

В. В. ВЛАСОВ, В. Е. РЕПИН, В. С. ПРАСОЛОВ, Г. А. КАРПОВ



ВЛАСОВ Валентин Викторович – академик РАН, доктор химических наук, директор Института химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН (Новосибирск). Лауреат Государственной премии РФ (1999)



РЕПИН Владимир Евгеньевич – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией микробиологии Института химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН (Новосибирск)



ПРАСОЛОВ Владимир Сергеевич – доктор биологических наук, заведующий лабораторией биологии клетки Института молекулярной биологии им. В. А. Энгельгардта РАН (Москва)



КАРПОВ Геннадий Александрович – доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией постмагматических процессов и заместитель директора Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (Петропавловск-Камчатский)

Многоголосый шепот УЗОНА

ФОТОРЕПОРТАЖ В. В. ВЛАСОВА

На слух Узон воспринимается как многоголосое шептание: это поют крошечные парогазовые струи, со свистом и шипением вырывающиеся из недр на волю. Кальдера этого затухающего вулкана – как чаша, сверкающая разноцветными красками среди суровых холодных гор, где парят теплые источники и бродят непуганые медведи. Именно здесь снимали фильм по известному роману Обручева «Земля Санникова»; туристы-экстремалы из разных стран сегодня готовы платить большие деньги и сутками ждать вертолета, чтобы хотя бы на пару часов попасть в этот труднодоступный, но такой манящий уголок Камчатки. Но фантастический, затерянный на краю света мир не только Мекка для любителей природы, но и естественная лаборатория, притягательная для ученых, занимающихся проблемами происхождения жизни



КАЛЬДЕРА (от исп. *caldera* – большой котел) – впадина с крутыми стенками и более или менее ровным дном, образовавшаяся в результате провала вершины вулкана вследствие мощного взрыва, но чаще – обрушивания или оседания кровли над изверженными массами. От кратера кальдера отличается происхождением и большими размерами (в поперечнике до 10–15 км и более). Часто кальдеры заняты озерами, к ним приурочены фумаролы и грифоны.

ФУМАРОЛА (от итал. *fumo* – дым) – источник горячих газов в кратерах и на склонах вулканов, а также в корке остывающих лавовых потоков. Как правило, над крупными фумаролами клубится густой пар, поскольку в магме содержится большое количество воды. Помимо воды, через фумаролы выделяются газы, растворенные в магме: углекислый газ, оксиды серы, сероводород, галогеноводороды и др. Фумарольные дымы могут быть опасны для человека, но для некоторых видов бактерий они являются питательной средой.

ГРИФОН – выход подземной воды из водоносной породы сосредоточенной струей, поднимающейся выше поверхности земли или дна водоема

Вулкан – одно из самых впечатляющих проявлений могучих сил природы – всегда рождает желание разобраться, каким образом работает эта природная лаборатория, где происходят во многом еще не познанные процессы выноса и трансформации глубинной энергии и вещества Земли.

Но человеку опасно находиться вблизи кратера активного вулкана: интенсивность его извержения непредсказуема, а температура лавы превышает 1000 °С; возможны выбросы ядовитых газов, горячего пепла. Другое дело – затухающие вулканы, чьи магматические очаги еще достаточно горячи, чтобы прогреть периферийные районы и питать теплом гидротермальные системы в течение десятков тысяч и даже миллионов лет. Такие объекты – излюбленное место работы вулканологов, геологов и биологов.

Одной из уникальных современных рудообразующих гидротермальных систем нашей планеты является кальдера затухающего вулкана Узон, которая расположена в поясе действующих вулканов Восточной вулканической зоны Камчатки. Она находится всего лишь в 80 км

к северу от Петропавловска-Камчатского, но попасть туда непросто...

Камчатский оазис

Первые публикации о горячих источниках Узона появились после экспедиций под руководством Карла фон Дитмара, организованных Российской академией наук в 1851–1855 гг. Кальдера Узона произвела на Дитмара неизгладимое впечатление: «Мы остановились на краю старого колоссального кратера. Здесь, в области снега и полного отсутствия растительности, словно какое-то чудо, развернулась перед нами исполинская котловидная долина, из глубины которой нам улыбнулась сочная зелень роскошной растительности».

С вертолета кальдера смотрится гигантским сказочным ковром размером 9 × 12 км, где голубыми блюдцами выделяются многочисленные крупные и мелкие озера. Как седобородые джинны, стоят султаны пара над кипящими источниками. Всюду змеятся ручейки горячей воды, окрашенные примесями минеральных

солей и колониями бактерий и водорослей во все цвета спектра.

Кальдера расположена в западной части крупной Узон-Гейзерной вулканотектонической депрессии, названной по двум структурам, ее составляющим, включая открытую через 100 лет после экспедиции Дитмара Долину Гейзеров.

Кальдера Узона – достаточно древнее образование. Около 370–750 тыс. лет назад на месте современной депрессии существовал крупный щитовой вулкан. Во второй половине среднего плейстоцена в результате взрывной деятельности в восточной части вулканического сооружения образовался гигантский кратер, из которого изливались мощные потоки стекловатого, кислого по составу материала. Оставшаяся в кратере лава вспенилась, образовав пемзовые отложения на востоке кальдеры.

Современный облик кальдеры сформировался около 40 тыс. лет назад после мощных подвижек сбросового и раздвигового характера.

На дне горячей чаши

Дно кальдеры представляет собой довольно плоскую низину, поднятую над уровнем моря на 650 м. Борта, сложенные черными базальтами, поднимаются вверх еще на 500–950 м. Далеко на юге отчетливо синее вулканический массив Зубчатка. Есть верная примета: когда его островерхий гребень не затянут облаками – можно не бояться ухудшения погоды.

В широтном направлении кальдера пересекается серией тектонических разломов, по которым на поверхность выходят горячие растворы. Своим теплом они прогревают окрестные породы, благодаря чему в узкой, шириной не более 200–400 м, полосе кальдеры на протяжении 1,5–3 км практически не бывает снега. Озера с голубоватой и зеленоватой теплой водой привлекают уток, нередко остающихся здесь на зимовку.

На прогретых частях кальдеры, называемых *термальными полями*, – сотни мелких парогазовых проколов, бессточных воронок, грязевых котлов



Новое здание исследовательского стационара в кальдере Узона построено на средства проекта «Микробное разнообразие для применения в биотехнологии» Министерства энергетики США

На Восточном термальном поле выделяется красивое озеро, напоминающее своей формой цифру 8. Вода в озере мутная из-за взвешенных частиц глины

и грифонов с бурлящей водой. Суммарный вынос тепла естественными теплоносителями составляет 70 тыс. ккал/с. Температура воды в больших источниках достигает 96 °С, что соответствует точке кипения на высоте 650 м. Источники интенсивно парят перед плохой погодой, предваряющей понижением атмосферного давления. В мелких лужицах-кратерах слышится бульканье кипятка, в более крупных выходах – уханье периодически вздымающихся фонтанов воды или жидкой грязи.

С юга к парящей равнине подходит топкая, заболоченная тундра с участками сухих полей, обильно заросших ягодником – голубикой, жимолостью и шикшей. На востоке и северо-востоке дно кальдеры несколько повышено. Здесь и на невысоких холмах остальной части кальдеры растет вечнозеленый кедровый стланик. В центральной части чаши виднеются группы прямостоящих берез и камчатских сероватых каменных берез с изогнутыми, подагрически обезображенными наростами ветвями.

В северном секторе кальдеры находятся пять термальных полей. Самым крупным по площади и мощным по выносу тепла является Восточное, протянувшееся на 1,5 км в широтном направлении. Это излюбленное место исследований для вулканологов и биологов. Здесь, прямо на берегу ручья, стоит их приют. Несколько лет назад старое здание стационара закончило свой век, а вместо него выстроено новое.

Восточное термальное

Восточное термальное поле начинается с озера Банное. Его глубокая чаша наполнена мутной серовато-белесой водой чрезвычайно комфортной температуры (39–45 °С). Благодаря наличию радона купание в озере успокаивает нервную систему: дневная усталость снимается мгновенно, переходя в приятную истому.

Конфигурация самого водоема и характер береговых отложений дают основания считать, что озерная воронка образовалась в результате взрыва. В июле 1989 г. на Банном озере произошел новый взрыв. Оказалось, что в озере существует ложное дно на глубине 32 м – корка расплава самородной серы.

Центральная часть поля представляет собой плоскую низину, покрытую мелкозернистым гравием темного цвета – обломками шлаков, базальтов, кусочками пемзы. Во множестве крупных и мелких воронок бурлит горячая вода и грязь – суспензия глинистых минералов. Большая часть воронок – бессточные; хотя температура воды в них не превышает 70–80 °С, она «кипит» за счет выделения вулканических газов.

Рядом с воронками с прозрачной водой соседствуют грифоны с мутной и грязевые котлы. Иногда воронки сливаются друг с другом, образуя систему «блюдец» с тонкими перемычками. Грунт в таких местах очень зыбкий, а под ним на глубине уже первых десятков сантиметров температура превышает 100 °С. Неосторожные путешественники часто попадают в беду, провалившись в жидкую глину: выбраться трудно, а жар



Глинистые участки с грязевыми котлами – как огромная модель лунного ландшафта с кратерами вулканов

быстро становится нестерпимым даже сквозь резиновые сапоги. Неизменное правило исследователей – ходить в этих местах в высоких резиновых сапогах большего размера, которые можно быстро сбросить.

Северный борт термального поля представляет собой высокую террасу, где обильно растут ягоды. Непосредственно у термального поля борт террасы расчленен на пологие бугры, южные стороны которых лишены растительности. Они сверкают на солнце мокрыми глинистыми боками с разноцветными разводами и тонкими, зонально окрашенными кольцами, в центре которых видны мелкие отверстия, по которым просачивались растворы. На глинистых склонах встречаются глубокие (до 1,5–2 м) провалы, где плюхает и бурлит перемешиваемая газами густая глинистая масса.

На возвышенных участках видны развалы туфов с обильным содержанием кристаллической серы желто-зеленого цвета – *серные бугры*. Когда-то здесь интенсивно выходили парогазовые струи с сероводородом. Кое-где они встречаются и сейчас, образуя своеобразные башенки и натеки серы желтовато-белого цвета. Обнаженная, лишенная растительности поверхность в центре поля испещрена массой крупных и мелких воронок, блюдцеобразных грифонов, грязевых котлов. Особо выделяется громадная парящая поверхность Хлоридного озера, названного так за хлоридно-натриевый состав своих вод.

В западной части Восточного термального поля расположен Нефтяной участок. Если здесь выкопать ямку глубиной 20–30 см, она заполнится горячей водой, на поверхности которой начнут всплывать маслянистые капельки. Нефтяной участок можно найти и по медвежьим следам: считается, что звери избавляются от назойливых паразитов, катаясь по нефтеносной земле.

А вот стайки уток облюбовали не замерзающее зимой теплое озеро Утиное, спрятавшееся под бугром, заросшим высокими и довольно стройными для этих мест березами. Здесь с берега в воду свешиваются вечнозеленые плети кедрового стланика и отражаются в спокойной озерной глади, придавая ей зеленый оттенок и какую-то колдовскую загадочность...

на стр. 103



Вокруг воронок с выходом сероводорода развиваются венчики колоний тионовых бактерий, похожие на космы седовласой фурии

КРАЙ НЕПУГАНЫХ МЕДВЕДЕЙ

Обычно медведи приходят сюда в апреле-мае. В это время повсюду еще лежит снег, а в кальдере уже зеленеет трава – деликатес при весенней бескормице.

Звери с большим достоинством и явным удовольствием разгуливают по теплой узонской земле. Медведицы приносят потомство в январе и весной выводят из берлог «в свет» совсем еще крохотных медвежат, обычно двух или одного. На Узоне они чувствуют себя в полной безопасности.

При приближении человека к семейству самка не спеша уводит детенышей, четко контролируя безопасное расстояние. И горе тому, кто переступит условную линию границы: медведица может счесть ситуацию опасной для детей – а при всей своей видимой неуклюжести этот зверь массой около 400 кг легко развивает скорость до 55 км/ч.

Поэтому приближаться к мирно пасущимся в ягоднике животным не рекомендуется. У фотографов-профессионалов, публикующих снимки медведей, сделанные с очень близкого расстояния, есть свои секреты. Обычно в объектив попадают самцы, всецело занятые рыбной ловлей. При этом фотографа все время страхует сотрудник заповедника с винтовкой. Фотографы-любители действуют на свой страх и риск. Мы встретили семью фотографов, где один вел съемку медведя-самца, а второй держал наготове баллон с отпугивающим газом размером с автомобильный огнетушитель...

Максимальное число медведей, которое нам удалось наблюдать в кальдере Узона, насчитывало 11 особей, включая малышей. Медведица пасет молодежь два года. Потом она отпускает их в «большой мир», и цикл повторяется.

Но бывают и отклонения от правила: в 2008 г. мы встретили на Узоне знакомого молодого мишку, живущего там уже третий год и получившего за свой неопрятный вид и нрав кличку Поганец. Медведицы его тоже не очень уважают и при случае дают мощные оплеухи. Поганец удирает от разгневанных мамаш прямо по термальным полям, не обращая внимание на горячие лужи.

Вообще камчатские медведи очень миролюбивы. Что и неудивительно: в местном животном мире они самые сильные, и естественных врагов у них нет. Опасность для человека таит лишь неожиданная встреча с животными. Медведи могут расценить это как покушение на их территорию или помеху для своих занятий – рыбной ловли или послеобеденного отдыха. Поэтому, передвигаясь в высоком кедровом стланике, лучше заранее выдать себя шумом, свистом или песней.

Медведи, пасущиеся в разноцветной голубично-бруснично-шикшевой тундре, стали неотъемлемой частью пейзажа кальдеры. Люди стараются не тревожить их, и они отвечают снисходительным равнодушием, как и подобает подлинным хозяевам Узона.



Поганец получил свою кличку за неопрятный вид и вредный нрав – привычку подкрадываться к людям, периодические кражи и попытки разломать домики стационара





Грязевые вулканчики поразительно похожи на настоящие. Они поыхивают паром из кратеров и периодически изливают глинистую «лаву». На этих природных моделях имеются даже побочные кратеры и радиальные трещины.

«Лава» вулканчиков представляет собой каолиновые глины, образовавшиеся из пеплово-пемзовых туфов под воздействием серных паров и горячей воды. Сильным ударом можно пробить тонкий верхний покров – под ним пустоты, на дне которых кипит глина. Такие места очень опасны

Жизнь в кипятке

Вопрос о происхождении жизни и ее дальнейшей эволюции на Земле не теряет своей актуальности в научной среде.

Как известно, наша планета на ранних стадиях развития представляла собой огненный, постепенно охлаждающийся объект. Учитывая потенциальное «бессмертие» первых обитателей Земли – микроорганизмов, размножающихся простым делением, не вызывает сомнения предположение, что изучение этих «живых ископаемых» может открыть новые грани развития жизни. Такими ископаемыми, безусловно, являются ныне здравствующие *термофильные бактерии* и *археобактерии* – живая память о горячем прошлом нашей планеты.

Нужно заметить, что явление термофилии присуще исключительно низшим одноклеточным организмам. Причем если в какой-либо систематической группе мы обнаруживаем термофильный вид, то с большой вероятностью он оказывается наиболее близким к «прародителям». Камчатка и одна из ее жемчужин – кальдера Узона – уникальное место для проведения подобных исследований.

Горячие, насыщенные вулканическими газами воды источников – местообитание целого ряда специфических микроорганизмов. Нужно сказать, что в зависимости от условий внешней среды микроорганизмы способны впадать в состояние, подобное анабиозу, причем их жизнедеятельность может затухать на сотни тысяч и даже миллионы лет! Эти невесомые создания могут переноситься ветром на любые расстояния. В результате появления новых или возвращение к старым условиям приводят к бурному росту микробных сообществ. Так, выброшенный вулканами пепел стерилил лишь в течение короткого периода после извержения: единичные микробы обнаруживаются в нем уже после первого дождя!

Благодаря использованию специально разработанных в Институте химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН олигонуклеотидных зондов, позволяющих оценить «родство» бактерий по гену их рибосомного белка (16S рРНК), удается быстро проводить оценку разнообразия микроорганизмов, не прибегая к традиционному культивированию. Кроме того, с помощью схожих методик можно идентифицировать организмы, обладающие новыми важными свойствами, – например, способностью продуцировать термостабильные ферменты, которые сегодня широко используются в биотехнологических целях.

Анализ микроорганизмов, ежегодно собираемых на Узоне, выявил по меньшей мере две тенденции. Во-первых, термофильные микробные сообщества кальдеры меняются в зависимости от изменения внешней

среды; постоянно обнаруживаются все новые и новые таксоны. Во-вторых, существует определенный набор даже не организмов, а реликтовых генов систем, которые постоянно циркулируют в этих специфических условиях, обнаруживаясь то у одного, то у другого бактериального штамма.

И запах серы...

При первом знакомстве с кальдерой Узона поражает специфический запах сероводорода, иногда настолько сильный, что некоторые путешественники на несколько суток лишаются сна. Узон – великолепный полигон для исследований круговорота серы как необходимого элемента живой материи.

Сера обладает переменной валентностью, поэтому может образовывать широкий спектр самых разнообразных соединений. Циклические превращения серы происходят в основном благодаря окислительным и восстановительным реакциям. Но если первые могут протекать чисто «химическим» путем, то вторые – преимущественно с участием бактерий. В систематическом отношении группа *бесцветных серных бактерий*, объединенная по физиологическим признакам, весьма разнообразна, и далеко не все из описанных ныне видов и даже родов можно считать твердо установленными.

В последние десятилетия природный цикл серы подвергается усиливающемуся антропогенному воздействию, что приводит к накоплению токсичных соединений серы и нарушению ее природного баланса. И серные бактерии представляют собой не только бесценный по значимости объект эволюционных исследований, но и единственный фактор, способный обеспечить замкнутость цикла этого важнейшего химического элемента.

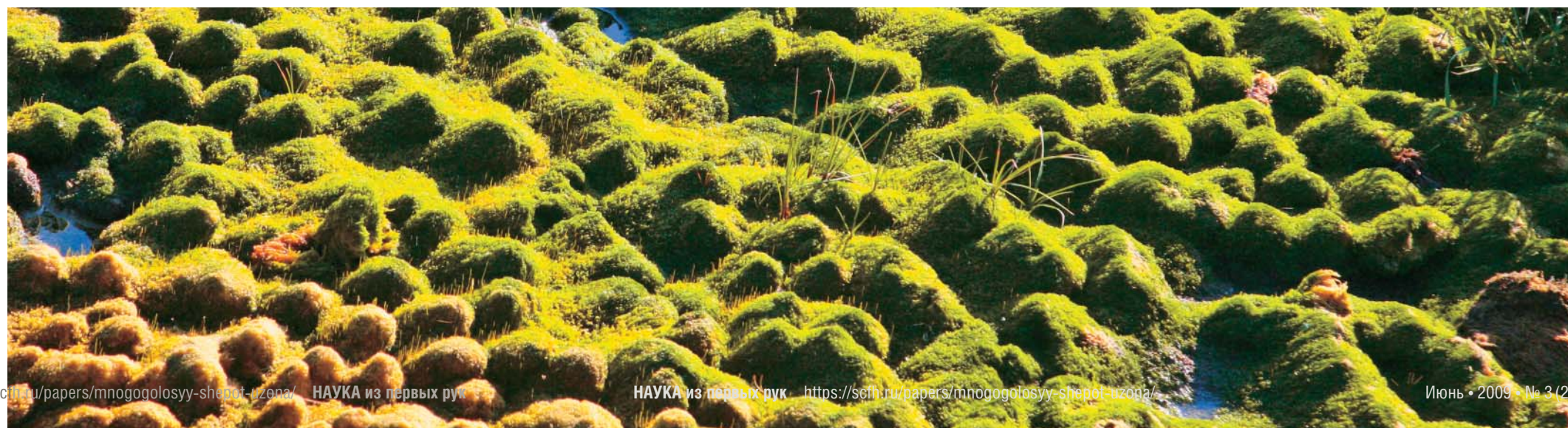
Серных бактерий на Узоне много: хотя сами бактерии малы, их массовые скопления в виде пленок и косм хорошо видны в прозрачной воде горячих ручьев.



Сербристые «русалочки» пряди – массовые скопления бесцветных серных бактерий



Микроклимат кальдеры благоприятен для развития не только микроорганизмов, но и растительности



В горячих источниках кальдеры широко распространены и *цианобактерии* – первые фотосинтезирующие организмы на планете. Эти низшие одноклеточные организмы, которые не совсем точно называют сине-зелеными водорослями, как и высшие растения, на свету продуцируют кислород. На Узоне они покрывают тонкими пленками поверхность термальных источников, являясь своеобразными фильтрами, не пропускающими в атмосферу некоторые газы (например, метан и углекислоту).

Сегодня в кальдере вулкана Узон выделено девять эталонных площадок для изучения биоразнообразия его микроскопических обитателей. Исследователи надеются найти здесь не только новые бактерии – «помощников» человечества, но и свидетельства древнейших этапов зарождения и эволюции земной жизни.

Ведь стоит ступить на горячую землю остывающего вулкана и увидеть мощные столбы пара от горячих источников и гейзеров, клоочущие грязевые котлы, насыщенные минералами разноцветные ручьи среди яркого пестроцветия изверженных пород – и веришь, что именно такой была наша планета в самом начале начал.

Литература

Власов В.В. *Фонтаны Затерянного мира* // *Наука из первых рук*. – 2007. – № 1. – С. 118–123.

Власов В.В., Репин В.Е. *Репортаж из Долины Смерти* // *Наука из первых рук*. – 2009. – № 2. – С. 76–89.

Репин В.Е., Дейнека Е.В., Симонов А.Н., Пестунова О.П., Колчанов Н.А., Власов В.В., Прокопкин И.Г. *Путешествие в горячую точку* // *Наука из первых рук*. – 2007. – № 1. – С. 98–117.

Репин В.Е., Власов В.В. *Путешествие в невидимый мир* // *Наука из первых рук*. – 2007. – № 4. – С. 56–69.

Экспедиция частично финансировалась по проектам Президиума СО РАН

Авторы благодарят руководство Кроноцкого государственного биосферного заповедника и лично Т.И. Шпиленка за помощь в решении административных и организационных вопросов

