

**БИОАККУМУЛЯЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ЦИАНОБАКТЕРИЯМИ
В ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКАХ КАМЧАТКИ И СОЗДАНИЕ
ПРИРОДОПОДОБНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОРАЗМЕРНОГО КРЕМНЕЗЕМА
ДЛЯ БИОТЕХНОЛОГИИ**

В.Н. Зеленков^{1,2}, В.В. Потапов³

¹ *Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений,
Москва, Россия*

² *Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства – филиал Федерального научный
центр овощеводства, Московская область, Россия*

³ *Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН Петропавловск-Камчатский,
Россия*

Проблема сохранения биологического разнообразия на Земле в настоящее время включает в себя сохранение генофонда не только людей, животных и растений, но также и микроорганизмов – важнейшего фактора биологической жизни планеты. Принято считать, что экологические условия гидротерм вулканических областей являются наиболее древними и принципиально малоизменяемыми, что представляет не только теоретический, но и практический интерес. Цианобактерии являются одними из самых древних фотосинтезирующих организмов нашей планеты. Они имеют прекрасно документированную палеонтологическую историю и обнаружены в осадочных породах с возрастом 3,2 миллиарда лет [1–3].

Изучение химического элементного состава растительных образцов как лекарственных, так и растений сельскохозяйственного назначения имеет важное значение для познания закономерностей накопления макро- и микроэлементов растениями, произрастающими на гидротермальных участках Камчатки, а в более широком аспекте – для познания организации жизненных процессов у растений в экстремальных условиях. Актуальность разработки данной проблемы хорошо понятна с учетом перспективы использования растений, модифицированных особыми условиями произрастания, для создания новых видов продукции лечебно-профилактической направленности.

Термофильные водоросли (цианобактерии) Камчатки издавна привлекали внимание альгологов-флористов, химиков и биохимиков. Одной из научных задач в решении вопросов познания физиологических аспектов существования фотосинтезирующих бактерий в условиях высоких температур термальных вод с высокой минерализацией является решение вопросов по выявлению закономерностей концентрирования химических элементов относительно их содержания в водной среде.

Наши исследования и исследования наших коллег [1–11] показали, что в матах доминируют фототрофные бактерии, среди которых цианобактерии являются основными продуцентами органического вещества и отвечают за структуру мата. Жизнедеятельность микрофлоры сообщества, ведёт к образованию вертикальной зональности мата. Ясно различаются три зоны: верхняя – зелёная, аэробная, с развитием цианобактерий, нижняя – чёрная, строго анаэробная, где идёт распад органического материала с образованием метана и сероводорода и, соответственно, промежуточная – между этими двумя зонами (желтая), зона деструкции цианобактерий. Маты, встреченные нами на Камчатке, это маты, растущие по течению гидротермального потока. Однако, в виде слоистых плавающих пленок, они наблюдались и на поверхности тёплых водоёмов, с подпиткой горячих источников. Площадь таких матов может достигать десятков квадратных метров, толщина их 10–15 мм. и более.

В работе [12] приведены данные по гидрохимическим характеристикам воды Карымшинского термального источника и образцов цианобактерий полученные в ноябре 2016 г. Сравнивая эти показатели с определенными нами показателями термальной воды Карымшинского источника 2004 г. мы получили совпадающие значения по химическому составу как воды, так и образцов цианобактерий. Показатели содержания кремнезема характеризуют Карымшинский источник как гидрохимически стабильный по этим параметрам.

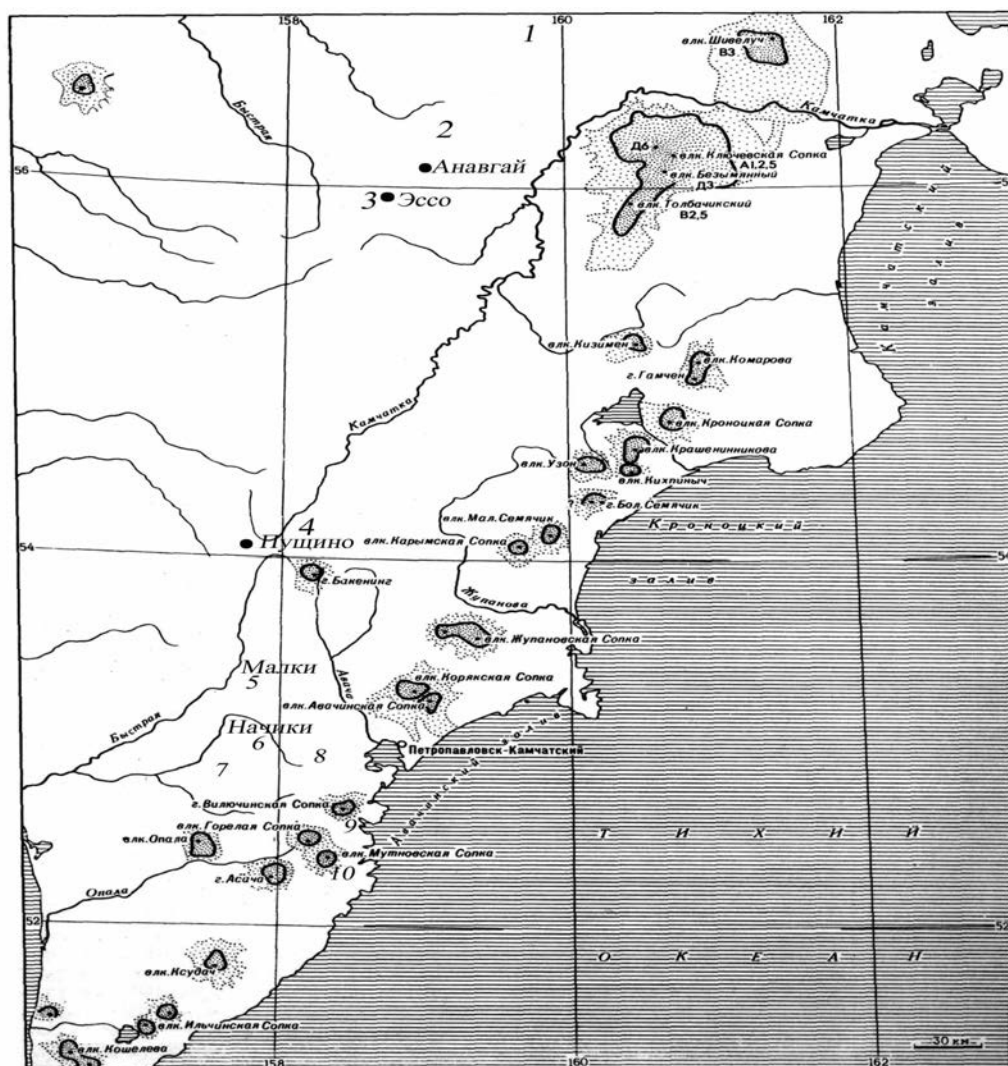


Рисунок. Исследованные авторами участки активных гидротерм от вулкана Мутновский до вулкана Шивелуч (4 экспедиции 2001–2005 гг. и локальные экспедиции 2016–2017 гг.). Участки исследований на карте №№ 1–10, с юга на север Камчатки более 500 км)

В результате проведенных исследований 2003–2018 гг. мы получили данные по концентрациям более 20 химическим элементам, как в термальной воде более десятка различных гидротерм Камчатки на протяжении более 500 км с юга на север так и по образцам цианобактерий, обитающих в этих гидротермах.

По соотношению концентрации химических элементов в высушенной биомассе (мг/кг) к концентрации элементов в среде обитания – термальной воде (мг/дм³), мы определили коэффициент биоаккумуляции химических элементов клетками цианобактерий. Учитывая, что 1 дм³ для термальной воды имеет массу равную практически 1 кг мы, в качестве коэффициента биоаккумуляции, имеем безразмерную количественную величину, характеризующую свойство живой материи – сообщества фотосинтезирующих бактерий включать в свой метаболизм химические элементы.

Ранее, нами для цианобактерий было выявлено присущее цианобактериям свойство – гиперконцентрирования химических элементов в гидротермальных средах [4, 5, 7].

В микробном сообществе фотосинтезирующих цианобактерий одновременно протекают два процесса, характеризующих жизнь – размножение, связанное с делением клеток и смертью, связанной с их необратимым разрушением. В целом, мы имеем дело с условно равновесной системой только в определенный момент времени, когда количественный прирост биомассы по клеткам равен количеству отмерших и разрушающихся клеток.

Поскольку, в реальных условиях при омывании термальной водой биомассы сообщества микроорганизмов содержащее разрушающихся клеток вымывается, мы можем говорить о свойстве биоаккумуляции химических элементов именно живой материей и коэффициент биоаккумуляции будет характеризовать специфику конкретного сообщества микроорганизмов в данных условиях гидротермальной среды обитания (кислотность, температура, минерализация).

Авторами экспериментально установлен новый научный факт, что для клеток фотосинтезирующих бактерий характерно концентрирование многих химических элементов до уровня превышающего их содержание в водной среде обитания (гидротермы) в 10 и более раз.

Выявлено, что для кобальта, хрома и бора степень превышения концентрации составляет более 100 раз, для Mo, Ni, Pb – более 1000 раз, для P, Mg, V, Cu, Si, Ca, Ba – более 10 000 раз, для Mn – более 30 000 раз и для Ti, Fe, Al – более 100 000 раз. Таким образом, можно говорить о явлении гиперконцентрирования химических элементов клетками цианобактерий в гидротермальных средах их обитания. Данное явление установлено нами для сообществ цианобактерий различных гидротерм и достоверно показано в экспериментах по определению химических элементов в образцах, собранных участниками четырех экспедиций в различных районах Камчатки в 2002–2005 гг.

С точки зрения физико-химических процессов, основой реализации концентрирования живыми клетками кремнезема является свойство наноразмерных форм кремнезема проникать через мембрану клетки при наличии их во внешней среде или образовываться внутри клетки при концентрировании ортокремниевой кислоты во внутриклеточной среде с последующей естественной поликонденсацией молекул с образованием твердой фазы наноразмерных форм кремнезема после превышения его (кремнезема) растворимости во внутриклеточной жидкости с образованием высокодисперсного наноразмерного золя кремнезема без перехода в гелеобразное состояние.

Факты по сохранению жизнеспособности клеток фотосинтезирующих бактерий при гиперконцентрировании ими кремния в природных гидротермах Камчатки, позволяет нам утверждать, что полученные искусственным способом нанодисперсные золи из гидротермальной среды могут быть сырьевой основой (субстанцией) для создания новых биологически активных материалов для сельского хозяйства, ветеринарии и медицины.

Единство физико-химического механизма гиперконцентрирования кремния живой материей фотосинтезирующих клеток цианобактерий посредством образования и накопления наноразмерного кремнезема до концентраций более 10 % на сухой вес образцов, на наш взгляд, открывает перспективы новых направлений в бионанотехнологии – создание биогенных кремнийсодержащих наноструктурных материалов с использованием технических средств ультрафильтрации.

В России последние 15 лет нами активно развивается это направление по получению и использованию нанодисперсного кремнезема гидротермального происхождения [13–19]. В качестве сырья для получения нанодисперсного кремнезема используются жидкая фаза теплоносителя продуктивных скважин действующих гидротермальных электростанций южной Камчатки (Мутновская ГеоЭС, Верхне-Мутновская ГеоЭС). Применение современных методов мембранной ультрафильтрации позволило создать современную технологию производства стабильных водных золей нанокремнезема с низкой концентрацией примесей [13–17]. Эта технология практически идентична «технологии» существующей в природе в гидротермальных водах планеты и реализуемой клетками цианобактерий в процессе своей жизнедеятельности. Можно говорить о создании природоподобной технологии получения наноразмерного кремнезема высокой степени очистки где в качестве исходного сырья используются гидротермальные воды а в качестве основной технологии – мембранные технологии очистки и концентрирования высокодисперсных наносистем систем в водной среде.

Актуальной проблемой в лекарственном растениеводстве является научный поиск путей повышения урожайности растений. В этом направлении несомненный интерес представляют вопросы по выявлению новых регуляторов роста растений для некорневой обработки растений, позволяющих получать экологически чистое и биологически ценное растительное лекарственное и сельскохозяйственное сырье и продукцию.

Авторы надеются, что гидротермальный нанокремнезем в ближайшем будущем найдет более широкое применение в биотехнологии применительно к решению проблем медицины, сельского хозяйства и других производственных областях человеческой деятельности [18, 19].

ЛИТЕРАТУРА

1. Заварзин Г.А. Заповедники для микробов // Природа, 1990 № 2, С. 39–45
2. Кальдерные микроорганизмы. Ред. Заварзин Г.А., М., Наука, 1989, 121 с.
3. Герасименко Л.М., Заварзин Г.А. Реликтовые цианобактериальные сообщества // Сб. Проблемы эволюции ведущих компонентов биосферы. М., Наука, 1993, С. 221–252
4. Зеленков В.Н., Потапов В.В. Химический и элементный состав воды Дачных гидротермальных источников Мутновского вулкана. Первичная оценка химического элементного состава биологической составляющей гидротермальной среды. // Нетрадиционные природные ресурсы, инновационные технологии и продукты: Сборник научных трудов. Вып.11.ч. 2 – М: РАЕН, 2004. – с. 65–69.
5. Зеленков В.Н., Потапов В.В. Химическая характеристика воды участка «Медвежий» Дачных источников Мутновского вулкана и первичная оценка лиофильности химических элементов по их степени концентрирования цианобактериями в экстремальной среде обитания. Кварц. Кремнезем: Материалы Международного семинара. Сыктывкар: Гелпринт, 2004, С. 287–288.
6. Зеленков В.Н., Орлеанский В.К., Герасименко Л.М. Микроэлементный состав бактериальных матов цианобактерий Вилючинских гидротерм Камчатки. // Нетрадиционные природные ресурсы, инновационные технологии и продукты: Сборник научных трудов. Вып.12 – М: РАЕН, 2005. – с. 37–51.
7. Зеленков В.Н., Потапов В.В., Марков М.В. Гиперконцентрирование химических элементов растениями и цианобактериями на гидротермальных площадках Камчатки. Вестник РАЕН. Том 6 – 2014. – с. 67–75.
8. Зеленков В.Н. Устойчивость биосистем к стресс-факторам – проявление свойств наноразмерных форм кремнезема. // Наночастицы в природе. Нанотехнологии в приложении к биологическим системам: Материалы 2-го Российского научно-методического семинара. – М: РАЕН, 2004 – с. 84–85.
9. Герасименко Л.М., Миходюк О.С., Зеленков В.Н. Видовое разнообразие цианобактерий в гидротермах Камчатки. // Нетрадиционные природные ресурсы, инновационные технологии и продукты: Сборник научных трудов. Вып.12 – М: РАЕН, 2005. – с. 20–28.
10. Зеленков В.Н., Потапов В.В. Гиперконцентрирование кремния клетками цианобактерий как закономерность существования зольей нанодисперсного кремнезема в высоких концентрациях. «Актуальные проблемы нанобиотехнологии и инноваций с нетрадиционными природными ресурсами и создания функциональных продуктов». Материалы V Российской научно-практической конференции. – М. – РАЕН, 2009 – С. 33–36.
11. Лапин А.А., Потапов В.В., Зеленков В.Н. Суммарная антиоксидантная и биологическая активность нанодисперсного кремнезема из термальных вод Камчатки. Бутлеровские сообщения. 2010. Т.20. № 4. С. 71–78.
12. Зеленков В.Н., Потапов В.В., Чернягина О.А. Концентрирование химических элементов цианобактериями Карымшинских гидротерм Камчатки / Актуальные проблемы биологии и экологии: Материалы международной заочной научно-практической конференции (г. Грозный 4 мая 2017 г.) – Махачкала АЛЕФ (ИП Овчинников М.А.), 2017 – ISBN 978–5–4242–0557–6 426с – С. 212–315
13. Потапов В.В. Коллоидный кремнезем в высокотемпературном гидротермальном растворе. Владивосток: Дальнаука, 2003, С. 8–14, 27–33.
14. Потапов В.В., Зеленков В.Н. Распределение по размерам коллоидных частиц кремнезема в гидротермальном растворе. // Наночастицы в природе. нанотехнологии в приложении к биологическим системам: Материалы I Российского научно-методического семинара. М.: РАЕН, 2003. С. 38–52.
15. Потапов В.В., Аллахвердов Г.Р., Сердан А.А. (мл.), Мин Г.М., Кашутина И.А. Получение водных зольей кремнезема мембранным концентрированием гидротермальных растворов. // Химическая технология. 2008. № 6. С. 14–22.
16. Потапов В.В., Зеленков В.Н., Горбач В.А., Кашпура В.Н., Мин Г.М. Извлечение коллоидного кремнезема из гидротермальных растворов мембранными методами – М.: РАЕН, 2006 – 228 с.
17. Потапов В.В., Зеленков В.Н., Кашпура В.Н., Горбач В.А., Мурадов С.Н. Получение материалов на основе нанодисперсного кремнезема гидротермальных растворов. – М.: РАЕН, 2010. – 296 с.
18. Зеленков В.Н., Потапов В.В. Биологическая активность соединений кремния. Часть 1. Природные и синтетические кремнийсодержащие соединения. Медико-биологические аспекты (обзор литературы). Вестник РАЕН, 2016, № 5, С. 9–15.
19. Зеленков В.Н., Потапов В.В. Биологическая активность соединений кремния. Часть 2. Аморфные наноразмерные кремнеземы: химико-технологические аспекты получения, применения и перспективы использования гидротермальных источников (обзор литературы). Вестник РАЕН, № 1, 2018., с. 41–50.