

СОХРАНЕНИЕ БИОРАЗНООБРАЗИЯ КАМЧАТКИ И ПРИЛЕГАЮЩИХ МОРЕЙ

**Доклады
XIV международной
научной конференции,
14–15 ноября 2013 г.**

**Conservation of biodiversity of Kamchatka
and coastal waters**

Proceedings of XIV international scientific conference
Petropavlovsk-Kamchatsky, 14-15 November 2013



**СОХРАНЕНИЕ БИОРАЗНООБРАЗИЯ
КАМЧАТКИ И ПРИЛЕГАЮЩИХ МОРЕЙ**

УДК 57 (265.53)
ББК 28.688
С54

Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей : доклады XIV между-
народной научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения известного даль-
невосточного ученого, д.б.н., профессора В. Я. Леванидова. – Петропавловск-Камчатский :
Камчатпресс, 2014. – 126 с. : ил.

ISBN 978-5-9610-0231-7

Сборник включает отдельные доклады состоявшейся 14–15 ноября 2013 г. в Петропавловске-Камчатском XIV международной научной конференции по проблемам сохранения биоразнообразия Камчатки и прилегающих к ней морских акваторий. Рассматривается история изучения и современное биоразнообразие отдельных групп флоры и фауны полуострова и прикамчатских вод. Обсуждаются различные аспекты сохранения биоразнообразия в условиях возрастающего антропогенного воздействия.

УДК 57 (265.53)
ББК 28.688

Редакционная коллегия:

В. Ф. Бугаев, д.б.н., А. М. Токранов, д.б.н. (отв. редактор), О. А. Чернягина

Перевод на английский язык к.б.н. Т. С. Шулежко

Издано по решению Ученого Совета КФ ТИГ ДВО РАН

ОБ АДАПТОГЕННЫХ СВОЙСТВАХ ЭКСТРАКТОВ И ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ТЕРМОФИЛЬНЫХ ГИДРОБИОНТОВ КАМЧАТКИ

А. А. Акшинцев*, Г. М. Баренбойм*, В. Е. Кириченко**, В. Н. Никитина***, О. А. Черныгина**

*ФГБУН Институт водных проблем РАН, Москва

**Камчатский филиал ФГБУН Тихоокеанский институт географии (КФ ТИГ) ДВО РАН,
Петропавловск-Камчатский

***Санкт-Петербургский государственный университет

В современном мире человек подвержен воздействию всевозможных агрессивных – экстремальных факторов. Одним из решений по нейтрализации подобных воздействий является употребление адаптогенов. Наряду с уже существующими ведется поиск новых, более продуктивных источников индивидуальных лекарственных веществ адаптогенного типа действия. Подобные исследования в 1980-х гг. были сфокусированы на синезеленых термофильных водорослях гидротерм Камчатки. В 1990-е гг. работу прекратили, возобновив лишь в 2012 г. Предприняты первые из планируемой череды экспедиции на Камчатку. Результаты исследований свидетельствуют о том, что продолжение работ является крайне целесообразным, т. к. они выявили наиболее приспособленные виды и позволили определить элементный состав вод гидротерм и пр.

ADAPTOGENIC PROPERTIES OF EXTRACTS AND INDIVIDUAL SUBSTANCES ISOLATED FROM KAMCHATKA'S THERMOPHILIC HYDROBIONTS

A. A. Akshincev*, G. M. Barenboym*, V. E. Kirichenko**, V. N. Nikitina***, O. A. Chernyagina**

*Water problem institute Russian Academy of Science, Moscow

**Kamchatka Branch of Pacific Geographical Institute (KB PGI) FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky

***Saint-Petersburg State University

In a modern world any person is exposed to many kinds of aggressive, extreme factors. Using the adaptogenes is one of the most effective way to neutralize the destructive effects of those factors. Simultaneously with the existing researches of the adaptogen's sources scientists from many countries seek out the new sources of the individual adaptogenic drugs. Similar researches of 80's have been focused on Kamchatka's thermophilic blue-green algae. In 90's the researchs were stopped, and have been resumed only in 2012. In the same time the first expedition of a planned series of expeditions to Kamchatka were undertaken. The researcher's results indicate the continuation of this work is highly advisable. What is more first expedition in 2012 allowed to identify the most adapted species and to determine the elemental composition of hydrothermal waters, etc.

Местообитания, значительно отличающиеся по одному или нескольким параметрам от повсеместно распространенных экосистем, принято называть экстремальными, а населяющие их организмы – экстремофильными (Ленгелер и др., 2005).

Весьма привычно делить окружающую нас среду на «дружественную» (или нейтральную) и «враждебную». Системы, обладающие подобными «враждебными» характеристиками (низкие и высокие температуры, крайние значения pH, интенсивное радиоактивное излучение и пр.), принято называть экстремальными. Современные тенденции таковы, что человек все чаще сталкивается с воздействием подобных экстремальных условий, возникновение которых зачастую обусловлено антропогенным воздействием на окружающую среду. Новые лекарства, пищевые добавки, пестициды, звуковые и электромагнитные поля действуют на организм человека, не приспособленный к такой гамме воздействий. Возникают гипертрофированные стрессовые реакции, болезни адаптации, трансформируются многие традиционные заболевания и становятся малоэффективными многие традиционные методы лечения. Происходит увеличение удельного веса хронических заболеваний, что отражает, в том числе, и определенное ослабление компенсаторно-адаптационных способностей человеческого организма. Воздействия внешней среды явно опережают биологические возможности организма человека к адаптации. Подобная ситуация обуславливает потребность в фармакологических регуляторах взаимоотношений с окружающей средой (Парьева, 2005; Актуальные..., 2006; Серегина, 2007). Такими регуляторами являются адаптогены – протекторы широкого спектра действия, которые используются для повышения неспецифической сопротивляемости организма к самым различным факторам воздействия – физическим, химическим, биологическим, психологическим и т. п. К адаптогенам относятся экстракты из некоторых растений (элеутерококка колючего, женьшеня, аралии, лимонника, родиолы розовой и др.), из живот-

ного сырья (пантокрин), синтетические препараты (например, дибазол) (Барнаулов, 2001; Поветьева, 2005; Крендель и др., 2007; Болдогуев, 2011). Потребность в таких препаратах, обладающих все более широким спектром действия, высокой эффективностью и низкой токсичностью, растет и будет расти.

Существует много путей поиска препаратов подобного типа – перебор родственных растений, химическая модификация компонентов активного начала, синтез новых аналогов индивидуальных веществ, конструирование новых лекарств на основе изучения молекулярных механизмов адаптационных процессов и т. п. Один из оригинальных путей, предложенных в 1975 г. Г. М. Баренбоймом, – обращение к организмам, существующим в экстремальных условиях, как к источникам новых биологически активных веществ, способных оказывать протекторное действие по отношению к самым разнообразным клеткам, тканям и целостным организмам при воздействии на них экстремальных факторов среды (Сводный отчет..., 1984).

Известно, что некоторые микроорганизмы способны жить в условиях, которые выходят за наши привычные представления о границах существования жизни: при высоких или, наоборот, низких температурах, высоких давлениях, крайних значениях pH, при значительных концентрациях солей или токсичных металлов, при мощных потоках ионизирующей радиации и т. п., а также при комбинации различных экстремальных факторов (Нетрусов и др., 2004; Stetter, 1999). Таким образом, можно утверждать, что мир экстремофилов достаточно широк.

Но с каких конкретно организмов следует начинать подобного рода работу и какие виды активности следует тестировать в первую очередь? В работах, послуживших основой нашего исследования, такими «стартовыми» объектами для скрининга новых БАВ в массиве экстремофилов были избраны термофильные синезеленые водоросли (цианобактерии) (Баевский и др., 1982; Сводный отчет..., 1984; Баренбойм и др., 1986, 1986а; Брикенштейн и др., 1986; Бабий, 2009; Fish, Codd, 1994). Выбор именно термофилов обусловлен рядом причин:

- Термофилы – одна из наиболее часто встречаемых групп экстремофилов в силу широкой распространенности горячих источников в природе – они есть на всех континентах, за исключением Антарктиды, а также вдоль выхода тепловых потоков на стыке тектонических плит на дне океанов.

- Устойчивость к тепловому воздействию является одной из наиболее общих форм устойчивости, т. к. противостоять этому фактору должны все биополимеры и все биохимические процессы в живой клетке, ведь тепловое воздействие настигает каждую молекулу. При галофилии, например, концентрация солей за пределами клетки и внутри – резко различаются, основной «удар» солей принимает на себя мембрана, в то же время при термофилии температура во внешней и внутренней среде клетки одинакова.

- Способность жить при высоких температурах для организмов, потребляющих кислород, должна быть связана со способностью жить при низких концентрациях кислорода в силу его низкой растворимости в воде при высоких температурах (растворимость кислорода в воде уже при 55 °С падает более чем в 2,3 раза по сравнению с н. у.) (Castenholz, 1969; Brock, 1978).

Заглядывая вперед, можно заметить, что оба этих фактора – гипертермия и гипоксия достаточно часто встречаются в практической деятельности человека, и овладение подходами к адаптации к ним может иметь большое значение. Синезеленые же водоросли из всей массы термофилов были выбраны в силу сочетаемости в них рекордной приспособляемости, свойственной простейшим организмам, и относительной, по сравнению с бактериями, сложностью, роднящих их с многообразием многоклеточных форм жизни.

Обеспечение адаптации экстремофилов. В настоящее время заметный прогресс достигнут в вопросах изучения термальных микроорганизмов-экстремофилов. В данных исследованиях выделяют два направления.

Первое задается вопросом отличия подобных микроорганизмов от их мезофильных «сородичей» на генетическом, молекулярном и биохимическом уровнях.

Второе направление ставит вопрос о дополнительном наличии у данных организмов специализированных веществ – о которых уже говорилось выше – адаптогенов. Это второе направление связано также с проблемой возможности направленного использования таких веществ в отношении других организмов с целью повышения их общей резистентности (Баевский и др., 1982; Сводный отчет..., 1984; Баренбойм и др., 1986, 1986а; Брикенштейн и др., 1986; Бабий, 2009; Fish, Codd, 1994).

Исследования по каждому из названных направлений привели к положительным результатам.

Оказалось, что термофильные гидробионты имеют целый ряд генетических, молекулярных, биохимических и физиологических механизмов приспособления (помимо свойственных мезофильным формам молекулярных шаперонов, шаперонинов и пр.). Иными словами, как структурные и клеточные элементы, такие как оболочка, мембраны, рибосомы, так и входящие в состав клетки протеины, жиры, ферменты термофилов заметно качественно и количественно отличаются от подобных клеточных компонентов мезофильных форм. В термофильных клетках органеллы обладают большим коли-

чеством мембран, причем преобладают среди мембранных липидов жирные кислоты с удлиненными углеводными неветвящимися цепями. Устойчивость молекул ДНК достигается за счет уникальной топоизомеразы ДНК I типа, или обратной гиразы, которая приводит к положительному суперскручиванию двухцепочечной ДНК, которая из-за большего числа топологических связей является более резистентной к действию высоких температур (Forterre et al., 1996). Стабильность рибосом объясняется особенностями в структуре рибосомальных протеинов, а также общим увеличением белковой компоненты и повышенным содержанием гуанина и цитозина в молекуле рибосомальной РНК. Также уже давно выделены и применяются термоустойчивые ферменты подобных экстремофилов (в особенности гидролитические и аминокислотные). Споры термофильных микроорганизмов обладают значительно большей термотолерантностью, нежели споры мезофильных форм. Предполагается, что подобная повышенная устойчивость объясняется увеличенным содержанием в них дипиколиновой кислоты, а также уменьшением отношения количества магния к кальцию (Wolk, 1973; Stetter, 1999; Zierenberg et al., 2000).

Если некоторые ферменты недостаточно стабильны и имеют малое «время жизни» при высоких температурах, то их синтез в термофильной клетке осуществляется с большей скоростью. Так, например, оборачиваемость т-РНК в клетках термофилов на порядок выше, чем у мезофильных форм, что позволяет поддерживать более высокую скорость синтеза протеинов (Daniela, Cowanb, 2000).

Особая черта термофилов – высокая стабильность их ферментов в условиях высоких температур. Считается, что не существует жестких правил, определяющих белковую термостабильность, но можно выделить ряд особенностей, имеющих высокую степень корреляции. К ним относятся: неполярное ядро белковой молекулы (что делает его внутренне «липким» и, следовательно, менее способным к утрате структуры), низкое соотношение ее поверхности к объему (что увеличивает стабильность за счет более компактной формы), низкое содержание глицина (что повышает ригидность молекулы) и высокое число ионных взаимодействий (Vieille, Zeikus, 2001).

Список механизмов может быть продолжен, но в данной статье мы ограничимся лишь кратким описанием.

Положительный ответ на вопрос о наличии у термофилов особых веществ, неспецифически повышающих устойчивость других видов живых организмов, был получен в НИИ по биологическим испытаниям химических соединений (Сводный отчет..., 1984), но работы были прекращены в начале 1990-х годов.

Неспецифическая адаптогенная активность. Выполненный анализ информационных материалов (Баевский, 1982; Сводный отчет..., 1984; Баренбойм и др., 1986, 1986а; Брикентштейн и др., 1986) показал, что в ходе этих исследований из термофильных синезеленых водорослей (цианобактерий), обитающих в гидротермах Камчатки, путем хроматографии и электрофореза было выделено «активное начало», которое могло быть как индивидуальным веществом, так и смесью соединений (по предварительным данным, активное начало представляло собой гликозидоподобное соединение, имеющее в своем составе стабильную нитроксильную группу). Адаптивное действие было доказано на примере повышения устойчивости эмбрионов и отдельных тканей рыб, а также лабораторных животных (мыши, крысы) к ряду экстремальных воздействий, в особенности к гипотермии и гипоксии (рис. 1, табл. 1). Также в опытах «in vitro» экстракт продемонстрировал высокую стимулирующую активность по отношению к мембранотропным ферментам, в частности, таким важным, с медико-биологической точки зрения, как кальций-магниевая АТФаза и моноаминоксидаза, а также являлся стимулятором импульсной активности нейронов мозга животных. Было также показано, что испытываемые экстракты практически не токсичны. Многие адаптогены растительного происхождения обладают выраженной антигипоксической и антигипертермической активностью, например элеутерококк (Barenboim, 1985; Karlan et al., 1986). Но даже на этом фоне исследованный экстракт термофильных цианобактерий Камчатки отличался значительно более высокой эффективностью в проявлении этих видов биологической активности (Баевский и др., 1982).

Таким образом, из термофильных синезеленых водорослей получен экстракт, обладающий практически важными видами биологической активности, что позволяет говорить о них как о потенциальном источнике новых лекарственных препаратов (в первую очередь антигипоксантов) и вообще биологических регуляторов.

Кроме того, повышение возможностей организма человека при использовании экстрактов из термофильных синезеленых водорослей в качестве фармакологических средств в ситуациях, связанных с травмами и некоторыми другими патологиями, было продемонстрировано в ряде работ французских исследователей, доложенных на семинарах НАТО (рис. 1, табл. 1, цитируется по: Сводный отчет..., 1984).

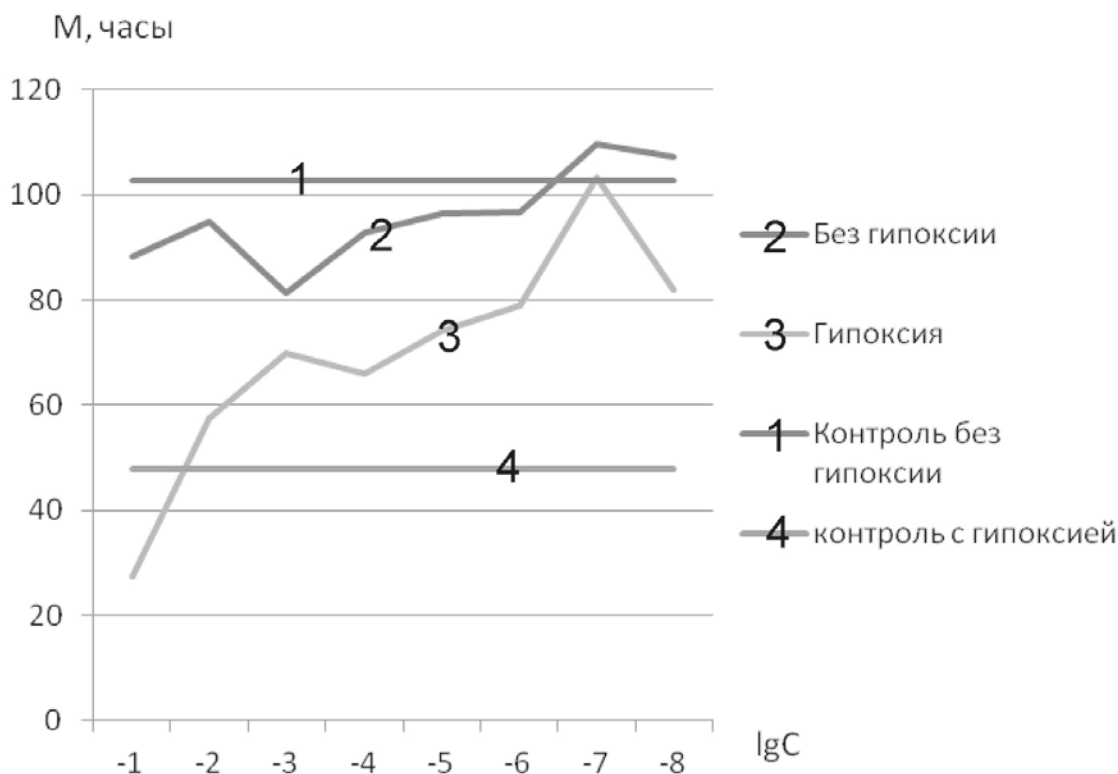


Рис. 1. Влияние экстракта термофильных синезеленых водорослей на выживаемость эмбрионов вьюна при воздействии гипоксии (декабрь 1980 г. – 1981 г.)
(С – концентрация в мг/мл; М – математическое ожидание продолжительности жизни (часы))

Таблица 1. Влияние экстракта, выделенного из термофильных цианобактерий

Испытуемый объект	Воздействие	Результат
Эмбрионы рыбы гольца	Гипоксия, гипотермия	Увеличение продолжительности жизни более чем в 2 раза по сравнению с контролем
Эмбрионы вьюна	Гипоксия	Полное сохранение популяции, при 60 % сокращении численности контроля
Мыши (нелинейные)	Острая гипобарическая гипоксия	Продление времени жизни на 1 000 % по сравнению с контролем
Нейроны на срезе мозжечка крысы	Острая гипобарическая гипоксия	В контроле при 15 % содержания кислорода (от первоначального объема) наступила полная утрата электрической активности мозга крысы в ответ на внешний возбуждающий импульс, в опыте на протяжении длительного времени сохранялась электрическая активность при содержании кислорода, практически близком к нулю

Актуальность возобновления работ. За 20 лет, прошедших с момента прервавшихся изысканий, биология экстремофилов, а также фармакология адаптогенов значительно продвинулись вперед, что, в частности, дает стимул к возобновлению названных работ, но уже на базе современных биотехнологических методов.

Применительно к продолжению обсуждаемых работ можно сформулировать задачи последующего их развития, включая поиск генетических отображений подобных адаптогенов, задачи промышленного культивирования природных термофилов с целью массового выделения подобных веществ, задачи генно-инженерного переноса соответствующих генов в другие организмы и т. п. К числу подобных задач можно отнести и установление мишеней воздействия подобных природных адаптогенов, изучение фар-

макологических аспектов их применения, использование знаний их структуры для модельного конструирования близких по функциям веществ, но с более сильно выраженными адаптогенными свойствами. Это лишь часть задач, решение которых представляется актуальным и предполагается разрабатываемой сейчас программой продолжения и развития названных выше работ.

Первый этап возобновленных работ. После принятия решения об актуальности возобновления исследований адаптогенных свойств экстрактов и индивидуальных веществ, выделенных из экстремофильных гидробионтов, на территории Камчатского региона была проведена первая сессия полевых экспедиционных работ (рис. 2). В рамках этих работ в 2012–2013 гг. был обследован ряд естественных (рис. 3) и искусственных (рис. 4) гидротерм Камчатки (под искусственными гидротермами понимаются скважины и стоки геотермальных электростанций) (Акшинцев, 2013). Основные характеристики термальных и минеральных выходов естественных подземных вод, опробованных в ходе экспедиционной сессии 2012–2013 гг. (по: Мурадов и др., 2013), приведены в таблице 2.

Изучали температурные и гидрохимические характеристики гидротерм, а также видовой состав их обитателей применительно к цианобактериям (*Cyanobacteria*, синезеленые водоросли), способным к оксигенному фотосинтезу в подобных экстремальных условиях.



Рис. 2. Зоны отбора проб в местах термоявлений (групп горячих источников) в ходе экспедиционной сессии 2012–2013 гг.



Рис. 3. Малкинские горячие ключи. 26 октября 2012 г.



Рис. 4. Пруд-охладитель Мутновской ГеоТЭС. 14 июля 2012 г.

Таблица 2. Основные характеристики термальных и минеральных выходов подземных вод, опробованных в ходе экспедиционной сессии 2012–2013 гг. (по: Мурадов и др., 2013)

№	Название	Дебит, л/с	T, °C	Величина общей минерализации	Химический состав	Кислотность
1.	Начикинские	40	27–81	Маломинерализованные	хлоридно-сульфатные натриевые, кремнистые, азотные	слабощелочные
2.	Малкинские	30	35–83	Слабоминерализованные	гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридные натриевые, кремнистые, азотные	слабокислые-щелочные
3.	Апачинские	10	52–73	Слабоминерализованные	гидрокарбонатно-хлоридно-сульфатные натриевые, кремнистые, азотные	слабощелочные
4.	Паужетские	5	40–100	Слабоминерализованные	хлоридно-натриевые, кремнистые, борные, углекислые	слабокислые
5.	Уксичанские	8	62–76	Маломинерализованные	хлоридно-сульфатные кальциево-натриевые, кремнистые, азотные	слабощелочные
6.	Анавгайские	7	22–75	Маломинерализованные	хлоридно-сульфатные кальциево-натриевые, кремнистые, борные, азотные	щелочные
7.	Нижне-Паратунские	10	60–95	Маломинерализованные	сульфатные, хлоридно-сульфатные кальциево-натриевые, натриево-кальциевые, кремнистые, азотные	щелочные
8.	Мутновская ГеоТЭС (Дачные)	25	29–100	Маломинерализованные	сульфатно-хлоридные натриевые, кремнистые, борные, углекислые	сильнокислые-щелочные
9.	Карымшинские	17	22–77	Маломинерализованные	хлоридно-сульфатные и сульфатные, кальциево-натриевые и натриевые, кремнистые, азотные	слабощелочные

Результаты химического анализа вод, в которых обитают экстремофильные гидробионты, показали сильнейшее превышение норм содержания многих элементов (здесь для наглядности в сравнении с рыбохозяйственными ПДК, Приказ..., 2010). Так, во всех пробах наблюдается повышенное содержание ионов натрия – от 220 до 12 000 раз, в большинстве проб можно наблюдать превышения по мышьяку (до 116 раз), бору (до 180 раз) и другим элементам. Концентрации некоторых элементов приведены ниже (табл. 3).

Таблица 3. Концентрации элементов в пробах камчатских гидротерм (мкг/дм³) (анализ произведен на базе ФГУП «ВИМС»)

Элемент/№ Зоны отбора	1	2	4	7	8,2*	8,3*	9
Литий	260	84	1500	370	3,6	1800	930
Бериллий	0,032	0,009	<0,009	<0,07	0,15	<0,07	0,036
Бор	4 600	1 900	14 000	2 000	100	18 000	5 500
Натрий	300 000	100 000	600 000	470 000	11 000	290 000	240 000
Магний	240	540	14	330	960	<0,9	48
Алюминий	15	32	160	850	1 500	1 200	36
Кремний	43 000	31 000	120 000	62 000	58 000	370 000	29 000
Фосфор общий	20	20	50	100	68	100	30
Сера общая	130 000	30 000	49 000	320 000	15 000	100 000	170 000
Калий	17 000	5 100	40 000	24 000	5 400	47 000	4 600

Продолжение таблицы 3

Элемент/№ Зоны отбора	1	2	4	7	8,2*	8,3*	9
Кальций	23 000	4 300	46 000	190 000	9 000	5 400	49 000
Скандий	0,7	0,7	<1	<7	<10	<7	<10
Титан	1	1	<3	21	9,6	<1	<1
Ванадий	0,5	0,5	3	<0,8	4,7	2,1	<0,8
Хром	0,7	0,7	12	<2	<4	9,5	<4
Марганец	8,2	0,85	2,7	44	140	6,2	29
Железо	30	7,6	36	440	1 800	<9	82
Кобальт	0,024	0,01	0,062	0,54	1,9	0,12	0,13
Никель	19	1,7	2,7	4,8	0,87	<0,7	0,9
Медь	2,8	0,89	4,8	3,4	8,9	24	0,81
Цинк	0,9	0,9	<1	<8	10	28	10
Галлий	1	1,2	2	1	0,61	5,5	1
Германий	10	3,1	19	5,4	0,61	44	11
Мышьяк	160	30	4 200	92	<0,9	5 800	1 100
Бром	530	170	2 200	1 400	<6	500	260
Селен	1,5	0,7	7,2	4	<0,8	4	<0,8
Рубидий	50	19	210	69	13	300	30
Стронций	790	140	520	2 600	37	85	680
Итрий	0,01	0,003	0,0065	0,41	2,4	<0,01	0,028
Цирконий	0,06	0,06	7,5	0,52	0,14	<0,3	<0,05
Ниобий	0,11	0,07	<0,02	<0,05	<0,009	<0,05	<0,009
Молибден	18	16	7,1	21	<0,09	100	28
Рутений	0,004	0,004	<0,01	<0,02	<0,01	<0,02	<0,01
Родий	0,005	0,005	<0,01	<0,006	<0,01	<0,006	<0,01
Палладий	0,01	0,01	<0,007	<0,1	<0,009	<0,1	<0,009
Серебро	0,37	0,02	0,47	3,6	0,15	14	<0,03
Кадмий	0,019	0,017	0,016	0,097	0,019	0,28	0,071
Индий	0,003	0,003	<0,004	-	<0,003	-	<0,003
Олово	0,05	0,05	<0,04	<1	<0,2	<1	<0,2
Сурьма	0,05	0,05	50	2,5	0,73	190	34
Теллур	0,07	0,07	<0,02	<0,2	<0,04	<0,2	<0,04
Цезий	37	11	150	34	0,36	190	60
Барий	9,1	6,9	7,1	81	50	4,6	14
Лантан	0,009	0,009	<0,01	0,33	0,72	<0,09	<0,02
Церий	0,005	0,005	<0,02	0,52	1,9	<0,03	0,042
Празеодим	0,002	0,002	<0,001	0,071	0,3	<0,006	0,0054
Неодим	0,0096	0,005	0,016	0,38	1,4	<0,03	0,02
Самарий	0,004	0,004	<0,003	0,072	0,42	<0,007	<0,002
Европий	0,01	0,01	<0,001	0,02	0,11	<0,006	<0,002
Гадолиний	0,005	0,005	<0,002	0,079	0,41	<0,008	0,0036
Тербий	0,001	0,001	<0,002	<0,01	0,069	<0,01	<0,002
Диспрозий	0,002	0,002	<0,002	0,0083	0,43	<0,009	0,0044
Гольмий	0,003	0,003	<0,001	<0,01	0,091	<0,01	<0,002
Эрбий	0,002	0,002	<0,007	0,042	0,25	<0,01	<0,002
Тулий	0,003	0,003	<0,002	<0,006	0,038	<0,006	<0,001
Иттербий	0,003	0,003	<0,002	0,037	0,25	<0,006	0,0028
Лютеций	0,003	0,003	<0,002	<0,01	0,037	<0,01	<0,002

Окончание таблицы 3

Элемент/№ Зоны отбора	1	2	4	7	8,2*	8,3*	9
Гафний	0,017	0,0096	0,032	0,028	0,0072	<0,01	0,026
Тантал	0,03	0,03	<0,02	<0,02	<0,004	<0,02	<0,004
Вольфрам	110	20	19	12	<0,06	140	16
Рений	0,003	0,003	<0,02	<0,006	<0,001	0,045	<0,001
Осмий	0,02	0,02	<0,05	<0,2	<0,03	<0,2	<0,03
Иридий	0,002	0,002	<0,02	<0,01	<0,002	<0,01	<0,002
Платина	0,005	0,005	<0,05	<0,009	<0,002	<0,009	<0,002
Золото	0,007	0,007	<0,02	<0,2	<0,007	<0,2	<0,007
Таллий	0,045	0,016	1,2	0,18	0,034	2,2	<0,003
Свинец	2,2	0,05	<0,05	1	0,64	0,62	<0,05
Висмут	0,006	0,006	<0,003	<0,02	<0,005	<0,02	<0,005
Торий	0,009	0,009	<0,008	0,033	0,016	<0,009	0,0059
Уран	0,004	0,004	<0,004	0,027	0,067	<0,008	<0,002

* точка 8,2 на природном изливе (рис. 5), точка 8,3 на сливе отработанной воды с Мутновской ГеоТЭС (рис. 6).



Рис. 5. Дачные ключи (группа Активная) (фото Томоко Фукуда, 2007 г., июль)



Рис. 6. Отбор образцов на сбросе отработанного теплоносителя в р. Фальшивую. Мутновская ГеоТЭС, 14 июля 2012 г.

Видовая специфичность цианобактерий исследованных гидротерм представлена 16 видами (табл. 4). При сопоставлении видового состава каждой отдельной гидротермы с химическим составом вод можно с уверенностью заявить, что наиболее распространенным и приспособленным является вид *Mastigocladus laminosus*. На втором месте находится вид *Phormidium tenue* (Menegh) Gom. (*Leptolyngbya tenuis* (Anagn.et Kom).

Таким образом, можно отметить, что данным организмам свойственна не только термофилия, но и устойчивость ко многим физико-химическим факторам воздействия: они обитают при экстремальных температурах (температура обитания *Mastigocladus laminosus* доходит до 59,8 °С), в условиях острой гипоксии (растворимость кислорода в воде при такой температуре падает более чем в 2,3 раза), а также в условиях высоких концентраций многих элементов, включая мышьяк.

Эти факты еще раз подтверждают выводы предыдущих работ (Баевский и др., 1982; Сводный отчет..., 1984; Баренбойм и др., 1986, 1986а; Брикенштейн и др., 1986; Vagenboim, 1985) о наличии у данной биоты не просто ряда приспособлений к каждому отдельному фактору, что маловероятно при столь большом их количестве, но некой универсальной устойчивости, которая обусловлена либо отдельным агентом, либо наличием специального механизма адаптации.

В ходе экспедиций 2012–2013 гг. были обследованы места отбора проб экспедиционных сессий 80-х годов. За прошедшее время изучаемые территории подвергались сильному антропогенному воздействию, популяции отдельных экстремофильных видов находятся в угнетенном состоянии, но ключевые виды (наиболее распространенные) все еще сохраняются. Эксплуатация геотермальных месторождений приводит к обеднению и исчезновению гидротерм естественных (рис. 7), многие виды просто лишаются пространства для обитания. Ряд видов термофильных микроорганизмов внесен в Красную книгу Камчатки (2007), и их местообитания подлежат охране на территории Камчатского края.

Экстремофильные цианобактерии являются ценным источником биологических веществ, включая как уже используемые в производстве, так и изучаемые нами вещества с неспецифической адаптогенной активностью, задача сохранения генофонда этих организмов является актуальной (Кузякина, 2004; Акшинцев, 2013). На данный момент рассматриваются различные подходы к их культивации, включая культивацию с непосредственным использованием термальных вод искусственных гидротерм (таких как сливы с ГеоТЭС) для установки проточных культиваторов, а также выпаривание солей изливающихся вод и культивирование видов вне гидротерм в искусственной водной среде, приготовленной путем эквивалентного растворения названного солевого остатка.

Таблица 4. Видовая специфичность исследованных в 2012–2013 гг. гидротерм (дробью приводятся данные, более точно локализирующие место и дату отбора пробы)

№ п/п	Название вида	t°C	Колич. оценка	Источники (места отбора)
1.	<i>Oscillatoria limosa</i> Ag.	57	Единично	1
2.	<i>Phormidium angustissimum</i> W.et G. S.West (<i>Leptolyngbya angustissima</i> Anagn. et Kom.)	57	В массе	1
		51,2	В массе	8,3
3.	<i>Mastigocladus laminosus</i> Cohn	57	Много	1
		55,8	Единично	4,1
		52	Много	4,2
		52	В массе	5,1
		54	Много	5,2
		50	Средне	7,1
		57,2	В массе	8,1
		58,3	Много	8,2
		58,8	В массе	9,1
		59,8	В массе	9,2
		54,5	В массе	1,13,1
		55,1	В массе	2,13,1
		55,3	В массе	7,13,1
59,7	В массе	9,13,1		
4.	<i>Oscillatoria angustissima</i> W.et G. S.West (<i>Jaa-ginema angustissima</i> Anagn. et Kom.)	57,2	В массе	2
5.	<i>Phormidium laminosum</i> (Ag.) Gom. (<i>Leptolyngbya laminosa</i> Anagn.et Kom.)	57,2	Единично	2
		52	Много	4,2
		58	В массе	7,2.1
		62	Много	7,2.2
		55,3	Единично	7,13,1
6.	<i>Aphanothece castagnei</i> (Breb.) Rabenh.	57,2	Отдельные скопления	2
7.	<i>Gloeocapsa minor</i> (Kutz.) Hollerb.	57,2	Единично	2
		55,3	Единично	7,13,1
8.	<i>Chlorogloea microcystoides</i> Geitl.	49	Единично	3
9.	<i>Schizothrix lardaceae</i> (Ces.) Gom.	49	Много	3
10.	<i>Oscillatoria tenuis</i> Ag. (<i>Phormidium konstantinum</i> Umezaki et Watanabe)	49	Много	3
11.	<i>Phormidium tenue</i> (Menegh) Gom. (<i>Leptolyngbya tenue</i> Anagn.et Kom.)	55,8	В массе	4,1
		58,3	Много	8,2
12.	<i>Phormidium foveolarum</i> (Mont.) Gom. (<i>Leptolyngbya foveolarum</i> Anagn.et Kom.)	54	Много	5,2
		50	Много	7,1
		62	Много	7,2.2
13.	<i>Gloeocapsa dermochroa</i> Nag. (<i>Chondrocystis dermochroa</i> Anagn.et Kom.)	50	Единично	7,1
14.	<i>Phormidium luridum</i> (Kutz.) Gom.	50	Единично	7,1
15.	<i>Phormidium pallidum</i> Elenk.	50	Единично	7,1
16.	<i>Lyngbya martensiana</i> Menegh (<i>Porphyrosiphon martensianus</i> (Menegh. ex Gom.) Anagn.et Kom.)	59,7	Единично	9,13,1



Рис. 7. Отбор образцов в горячем ручье от скважины в п. Начики, 18 ноября 2013 г. Температура воздуха минус 18 °С

Заключение

Исследования адаптационных свойств экстремофильных организмов и получение препаратов и продуктов, повышающих устойчивость организма человека к неблагоприятным воздействиям, востребованы обществом (Поветьева, 2002; Парьева, 2005; Актуальные проблемы..., 2006; Серегина, 2007; Бабий, 2009; Болдогуев, 2011; и др.). Мы планируем продолжение начатых работ и ведем переговоры с рядом НИИ о совместной работе по дальнейшему исследованию механизмов адаптации термофильных цианобактерий.

Резюмируя, можно отметить, что к настоящему времени выполнены первоочередные задачи: составлены видовые списки представителей альгобактериальных сообществ изученных гидротерм и выделены доминирующие представители термофильных сообществ (температура воды > 50 °С); определен качественный и частично элементный состав цианобактериальных сообществ, элементный состав водных объектов группы горячих источников центральной, восточной и южной Камчатки; произведена оценка перспективности различных видов термофильных цианобактерий гидротерм Камчатки для биотехнологического использования (Ефимова, 2005); проведена подготовительная работа, позволяющая возобновить исследование адаптационных свойств экстрактов и индивидуальных веществ, получаемых из цианобактерий.

Результаты уже проведенных исследований цианобактериальных сообществ гидротерм Камчатки могут быть использованы для изучения биоразнообразия термофильной гидробиоты и для создания коллекций.

Дальнейшие планы можно разделить на 2 блока:

- Практический. Включает в себя задачи налаживания производства качественного экстракта с постоянными выходными характеристиками и высокой степенью надежности. Выделение индивидуальных лекарственных веществ адаптогенного типа действия, установление их структуры, первичные испытания активности. Проведение медико-биологических испытаний на животных.

- Научный. Включает в себя целый ряд задач. В том числе вопрос доказательства адаптогенной функции выделенных индивидуальных веществ не только по отношению к большому числу модельных животных, но и к самому изучаемому термофильному организму. Ярким примером обратной ситуации может служить хинное дерево, которое вырабатывает хинин, мощнейшее оружие против малярии, само же при этом не будучи в состоянии от нее страдать. Подобные изыскания могут позволить нам выделить совершенно новый ранг функциональных веществ.

ЛИТЕРАТУРА

Актуальные проблемы создания новых лекарственных препаратов природного происхождения. 10-й Междунар. съезд ФИТОФАРМ : материалы съезда. – СПб., 2006. – 574 с.

Акишнцев А. А. 2013. Некоторые особенности обитания биоты в гидротермах Камчатки // Актуальные проблемы экологии и природопользования : сб. науч. тр. – Вып. 15. – М. : РУДН. – С. 39–44.

Бабий Н. В. 2009. Разработка и оценка потребительских свойств фитонапитков на основе природных адаптогенов : дис. ... канд. техн. наук. – Кемерово : Кемеровский. технол. ин-т пищ. пром-ти. – 148 с.

Баевский А. В., Баренбойм Г. М., Барсегова Н. В. и др. 1982. Способ получения средства, повышающего устойчивость клеток и тканей к действию неблагоприятных факторов внешней среды. Авторское свидетельство № 974646. Гос. комитет СССР по делам изобретений и открытий, 14.07.1982 (приоритет от 26.08.1980).

Баренбойм Г. М., Брикеништейн В. Х., Королева А. М. и др. 1986. Биологическая активность и биофизические аспекты действия экстрактов из термофильных микроорганизмов. 1. Экстремофилы – новые потенциальные источники биологически активных веществ для медицины // Ред. журн. «Биофизика». – М. – 16 с. – Деп. в ВИНТИ 5.05.86, № 7430.

Баренбойм Г. М., Брикеништейн В. Х., Королева А. М. и др. 1986а. Биологическая активность и биофизические аспекты действия экстрактов из термофильных микроорганизмов. 2. Первичная оценка биологической активности // Ред. журн. «Биофизика». – М. – 29 с. – Деп. в ВИНТИ 5.05.86, № 7431.

Барнаулов О. Д. 2001. Женьшень и другие адаптогены // Лекции по фитотерапии. – СПб. : ЭЛБИ. – 138 с.

Болдогуев В. М. 2011. Адаптогенное действие растительного средства «Адаптофит-28» : автореф. дис. ... канд. мед. наук. – Улан-Удэ : Ин-т общ. и эксперим. биологии СО РАН. – 21 с.

Брикеништейн В. Х., Татьянаенко Л. В., Соколова В. Н., Баренбойм Г. М. и др. 1986. Биологическая активность экстрактов из термофильных микроорганизмов. 3. Влияние экстрактов термофильных синезеленых водорослей на активность Са²⁺-АТФазы и моноаминоксидазы // Биофизика. – Т. 31. № 5. – С. 77–81.

Ефимова М. В. 2005. Синезеленые водоросли (цианобактерии) поверхностных термопроявлений Камчатки и возможности их использования в биотехнологии : дис. ... канд. биол. наук. – Владивосток. – 151 с.

Крендель Ф. П., Козин С. В., Левина Л. В. 2007. Сравнительная характеристика препаратов из группы фитоадаптогенов – женьшеня, элеутерококка и родиолы розовой / под ред. С. В. Грачева – М. : Профиль. – 391 с.

Красная книга Камчатки. Т. 2. Растения, грибы, термофильные микроорганизмы. 2007 / отв. ред. О. А. Черныгина. – Петропавловск-Камчатский : Камч. печатн. двор. Книжн. изд-во. – 341 с.

Кузьякина Т. И. 2004. Экология и геохимическая деятельность микроорганизмов на активных вулканах и гидротермах (остров Кунашир, Курильские острова, Камчатка). – Владивосток : «Дальнаука». – 251 с.

Ленгелер Й. Г., Древис Г., Шлегель Г. 2005. Современная микробиология: прокариоты. – М. : Мир. – 695 с.

Мурадов С. В., Кириченко В. Е., Рогатных С. В. 2013. Термоминеральные источники и лечебные грязи Камчатского края. – Петропавловск-Камчатский : РИОиП ККТ. – 238 с.

Нетрусов А. И., Бонч-Осмоловская Е. А., Горленко В. М., Иванов М. В. 2004. Экология микроорганизмов / под ред. А. И. Нетрусова. – М. : Изд. центр «Академия». – 272 с.

Парьева К. В. 2005. Разработка и стандартизация адаптогенного средства растительного происхождения : автореф. дис. ... канд. фармацевт. наук. – Улан-Удэ : Ин-т общ. и эксперим. биологии СО РАН. – 21 с.

Поветьева Т. Н. 2002. Механизмы адаптогенных действий лекарственных растений Сибири : дис. ... докт. биол. наук. – Томск. – 387 с.

Приказ Росрыболовства от 18.01.2010 № 20 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».

Сводный отчет «Поиск, выделение и первичные испытания новых биологически активных веществ из термофильных синезеленых водорослей Дальнего Востока и Прибайкалья». 1984. Т. 1. – М. : НИИ по биологическим испытаниям химических соединений Министерства медицинской промышленности АН СССР. – 278 с.

Серегина М. В. 2007. Обоснование системы фармакоррекции комплексными фитопрепаратами наружного применения с актопротекторными и адаптогенными свойствами для повышения работоспособности в экстремальных условиях : автореф. дис. ... докт. биол. наук. – М. – 27 с.

Barenboim G. M. (ed.). 1985. Eleutherococcus. Strategy of Use and New Fundamental Data. – M.: Medexport. – 79 p.

Brock T. D. 1978. Thermophilic microorganisms and Life at High Temperatures. – New York. Springer-Verlag. – 465 p.

Castenholz R. W. 1969. Thermophilic Blue-Green Algae and the Thermal Environment // Bacteriological reviews. American Society for Microbiology. – Vol. 33, No. 4 Dec. – P. 476–504.

Daniela R. M., Cowan D. A. 2000. Review Biomolecular stability and life at high temperatures // CMLS, Cell. Mol. Life Sci. 57 Birkhauser Verlag, Basel. – P. 250–264.

Fish S. A., Codd G. A. 1994. Bioactive compound production by thermophilic and thermotolerant cyanobacteria (blue-green algae) // World Journal of Microbiology & Biotechnology 10 Rapid Communications of Oxford Ltd. – P. 338–341.

Forterre P., Bergerat A., Lopez-Garcia P. 1996. The unique DNA topology and DNA topoisomerases of hyperthermophilic Archaea // FEMS Microbiol. Rev. – Vol. 18. – P. 237–248.

Kaplan E. Ya., Sokolov I. K., Losev A. S. et al. 1986. Study of the range of the adaptogenic action of eleutherococcus senticosus rupp. et maxim // Eleutherococcus. Strategy of the use and new fundamental data. – M. : Medexport. – P. 19–23.

Stetter K. O. 1999. Extremophiles and their adaptation to hot environments // FEBS Letters – Vol. 452, Is. 1–2, 4 June. – P. 22–25.

Vieille C., Zeikus G. J. 2001. Hyperthermophilic enzymes: sources, uses, and molecular mechanisms for thermostability // Microbiol. Mol. Biol. Rev. – Vol. 65. – P. 1–43.

Wolk P. C. 1973. Physiology and Cytological Chemistry of Blue-Green Algae // Bacteriological reviews, American Society for Microbiology. – Vol. 37, No. 1. Mar. – P. 32–101.

Zierenberg A., Adams M. W. W., Arp A. J. 2000. Life in extreme environments: Hydrothermal vents // PNAS USA. November 21; 97(24). – P. 12961–12962.