Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
Музей землеведения МГУ

БИОСФЕРНАЯ РОЛЬ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ ГИДРОТЕРМ

КАТАЛОГ ВЫСТАВКИ К 85-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ АКАДЕМИКА Г. А. ЗАВАРЗИНА

МАКС ПРЕСС

МОСКВА
2019

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
Музей землеведения МГУ

Н. Н. Колотилова, А. Р. Пошибаева, В. В. Пошибаев, В. В. Снакин

БИОСФЕРНАЯ РОЛЬ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ ГИДРОТЕРМ

Каталог экспозиции к 85-летию со дня рождения академика Г. А. Заварзина

МАКС ПРЕСС

МОСКВА — 2019

УДК 579:069
ББК 28.6:79.1
К61

Ответственные редакторы: А. В. Смуров, В. В. Снакин

Колотилова Н. Н., Пошибаева А. Р., Пошибаев В. В., Снакин В. В.

К61 Биосферная роль микробных сообществ гидротерм : Каталог экспозиции к 85-летию со дня рождения академика Г. А. Заварзина / Н. Н. Колотилова, А. Р. Пошибаева, В. В. Пошибаев, В. В. Снакин; под ред. А. В. Смурова и В. В. Снакина. Москва : МАКС Пресс, 2019. – 28 с.

ISBN 978-5-317-06255-2

Экспозиция «Биосферная роль микробных сообществ гидротерм», подготовленная Музеем землеведения МГУ и посвященная 85-летию со дня рождения выдающегося естествоиспытателя и микробиолога, академика Г. А. Заварзина (1933–2011), рассказывает о его исследованиях на Камчатке (кальдера Узон) и Курильских островах. В результате работ, проведенных под его руководством, были описаны новые микроорганизмы, выявлены микробные процессы, идущие в гидротермах, найдены основные звенья трофической цепи микробного сообщества, установлено непосредственное участие микроорганизмов в геологических процессах, в частности, в формировании состава атмосферы. Обсуждается история исследований гидротерм Камчатки и связанных с ними термофильных микроорганизмов.

УДК 579:069
ББК 28.6:79.1

Научное издание

Колотилова Наталья Николаевна
Пошибаева Александра Романовна
Пошибаев Владимир Владимирович
Снакин Валерий Викторович

Биосферная роль микробных сообществ гидротерм

Каталог экспозиции к 85-летию со дня рождения академика Г. А. Заварзина

Под ред. А. В. Смурова и В. В. Снакина

В издании использованы фотографии *А. Р. Пошибаевой*
Компьютерная верстка и обложка: *А. Р. Пошибаева, В. В. Пошибаев*

Издательство «МАКС Пресс»
Главный редактор: *Е. М. Бугачева*

Отпечатано с готового оригинал-макета
Подписано в печать 28.10.2019 г.
Формат 60x90 1/8. Усл. печ. л. 3,5. Тираж 75 экз. Изд. № 251.

Издательство ООО «МАКС Пресс»
Лицензия ИД N00510 от 01.12.99 г.

119992, ГСП-2, Москва, Ленинские горы,
МГУ им. М. В. Ломоносова, 2-й учебный корпус, 527 к.
Тел. 8(495) 939–3890/91. Тел./Факс 8(495) 939–3891

Отпечатано в полном соответствии с качеством
предоставленных материалов в ООО «Фотоэксперт»
115201, г. Москва, ул. Котляковская, д.3, стр. 13.

© Музей землеведения МГУ, 2019
© Авторы, 2019
© Оформление. ООО «МАКС Пресс», 2019

ISBN 978-5-317-06255-2

Георгий
Александрович
Заварзин

«Что же касается вулканов и горячих ключей,
то вряд ли можно найти другое такое место,
где бы их было такое множество на столь
незначительном пространстве, как на Камчатке».
С.П. Крашенинников[1].

В вулканических образованиях – кальдерах –
развивается своеобразная микрофлора.
Трансформируя вещества глубинного и
поверхностного происхождения, она обеспечивает
взаимосвязь геологических и биологических процессов.
Г.А. Заварзин[2].

Введение

20 ноября 2018 г. в Музее землеведения МГУ была открыта экспозиция «Биосферная роль микробных сообществ гидротерм» (к 85-летию со дня рождения академика Г.А. Заварзина). Авторы экспозиции: Н.Н. Колотилова, В.В. Снакин (МЗ МГУ), В.В. Пошибаев и А.Р. Пошибаева (РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина).

Основной стенд экспозиции рассказывает об исследованиях выдающегося микробиолога-естествоиспытателя Георгия Александровича Заварзина (1933–2011) и его коллег на Камчатке и Курильских островах. В каталоге представлены некоторые биографические материалы Г.А.Заварзина; его труды, посвященные изучению микробных сообществ гидротерм; статьи, рассказывающие об истории исследования горячих ключей Камчатки; а также фотографии источников кальдеры вулкана Узон, сделанные А.Р. Пошибаевой во время экспедиции 2018 г.

---

[1] *Крашенинников С.П.* Описание земли Камчатки. М: ОГИЗ, 1947. С.26.

[2] *Заварзин Г.А., Карпов Г.А., Горленко М.В., Головачева Р.С., Герасименко Л.М., Бонч-Осмоловская Е.А., Орлеанский В.К.* Кальдерные микроорганизмы / Отв. ред. Г.А. Заварзин. М.: Наука, 1989. 120 с.

К научной биографии Г.А. Заварзина

Георгий Александрович Заварзин родился 28 января 1933 г. в Ленинграде в семье с глубокими научными и культурными традициями. Определяющее влияние на формирование взглядов и научных интересов Г.А.Заварзина оказал его дед, академик Борис Лаврентьевич Исаченко (1871–1948), который вошел в историю отечественной науки как основоположник морской и геологической микробиологии, один из пионеров в изучении микробиологии озер, полярный исследователь, талантливый педагог и организатор науки. Основатель кафедры микробиологии в Санкт-Петербургском (Петроградском) университете (1918), он также много лет был директором Главного Ботанического сада, руководил Отделом общей микробиологии в Институте экспериментальной медицины, а после переезда в Москву возглавил Институт микробиологии АН СССР (1939). Обладая энциклопедическими знаниями, Исаченко курировал многие направления экологии микроорганизмов в нашей стране. Он горячо способствовал развитию традиций С.Н. Виноградского в отечественной микробиологии. Эти традиции получили продолжение и в деятельности Г.А. Заварзина.

Интерес Георгия Александровича к научным исследованиям пробудился рано. В 1955 г. он окончил МГУ имени М.В. Ломоносова и поступил в аспирантуру Института микробиологии АН СССР. Наиболее сильное влияние на круг интересов Георгия Александровича, по его словам, оказал профессор, позднее член-корреспондент АН СССР Сергей Иванович Кузнецов (1900–1987), у которого в 1952 г. он начал «сознательно заниматься микробиологией». Тематика первых работ Георгия Александровича – нитрифицирующие бактерии и микроорганизмы поверхностной пленки воды – уже характеризовала сферу его будущих главных научных интересов: хемосинтез и микробная экология.

Исследования хемосинтезирующих бактерий стали основой кандидатской (1958) и докторской (1965) диссертаций Г.А. Заварзина, его блестящей монографии «Литотрофные микроорганизмы» (1972) и других трудов. О научном признании свидетельствовало раннее избрание его членом-корреспондентом АН СССР (1976) и затем академиком РАН (1997).

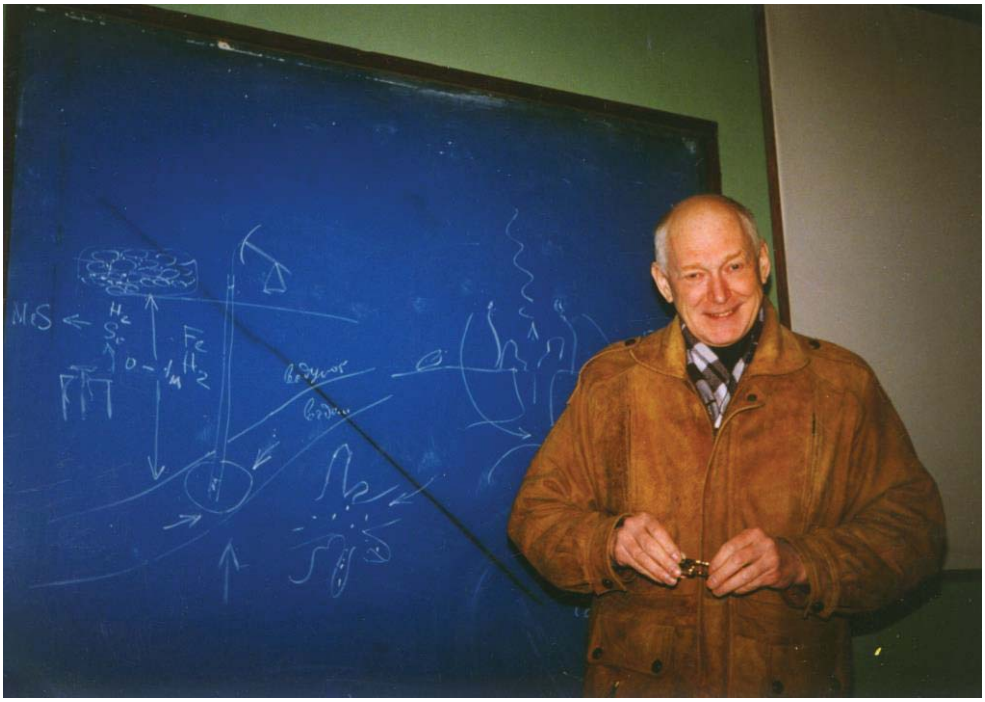
С момента окончания университета и до последних дней жизни научная деятельность Георгия Александровича была связана с Институтом микробиологии АН СССР (позднее, Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского РАН, сегодня Институт микробиологии им. С.Н.Виноградского ФИЦ Биотехнологии РАН). С 1960 г. он возглавлял отдел физиологии хемосинтезирующих организмов, затем отдел микробных сообществ (1991), а с 1996 г. — отдел реликтовых микробных сообществ. Большое влияние на развитие междисциплинарных направлений оказало его тесное сотрудничество с Палеонтологическим институтом РАН и Институтом физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН в Пущино.

Тематика научных интересов Г.А. Заварзина чрезвычайно разнообразна. Уже по его публикациям можно проследить их постепенный переход от вопросов физиологии и систематики микроорганизмов ко все более обобщающим проблемам экологии микроорганизмов, истории биосферы и глобальной микробиологии. На протяжении многих лет в центре внимания Георгия Александровича были исследования микробных сообществ с точки зрения взаимодействия в них разных функциональных групп бактерий.

Большое место в научной жизни Георгия Александровича занимали экспедиции в природные местообитания изучаемых групп микроорганизмов. Он был прирожденным натуралистом, тонко чувствовал ландшафт, умел видеть и

понимать процессы, осуществляемые микроорганизмами в природных условиях. Не случайно название нового научного направления, созданного Георгием Александровичем, — природоведческая микробиология, т.е. микробиология естественных сред обитания, ассоциируется с непосредственным познанием природы. Именно в экспедициях им формулировались задачи последующих работ. В разные годы им исследовались термофильные (о. Кунашир, кальдера Узон, Камчатка), галофильные (гиперсоленые лагуны озера Сиваш), алкалофильные (содовые озера Африки и центральной Азии — Бурятии, Тувы, Алтайского края), психрофильные (зона вечной мерзлоты на севере России) микробные сообщества, а также сообщества ультрапресных вод.

В работах, проведенных под руководством Г.А.Заварзина, были впервые охарактеризованы многие физиологически и функционально значимые группы микроорганизмов (например, нитрификаторы, водородные бактерии, карбоксидобактерии, метаногены, ацетогены, галоанаэробы). На основе системного подхода им были проанализированы взаимосвязи микроорганизмов между собой и со средой обитания, что привело к созданию концепции микробного сообщества — центрального объекта природоведческой микробиологии, выяснению его трофической и топической организации.



Г.А. Заварзин на лекции в МГУ имени М.В. Ломоносова рассказывает о процессах, осуществляемых микроорганизмами в гидротермах (конец 1990-х гг.)

Обсуждая роль микроорганизмов в биосфере, Георгий Александрович сформулировал представление о «биогеохимической машине планеты», как системе взаимосвязанных циклов элементов (углерода, азота, фосфора, серы, железа, кальция, кремния), которые контролируются преимущественно микробами. Изучение бактерий, участвующих в круговороте газов, позволило осветить их роль в формировании состава атмосферы, как планетарной функции микроорганизмов. Особое значение в этом плане имело исследование циано-бактериальных сообществ — создателей кислородной атмосферы Земли. Под руководством Г.А. Заварзина были впервые проведены крупномасштабные исследования круговорота углерода на территории России и роли в нем микробных процессов.

Г.А. Заварзин является одним из основоположников актуалистической палеонтологии. По его инициативе и под его руководством были выполнены приоритетные работы по моделированию образования строматолитов, фоссилизации и литификации микроорганизмов, фосфатизации и окремнения цианобактерий, позволившие понять роль микроорганизмов в геологических процессах прошлого.

Научные взгляды Г.А. Заварзина стали основой «микробоцентрического» мировоззрения, необходимого сегодня не только микробиологам, но и представителям самых разных направлений в науке и даже в государственной деятельности.

Из истории исследований гидротерм Камчатки

История изучения Камчатки полна ярких, увлекательных и драматических страниц. Первые сведения о полуострове относятся к середине XVII в. Начало освоения и изучения Камчатки связано с именем казака Владимира Атласова, оставившего в своих отчетах (скасках) описания и чертежи Камчатки, важные сведения о природе и населении полуострова. Ему принадлежат и первые упоминания о вулканах и горячих источниках. Интерес к этим сведениям проявил Петр I, который всегда интересовался Сибирью и Дальним Востоком.

В 1724 г. Петром I был отдан указ о подготовке экспедиции, которую возглавил капитан-командор В. Беринг. Первая Камчатская экспедиция (1725–1728) обогатила науку ценными сведениями о восточном побережье Сибири, были созданы новые карты, определены координаты берегов и пролива, названного позднее Беринговым.

В 1730 г. было принято решение об организации Второй Камчатской экспедиции, в которой участвовали В. Беринг и А.И. Чириков. Ее задачей было изучение побережий севера и северо-востока Азии, отыскание возможности судоходства по Северному Ледовитому океану, всесторонние исследования недр и природы Сибири. Грандиозная по масштабам, она получила название Великой Северной экспедиции (1733–1743).

Степан Петрович Крашенинников

Неоценимый вклад в изучение природы Камчатки внес участник этой экспедиции, выдающийся русский естествоиспытатель, Степан Петрович Крашенинников (1711–1755). Уроженец Москвы, сын солдата лейб-гвардейского Преображенского полка, Степан Крашенинников получил образование в Славяно-

греко-латинской академии при Московской духовной академии и в 1732 г. в числе лучших ее учеников был прикомандирован к Академии наук (Академическому университету) в Петербурге для обучения физике, географии и естественной истории. В 1733 г. он был отправлен во Вторую Камчатскую экспедицию (1733-1743), получившую название Великой Северной экспедиции, в качестве одного из помощников в составе академического отряда, которым руководили известные ученые: астроном Л. де ля Кроер, естествоиспытатель И.-Г. Гмелин и историк Г.-Ф. Миллер. Вынужденный путешествовать по Камчатке в одиночку, Крашенинников фактически заменил целый отряд исследователей. Путешествуя на собачьих упряжках, верхом на лошадях, пешком, сплавляясь по реке Камчатке, ученый побывал во многих местах полуострова. Он вел дневник — «дорожный журнал», в который вносил заметки обо всём, что видел: описания рек, гор, вулканов, представителей растений и животных, записывал особенности местного населения и исторические сведения. В 1739 г. он наблюдал извержение вулкана Толбачик и точно воспроизвел последовательность фаз извержения.

Извержение вулкана Толбачик. Рисунок С.П. Крашенинникова

Во время путешествия 1737 г. Крашенинников подробно описал 6 групп горячих ключей Камчатки, сопроводив описание планом их расположения: Паужетские (в авторской транскрипции, Пауджинские), Озерновские, Банные, Начикинские и две группы Семячинских (в авторской транскрипции Шемечинских). Их характеристика (например, в приведенном ниже фрагменте описания Пауджинских источников), впечатляет научной и художественной точностью:

«На сухих местах и островках находятся многочисленные отверстия, одни как булавкой проткнутые. Другие большие, почти до полуаршина. Из широких вода не бьет, а из маленьких стремительно вырывается пар и вода. Вокруг находится глина различных цветов, вымытая из них водою. Встречается и горючая сера, особенно по краям тех отверстий, из которых идет пар. <…> На вкус глина кислая и вязкая. В разломе в ней и выветрелом камне виден белый налет, напоминающий мох. Глина пестро окрашена подобно мрамору в синий, белый, желтый и черный цвета, особенно яркие, когда она кислая»[3].

Описывая Шемечинские источники, Крашенинников отмечает: «Особо интересны два больших источника. <…> Вода кипит в них белым ключом, как в огромных котлах, и с таким шумом, что не слышно не только разговора, но и крика. Из источников идет такой густой пар, что в семи саженях не видно человека. <…> Эти ключи отличаются от других тем, что на их поверхности плавает черное вещество, похожее на китайскую тушь; оно с трудом отмывается от рук. Встречается также свойственная всем горячим ключам разноцветная

[3] *Крашенинников С.П.* Описание земли Камчатки. М: ОГИЗ, 1947. С.94.

глина, известь, белый налет и горючая сера. Во всех горячих ключах вода мутная и пахнет тухлыми яйцами»[4].

После почти 4-летнего пребывания на полуострове, собрав огромный материал по его географии, истории и этнографии, Крашенинников в 1741 г. покинул Камчатку и в 1743 г. вернулся в Санкт-Петербург. Итогом его жизни стала знаменитая книга «Описание земли Камчатки». Вышедшая в 1755 г. уже после смерти автора, она стала классическим образцом географического, этнографического и исторического исследования. Самоотверженный путешественник и естествоиспытатель, современник М.В. Ломоносова, Степан Петрович Крашенинников стал одним из первых русских профессоров и вошел в историю науки как автор фундаментального всеобъемлющего труда о Камчатке, который на протяжении почти столетия оставался главным источником знаний об этой земле.

ОПИСАНІЕ
ЗЕМЛИ
КАМЧАТКИ
сочиненное
СТЕПАНОМЪ КРАШЕНИННИКОВЫМЪ,
Академіи Наукъ Профессоромъ.
ТОМЪ ПЕРВЫЙ.
ВЪ САНКТПЕТЕРБУРГѢ
при императорской академіи наукъ
1755. годѣ

Книга С.П.Крашенинникова «Описание земли Камчатки»
(Санкт-Петербург, 1755)

В конце XVII – начале XVIII вв. отдельные описания горячих источников Камчатки были оставлены участниками экспедиций Лаперуза (1779), Кука (1779), Крузенштерна (1812) и др. В 1851–1855 гг. многие источники были описаны К. Дитмаром, состоявшим чиновником особых поручений по горной части при генерал-губернаторе Камчатки. В конце XIX века изучением горячих ручьев Камчатки занимался врач Б. Дыбовский, геолог К.И. Богданович, д-р В.Н. Тюшов и др.

Огромный вклад в исследование природы Камчатки, в том числе ее горячих источников, внесла экспедиция 1908–1910 гг., получившая название Камчатской экспедиции Ф.П. Рябушинского. Она была организована по инициативе и на средства Федора Павловича Рябушинского (1886–1910), представителя семьи предпринимателей Рябушинских, увлеченного наукой молодого московского мецената. Решившись на организацию и субсидирование столь грандиозного мероприятия, Федор Павлович нашел поддержку у П.П. Семенова-Тян-Шанского, возглавлявшего Русское географическое общество, при содействии которого она и была реализована. Сам Рябушинский, мечтавший поехать в экспедицию в качестве охотника, не смог принять в ней участие: из-за скоротечной чахотки ему не довелось дожить до ее окончания. Однако, по его просьбе, все экспедиционные расходы и публикации трудов экспедиции были оплачены.

[4] *Крашенинников С.П.* Описание земли Камчатки. М: ОГИЗ, 1947. С.96.

В экспедиции участвовали географы (Е.В. Круг, С.К. Конради, Н.Г. Келль), метеорологи (В.А. Власов), гидрологи (В.Н. Лебедев), зоологи (П.Ю. Шмидт), ботаники (Л.Г. Раменский, Э.К. Безайс, В.П. Савич); общее научное руководство было поручено В.Л. Комарову, возглавлявшему ботанический отдел экспедиции. Экспедиция дала много материалов по горячим ключам: были описаны Щапинские, Узонские. Пущинские, Малкинские, Начикинские, Паужетские, Явинские, Курильские, Бекешские источники, для некоторых из них проведены химические анализы[5]. В своем отчете В.Л. Комаров неоднократно упоминает разрастания на дне источников термофильных водорослей[6].

Дальнейшие исследования гидротерм Камчатки проводилось уже в советское время. Среди них нужно отметить многочисленные работы Б.И. Пийпа (1931 и др.), который впоследствии составил подробную сводку данных по всем камчатским источникам[7]. Из более поздних обобщений отметим главу «Термальные воды вулканических областей» в книге «Вулканы и тектоника литосферных плит», подготовленной Музеем землеведения МГУ[8].

С 1934 г. интерес к горячим источникам возрос в связи с вопросами санаторно-курортного строительства, поскольку многие ключи давно были известны своими целебными свойствами. Во многих исследованиях, связанных с развитием курортологии, участвовали микробиологи.

В начале 1950-х годов гидрохимическое обследование большого числа источников Камчатки было проведено экспедицией Центрального института курортологии и Каптажминвода Министерства здравоохранения. Классификация минеральных вод Камчатки по химическому составу была разработана гидрогеологом В.В. Ивановым. Первые микробиологические исследования термальных источников Камчатки были проведены участником этой экспедиции, профессором С.И. Кузнецовым, сотрудником кафедры микробиологии Московского университета и Института микробиологии АН СССР, одним из основателей водной и геологической микробиологии. Он обследовал значительное число источников, причем с акцентом на геологическую деятельность микроорганизмов (в первую очередь, бактерий круговорота серы), на роль тионовых бактерий в окислении сероводорода до серы и серной кислоты[9]. С другой стороны, им были выделены представители сульфатредуцирующих бактерий, что позволило сделать вывод об участии этой группы микроорганизмов в образовании сероводорода из сульфатов. На выходе сероводородных термальных вод были обнаружены бактерии, образующие слизистые скопления (зооглеи) и откладывающие в слизи серу, идентифицированные по определителям того времени как *Thiospirillum pistiense*. В местах выхода кислых вод было выявлено присутствие тионовых бактерий *Thiobacillus thiooxidans* и *T. termitanus*, что указывало на биогенное образование серной кислоты за счет окисления серы. Напротив, изучение процессов окисления железа и образования карбонатов кальция, не позволило сделать вывод об их биогенном характере. В целом, исследования С.И.Кузнецова не только способствовали решению поставленных медицинских задач, но и проложили путь к широким экологическим исследованиям и обобщениям.

---

[5] *Пийп Б.И.* Термальные ключи Камчатки. М. –Л.: Изд-во АН ССР, 1937. 268 с.

[6] *Комаров В.Л.* Путешествие по Камчатке в 1908–1909 гг. // Комаров В.Л. Избранные сочинения. Т.VI. М. –Л.: Изд-во АН СССР, 1950. 526 с.

[7] *Пийп Б.И.* Термальные ключи Камчатки. М. –Л.: Изд-во АН ССР, 1937. 268 с.

[8] *Скрипко К.А.* Термальные воды вулканических областей // Вулканы и тектоника литосферных плит / под ред. проф. Ушакова С.А. – М.: Изд-во МГУ, 1996. С.86-124.

[9] *Кузнецов С.И.* Микроорганизмы горячих ключей Камчатки // Труды Института микробиологии. Вып.VI. М.: Изд-во АН СССР, 1955. С.130–154.

Сергей Иванович Кузнецов

Среди других микробиологических исследований источников Камчатки необходимо напомнить работы, выполненные под руководством известного ленинградского микробиолога, профессора Бориса Васильевича Громова (1933–2001). Им была создана крупнейшая в нашей стране коллекция культур цианобактерий (синезеленых водорослей), значительная часть которых была выделена из горячих ручьев Камчатки.

Исследования Г.А. Заварзина по микробиологии гидротерм Камчатки

Первая работа Г.А. Заварзина по микробиологии гидротерм относится к началу 1960-х годов и связана с поездкой на о. Кунашир (Курильские острова) в составе экспедиции по изучению деятельности микроорганизмов в серных месторождениях[10]. Местом работы были выбраны вулканы Головнина и Менделеева, озера Кипящее и Горячее, близлежащие болота и протоки. В озере Горячем около выхода струй газа было отмечено отложение серы и массовое развитие тионовых бактерий[11]. Одновременно внимание Георгия Александровича привлекли микроорганизмы, окисляющие соединения железа (*Leptothrix, Gallionella*, термофильная бактерия, близкая к *Thiobacillus ferrooxidans*). Полученные материалы позволили утверждать, что в зоне активного вулканизма деятельность микроорганизмов имеет существенное значение для круговорота железа.

В 1980-х годах состоялось несколько экспедиций Г.А. Заварзина на Камчатку, причем основным объектом стала кальдера Узон. Результаты работ отражены в ряде монографий[12] и многих статьях. В исследованиях, проведенных под руководством Г.А. Заварзина, были выявлены новые микроорганизмы и процессы. Подводя итоги своей научной деятельности, Георгий Александрович

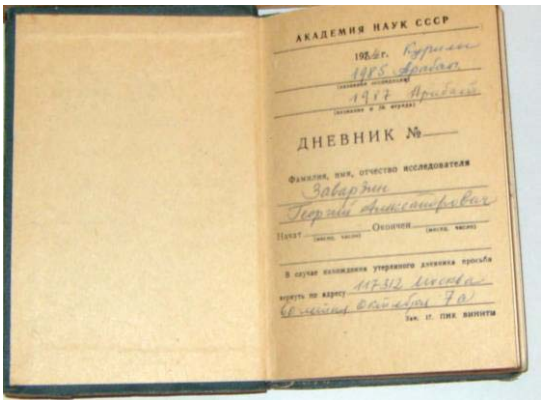
---

[10] *Заварзин Г.А.* Железобактерии на вулканах острова Кунашир // Труды МОИП. 1966. Т.24. С. 217–220.

[11] *Заварзин Г.А.* Бактерии на вулканах // Природа. 1973. №7. С. 66–71.

[12] *Заварзин Г.А.* Бактерии и состав атмосферы М.: Наука, 1984. 198с. *Заварзин Г.А., Карпов Г.А., Горленко М.В., Головачева Р.С., Герасименко Л.М., Бонч-Осмоловская Е.А., Орлеанский В.К.* Кальдерные микроорганизмы / Отв. ред. Г.А. Заварзин. М.: Наука, 1989. 120 с.

отмечал, что в этой экосистеме были найдены термофильные представители основных функциональных групп микроорганизмов: первичные продуценты и эдификаторы микробного сообщества, цианобактерии (*Mastigocladus*); бактерии-деструкторы, участвующие в разложении органического вещества, например, целлюлозолитики (*Anaerocellum*); экстремально термофильные водородные бактерии (*Calderobacterium*); термофильные ацетокластические метаногены (*Methanothrix thermophilus*)[13]. Изучение процессов поглощения и выделения цианобактериальным матом газов позволило показать роль цианобактериального мата как газового фильтра и модификатора газов и доказать его значение для формирования атмосферы Земли[14]. Изучение деятельности тионовых бактерий позволило установить роль мезофильного окисления серы как главного фактора создания резко кислой реакции на сольфатарных площадках. Большую научную ценность представляло выделение агента термофильного восстановления серы (*Desulfurella*)[15]. Сенсацией стало открытие *Carboxydothermus hydrogenoformans* и нового метаболического процесса, а именно анаэробного разложения CO с выделением из воды H_2[16]. Огромное научное значение имело обнаружение термофильной бактериальной железоредукции и образования магнетита[17]. «Но, что, пожалуй, самое главное, — отмечал Г.А. Заварзин, — удалось показать роль микроорганизмов как мощного фактора геохимических преобразований в поверхностной зоне термальных полей. Эти исследования позволили дать общую картину происходящего на сольфатарных площадках.



Полевой дневник Г.А. Заварзина

Работы по биоразнообразию гидротерм были продолжены в лаборатории Е.А. Бонч-Осмоловской, где были последовательно обнаружены представители

---

[13] *Заварзин Г.А.* Эволюция прокариотной биосферы: «Микробы в круговороте жизни». 120 лет спустя: Чтение им. С.Н.Виноградского. М.: МАКС Пресс, 2011. 144 с.

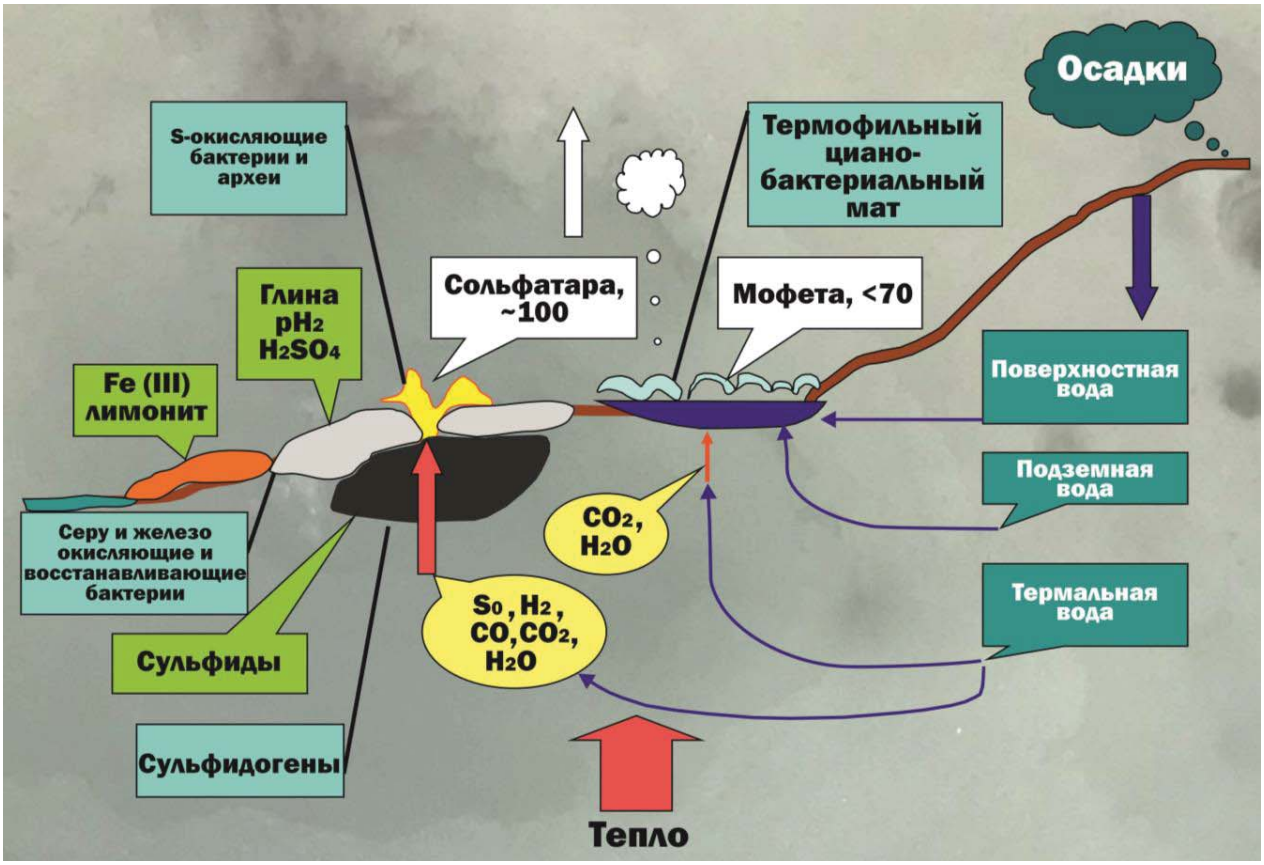
[14] *Герасименко Л.М., Заварзин Г.А.* Обмен водорода, углекислоты, кислорода и метана в цианобактериальных сообществах // Микробиология. 1982. Т.51. №5. С. 718–722.
Герасименко Л.М., Карпов Г.А., Орлеанский В.К., Заварзин Г.А. Роль циано-бактериального фильтра в трансформации газовых компонентов гидротерм на примере кальдеры Узон на Камчатке // Журн. общ. биол. 1983. Т. 44. № 6. С. 842–851.

[15] *Bonch-Osmolovskaya E.A., Sokolova T.G., Kostrikina N.A. Zavarzin G.A. Desulfurella acetivorans* gen. nov. and sp. nov. – a new thermophilic sulfur-reducing eubacterium // Arch. Microbiol. 1989. V.153. P. 151–155.

[16] *Svetlichny V.A., Sokolova T.G., Gerhardt M., Ringpfeil M., Kostrikina N.A., Zavarzin G.A. Carboxydothermus hydrogenoformans* gen. nov., sp. nov., a new CO-utilizing thermophilic anaerobic bacterium from hydrothermal environments of Kunashir Island // Syst. Appl. Microbiol. 1991. V.14. P.254–260.

[17] *Слободкин А.И., Ерощев-Шак В.А., Кострикина Н.А., Лаврушин В.Ю., Дайняк Л.Г., Заварзин Г.А.* Образование магнетита термофильными анаэробными микроорганизмами // Доклады АН. 1995. Т.345. №5. С.694–697.

всех типов питания анаэробов и подробно исследованы их физиология и геномика. Сейчас сложилась довольно полная картина и о разнообразии обитателей гидротерм, об их биогеохимической функции, прежде всего в глубоководных гидротермах океана, служивших фокусом внимания микробиологов на протяжении четверти века, и составившая целую область микробиологии. Вывод состоит в том, что подводные вулканические эксгаляции подвергаются интенсивной бактериальной переработке с созданием автономных хемосинтезирующих сообществ»[18].



Микробное сообщество на термальной площадке

Исследования микробных сообществ гидротерм Камчатки составили эпоху в развитии представлений о термофильных микроорганизмах, их геологической деятельности[19], о структуре термофильных микробных сообществ, которые нередко рассматриваются как первичные обитатели Земли.

Изучение биоразнообразия микроорганизмов гидротерм продолжается и сегодня. В Институте микробиологии им. С.Н. Виноградского ФИЦ биотехнологии РАН их возглавляет ученица Г.А. Заварзина, член корреспондент РАН Е.А. Бонч-Осмоловская [20].

[18] *Заварзин Г.А.* Эволюция прокариотной биосферы: «Микробы в круговороте жизни». 120 лет спустя: Чтение им. С.Н.Виноградского. М.: МАКС Пресс, 2011. С.53.
[19] *Заварзин Г.А., Карпов Г.А.* Роль бактериальных факторов в современном гидротермальном минералообразовании кальдеры Узон. // Доклады АН СССР. 1982. Т.264. №1. С. 244–247.
[20] *Бонч-Осмоловская Е.А.* Новые термофильные прокариоты // Природа. 2013. №9. С.34–41.

Труды Г.А. Заварзина:
Г.А. Заварзин. Заключение к книге «Кальдерные микроорганизмы»[21]

Книга Г.А. Заварзина «Кальдерные микоорганизмы»

Кальдеры представляют собой автономный ландшафт, в котором происходит уникальное взаимодействие глубинных эндогенных процессов в зоне разгрузки гидротермальной зоны с экзогенными процессами, определяемыми характерными для данного климатического пояса метеорологическими условиями, растительностью и почвенным покровом. В результате в кальдере формируется экосистема, отличающаяся от других мощным воздействием эндогенных факторов, прежде всего, тепла и вулканических газов. На термальных площадках в кальдерах развивается своеобразный биоценоз, представленный преимущественно прокариотными микроорганизмами, а в наиболее горячих частях – преимущественно архебактериями (археями). Геохимическая функция этого прокариотного биоценоза заключается в трансформации глубинных эксгаляций, в особенности восстановленных газов и соединений серы. Достаточно четко различаются области с доминированием серного цикла – сольфатары – и области с преимущественно углекислотными выделениями, где возможно развитие термофильных фотоситезирующих микроорганизмов и сопутствующих им деструкторов. Совокупность этих организмов, характеризующихся не только термофилией, но и тесной связью с переработкой веществ, выносимых на поверхность при гидротермальной деятельности, можно обозначить как кальдерную микрофлору, или кальдерные микроорганизмы, подобно тому как группы организмов называют почвенными, водными, морскими и др.

Исходным веществом, подвергающимся изменениям, являются вулканогенные породы и выносимые газогидротермами соединения. Здесь на малой площади в современной обстановке имитируются многие процессы из тех, которые шли на Земле в процессе ее эволюции. Изучение этих процессов дает ценнейший материал для понимания многих природных закономерностей, как геологических, так и биологических, если осмысливать их с позиций актуализма. Это позволяет поставить на твердую экспериментальную базу изучение крупномасштабных явлений, которые иначе оставались бы в области умозрительных аналогий или сопоставлений с лабораторными экспериментами. <…> Биоценоз и процессы, происходящие на термальной площадке, могут только до известной степени моделировать биосферу докембрия, когда на Земле отсутствовал покрывающий континенты почвенный покров, связанный с высшей растительностью.

---

[21] *Заварзин Г.А., Карпов Г.А., Горленко М.В., Головачева Р.С., Герасименко Л.М., Бонч-Осмоловская Е.А., Орлеанский В.К.* Кальдерные микроорганизмы / Отв. ред. Г.А. Заварзин. М.: Наука, 1989. 120 с.

Сопоставление деятельности различных групп термофильных микроорганизмов, объединяемых в термофильные ценозы, с геологическими условиями и потоками эндогенного вещества позволяет представить процессы, происходящие в кальдере, при всей их пестроте и разнообразии в виде единой динамичной системы.

Г.А. Заварзин. Вулкан Узон и микробная деятельность на нем[22]

Из перечисленных выше гидротерм наибольший интерес представляют азотно-углекислые термы Йеллоустоунского парка и Узон-Гейзерной гидротермальной системы, где были проведены, помимо геофизических, микробиологические исследования. У нас в стране в связи с относительно легкой доступностью подробно исследован вулкан Узон. Собственно говоря, это не вулкан, а кальдера – вулканическое образование в виде кольцевой структуры, которая образуется либо при опускании части пород при опорожнении нижележащего магматического очага (кальдера обрушения), либо же при взрыве вулкана (эксплозивные кальдеры). Понижение рельефа вызывает заполнение впадины водой, и продолжающие выделяться газообразные компоненты проходят в кальдере через слой осадочных пород, насыщенных водой. Кальдера обычно бывает рассечена разломами, облегчающими выход глубинных продуктов. Иногда в середине ее остается канал, и тогда здесь концентрируется фумарольная деятельность по краям возникающего молодого конуса, как например, в кальдере Головнина на о-ве Кунашир. В других случаях образование конусов проходит по кольцевым разломам по краям кальдеры, как в кальдере Узон.

Кальдера Узона удобны тем, что здесь на сравнительно небольшом пространстве соседствуют все основные типы гидротерм: наиболее мощные азотно-углекислые, сероводородно-углекислые, углекислые нарзаны расположены в пределах нескольких километров друг от друга на дне ровной котловины, заполненной озерными отложениями. <…>

При взгляде на Узон сверху он представляется громадным блюдцем диаметром около 10 км, заполненным болотистой тундрой, и лишь посередине него примерно по диаметру располагаются немногие гектары термальных площадок, лишенных высшей растительности. Отсутствие высшей растительности довольно точно согласуется с инфракрасной съемкой тепловых потоков. При более близком ознакомлении с термальными площадками химизм их оказывается крайне пестрым и соответственно чуть ли не уникальными для каждого источника оказываются ассоциации минералов. Такое же впечатление возникает, впрочем, при рассмотрении большинства термальных площадок, будь то в кальдере Головнина или же на Южно-Камбальном. Однако на Узоне можно уловить некоторую закономерность в химизме источников. Наивысшую точку в кальдере занимает маар – воронка, образовавшаяся в результате выброса одномоментного выброса газов, причем канал выброса был плотно закрыт лавовой пробкой. Газы здесь больше не выходили, и воронка заполнена чистой холодной водой, а пористые пемзы, образовавшиеся от вскипания газов, остались почти неизменными.

Ниже конуса выброса маара располагается участок I с серными буграми, где имеется переотложение молекулярной серы, идет сернокислотное выщелачивание и горячие щелочные выходы несут аммиак и немного сероводорода. У выхода вод происходит отложение ослепительно белых косм серы, а ниже развивается пестрый ковер фотосинтезирующих организмов.

[22] *Заварзин Г.А.* Бактерии и состав атмосферы. М.: Наука, 1984. С.41.

На границах участков I и II располагается глубокий, около 37 м, провал хлоридного озера, дренирующий глубинные высокотемпературные хлоридно-натровые воды. С ними на поверхность поступает большое количество натрия, хлора, бора, редких щелочей, которые выносятся с термальной площадки, а такие компоненты раствора, как мышьяк, сурьма, сероводород, вступают в реакцию в приповерхностной зоне с образованием сульфидов. Железо в реакцию здесь практически не вступает, так оно ранее было вынесено из пород, но в сходной глубокой расщелине фумарольного озера, куда железо поступает с окрестных болот, наблюдается хорошо выраженная пиритизация.

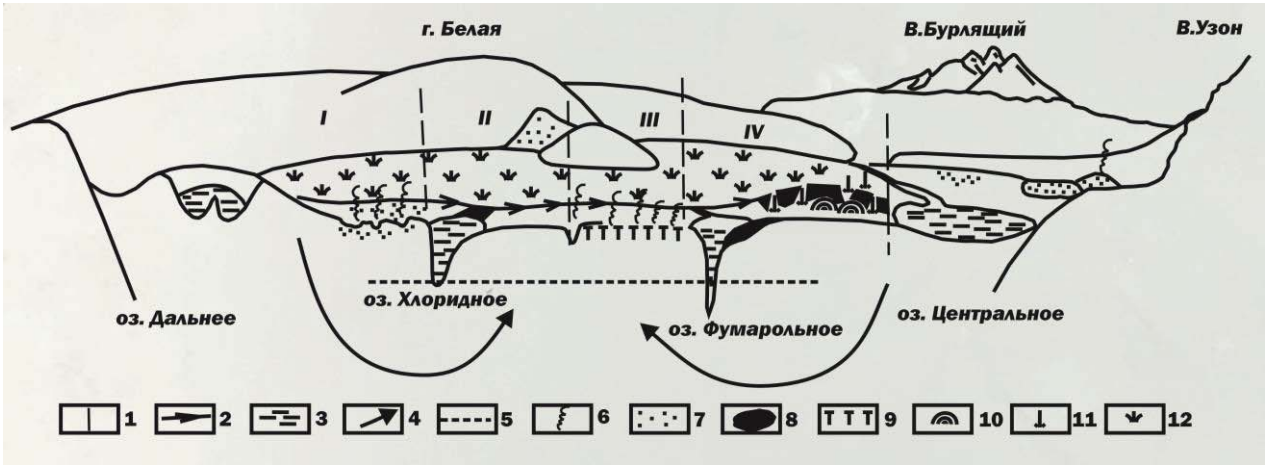


Схема кальдеры Узон. Разрез примерно по разлому с термальными площадками (без масштаба)

1 - границы участков I, II, III, IV; 2 – водотоки; 3 – водоемы; 4 – циркуляция подземных вод; 5 – уровень хлоридно-натровых вод; 6 – выходы парогазовых струй; 7 – области сернокислотного выщелачивания; 8 – отложения сульфидов; 9 – выход пара в гравелитах; 10 – строматолиты; 11 – теплое тростниковое болото; 12 - тундра

Участок III, сложенный рыхлыми гравелитами, располагается над паровой шапкой, и выходящие газы, помимо паров воды и CO_2, содержат небольшие количества H_2 и NH_3. Здесь обнаружены примазки нефти.

Наконец, участок IV, перекрытый торфяными болотами, характеризуется относительно спокойным выделением углекислоты, образующей выходы типа нарзанов, и часто сопровождается отложением окислов железа. Приток сульфатных вод, скатывающихся по торфянику, приводит к развитию сульфатредукции и образованию на поверхности торфа слоя черного сульфида железа, лишь сверху подернутого тонкой ржавой пленкой окислов железа. Итак, основная тенденция состоит в увеличении содержания CO_2 к поверхности и соответственно в уменьшении N_2, H_2 и CH_4.

Оказалось, что для каждого участка на Узоне, который можно считать представительным для определенного типа гидротерм, свойственно характерное сообщество микроорганизмов, которое перерабатывает глубинные эксгаляции. Продукты этого сообщества взаимодействуют с поднимающимися водами и газами и вмещающими породами. В результате образуется единая система, включающая биологический фактор как свою необходимую составную часть.

Книги Г.А. Заварзина

Список работ Г.А. Заварзина о микроорганизмах гидротерм

1966

Заварзин Г.А. Железобактерии на вулканах острова Кунашир // Труды МОИП. 1966. Т.24. С. 217–220.

1973

Заварзин Г.А. Бактерии на вулканах // Природа. 1973. №7. С. 66–71.

1977

Емнова Е.Е., Заварзин Г.А. Характеристика термофильной водородной бактерии *Hydrogenomonas thermophilus* // Микробиология. 1977. Т.46. №3. С. 405–408.

1981

Орлеанский В.К., Ерощев-Шак В.А., Карпов Г.А., Инкова Т.А., Заварзин Г.А. Изучение слоистых образований современных аналогов строматолитов на термальных полях Камчатки // Систематика, эволюция водорослей и их значение в практике геологических исследований. Киев, 1981. С. 155–156.

1982

Заварзин Г.А., Карпов Г.А. Роль бактериальных факторов в современном гидротермальном минералообразовании кальдеры Узон. // Доклады АН СССР. 1982. Т.264. №1. С. 244–247.

Герасименко Л.М., Заварзин Г.А. Обмен водорода, углекислоты, кислорода и метана в циано-бактериальных сообществах // Микробиология. 1982. Т.51. №5. С. 718–722.

1983

Карпов Г.А., Миллер Ю.М., Заварзин Г.А. Состав воздуха и спонтанных газов в "долине смерти" на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 1983. №4. С. 107–110.

Герасименко Л.М., Карпов Г.А., Орлеанский В.К., Заварзин Г.А. Роль циано-бактериального фильтра в трансформации газовых компонентов гидротерм на примере кальдеры Узон на Камчатке // Журн. общ. биол. 1983. Т. 44. № 6. С. 842–851.

Заварзин Г.А. Значение хемосинтеза для формирования атмосферы // Микробиология. 1983. Т.52. №2. С. 340–347.

Крылов И.Н., Орлеанский В.К., Заварзин Г.А. Окремнелые микроорганизмы в водорослево-бактериальных пленках // Доклады АН СССР. 1983. Т.268. №6. С. 1483–1485.

Орлеанский В.К., Ерощев-Шак В.А., Карпов Г.А., Инкова Т.А., Заварзин Г.А. Слоистые бактериально-водорослевые образования (маты) термальных полей Камчатки // Известия АН СССР, сер. геол. 1983. №10. С. 126–131.

1984

Заварзин Г.А. Бактерии и состав атмосферы М.: Наука, 1984. 198с.

Карпов Г.А., Ерощев-Шак В.А., Заварзин Г.А. Роль биогенного фактора в формировании среды зоны аргиллизации в областях разгрузки современных гидротермальных систем и сольфатарных полей // Вулканология и сейсмология. 1984. №2. С. 64–74.

1986

Герасименко Л.М., Заварзин Г.А. Микробные сообщества газогидротерм // Биология термофильных микроорганизмов / Ред. А.А. Имшенецкий. М.: Наука, 1986. С. 5–8.

1987

Герасименко Л.М., Миллер Ю.М., Капустин О.А., Заварзин Г.А. Потребление водорода термофильной цианобактерией *Mastigocladus laminosus* // Микробиология. 1987. Т.56. №4. С. 553–557.

Светличный В.А., Слесарев А.И., Светличная Т.П., Заварзин Г.А. Caldococcus litoralis gen. nov., sp. nov. – новая морская экстремально термофильная архебактерия, восстанавливающая элементарную серу // Микробиология. 1987. Т.56. №5. С. 831–838.

1988

Федорова Т.А., Герасименко Л.М., Бочко Р.А., Заварзин Г.А. Микроминеральные выделения в термофильных цианобактериальных сообществах // Вулканология и сейсмология. 1988. №1. С. 101–104.

Mikulik K., Qiao C.-L., Petrik T., Pusheva M.A., Zavarzin G.A. Elongation factor Tu of the extreme thermophilic hydrogen oxidizing bacterium *Calderobacterium hydrogenophilum* // Biochem. Biophys. Res. Commun. 1988. V.155. P.384–391.

1989

Бонч-Осмоловская Е.А., Заварзин Г.А. Термофильные бактерии, восстанавливающие серу и формирование ими геохимического барьера // Кальдерные микроорганизмы / Ред. Г.А. Заварзин. М.: Наука, 1989. С. 98-112.

Герасименко Л.М., Орлеанский В.К., Заварзин Г.А. Геохимическая деятельность водорослей в кальдере Узон // Кальдерные микроорганизмы. / Ред. Г.А. Заварзин. М.: Наука, 1989. С. 45–71.

Заварзин Г.А., Карпов Г.А., Горленко М.В., Головачева Р.С., Герасименко Л.М., Бонч-Осмоловская Е.А., Орлеанский В.К. Кальдерные микроорганизмы / Отв. ред. Г.А. Заварзин. М.: Наука, 1989. 120 с.

Карпов Г.А., Заварзин Г.А. Деятельность микроорганизмов в кальдерах // Кальдерные микроорганизмы. / Ред. Г.А. Заварзин. М.: Наука, 1989. С. 3–28.

Bonch-Osmolovskaya E.A., Sokolova T.G., Kostrikina N.A. Zavarzin G.A. Desulfurella acetivorans gen. nov. and sp. nov. – a new thermophilic sulfur-reducing eubacterium // Arch. Microbiol. 1989. V.153. P. 151–155.

Zavarzin G.A., Svetlichny V.A., Bonch-Osmolovskaya E.A. Extreme thermophiles in hydrotherms. // In: Recent advances in microbial ecology. / Ed. T. Hattori. Japan Sci. Soc. Press, 1989. P. 53–57.

1990

Светличный В.А., Светличная Т.П., Черных Н.А., Заварзин Г.А. Anaerocellum thermophilum gen. nov. sp. nov. – экстремально термофильная целлюлозолитическая эубактерия из горячих источников Долины гейзеров // Микробиология. 1990. Т.59. №5. С. 871–879

Светличный В.А., Соколова Т.Г., Герхардт М., Заварзин Г.А. Новая группа анаэробных термофильных карбоксидобактерий // Доклады АН СССР. 1990. Т.314. №3. С. 742–744.

Тихомиров Д.Ф., Столбова В.В., Светличный В.А., Заварзин Г.А. Секреция эндо-1,4-β-глюканаз целлюлазного комплекса экстремально термофильной анаэробной бактерией *Anaerocellum thermophilum* gen. nov. sp. nov. // Прикл. биохим. микробиол. 1990. Т.26. №2. С. 252–259.

Аксенова Е.Ю., Светличный В.А., Заварзин Г.А. Spirochaeta thermophila sp. nov. – морская термофильная спирохета, выделенная из прибрежных гидротерм острова Шиашкотан // Микробиология. 1990. Т.59. №6. С. 1050–1057.

Заварзин Г.А. Заповедники для микробов // Природа. 1990. №2. С. 39–45.

Bonch-Osmolovskaya E.A., Miroshnichenko M.L., Kostrikina N.A., Chernych N.A., Zavarzin G.A. Thermoproteus uzonienzis sp.nov. a new extremely thermophilic archaebacterium from Kamchatka continental hot springs // Arch. Microbiol. 1990. V.154. P. 556–559.

1991

Бонч-Осмоловская Е.А., Светличный В.А., Мирошниченко М.Л., Аксенова Е.Ю., Кострикина Н.А., Заварзин Г.А. Распространение и характеристика экстремально-термофильных архебактерий из бухты Кратерной // Мелководные газогидротермы и экосистема бухты Кратерной / Ред. В.Г. Тарасов. Кн.1: Функциональные характеристики. Ч.2. М.: Эдиториал УРСС, 1991. С. 4**–**20.

Gerhardt M., Svetlichny V., Sokolova T.G., Zavarzin G.A., Ringpfeil M. Bacterial CO utilization with H_2 production by the strictly anaerobic lithoautotrophic thermophilic bacterium *Carboxydothermus hydrogenus* DSM 6008 isolated from a hot swamp // FEMS Microbiol. Lett. 1991. V.83. C.267–271.

Svetlichny V.A., Sokolova T.G., Gerhardt M., Kostrikina N.A., Zavarzin G.A. Anaerobic extremely thermophilic carboxydotrophic bacteria in hydrotherms of Kuryl islands // Microb. Ecol. 1991. V.21. P. 1–10.

Svetlichny V.A., Sokolova T.G., Gerhardt M., Ringpfeil M., Kostrikina N.A., Zavarzin G.A. Carboxydothermus hydrogenoformans gen. nov., sp. nov., a new CO-utilizing thermophilic anaerobic bacterium from hydrothermal environments of Kunashir Island // Syst. Appl. Microbiol. 1991. V.14. P.254–260.

1992

Aksenova E.Yu., Rainey F.A., Janssen P.H., Zavarzin G.A., Morgan H.W. Spirochaeta thermophila sp. nov., an obligately anaerobic, polysaccharolytic, extremely thermophilic bacterium // Int. J. Syst. Bacteriol. 1992. V.42. P. 175–177.

1994

Zavarzin G.A. Mineralization in hydrothermal cyanobacterial mats // Biostabilisation of sediments / Eds. D.M. Paterson, L.J. Stal, W.E. Krumbein. Oldenburg: Bibliotheks und Informationssystem der Univ. Oldenburg. 1994. (Bis)-Verlag. P.85-96.

1995

Слободкин А.И., Ерощев-Шак В.А., Кострикина Н.А., Лаврушин В.Ю., Дайняк Л.Г., Заварзин Г.А. Образование магнетита термофильными анаэробными микроорганизмами // Доклады АН. 1995. Т.345. №5. С.694–697.

2004

Орлеанский В.К., Герасименко Л.М., Миходюк О.С., Карпов Г.А., Зеленков В.Н., Заварзин Г.А. Микробные биоценозы гидротерм Камчатки // Камчатка: прошлое и настоящее. Материалы XXI Крашенинниковских чтений. Петропавловск-Камчатский: Информационно-издательский центр, 2004. С.178–182.

2014

Заварзин Г.А. Бактерии и состав атмосферы. Изд. 2-е, доп. М.: Ленанд, 2014. 200с.

2015

Заварзин Г.А. Избранные труды. М.: МАКС Пресс, 2015. 512 с.

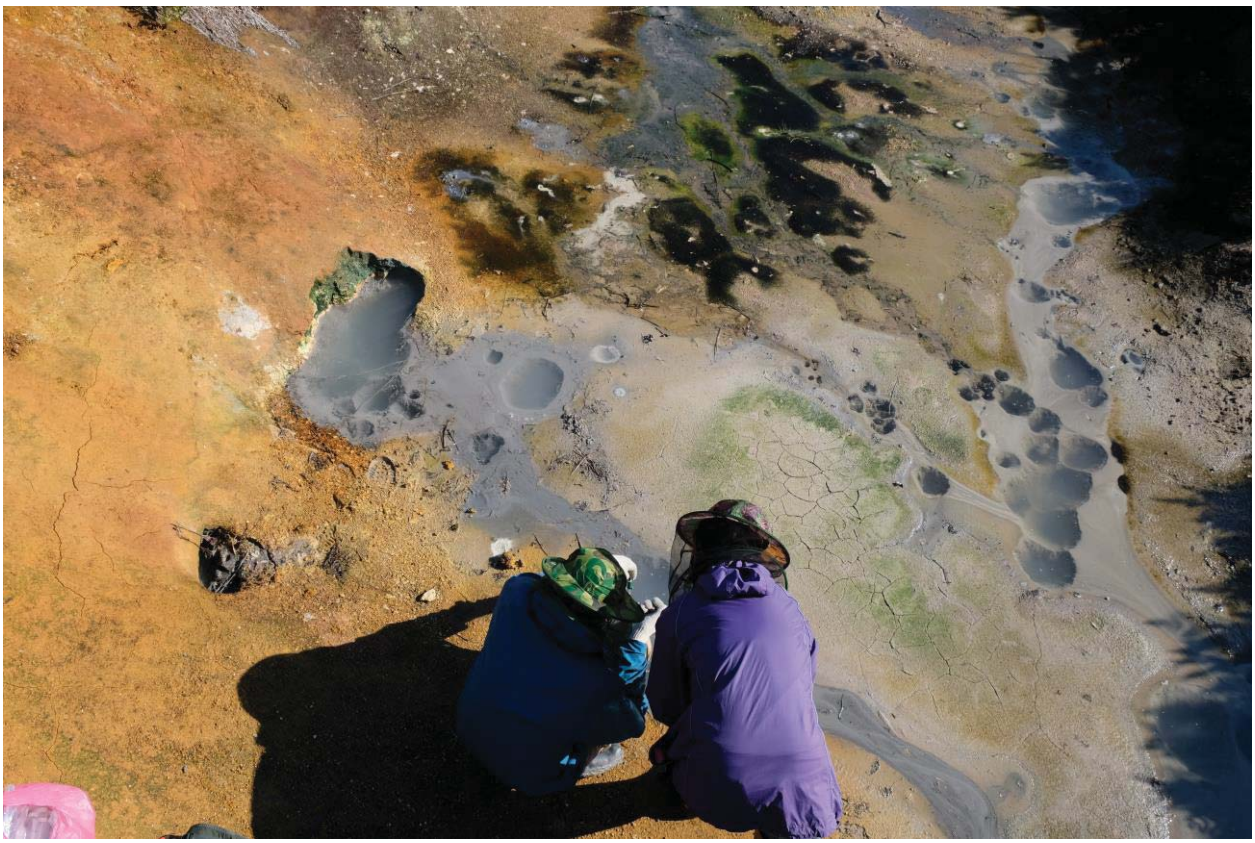
Кальдера вулкана Узон, Кроноцкий заповедник, Камчатка

Источник Г.А. Заварзина

Восточное термальное поле

Источник Термофильный, Восточное термальное поле

Строматолитовое поле



Центральное поле, источник Каскадный (изумрудный)

Западное термальное поле

Центральное термальное поле, ручей Извилистый

Термофильный мат вблизи Строматолитового поля

Тростниковый участок, источник Солнечный

Центральное термальное поле

Оранжевое термальное поле

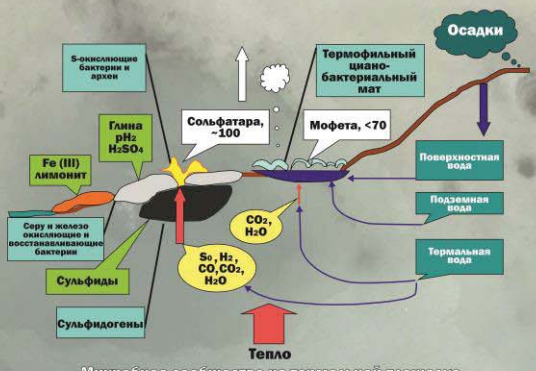
Основной стенд экспозиции

БИОСФЕРНАЯ РОЛЬ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ

к 85-летию со дня рождения академика Г.А. Заварзина

Георгий Александрович Заварзин (1933–2011) – выдающийся отечественный микробиолог и естествоиспытатель, создатель новых научных направлений: природоведческой микро - биологии, бактериальной палеонтологии, глобальной микробиологии. Важнейшее значение имела разработка Г.А. Заварзиным концепции микробного сообщества как действующего агента в биосфере. Основу ее составило раскрытие трофической структуры экстремофильных микробных сообществ: термофильного, галофильного, алкалофильного. Для экстремофильных сообществ характерно абсолютное доминирование прокариотных микроорганизмов, что позволило рассматривать их как аналоги сообществ, существовавших в докембрии. Термофильные сообщества газогидротерм нередко рассматриваются как первичные обитатели Земли.

Г.А. Заварзин в зоне интенсивного окисления серы



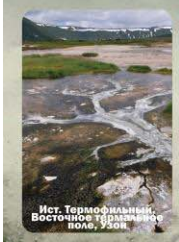
Микробное сообщество на термальной площадке

С начала 1980-х годов под руководством Г.А. Заварзина подробно исследовались сообщества термофильных микроорганизмов кальдеры Узон (Камчатка), были выявлены новые микроорганизмы и процессы. Подводя итоги своей научной деятельности, Георгий Александрович отмечал, что в этой экосистеме были найдены термофильные представители основных функциональных групп микроорганизмов:- первичные продуценты - цианобактерии (*Mastigocladus*), образующие термофильные маты и преобразующие вулканические эксгаляции в воздух;
- бактерии, участвующие в разложении органического вещества: целлюлозолитики (*Anaerocellum*) и другие;
- экстремально термофильные водородные бактерии (*Calderobacterium*);
- термофильные ацетокластические метаногены (*Methanothrix thermophila*);

установлена роль мезофильного окисления серы как главного фактора создания резко кислой обстановки на сольфатарных площадках;
выявлено значение восстановления серы микроорганизмами;
открыт процесс разложения микроорганизмами CO с выделением H2,

установлено существование термофильной железоредукции;
но, пожалуй, самое главное, удалось показать роль микроорганизмов как мощного фактора геохимических преоб-разований в поверхностной зоне термальных полей. Эти иссле-дования позволили дать общую картину происходящего на соль-фатарных площадках.

Кальдера вулкана Узон, Кроноцкий заповедник, Камчатка



Ист. Термофильный, Восточное термальное поле, Узон

Термофильный мат с вблизи Строматолитового поля, Узон

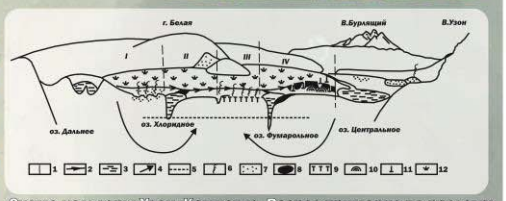


Схема кальдеры Узон, Камчатка. Разрез примерно по разлому с термальными площадками (без масштаба)

1 - границы участков I, II, III, IV; 2 - водотоки; 3 - водоемы; 4 - циркуляция подземных вод; 5 - уровень хлоридно-натровых вод; 6 - выходы парогазовых струй; 7 - области сернокислотного выщелачивания; 8 - отложения сульфидов; 9 - выход пара в гравелитах; 10 - строматолиты; 11 - теплое тростниковое болото; 12 - тундра.

Термофильный мат, ист. Термофильный, Узон

Восточное термальное поле, Узон

Источник Г.А. Заварзина, Узон

В вулканических образованиях – кальдерах – развивается своеобразная микрофлора. Трансформируя вещества глубинного и поверхностного происхождения, она обеспечивает взаимосвязь геологических и биологических процессов.

Г.А.Заварзин

Исследования микробных сообществ гидротерм, начатые Г.А. Заварзиным, продолжаются и сегодня. Их возглавляет руководитель Отдела термофильных микробных сообществ Института микробиологии им. С.Н. Виноградского ФИЦ «Биотехнология» РАН, член-корреспондент РАН Е.А. Бонч-Осмоловская. Наряду с материалами из архива Г.А.Заварзина, на стенде представлены фотографии, сделанные участницами экспедиции 2018 года, Александрой Пошибаевой и Анной Перевалово.

Оглавление

Введение 3
К научной биографии Г.А. Заварзина 4
Из истории исследований гидротерм Камчатки 6
Исследования Г.А.Заварзина по микробиологии гидротерм Камчатки 10
Труды Г.А. Заварзина: 13
Г.А. Заварзин. Заключение к книге «Кальдерные микроорганизмы» 13
Г.А. Заварзин. Вулкан Узон и микробная деятельность на нем. 14
Список работ Г.А. Заварзина о микроорганизмах гидротерм 16
«Альбом Камчатки». Фотографии А.Р. Пошибаевой (2018) 19
Основной стенд экспозиции 27