Е.В.**, Стом Д.И., Терехова В.А. // Конференция по водной токсикологии, посвященной памяти Б.А. Флерова: тезисы докладов. - Борок, 2008. - С. 120-125.
13. **Федосеева Е.В.** Токсикорезистентность байкальских и общесибирских амфипод к некоторым редокс-соединениям / **Федосеева Е.В.**, Стом Д.И., Терехова В.А. // X Съезд Гидробиологического общества РАН: тезисы докладов. – Владивосток: Дальнаука, 2009. – С. С.415-416.
14. Горшкова О.М. Флуоресценция растворенного органического вещества природной воды / Горшкова О.М., Пацаева С.В., **Федосеева Е.В.**, Шубина Д.М., Южаков В.И. // Вода: химия и экология. 2009. -№11. С. 31-37.
15. *Шубина Д.М. Спектральные свойства водных растворов промышленных гуминовых препаратов / Шубина Д.М., Якименко О.С., Пацаева С.В., Терехова В.А., Изосимов А.А., **Федосеева Е.В.**, Южаков В.И // Вода: химия и экология. 2010. - №2. - С. 22-26.
16. Shubina D. The «blue shift» of emission maximum and the fluorescence yield as quantitative spectral characteristics of dissolved humic substances / Shubina D., **Fedoseeva E.**, Gorshkova O., Patsaeva S., Terekhova V., Timofeev M., Yuzhakov V. // EARSeL eProceedings. 2010. - Vol. 9, № 1. - PP. 13-21.

* Журналы входят в перечень рецензируемых научных журналов и изданий, утвержденный ВАК

Неоценимую помощь в проведении экспериментов и подготовке диссертации оказали д.б.н. проф. Д.Ю. Щербаков, к.б.н. А.Э. Балаян, к.б.н. М.Н. Саксонов, к.ф.-м.н. С.В. Пацаева, к.х.н. П.Б. Крайкинский, О.М. Горшкова. Автор глубоко признательна

всем коллегам, способствовавшим выполнению этой работы. Выражаю благодарность проф. д.б.н. Тахтееву В.В за полезные консультации и замечания при обсуждении работы.