

Г. А. НАРПОВ

В НАЛЬДЕРЕ
ВУЛКАНА



ИЗДАТЕЛЬСТВО НАУКА

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

Серия «Человек
и окружающая среда»

Г. А. КАРПОВ

В КАЛЬДЕРЕ
ВУЛКАНА



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

Москва 1980

К 20 Карпов Г. А. В кальдере вулкана.— М.: Наука, 1980. 96 с., пл.— (Серия «Человек и окружающая среда»).

Книга посвящена одному из интереснейших и живописных мест Камчатки — кальдере вулкана Узон. Своеобразие этого района состоит в том, что он представляет собой уникальную природную лабораторию, где происходят процессы образования минералов, бурно проявляется современная гидротермальная деятельность в виде многочисленных термальных источников и теплых озер. Автор рассказывает также о геологическом строении кальдеры, о случающихся здесь извержениях, о богатом растительном и животном мире.

19.4.3

Ответственный редактор
кандидат географических наук
К. Н. РУДИЧ

Геппадий Александрович Карпов
В КАЛЬДЕРЕ ВУЛКАНА

Утверждено и печать государственной серии научно-популярных изданий Академии наук СССР. Редактор издательства Л. И. Пржевальский.
Художник М. М. Кабанова. Художественный редактор Н. А. Фильчигова.
Технический редактор Р. М. Давыдова. Редакторы Р. С. Алексеева,
Е. Н. Белоусова

ИБ № 18455

Сдано в набор 20.06.80. Подписано и печать 30.06.80. Т-08580.
Формат 84x108^{1/8}. Печать шрифтом № 2. Гарнитура обыкновенная.
Печать вклетчат. Усл. печ. л. 6,06. Уч.-изд. л. 6,5. Тираж 50 000 экз.
Таб. экз. 3864. Цена 45 коп.

Издательство «Наука» 117864 ГСП-7, Москва, В-485, Профсоюзная ул., 90
2-я типография издательства «Наука» 121099, Москва, Г-99, Шубинский пер., 10

© Издательство «Наука», 1980 г.

К 20805—021
054(02)—80 31—80 НП 1904030000

КАМЧАТКА — СТРАНА ВУЛКАНОВ И ГОРЯЧИХ ИСТОЧНИКОВ

Камчатско-Курильская дуга — одно из самых замечательных явлений в структуре земного шара. Разгадка ее природы является ключом к пониманию возникновения и самого Тихого океана, в процессов горообразования вообще.

А. И. Заварицкий

Вулканизм — явление планетарное. На Земле во все геологические эпохи происходили извержения вулканов, причем в далеком прошлом масштаб вулканической деятельности был еще более грандиозным. Космическими исследованиями доказано, что и на других планетах Солнечной системы вулканические процессы играют большую роль в формировании их вещественного состава и рельефа.

Геологи давно подметили, что с древними вулканами и вулканическими породами тесно связаны многие месторождения полезных ископаемых. Именно поэтому изучение современных «живых» вулканов позволяет получить ответы на многие вопросы теории и практики геологии.

Выдающиеся советские геологи академики А. И. Заварицкий, Ф. Ю. Левинсон-Лессинг, член-корреспондент АН СССР Б. И. Пейп положили начало развитию советской вулканологии. Под их руководством еще в 1935 г. на Камчатке была организована Ключевская вулканологическая станция.

Вулканология — как наука о вулканах — базируется непосредственно на фундаменте, заложенном геологией. Но в то же время именно материалы изучения вулканических процессов и продуктов извержения были отправной точкой первых геологических построений. С появлением более совершенных методов изучения глубинного строения и строения Земли вулканология все более приобретает черты самостоятельной науки, широко использующей самые современные достижения физики, химии, математики, физикохимии. В свою очередь, по закону обратной связи наблюдения, полученные на действующих вулканах, нередко дают толчок к открытиям в области физики, химии, минералогии, а в последнее время и биологии, углубляют наши познания о Земле, ее истории и этапах развития.

Камчатка вместе с расположенными южнее Курильскими островами является уникальным вулканическим регионом Земли. Из 817 известных на Земле в настоящее время действующих вулканов 28 находится на Камчатке и 37 — на Курильских островах. Кроме того, здесь имеется несколько сот вулканов, прекративших свою деятельность, но хорошо сохранивших свою форму.

Следует отметить, что и в настоящее время масштабы вулканической деятельности на Земле грандиозны. По подсчетам советского вулканолога В. И. Влодавда уже в XX в. произошло 1500 извержений 320 вулканов. Особенно часты извержения вулканов в зоне Тихоокеанского огненного кольца, обрамляющего Великий океан: на Камчатке, Курилах, в Японии, на Филиппинах, Гавайских островах. Широко известны извержения вулканов в Средиземноморье, в Восточной и Центральной Африке. В последнее время отличаются активностью вулканы Исландии. Причем если у нас, в СССР, как правило, населенные пункты располагаются вдали от вулканов, то в других странах люди издавна селились вблизи вулканов — часто из-за недостатка площади, а в основном из-за плодородности посыпанной вулканическим пеплом земли.

Поэтому самой главной задачей вулканологии является нахождение признаков, позволяющих предсказывать извержения, землетрясения, возникновение волн цунами, а также изучение самого механизма извержения. По образному выражению известного советского вулканолога С. И. Набоко, жерла вулканов — это те форточки, через которые можно заглянуть внутрь земных недр. Вот почему вулканологи стремятся как можно ближе подойти к кратеру извергающегося вулкана, чтобы измерить температуру лавы, изучить химический состав изверженных материалов — жидких, твердых и газообразных. Важно точно определить энергию извержения, массу изверженного материала, длительность процесса, его стадии и т. д.

И камчатские вулканы по скупаются на извержения. В марте 1956 г. здесь произошло ставшее всемирно известным грандиозное извержение вулкана Безымянного. Трехсотметровая вершина его была свесена гигантским вулканическим взрывом. Пепел извержения был обнаружен даже в Лондоне. В 1961 г. активизировались вулканы Плоский Толбачик, Мутновский. В ноябре 1964 г. проснулся крупнейший вулкан Шивелуч на севере Камчатки. Всего около часа длилось это извержение. Но по своей

энергии ($2 \cdot 10^{14}$ Дж) и объему ($1,5 \text{ км}^3$) выброшенного материала оно превзошло все предыдущие его извержения. Скорость выброса составляла 31 м/с, давление 1000 атм. Многотонные глыбы породы были отброшены взрывом на 10—12 км.

В 1968 г. произошло извержение из побочного кратера (высота 3200 м) самого крупного вулкана Евразии Ключевской сопки (высота около 5000 м). Осенью 1974 г. он снова ожил и долгое время разливал лаву с температурой до 1100°C . В состоянии постоянной активности находится вулкан Карымский. Только в XX в. он извергался 21 раз, а в мае 1976 г. он снова разразился мощным лавовым потоком. Во время его извержения выбрасывалась масса вулканических бомб — камней шаровидной, грушевидной, трубчатой форм размером от 10 см до 1,5 м (реже более крупные).

Вулканы могут проявлять свой бурный нрав многие тысячелетия, временами затихая (иногда на сотни лет) и снова пробуждаясь. В конце концов извержения прекращаются. Но в недрах вулканических сооружений еще долгое время, также исчисляемое тысячелетиями, сохраняются остаточные очаги магмы с высокой температурой. Они прогревают вышележащие породы, которые в свою очередь становятся резервуарами тепла. Проникающие на глубину по трещинам поверхностные воды нагреваются, обогащаются магматическими газами и глубинными компонентами и выходят на поверхность в окрестностях вулканов, как правило, в пониженных местах.

Эти горячие источники, а иногда гейзеры, имеют огромное научное и практическое значение. Запасы их в вулканических районах практически неисчерпаемы. Камчатка, например, располагает уникальными как по степени концентрации на площади, так и по объему запасами горячих вод. К настоящему времени работами большого коллектива геологов и вулканологов здесь выявлено 115 групп термальных источников. Из них 22 группы с температурой $75\text{—}100^\circ \text{C}$ на поверхности и 16 групп имеют уже на небольшой глубине температуру свыше 100°C .

Наиболее высокой тепловой мощностью обладают молодые (современные) гидротермальные системы, объединяющиеся в крупные естественные группировки, получившие название геотермальных районов. К ним относятся широко известные Паужетский, Мутловский и Семьянинский.

Изучению гидротермальных систем посредством разведочного бурения (в настоящее время на Камчатке имеются скважины глубиной до 1500 м) обогатили наши знания об их природе. Работами советских гидрогеологов-геотермиков В. В. Аверьева, В. М. Сугрובה, Е. А. Вакина, В. И. Кононова, Б. Г. Поляка и др. было показано, что гидротермальные системы представляют собой специфические гидродинамические системы, возникающие в верхних частях земной коры при интенсивном поступлении тепла из более глубоких горизонтов в виде магматического пара или расплава. Тепловая мощность таких систем равна 25—75 тыс. ккал/с. Удельная плотность теплового потока здесь в 50—100 раз выше среднеевропейского.

Общая тепловая мощность камчатских высокотемпературных гидротерм по оценкам специалистов составляет $3,8 \cdot 10^8$ ккал/с, а гидротерм с температурой менее 100°C — $7,7 \cdot 10^7$ ккал/с. Это значит, что только высокотемпературных ресурсов достаточно для сооружения геотермальных электростанций суммарной мощностью порядка 300 тыс. квт. Для наглядности можно сказать, что это эквивалентно сжиганию 1 млн. т угля в год. К тому же комплексное использование термальных вод, сбрасываемых с турбин электростанций, например для отопления промышленных и жилых помещений, больниц, детских садов, плавательных бассейнов, теплиц и т. д., во много раз превышает эффективность работы геотермальных станций. Несомненным преимуществом применения геотермальной воды и пара в народном хозяйстве является минимальное загрязнение окружающей среды.

В мире сейчас уже работает около 30 электростанций на подземном тепле (в Италии, Новой Зеландии, США, Японии, Исландии, Мексике). Мощность самой крупной из них в Калифорнии — около 400 тыс. квт. В СССР с 1964 г. действует опытно-промышленная геотермальная электростанция.

С горячими водами связаны неисчерпаемые возможности развития теплично-парникового хозяйства. Достаточно сказать, что жители такого северного острова, как Исландия, богатого горячими источниками, используя их рационально, полностью обеспечивают себя овощами и фруктами.

На Камчатке уже построено несколько теплично-парниковых комбинатов на подземной горячей воде.

Общезвестна громадная бальнеологическая ценность

природных горячих вод. Но если созданные на базе кавказских минеральных вод многочисленные водолечебницы и курорты быстро получили признание, то история использования камчатских вод еще только начинается. Здесь имеются столовые питьевые минеральные воды, такие, например, как углекислая железистая гидрокарбонатно-хлоридная натриево-кальциевая «Малкинская», напоминающая по химическому составу «Ессентуки № 4». Ее используют для лечения заболеваний желудочно-кишечного тракта. Любопытно, что еще в 1818 г. русский врач И. В. Любарский организовал в местечке Малки (в 130 км южнее г. Петропавловска-Камчатского) подлечебницу на горячих источниках и с большим успехом лечил камчатцев от ревматических заболеваний. Издавна известны Дранклинские термальные источники, а также расположенные недалеко от г. Петропавловска-Камчатского Палачевские и Краеведческие. Благоприятное сочетание температуры, химического состава и микроэлементов, среди которых особое место занимают мышьяк и бор, выдвигает их в один ряд с такими известными мировыми курортами, как Ла-Бурбуль (Франция) и Дюркхейм (ФРГ).

В настоящее время на Камчатке уже действуют два специализированных санатория — Начики и Паратуика, в арсенале лечебных процедур которых основное место занимают комплексы с использованием горячих минеральных вод и сероводородных грязей. Построены общеоздоровительные купальные бассейны на термальных водах в пос. Паратуике, Эссо, Анавгай. На Озерновских, Больше-Банных, Киреунских источниках имеются ванны и бассейны на открытом воздухе.

Исключительно важную информацию несут горячие воды об условиях образования месторождений полезных ископаемых. Так, при разбуривании некоторых современных гидротермальных систем в разрезе пород на небольшой глубине, а иногда и непосредственно в приповерхностной зоне были обнаружены отложения рудных минералов, аналогичных тем, которые слагают руды разрабатываемых месторождений. Изучить условия их образования — значит знать, как более рационально и где искать такие месторождения.

Примерами подобных природных лабораторий минералов являются известные Долина Гейзеров и кальдера вулкана Узон. Они находятся в 180 км к северу от Петропавловска-Камчатского, в так называемой Восточной вулка-

нической зоне Камчатки, характеризующейся активным протеканием современных вулканических процессов. Здесь все говорит о недавней вулканической деятельности. Хорошо сохранились некоторые постройки потухших вулканов: Жуцаповского, Тауншица, Унапы, Крашенинникова, Кровоцкого. Периодически извергаются вулканы Карымский, Малый Семячик. Очень много вулканических массивов, находящихся на стадии гидротермальной деятельности, когда огненная магма уже не может прорваться к поверхности, а подземного тепла еще достаточно, чтобы нагревать и поднимать воду, поступающую в зону такого прогрева. Вот она и выходит здесь на поверхность в виде многочисленных парогазовых струй, горячих источников и иногда гейзеров. Закономерно, что горячие источники и гейзеры проявляются в наиболее пониженных участках рельефа окрестностей вулканических сооружений. На самих же вулканических горах выходят наиболее высокотемпературные парогазовые струи — фумаролы. Конденсируясь на поверхности, они образуют малобитные горячие ручейки, насыщенные кислотами и чрезвычайно сильно воздействующие на породы. За многие тысячи лет гидротермальной деятельности породы, слагающие верхний панцирь вулкана, совершенно видоизменяются. Они превращаются в обеленные глинистые или плотные кремнистые массы, пространственное положение которых подчиняется определенным закономерностям.

Иногда в результате мощных, так называемых игнимбритообразующих извержений от собственно вулканического массива остается только невысокое кольцевое обрамление. Оно сложено наиболее древними породами вулкана, а молодые мощным взрывом разбрасываются и отлагаются в окрестностях. Такого рода извержения сопровождаются быстрым опустошением магматических камер на глубине и проседанием постройки. По громадным кольцевым разломам породы кровли вулкана опускаются вниз и как бы задавливают очаг. Возникает крупное сооружение в виде кольца — кальдера (от латинского — «чаша»). Предполагается, что так сформировалась и кальдера вулкана Узон на Камчатке, которая вместе с расположенной рядом Долиной Гейзеров считается жемчужиной Камчатки. Сюда стекаются все туристические маршруты по Камчатке.

УЗОН — ВУЛКАН И ДЕПРЕССИЯ

В недостижимых глубинах кипят магмы. В них не только скована энергия космоса с времен космического прошлого, в ней скованы с того же времени огромные массы воды и летучих элементов.

А. Е. Ферман

ПЕРВЫЕ ЭКСПЕДИЦИИ НА УЗОН

Первые сведения об узонских горячих источниках появились в печати в 1901 г. Их автор, руководитель экспедиции, организованной Российской академией наук, К. Дитмар путешествовал по Камчатке в 1851—1855 гг. Примечательно, что в обстоятельной работе русского естествоиспытателя С. П. Крашенинникова «Описание земли Камчатки», работавшего здесь еще в 1741 г. и описавшего почти все крупные проявления горячих вод, сведений об Узоне нет. Правда, встречается заметка о том, что охотникам-камчадалам известны «парящие земли» в районе вулкана Большой Семьячок и севернее его. Но, по словам Крашенинникова, те места пользовались у камчадалов дурной славой, и никто из местных жителей не соглашался быть туда проводником.

В начале сентября 1854 г. Дитмар в сопровождении казаков, один из которых, по фамилии Чуркин, знал эти места, достиг кальдеры. Она произвела на исследователя колоссальное впечатление. В горах в то время было холодно, уже лежал снег, а внизу, вокруг горячих источников, буйствовала зелень, кипела жизнь. Дитмар описал Восточное и Западное термальные поля, обратив основное внимание на обилие выходов горячей воды и пара, морфологию грифонов и наличие грязевых котлов и глинистых вулканчиков. Любопытно, что Дитмар посчитал Узон действующим вулканом. В подтверждение этого он ссылался на Чуркина, якобы видевшего, что в 1844 г. в районе Восточного термального поля поднимались «струи огня». Забегая вперед, следует сказать, что эти «струи огня», конечно, не имели никакой связи с действительным извержением. Вулканическая деятельность на Узоне прекратилась многие тысячелетия назад. Скорее всего казаки были очевидцами воспламенения серы, нередко происхо-

дящего и в настоящее время. Это предположение подтверждается, на наш взгляд, и заметкой Дитмара о пахождении здесь «цельных пластинок» серы. Именно пластинчатой формы образовавшая сера была обнаружена в 1975 г. при обследовании места падежачего пожара на серном пляже у южного края Хлоридного озера.

Богатый и разнообразный материал о кальдере опубликовал по результатам своих исследований видный русский природовед академик В. Л. Комаров, посетивший Узон в 1909 г. Он описал те же участки, что и Дитмар. Причем, зная материалы Дитмара, Комаров сам обращает внимание на изменения, происшедшие на термальных полях за 50 лет. Данные Комарова соответственно позволили нам провести визуальную сравнительную характеристику термальной активности Узона за последующие 70 лет.

Наиболее детальные исследования на Узоне были проведены в 1933 г. советским вулканологом Б. И. Пийпом. В своей книге «Термальные ключи Камчатки» (1937) он дал первое описание геологического строения узонской структуры, довольно детально охарактеризовал газогидрохимическую и геохимическую специализацию горячих вод.

С 1964 г. начался новый этап в изучении Узона. По инициативе В. В. Аверьева и под его руководством в Узон-Семлячском районе были выполнены комплексные геолого-геофизические и гидрогеологические исследования. Работами В. В. Аверьева, Г. Е. Боговлянской, Э. П. Эрлика, О. А. Брайцевой была установлена парагенетическая связь гидротерм с экструзивным вулканизмом кислого состава. Выявлена роль геологической структуры в локализации термальных вод. Детальные измерения тепловых потоков позволили вулканологом-теплофизиком Г. Н. Ковалеву и Ю. Б. Слезину определить общую тепловую мощность Узона. Сравнение ее с мощностью фумарольной разгрузки соседних активных вулканов дало возможность Г. Н. Ковалеву развить высказанную В. В. Аверьевым идею о едином механизме энергетического питания молодых гидротермальных систем и вулканов. В результате гидрогеологических исследований Г. Ф. Пилипенко обнаружила на Узоне уникальную гидрохимическую зональность термальных вод.

Большой вклад в изучение Узона внесли экспедиции 1968—1970 гг. под руководством доктора геолого-минералогических наук С. И. Набоко, первой обратившей внима-

ние на миперало-рудообразующую роль узонских гидротермальных растворов. С этого времени начался период детальных режимных наблюдений физико-химического и минералогического плана, проводимых Институтом вулканологии ДВНЦ АН СССР в содружестве с рядом крупнейших научных институтов Советского Союза.

ГЕОЛОГИЯ УЗОНА

История геологического развития описываемого района такова. В древнечетвертичное время, порядка 370—750 тыс. лет назад, на месте западной части современной депрессии существовал крупный щитовой вулкан. Он издавал высокоподвижные базальтовые лавы, растекающиеся широко по пологой поверхности. Центр щитового вулкана реконструируется на месте северной части современной Узон-Гейзерной депрессии. Туфогенно-лавовые толщи базальтового состава хорошо просматриваются в западном борту кальдеры Узон. В среднем плейстоцене (порядка 225—370 тыс. лет назад) на западном плече вулкана начал расти конический стратовулкан. По представлениям Б. И. Пийпа, высота его достигала 3000 м. Этот вулкан был сложен теми же двупироксеновыми, оливинсодержащими базальтами, с небольшой примесью пирокластиков, что и щитовой вулкан. Различия в составе их продуктов заключаются лишь в более низком содержании кремнезема и повышенной щелочности базальтов стратовулкана.

Во второй половине среднего плейстоцена (175—225 тыс. лет назад) вся постройка испытала грандиозный пароксизм. По данным Б. И. Пийпа, он имел двухфазный характер. В результате первой фазы взрынной деятельности в восточной части вулканического сооружения образовался громадный кратер, из которого излились мощные потоки стекловатого, кислого по составу материала, сформировавшие игнибритовые покровы вокруг Узон-Гейзерной структуры (рис. 1). Для этих игнибритов характерно большое разнообразие текстурных разновидностей, от серых и розовых слабо спелых туфов с лизовидными включениями белой и черной пемзы до серых, иногда красноватых плотных разновидностей с лепешковидными, ориентированными включениями черного стекла, получившими название «фьямме» (от латинского — «пламя»).

Оставшаяся в кратере лава вспенилась, образовав ту часть пемзовых отложений, которые наблюдаются на восто-

ке кальдеры. Вторая фаза мощной взрывной деятельности, приуроченной к западной части сооружения, завершила формирование Узон-Гейзерной вулкано-тектонической депрессии. На месте собственно стратовулкана Узон образовалась кальдера, носящая то же название. Сбросовый уступ кальдеры хорошо просматривается на западе структуры, где в виде высокого пика сохранилась часть стратовулкана.

После активной эксплозивно-эффузивной деятельности наступил относительно спокойный период геологической истории этого района. С начала верхнего плейстоцена (70—100 тыс. лет назад) на протяжении 50—70 тыс. лет здесь существовали крупные озерные бассейны. По данным геоморфологов, в пределах депрессии было три разновозрастных озера. Наиболее древнее, так называемое Первое озеро находилось в восточной части депрессии. Разрез отложений этого озера мощностью до 350 м хорошо прослеживается в долине реки Гейзерной. Он почти целиком сложен пемлово-пемзовыми сортированными туфами с характерной горизонтальной слоистостью, свидетельствующей об отложении в водной среде.

Второе озеро располагалось западнее, на площади между современными экструзивными куполами (плато Круглое, сопка Останец и гора Белая). Хорошие обнажения отложений этого озера встречаются по притокам реки Шумной. Прекрасно выражена слоистость толщи, сложенной пемзовыми песками палевого цвета различной крупности — от тонкомелкозернистых до среднекрупнозернистых с редкими включениями плохо окатанных гальки и глыб эффузивов.

Третье озеро (диаметром не менее 5 км) существовало с середины верхнего плейстоцена в северо-западной части кальдеры Узон. В нем формировалась толща алевропелитовых и псаммитовых пемлово-пемзовых туфов, материал для которых поступал с окружающих депрессию интенсивно действующих вулканов (Крашенинникова, Кихляныча).

Непосредственно в самой депрессии в конце верхнего плейстоцена проявилась фаза кислого вулканизма. В западной части кальдеры Узон, на месте третьего озера, образовалась крупная эксплозивная воронка. Выброшенный взрывом из нее материал геологи обнаружили в виде мощной (до 40 м) толщи пемзовых лапиллей на западном борту Узон-Гейзерной депрессии.

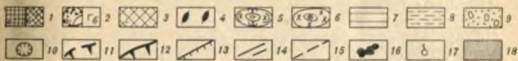


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Узон-Гейзерной вулканно-тепловой структуры (по О. А. Брайцовой, Г. Е. Вогоявленской и Э. П. Эрлиху, 1974)

Образования докальдерного комплекса: 1 — туфогенно-лазовые толщи базальтового (а) и дацитового (б) состава (Q_1-Q_2); 2 — базальтовые стратовулканы (а — сохранившиеся; б — разрушенные); 3 — туфогенно-лазовые толщи преимущественно дацитового состава ($Q_2^2-Q_1^1$). Образования посткальдерного комплекса: 4 — агнибритовые покровы (Q_2^1); 5 — дацитовые и липаритовые вулканические купола и их лавовые потоки ($Q_2^1-Q_1^1$); 6 — пемзовые купола (Q_2^1); 7 — слоистые туфы — отложения первого и второго озер (Q_1^1); 8 — слоистые туфы — отложения третьего озера ($Q_2^2-Q_1^1$); 9 — морена II фазы верхнеплейстоценового оледенения (Q_1^1); 10 — взрывная воронка маара (Q_1); 11 — кольцевой сброс обрамления депрессии; 12 — сброс обрамления взрывной воронки; 13 — сбросы и сбрососдвиги; 14 — тектонические трещины без видимых смещений; 15 — разломы, нанесенные по геофизическим данным; 16 — термальные поля, участки современной интенсивной гидротермальной деятельности; 17 — группа термальных источников и отдельные источники; 18 — зоны гидротермально-измененных пород

Приблизительно в то же время в кальдере Узон происходило образование экструзивного купола горы Белой. Он сложен породами кислого состава — плотными серыми дацитами, которые во внешних частях экструзии смешиваются стекловатыми лаварит-дацитами обсидианового типа и пористыми помзювидными породами. В настоящее время эти породы интенсивно изменены гидротермальными растворами.

Геоморфологи обнаружили на Узоне и явные следы оледенения. Ледники сползали в кальдере со стороны окружающих ее вулканических плато и склонов вулканов Узон и Таупшиц. Мощность ледового покрова достигала 100—150 м. Характерно, что поверхность экструзии горы Белой несет слабые следы воздействия ледника. Они проявляются в сглаженности склонов, наличии оврагов, возникших вследствие ледниковой экарации (выпахивания). В то же время существует мнение, что выседнение экструзии продолжалось и в период оледенения.

Последним актом вулканической деятельности в кальдере Узон было образование крупного маара, кратер которого в настоящее время заполнен водой (оз. Дальнее). Кольцевой вал маара образован шлаками, бомбами, лапшлями и глыбами черной, иногда очень пористой лавы андезит-базальтового состава.

КАЛЬДЕРА ВУЛКАНА

На существование крупной кальдеры в районе вулкана Узон первым обратил внимание Б. И. Пивп в 1961 г. Последующими работами В. В. Аверьева, Э. Н. Эрлиха, Н. В. Мелекесцева и др. было развито представление о существовании здесь кольцевой вулканотектонической депрессии, в которую, помимо кальдеры Узон, структурно входила и котловина Долины Гейзеров.

Наиболее высокие края кальдеры Узон, позволяющие видеть это сооружение издали, находятся в западной ее части. Это пики Бараний (высота 1540 м над уровнем моря) и Красный (1320 м), возвышающиеся над хорошо сохранившимся только здесь гребнем вулкана. Внутренние склоны кальдеры, как правило, крутые, скалистые, нарезанные узкими оврагами. Внешние склоны, наоборот, пологие, на юге и севере сливаются с поверхностью широкого лавового плато, поднятого на 1000 м над уровнем моря. Дно кальдеры находится на абсолютной отметке

650 м. Самые поднятые части кальдеры — заболоченные и туфровые участки на юго-западе и западе. Здесь находятся озера — самое крупное, но мелкое и холодное Центральное и теплое, незамерзающее Фумарольное, а также масса средних и мелких теплых и холодных озер и болот.

Северо-восточнее наблюдается некоторое повышение уровня дна кальдеры, и фактически вся крайняя восточная ее часть представляет собой полого поднимающуюся возвышенность, нарезанную оврагами. Здесь в кольце невысокого увала располагается высокогорное озеро Дальнее, заполнившее кратер крупной взрывной воронки. Рядом высится изометричная в плане гора Белая.

Современная гидротермальная деятельность сосредоточена в узкой, не более 400 м шириной, зоне, прослеживающейся почти по осевой линии кальдеры с востока на запад на протяжении 2,5—3 км (с перерывами).

Здесь по серии тектонических разломов субширотного направления, осложненных оперяющимися трещинками северо-западного простирания, на поверхность выходят кипящие, газонасыщенные растворы. Своим теплом они прогревают боковые породы, благодаря чему в этой зоне никогда не задерживается снег. Сотни мелких парогазовых проколов, бессточных воронок, грязевых котлов, мощных грифонов, источников с кипящей водой выходят на площадь, называемой термальной (фото 1).

ВОСТОЧНОЕ ТЕРМАЛЬНОЕ ПОЛЕ

Узонская термальная площадь пространственно подразделяется на четыре обособленных друг от друга термальных поля: Восточное, Озерное (район Фумарольного озера), Западное и Северное (рис. 2). Между Восточным и Северным полями находится несколько более мелких термальных площадок: Цепочка, Оранжевая, Восьмерка, Крайняя. Самым крупным и максимальным по выпуску тепла является Восточное термальное поле, протянувшееся в широтном направлении на 1,5 км.

С некоторой долей условности, но в соответствии с топографическим расположением Восточное термальное поле подразделено первыми его исследователями на три участка (с востока на запад): Первый, Второй (Центральный) и Третий.

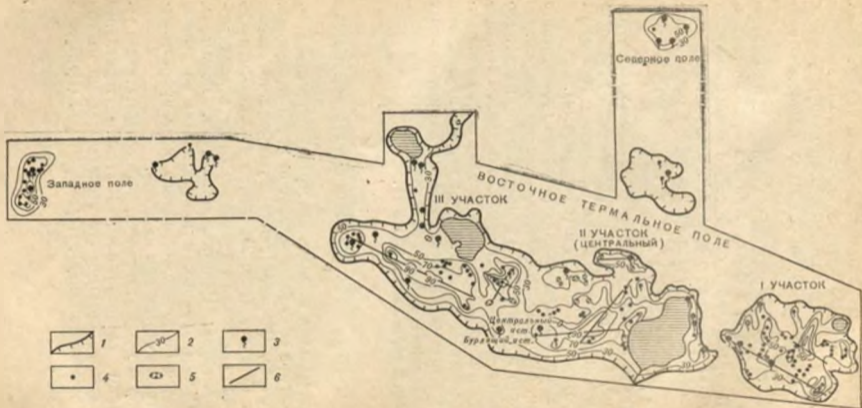


Рис. 2. Схема Узонской термальной площади

1 — граница термальных участков; 2 — маотермы; 3 — восходящая термальные источники; 4 — бессточные термальные грифоны, 5 — грязевые котлы, 6 — разрывные нарушения

Первый участок пачипается от озера Банного и протягивается на запад до пешпрокой перемычки, под которой бурлит зеленая вода группы источников, получившей название «Парящий Сапожок». На этот участок термального поля выходит тропа, идущая с юга. Преодолев последние 300 м болотистой, кочковатой тундры, охраняющей подступы к термальным полям, с удовольствием ступаешь на твердую почву. Перейдя вброд один мелкий холодный ручей, поднимаемся на невысокий бугор, сложенный породами, паченными под воздействием газов и гидротерм. Это уже термальное поле. С бугра хорошо просматривается весь Первый участок.

Центральная часть поля представляет собой плоскую пачипу, покрытую мелкозернистым гравием темного цвета (базальты). Здесь масса крупных и мелких округлых воронок с кипящей водой. Большая часть из них бессточные, вода чистая, прозрачная. Воронки, в которых заметно активное выделение спонтанных газов — сероводорода, углекислого газа, метана, — бурлят, производя впечатляющие кипения. На самом деле температура воды здесь не превышает 70—80° С. Вокруг воронок с выходом сероводорода пачеваются венчики колоний термофильных бактерий белого цвета. Иногда они образуют красивые ореолы, а воронка похожа на шляпу подсолнуха, обрамленную белыми листочками.

С воронками с прозрачной водой соседствуют грифоны с мутной водой и грязевые котлы. Характерно, что уровень воды (вследствие меньшего притока) в них заметно ниже, чем в воронках с чистой водой. Все выходы бессточные. Иногда воронки сливаются друг с другом, образуя систему блюдец с топкими перемычками. Такие места очень опасны, ибо грунт здесь зыбкий, а на глубине уже первых десятков сантиметров, а глинистой жиже, температура нередко превышает 100° С. Даже в резиновых сапогах трудно долго выдерживать высокую температуру, а вылезти быстро из вязкой глины, образовавшейся во круг источников, практически невозможно.

У подножия бугра, на котором обычно все пришедшие по тропе делают первый обзор термального поля, протекает холодный ручей Веселый. Одна из его проток впадает в крупную, более 5 м глубиной и порядка 10 м в диаметре, воронку, образовавшуюся в результате прорыва высокотемпературной парогазовой смеси. Она заполнена водой с температурой 40° С. В северной части воронки огромными

пузырями выходят газы, в составе которых имеется сероводород. Окисление последнего кислородом, содержащимся в холодной воде ручья, приводит к обильному выпадению толстых зерен самородной серы белого цвета. Вода озера в этой зоне приобретает белесый цвет, а из озера вытекает ручей молочного-белого цвета. Он выносит массу тонкой взвеси серы и серного пла. Глядя на этот ручей, вспоминаешь сказку о молочной реке и кисельных берегах. Оказывается, это чудо действительно существует. Интересно, что в холодном ручье, куда впадает «молочная» река, белая струя не смешивается с чистой водой, а течет параллельно ей еще метров 50, пока ил не оседет на дно. Здесь температура воды уже 7° С.

Недалеко от «серного» котла находится единственный на Узоне гейзер. По имени первооткрывательницы Светланы Федоровны Главатских, зафиксировавшей его работу летом 1968 г., гейзер получил название «Светлана». Грифон гейзера представляет собой наметренную в плане неглубокую воронку диаметром 1,5 м, в центре которой хорошо виден крутой целеобразный канал. Вблизи поверхности капал слегка расширен и разделен узкой перемычкой на два выхода. Стенки грифона укреплены и покрыты толстым налетом нирита. Характерной гейзерной постройки у этого гейзера нет, что свидетельствует о малом времени его существования. Но на поверхности выступающих из воды камней наблюдаются типичные для гейзерита мелко почковидные образования кремнезема белого цвета. Гейзер работал * в следующем режиме: наполнение воронки — 70 сек, извержение — 50 сек, период опустошения капала длится 50 сек. Уровень воды в капале понижается на 30 см. Выброс воды во время извержения едва достигает 0,6 м. По периферии выводного канала хорошо заметны мелкие выходы газа, в составе которого имеется сероводород, так как вокруг них фиксируются новообразования самородной серы.

Вода гейзера имеет невысокую минерализацию (порядка 1,2 г/л), существенно хлоридно-натриевый состав и близонейтральную реакцию (рН 6,5). В ней содержится до 200 мг/л кремнекислоты, до 2 мг/л мышьяка, 0,7 мг/л сурьмы и около 1 мг/л свинца.

Далее по тропе подходим к легендарному Банному

* В 1978 г. гейзер Светлана прекратил свою работу в результате образования рядом с грифоном новой воронки.

озеру, где якобы усталость сплмается за 5 мин купания, а ватем исчезают болевые ощущения при радикулите, ревматизме и прочих недугах. Озеро обрамляют крутые глинистые берега высотой до 3 м; над его округлой чашей диаметром около 30 м с мутноватой белесой водой стоит логкий туман испарений. В некоторых местах глухо булькают крупные пузыри газов, и на поверхности воды почти всегда плавает светло-серая серная пена. Невольно напрашивается аналогия со сказочными котлами с кипящей водой, в которые бросился герой известной сказки П. П. Ершова о Кошке-Горбунке. И, как в сказке, купание в Банном озере действительно оказывается благотворным. Благодаря наличию радона, эти ванны успокаивают нервную систему, а присутствие элементарной серы делает их полезными при дерматологических заболеваниях. Тем не менее не следует забывать, что температура воды в озере все-таки довольно высока. Прямо у мостика $39-41^{\circ}\text{C}$, а ближе к устью ручья, вытекающего из озера, где наблюдается непрерывное бурление газов, до 45°C . Длительное пребывание в очень горячей воде, тем более заплывы на другую сторону озера вызывают утомление. К тому же глубина озера в большей его части превышает 3 м, и уже в 5 м от мостков дно круто уходит на глубину около 10 м; максимальная глубина 20 м. Конфигурация дна озера и характер береговых обнажений свидетельствуют о взрывной природе воронки. Приток воды достаточно велик. Из озера постоянно вытекает ручей с расходом около 1 л/с. Но, по-видимому, в балансе воды здесь большую роль играют инфильтрационные грунтовые воды, так как степень минерализации горячих вод в озере невысока.

На северном берегу Банного озера находится обширная (25×25 м) куполообразная площадка, покрытая мощным панцирем кремнезема. В разрезе хорошо видна горизонтальная зональность тонких, иногда миллиметровых слоев белого кремнезема, содержащих обильные включения еще не до конца окремненных стеблей псииника, который и сейчас в изобилии растет на Узоне. В прошлом на месте теперешнего купола интенсивно изливался высокотемпературный источник или гейзер с высоким содержанием кремниеслоты в растворе. Постепенно подводящие раствор каналы были зацементированы отложениями кремнезема, и источник заглох. В основании кремнеземного панциря, у ручья, вытекающего из Банного озера,

обнажаются топкозернистые пепловые туфы с линзами и прослойками зеленовато-желтой серы. В теплом ручье, в 40 м от истока, вода уже чистойшая — весь ил осел в русле. В ручье булькают и свистят десятки мелких выходов газов, их радужные пузырьки непрерывной стайкой бегут вниз по течению.

В 35—40 м юго-западнее Банного озера, у основания глинистого серного бугра, располагается крупное бессточное серное озеро. В округлой воронке диаметром порядка 12 м все время парит мутноватая зеленого цвета вода. Температура ее в августе достигает 71° С, реакция слабокислая (рН 4,6). На илистом дне озера отлагается тонкодисперсная коллоидная сера.

Северный борт термального поля Первого участка представляет собой высокую, до 3,5 м, террасу с поверхностью, типичной для сухой тундры. Здесь обильно растут ягодники: голубика, жимолость, шикша. Непосредственно у термального поля борт террасы расчленен на пологие бугры, южные стороны которых лишены растительности и сверкают на солнце мокрыми глинистыми бочками. Глина пестрая, преимущественно светло-серого цвета. Иногда встречаются красивые разноцветные разводы в виде топких овальных колец перемежающегося белого и коричневого цвета. В центре их видны мелкие отверстия, по которым просачивались растворы. Зональность колец объясняется равномерной диффузией микрокомпонентов в стороны от подводящего канала. Такие образования получили название колец Лизеганга (по имени ученого, объяснившего их происхождение). На глинистых склонах встречаются глубокие, до 1,5—2 м, колодцы, провалы. Часто слышно, как глубоко внизу бурлит густая глинистая масса.

Крупные котлы горячей воды диаметром 6—8 м приурочены ко всему северному обрамлению термального поля Первого участка. Это красивые воронкообразные водоемы с белесой от тонкодисперсной серы водой. В глубоких местах при солнечном освещении вода приобретает изумрудный оттенок. Температура ее не превышает 80° С. Вследствие высокого содержания в воде сероводорода, окисляющегося до серы и серной кислоты, реакция растворов имеет кислый характер. По бортам этих котлов и в русле вытекающих из них ручейков широко развиты колонии белых твонковых бактерий, нередко забитых молекулярной серой белого цвета.

На возвышенных участках между котлами хорошо видны развалы туфов с обильным содержанием кристаллической серы. Это так называемые серные бугры. Когда здесь интенсивно выходили парогазовые струи с сероводородом. Нередко они встречаются и сейчас, образуют своеобразные башенки и натеки желтовато-белой серы. Иногда отверстия этих струек инкрустированы мелкими кристалликами и образованиями в виде щеточек самородной серы травяно-зеленого цвета.

В юго-западном углу термального поля, почти на самой перемычке, отделяющей Первый участок от Второго, выходит один из красивейших термальных источников Узони. Шлейф воды широким веером растекается по склону на 8—12 м. Источник выходит среди развала крупных остроугольных камней, по составу представляющих собой окварцованный почвенный слой. Хорошо просматриваются окрепелые формы растительности. В глубоком блюдцеобразном грифончике из двух центров активно выделяются газы, чувствуется запах сероводорода. Вода совершенно прозрачная, почти нейтральная по кислотности, температура на выходе 70° С. Интересно, что на нижней, заглубленной части поверхности камней, лежащих в грифоне, отлагается тонкая сульфидная пленка латунино-желтого цвета (пирит-мельниквит), а в приповерхностной зоне воды, где происходит интенсивное колебание уровня воды, образовались почковидные тонкодисперсные агрегаты того же сульфида железа, но черного цвета. Верхушки камней, выступающих из воды, покрыты сталагмитоподобной накипью гейзера светло-серого цвета. В воде источника много кремнезема. По периферии грифона и в русле ручейка, вытекающего из него, на истоке, обильно развиты нитевидные колонии тионовых бактерий белого цвета. Но уже в 3,5 м ниже по течению, где температура падает до 56° С, на смену тионовым бактериям приходят колонии сине-зеленых водорослей. Характерно, что между белыми тионовыми бактериями и зелеными термофильными водорослями располагается зона того же типа водорослей, но бурого цвета. По-видимому, это своеобразная зона закалки — отмершие водоросли свидетельствуют о периодах повышения температуры в грифоне выше допустимой для сине-зеленых нормы. Сине-зеленые водоросли совершенно скрывают всю поверхность термальной воды. Красным волнистым шлейфом они спускаются по склону к ручью, текущему

из другого источника, и на границе его полностью исчезают. В этом ручье уже другая среда — более кислая, в воде присутствуют частички коллоидной серы, температура не выше 40° С.

По мягкому ковру из мха и низкорослой кустарничковой растительности, среди обилия голубичника, поднимаемся на невысокую перемышку, отделяющую Первый участок от Второго. На ее плоской вершине обильно растет крупная голубика. Здесь всегда можно встретить шумных куропаток. Полакомиться ягодой нередко приходят и медведи. Ранним утром можно полюбоваться, как ловко косолапый управляет с нежной голубоватой ягодой, горстями сгребая ее с кустов и аккуратно отправляя в пасть. Нередко зверь настолько увлекается этим занятием, что теряет осторожность, тогда при встречном ветре к нему можно подойти очень близко и сделать исключительные снимки. Правда, внезапно обнаружив, что он не один на поле, страшно пугается, грозно фюкает, устрашая противника, и бросается наутек.

Второй (Центральный) участок. С вершины перемышки на запад открывается вид на все термальное поле. Обнаженная, лишенная растительности поверхность его испещрена массой крупных и мелких воронок, блюдцеобразных грифонов, грязевых котлов. Отсвечивают на солнце крутые водоемы. Бросается в глаза неравномерность окраски грунта. Огромной моделью лунного ландшафта с кратерами вулканов кажутся светло-коричневые глинистые участки с грязевыми котлами в центре поля. На гладкой маслянистой поверхности глины в солнечную погоду всегда образуются порошковатые «выпоты» квасцов белого, бурого, иногда голубого цвета (фото 2, 3). Это сульфатные соединения аммиака, алюминия, железа, меди и др. Они легко растворимы в воде и в дождь исчезают. Почти по осевой линии поля отчетливо выделяется неширокая полоса белого цвета — тонкая корочка гейзерита. Она фиксирует зону, по которой выходят на поверхность наиболее высокотемпературные и минерализованные глубинные растворы с высоким содержанием кремнезема.

Центральный объект поля — крупный округлый грифон, из которого высоко поднимаются столбы пара. Это источник Бурлящий (фото 4). Вода в нем действительно бурлит и клокочет из-за обилия газов и высокой температуры (96° С). Из крутых грифонов на Узоне Бурля-

тый — единственный источник с кипящей водой. В 50 м к востоку от него поднимается несколько меньший столб пара. Это источник Центральный. Здесь температура не превышает 92°C , но по общей минерализации и содержанию таких характерных для Уэона компонентов, как мышьяк, сурьма, ртуть, рубидий, цезий, бор и др., воды Центрального источника превосходят Бурлящий.

Прямо под черемычкой находится Хлоридное озеро (название дано по хлоридно-натриевому составу его вод). По площади зеркала воды — 140×160 м — озеро занимает первое место на Восточном термальном поле. По объему воды в нем невелик. Промеры показали, что в большей своей части озеро имеет глубину порядка 0,4 м. Лишь на северо-востоке, почти под высоким глиняным бортом, отделяющим Второй участок поля от Первого, там, где отмечаются выходы пузырей газов, обнаружены крупные подводные воронки. Одна из них, самая крупная — диаметром около 8 м и глубиной порядка 20 м, — находится в 20 м от северного берега озера. Максимальная температура на дне воронки 87°C . Вторая воронка расположена почти у самого берега и имеет глубину 6 м. Здесь замерена температура 86°C . На дне озера отмечено более 20 мелких газифицирующих грифонов. Значительно большее количество мелких выходов гидротерм фиксируется по контуру береговой линии, почти у уреза воды, максимальное их число приурочено к западному берегу озера. Здесь на поверхность выходят мелкие грифоны и проколы с температурой $95-96^{\circ}\text{C}$.

Благодаря обильному газовыделению со дна озера непрерывно взмучивается тонокый ил. В то же время окисление сероводорода на поверхности воды приводит к образованию пузырей, состоящих из тончайшей пленочки серы (фото 5). Локаясь, пузырьки сбрасывают серную пленку на поверхность частичек ила, взвешенных в воде. Появляются в виде горошин и дисков зерна желтой серы. Они сами могут многократно взмучиваться и повлекаться в процессе образования серы. Ветром и волнами их в конце концов прибывает к берегу. Таким образом, на южном берегу Хлоридного озера возник великолепный и уникальный в своем роде серный пляж (фото 6). На поверхности серных песчинок, находящихся в прибрежной зоне, тонкая пленочка воды имеет кислую реакцию ($\text{pH}=2$). Микробиологи обнаружили здесь активно идущий процесс образования серной кислоты за счет жизнедеятельности

тионовых бактерий. Учитывая колоссальную скорость биологических процессов, наличие серного пляжа кажется парадоксальным. Тем не менее он существует и, по-видимому, очень давно, так как диаметр зерен серы достигает 3 мм, а образование их, исходя из наблюдений, идет довольно медленно. Вероятно, в данном случае состояние системы близко к равновесному, т. е. скорость накопления новообразованных зерен серы почти равна (или даже слегка превосходит) скорости окисления серы бактериями.

По наблюдениям микробиологов дно Хлоридного озера (так же как и дно части заливов Фумарольного озера) обильно заселено диатомовыми водорослями. Глубина озера небольшая, и под воздействием солнца в этой зоне активно идет фотосинтез с выделением кислорода. Кислород энергично окисляет поступающий с глубины с газами сероводород до элементарной серы. Поэтому мы постоянно видим на озере серную пену. Часть серы, как сказано выше, уходит на формирование серных песчинок, другая часть при благоприятных условиях становится пищей серобактерий и идет на производство серной кислоты. По замерам в августе 1979 г. из озера выливается почти 20 л/с воды с температурой 20° С и рН около 2. Это настоящая речка серной кислоты.

По хорошо натоптанной тропинке, идущей по северному высокому борту термального поля, можно обойти Центральный участок. И снова нам встречаются многочисленные мелкие воронки, проколы, источники, серные ручейки и шлейфы с термофильными водорослями. Однако появились и новые образования. Это глинистые вулканчики. Они облюбовали себе неглубокую глинистую ложбину и попыхивают паром из кратеров, периодически изливая очень похожую на пастоящую «лаву». Сходство с вулканами поразительное. На этих природных моделях (фото 7—13) имеются даже побочные кратеры и радиальные трещины. В сухую погоду они подсыхают, глинистая масса густеет, трескается, и «лава» не изливается. На поверхности выступают щеточки квасцов-сульфатов разных металлов. Но после дождей наступает активизация. Высокотемпературные пары и газы прогревают заполненную водой постройку, глина приобретает пластичность, и «извержение» возобновляется.

Глиняные вулканчики образовались на фундаменте, где пеплово-пемзовые туфы под воздействием серных па-

рсы и горячей воды превратились в каолинистые глины. Интересно, что при ударе ногой глинистый бугор, на котором образовались вулканы, издает гудение. Здесь легко пробить дыру и убедиться, что глинистый покров в некоторых местах очень тонок. Под ним оказываются крупные пустоты, на дне которых кипит и бурлит глина. Такие места очень опасны. Рядом с вулканчиками булькают обширные грязевые котлы, на поверхности которых расплылась глянцевитая пленочка латуниного цвета — сульфиды железа. Железо на образование этого минерала заимствуется из боковых пород, которые превратились в глины, а сульфидная сера пришла из большой глубины в форме сероводорода.

Если пройти по тропинке от вулканчиков на запад, то метров через 70 справа встретится еще одна достопримечательность Узона — грязевой котел «Скульптор». Каждые 3—4 сек он «лепит» новые розы. Цветы получаются настолько оригинальные (фото 14), что туристы стремятся запечатлеть их на фотопленку.

На юг от тропы открывается красивый вид на термальное поле, отчетливо синеет вулканический массив — Зубчатка. По многолетним наблюдениям, когда его островерхний гребень не затянут облаками, можно не бояться ухудшения погоды. Само термальное поле тоже является хорошим барометром. В ясный солнечный день, при высоком атмосферном давлении, отмечается минимальное парение источников. Клубы пара не вздымаются вверх, а рассредоточенно стелются по земле, быстро рассеиваясь. При понижении давления, наоборот, поле приобретает строгий вид с четкими шеренгами паровых фонтанов. Так что для эффектных съемок наиболее благоприятно время перехода от высокого атмосферного давления к низкому.

Центральный участок термального поля на первый взгляд выглядит точно так же, как Первый. Может быть, здесь только побольше столбов пара. Но именно этот участок более других привлекает внимание минералогов, геохимиков и других специалистов-геологов — здесь в большой степени представлена та рудная специализация — аурипигмент, реальгар, антимонит и др., обнаружение которой сделало Узон широко известным в мире геологов. Но об этом мы расскажем несколько позже.

«ПОЮЩАЯ СКОВОРОДКА» И ВУЛКАНЫ-КАРЛИКИ

Мы уже познакомились со многими удивительными явлениями природы Узона. Но тем и сказочен Узон, что свои сюрпризы и красоты он, как опытный мастер, расчетливо распределил по всем своим владениям. К северо-западу от источника Бурлящего расположен Третий участок термального поля. Он существенно отличается от предыдущих. Здесь больше, чем на всем остальном поле, выходов с кипящей водой. Но растворы на этом участке имеют низкую минерализацию — не более 0,7 г/л, в то время как на Центральном участке, в зоне развития реальгара и антимонита, — до 5 г/л. Основной солевой составляющей растворов является хлористый натрий, занимающий 60% от общей минерализации. На Третьем участке при сохранении общей доли хлористого натрия в растворе его абсолютное содержание падает в 4—5 раз. Соответственно существенно падает и концентрация рудных компонентов: мышьяка, сурьмы, ртути, имеющих прямую корреляцию с хлором. В связи с этим на Третьем участке практически нет термальных источников с отложением аурипигмента. Вокруг многочисленных парогазовых струй здесь отлагаются мелкие игольчатые кристаллики нежно-зеленой серы. Изометричными пятнами на пропаренных глинистых участках проступают тонкие корочки выцветов солей пестрого цвета. Температура везде выше 80° С. Но самыми распространенными здесь являются так называемые поющие сковородки. Это очень мелкие выходы кипятка с пузырьками пара, издающими своеобразное шипение и свист. Они прыгают по топкому слою воды, как по дну сковородки. Туристы прозвали такие источники «душ спизу», они действительно напоминают и душевой распылитель. На донных камешках, находящихся в непрерывном движении, отлагается тонкая пленочка пирита. Иногда окатанные камешки приобретают облик конфет «грильяж в шоколаде».

В 2—3 м от самой крупной «сковородки», расположенной у невысокого холма, поросшего травой, расположен обширный, но мелкий водоем с прозрачной водой, под поверхностью которой видна масса мелких песчаных вулканчиков. Их совершенные конусы постоянно тянутся вверх. Но все усилия тщетны. Как только вершина вулканчика достигает поверхности воды, мелкие волны, поднимаемые сотнями газонных струек, разрушают ее — непрерывно растущий вулкан остается карликом.

Изумительно красиво на Третьем участке термального поля Утинное озеро (фото 15). Оно находится в северном борту поля, под высоким бугром, залесенным высокими и довольно стройными для этих мест березами. У самого обрыва свешиваются вечнозеленые плети кедрового стланика, который отражается в спокойной воде озера, придавая ей какую-то загадочность.

ОЗЕРО ВОСЬМЕРКА

Это озеро находится в 250 м севернее Центрального участка Восточного термального поля. По своей конфигурации оно действительно похоже на вытянутую в меридиональном направлении цифру 8. Как и все термальные озера, оно окружено невысоким валом измененных до глини пород (фото 16). По-видимому, озеро образовалось в результате прорыва парогазовой смеси в двух расположенных рядом на единой трещинной зоне крупных центрах термальной активности. Эти своего рода взрывные воронки затем были заполнены водой. В настоящее время северная воронка имеет изометричную форму, площадь ее 5050 м², максимальная глубина достигает 12,8 м. Здесь же, в толще ила, замерена самая высокая температура суспензии 118° С. Южная воронка овальная, площадью 3140 м². Максимальная глубина в центре равна 16 м, но температура ила на этой глубине не превышает 38° С. При заглублении в ил на 60 см температура повышается до 75° С. В весенне-летний период, с апреля по июнь, вследствие интенсивного притока талой воды в озере наблюдается самый высокий уровень, и обе воронки сливаются. В конце августа озеро подсыхает, и воронки отщуровываются друг от друга узкой глинистой перемычкой. Интересно, что уровень воды в южной воронке почти на 20 см ниже северной, и после дождей вода из северной части перетекает в южную. Вода в озере мутная, с массой взвешенных частичек глины, серы и сульфидов железа, по составу хлоридно-сульфатно-натриевая, с общей минерализацией менее 1 г/л, имеет кислую реакцию. Во многих местах наблюдаются выходы пузырьков газа. Создается впечатление, что вода кипит, однако температура ее невысока — в мае в северной воронке она составляет 7—10° С, в августе, в период низкого уровня, — 18—21° С. Иногда в морозные зимы северная часть озера покрывается льдом, небольшие полыньи остаются

только в центре. В южной воронке температура выше (летом достигает 20—25° С), и зимой эта часть озера не замерзает.

На восточном берегу северной воронки озера имеются немногочисленные выходы горячих вод и парящие, с ощущением запаха сероводорода провалы грунта, указывающие на недавнюю более высокую активность этого участка. В самом крупном источнике, из которого вытекает ручеек горячей воды, температура достигает 52° С.

На западном берегу озера источников нет. Однако на фотографии, которая приведена в книге В. Л. Комарова «Путешествие по Камчатке в 1908—1909 гг.», у западного края северной воронки озера хорошо видно довольно обширное поле глиняных вулканчиков. Сейчас на этом месте небольшой округлый залив, образовавшийся, по-видимому, в результате провала грунта в опустошенную камеру вулканов-карликов. Хорошо просматриваются стенки этой камеры, выделяющиеся светло-серым цветом каолиновой глины с примесью темных сульфидов железа на фоне пестроцветных глин с охристыми окислами железа. Вероятно, провал произошел не так давно.

О динамичности термальных участков говорит и тот факт, что наблюдавшийся еще В. Л. Комаровым ручеек горячей воды, который вытекал из озера, в настоящее время едва прослеживается мелкой сухой канавкой от северного края озера в сторону Комариного ручья. Вообще, весь северный край озера представляет собой обмелевший участок дна, сложенный эластичной топкозернистой глиной каолинитового состава.

ОРАНЖЕВОЕ ПОЛЕ

В обрамлении высокоствольных берез и кедрового стланика спряталось в неглубокой ложбинке одно из красивейших термальных полей Узона — Оранжевое. И хотя здесь можно увидеть все цвета радуги, преобладает цвет измененных до глин пород. Располагается Оранжевое поле в створе между Северным и вторым участком Восточного термального поля, трассируя, по-видимому субмеридиональную зону тектонического нарушения. Поле имеет овальновытянутую форму. При средней ширине 40 м оно прослеживается с севера на юг на 180 м. На этой небольшой площади проявляется все разнообразие форм термальной активности, характерных для Узона.

на. Здесь в крупные высокотемпературные газпроящие грифоны с вытекающими из них ручейками чистой воды, и обширные бессточные водоемы с хлопьями серной пены и топкой пленкой черных сульфидов железа, и мелкие бессточные воронки. Имеются и грязевые котлы и даже несколько маленьких глиняных вулканчиков, прилепившихся к борту обширного водоема с мутной водой на юго-западной окраине поля. В сухое время года (в августе) грифоны, воронки и грязевые котлы отшнуровываются друг от друга перемычками, и поле с высокого восточного борта выглядит, как сложная мозаика разноцветных и разномасштабных блюд, сверкающих на солнце мелкими брызгами постоянно лопающихся газовых пузырей. На южной оконечности поля находятся две слабо газпроящие воронки диаметром 1,5 и 2,5 м. Глубина их 0,5 и 1 м, температура воды 15° С. Вода мутная, с запахом сероводорода. На дне отложился топкий ил белесого цвета, свидетельствующий о присутствии коллоидной серы. Вокруг воронок наблюдается около 10 мелких газовых проколов и одна полусухая воронка диаметром 0,2 м, в которой тоже пузырится газ. На юго-юго-западном краю термального поля располагается грязевой котел диаметром 0,3 м, обрамленный конусообразной стенкой высотой 0,15 м, сложенной из поздраватых ажурных комочков, состоящих из суспензии глины и серной пены. Эти комочки выбрасывались направленно из грязевого котла. В самой стенке пробита себе выход тонкая газовая струя, вокруг которой уже образовалась оторочка зеленовато-желтой игольчатой серы. Еще недавно здесь одновременно было пять — семь газовых струек. Сейчас они заглохли, но их устья хорошо выделяются. Температура газовых струй 95° С, а глиняной суспензии 96° С. Рядом с грязевым котлом образовалась специфическая воронка обрушения диаметром до 0,7 м. Водно-глиняная суспензия в ней находится на глубине 15 см, а в соседнем крупном тоже бессточном котле ниже уровня воды на 8 см. Этот котел глубиной более 2 м имеет серповидную форму. Стенки крутые, почти отвесные. Вода зеленоватого цвета, мутная, с температурой 51° С. На дне много мелких газпроящих проколов и ил белесого цвета. В 3 м от этого котла начинается обширное поле кипящих котлов. Здесь их более 30. Мелкие, диаметром несколько сантиметров, и крупные, до 5 м, они разъединяются узкими перемычками пластичной глины. Вода в котлах мутная, с серной

пей. Крупные котлы имеют глубину более 2 м, температура воды 85° С.

В западном борту поля наблюдается округлый участок диаметром около 20 м, где расположено более 20 крупных и мелких котлов. У самого борта они сливаются. Вода с температурой 37,5° С мутная, с хлопьями серы. Центр участка занимает невысокое сооружение из глины, кольцевым валиком высотой до 7 см обрамляющее четыре грязевых котла. Подойти к этим котлам невозможно из-за токсического глинистого грунта. На северо-западной окраине этого участка на 1,5 м от уреза воды в котлах возвышается глиняный вулкан (диаметром 30 см). Он находится на глиняном бугре, и собственная его высота не превышает 0,5 м. Глубина жерла вулкана 0,7 м. Всплески глинистой массы поднимаются на высоту до 30 см. На склоне этого вулкана сформировался миниатюрный вулканчик с диаметром кратерного жерла всего 2 см, из него постоянно выходит парогазовая смесь с температурой 58° С. На устье отложился налет серы зеленовато-желтого цвета.

Борта термального поля с западной стороны сложены буровато-красной глиной. В 16 м к северу от описанного грязевого вулкана располагается ложбинка шириной 1,5 м и длиной 4 м, в которой наблюдаются около 40 мелких проколов и бурлящих «сковородок». Обильно выделяется пар. Во многих проколах воды почти нет, температура 97° С. В немногочисленных водных котелках температура 55—60° С, вода мутная, с мельчайшими частицами коллоидной серы. Замыкает ложбинку провал диаметром 30 см и глубиной до 40 см, на дне которого kloкочет жидкая глинистая масса. Ложбинка выходит непосредственно на крупный глиняный куполообразный щит оранжевого цвета, занимающий центральную часть термального поля. Щит сложен изменчивыми породами, состоящими преимущественно из глинистых минералов с примесью алунитов, опала и серы. Собственно и куполообразную форму этот участок приобрел, по-видимому, вследствие того, что по образованные минералы, такие, как каолинит, монтмориллонит, опал, имеющие в своем составе молекулы воды, занимали больший объем, чем исходные породы (андезиты, базальты, их туфы). Происходило вспучивание минерального агрегата. В немногочисленных развалах камней сохранившихся в центральной части купола, хорошо видно, что исходные породы уже почти целиком изменены. Если разбить такой камень, то обнаружится концентриче-

сная зопальность изменения. Периферийные зоны осветлены, кавернозны, имеют оранжево-кремово-белый цвет. В центре иногда еще сохраняются мелкие участки с темпоцветными минералами.

С юга щит обтекает мелкий ручеек. Он питается водой из котлов и, видимо, имеет непостоянный режим. На восточной окраине щита расположен крупный изометрической формы котел диаметром 3,5 м. Глубина его не превышает 40 см, а температура воды от 35 до 54°С (падне). Вода белесая, в осадке ил глинисто-серного состава. С севера щит уходит под крупное, но, вероятно, неглубокое теплое озеро. Вода в середине мая, когда на бортах термального поля еще лежит снег высотой до 3 м, имеет температуру 30°С. Скорее всего, в озере есть крупные глубокие воронки, через которые выходит горячая вода. В одной из них, у южного берега, глубина достигала более 2 м. Во многих местах озера видны выделения газов. Вода мутная с взвесью тонких частиц глины и серы.

В крутом западном борту за щитом прорезана узкая щель с выходами преимущественно парогазовых струй с температурой 85—97°С. Вокруг сухих проколов отлагается сера. Здесь же имеется небольшой котел диаметром 0,6 м и глубиной до 0,3 м, в котором при температуре 81°С вода совершенно чистая, без взвеси серы. На дне мелкими газовыми струйками взвихряется мелкий чистый песок. Проколы и воронки питают горячий ручеек, впадающий в крупный котел размером 2,4×3,5 м. Вода в котле имеет белесый, почти молочный цвет и температуру 48°С. В ручейке развиваются термофильные водоросли буроватого цвета. В зоне развития водорослей температура не превышает 33°С.

В дождливый период все поле покрывается водой, перемычки между грифонами исчезают. Ходить по полю опасно — можно попасть в глубокий грифон с горячей водой или провалиться в подземные пустоты.

В мае, несмотря на глубокий снег, Оранжевое поле уже довольно сухое. В это время здесь часто встречаются следы медведей. Обычно раскопанными оказываются участки с включениями желтой самородной серы. В окрестностях термального поля, в подлеске кедрового стланика, обильно растет краса камчатских среднегорий — золотистый вечзеленый рододеидрон.

СЕВЕРНОЕ ТЕРМАЛЬНОЕ ПОЛЕ

К северу от озера Восьмерки, непосредственно под бортом кальдеры, находится овальная котловина размером 100×90 м и глубиной около 10 м. По периферии она, как и весь склон кальдеры, заросла довольно высокими кустами кедрового стланика и ольховника. Внутренние борта котловины сложены изменчивыми до глини породами пестрой расцветки — от охристой до синеватой — в зависимости от степени окисления железа. Местами хорошо видны участки некогда интенсивных выходов газовых струй с большой долей сероводорода. На этих участках глины на 40—50% обогащены агрегатной серой. В пасмурную погоду со дна котловины поднимаются клубы пара. Здесь расположены пять крупных и около десятка мелких выходов термальных вод с температурой в южной части от 19 до 74° С. Самые крупные воронкообразные выходы находятся в южной части котловины. В одном из них, размером $1,5 \times 2$ м и глубиной до 1,5 м, наблюдается обильное выделение газов. Уже по запаху хорошо чувствуется наличие сероводорода. Вода чистая, но от наличия в ней тонких частичек коллоидной серы приобретает синеватый оттенок. Состав воды хлоридно-сульфатный, натриевый, с рН 5,4 и температурой 74° С. Из источника вытекает ручеек, в шлейфе которого обильно развиваются колонии термофильных бактерий и водорослей. Их тонкие нити вытянуты по течению и в зависимости от температуры и микропримесей окрашены в белые, желтоватые, охристые и даже синеватые тона. Цветной орнамент этого ручейка является украшением Северного термального поля.

Самый крупный блюдцеобразный источник диаметром до 10 м находится непосредственно у выхода из котловины. Глубина источника превышает 2 м, но температура у берега едва достигает 42° С. Во многих местах пробулькивают газы, из-за чего вода становится мутной, с тонкой взвесью коллоидной серы и иловых частиц. В иле много топкозернистых образований сульфидов железа черного цвета. Возможно, невысокая температура в источнике объясняется притоком холодных вод с северной стороны, где у борта даже в летнее время сохраняются небольшие снежки.

С термального поля вытекает теплый ручей с расходом около 3—4 л/с. В его русле обильно отлагается коллоидная сера желтовато-белого цвета, покрывающая тонкой корочкой глинистое ложе ручья.



Фото 1. Общий вид Уивонской термальной площади. Гессточные грифоны и грязевые котлы



Фото 4. Самый крупный термальный источник Узона — Бурлящий



Рис. 5. Серные пузыри на поверхности воды Хлоридного озера



Серный пляж на южном берегу Хлоридного озера



Фото 7. Начальная стадия роста глиняного вулканчика



Фото 9. Глиняный вулканчик в стадии покоя



Фото 8. Извержение глиняного вулканчика



Фото 10. Образование «кальдеры» обрушения глиняного вулканчика



Фото 11. Начало образования цепочки глиняных вулканчиков

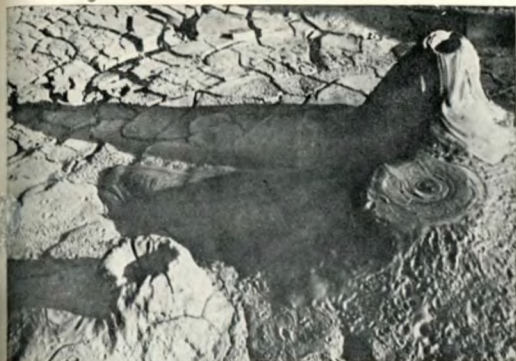


Фото 12. Цепочка глиняных вулканчиков



Фото 13. Глиняный вулканчик на берегу крупного горячего водоема

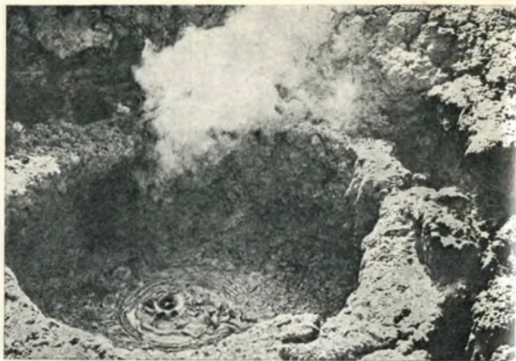


Фото 14. Глинистый котел «Скульптор»



Фото 15. Углиное озеро и парящий грунт на Третьем участке Восточного термального поля



Фото 16. Озеро Восьмерка и глинистый котел



Фото 17. Западное термальное поле

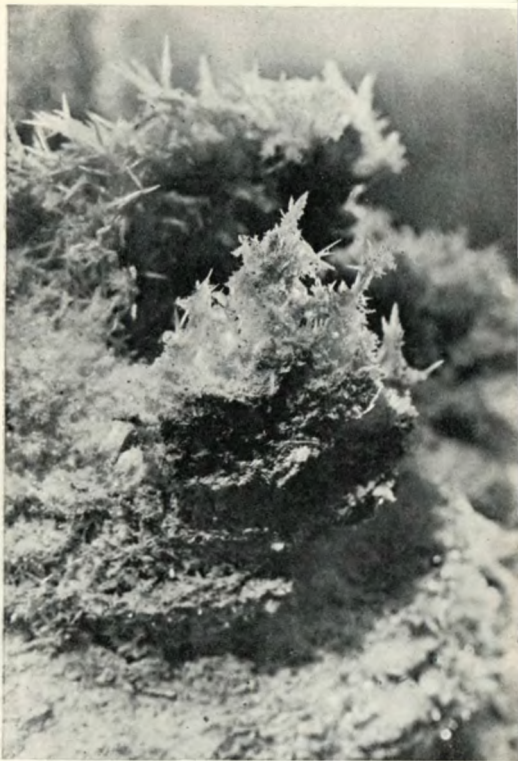


Фото 19. Ажурные агрегаты кристаллов самородной серы



Фото 22. Бессточные водно-грязевые котлы. На поверхности воды плешки сульфидов железа черного цвета



Фото 23. Серный вулканчик на Втором участке Восточного термального поля



Фото 24. Столбы пара на Узонской термальной площади



Фото 26. Прямоствольные березы у термального поля



Фото 27. Папоротник на кромке термального поля

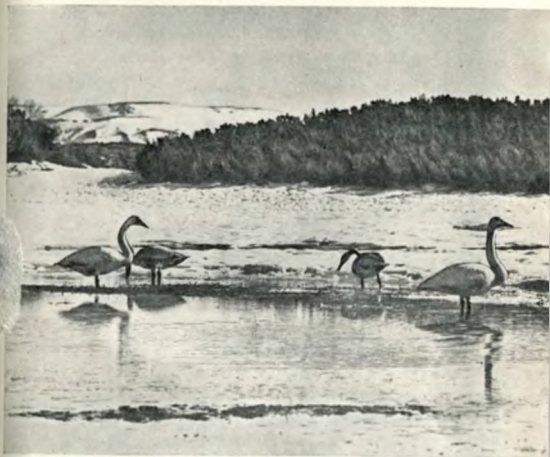


Фото 28. Белые лебеди на озерке талой воды

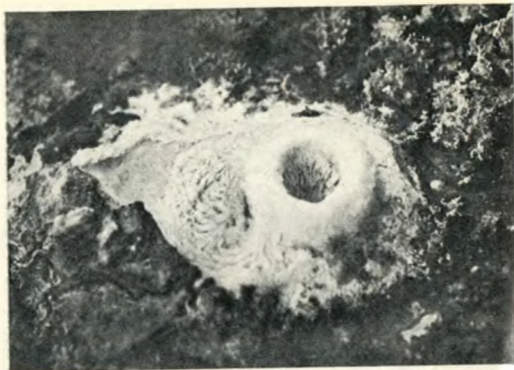


Фото 29. Колонии тионовых бактерий в виде вулканчика на Втором участке Восточного термального поля



Фото 30. Белая куропатка

Западнее Восточного термального поля, в 1,5 км от него, находится крупнейшее термальное озеро кальдеры — Фумарольное. Оно расположено среди довольно высоких холмов, обрамляющих обширную котловину размером 600 × 300 м, с крутыми береговыми обрывами. Озеро образовалось на месте нескольких крупных воронок диаметром до 150 м и глубиной до 25 м, возникших вследствие гравдиозных выбросов крупной массы парогазовой смеси — так называемых фреатических извержений. После этих извержений здесь долгое время действовали фумаролы, под воздействием которых боковые породы — агломератовые и псаммитовые пеплово-пемзовые туфы — были местами превращены в глины. Со дна и стенок воронок в озере происходит подток высоконагретых растворов. В придонном слое ила, который здесь имеет большую мощность, температура достигает 120—126° С. Как видно из рисунка-схемы Фумарольного озера (рис. 3), составленной Б. И. Пийшом, выходы горячих вод и немногочисленные грязевые котлы приурочены к периферии небольших округлых заливчиков (I—IV), окаймляющих озеро с севера и востока. По-видимому, это наиболее молодые гидротермальные воронки. Жерла их имеют отвесные, еще не размытые стенки. В третьем заливчике встречаются интенсивно газующие сероводородные ключи. В русле их развиваются белые косяки колоний тионовых бактерий. Источники с температурой 58—95° С особенно многочисленны в четвертом заливчике, максимальная глубина которого достигает 16 м. На его высоком берегу находится и крупный грязевой котел диаметром около 3 м. В Фумарольном озере, так же как и на Центральном участке Восточного термального поля, разгружаются высокоминерализованные хлоридно-натриевые растворы с высоким содержанием мышьяка и сурьмы, отлагаются рудные минералы, золотисто-желтый аурипигмент, оранжево-красный реальгар и свинцово-черный антимонит. Но здесь это происходит не на поверхности. Чтобы отобрать образцы рудных минералов, приходится нырять под воду и отламывать глыбы пород со дна. Особенно интенсивно развиты эти минералы в четвертом заливчике озера, на его восточной окраине. Исследователи-минералоги прозвали его Крокодильим озером. Оно отшнуровано мелкой перемычкой. На дне скопился мощный слой черного, пластичного ила. Это натуральная минеральная грязь, начинающаяся пря-

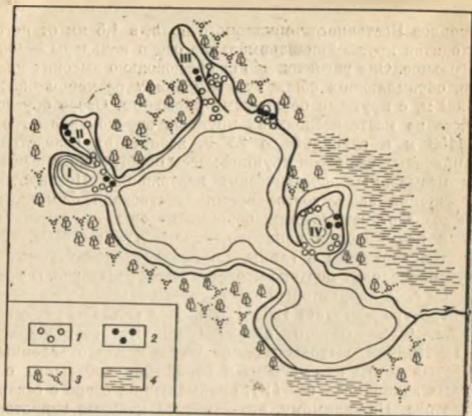


Рис. 3. Схема Фумарольного озера (по В. И. Пийну, 1937)

1 — выходы горячих источников; 2 — грязевые котлы и глиняные вулканчики; 3 — кустарники с отдельными деревьями; 4 — болота

мо от берега. Поэтому, чтобы попасть в озерцо, приходится ползти на животе, утопая руками в иле, — сходство с крокодилом получается несомненное. Вода в озере теплая: 18—24° С на поверхности, а местами, над подводными грифонами, даже до 40° С. Встречаются прекрасные образцы пород с прожилками и корочками минералов оранжевого и красного цветов (аурипигмент, реальгар), изредка — окислы и сульфиды меди пестрых радужных расцветок.

В южном борту четвертого озера, под водой, на глубине 0,5 м, были обнаружены мощные отложения гейзерита. Гейзеритовая постройка круто уходит на глубину 16 м. Предполагается, что на этом месте несколько тысяч лет назад работал крупный гейзер. Образование озера вследствие фреатических взрывов прервало его работу. За время долгого пребывания в довольно агрессивной среде под водой гейзерит претерпел сильные морфологиче-

ские и химические изменения. На его поверхности образовались крупные каверны выщелачивания, полости выкрашивания. Он почти полностью утратил свою былую привлекательность. Но в отдельных местах еще сохранилась характерная почковидная форма образований и раковистый излом кремнистых отложений. На поверхности Фумарольного озера, особенно в его южной части, откуда вытекает теплый ручей, вблизи берегов плавают хлопья губкообразной пены черного цвета. Ова жирная на ощупь, сильно мажет руки. По представлениям Б. И. Пийпа, эта пена — продукт реакции газов с гумусовыми отложениями и растительностью берегов озера. В ее составе наблюдаются мелкие зерна серы и мельчайшие новообразования марказита, взмучиваемые со дна озера газовыми струями.

ЗАПАДНОЕ ТЕРМАЛЬНОЕ ПОЛЕ

Под самыми черными скалами Уаона, вытянувшись вдоль западного борта кальдеры, расположилось это поле (фото 17). Представьте себе огромную строительную площадку, на которой одновременно в десятках мест производилась выемка жирного глинистого грунта после дождя. Длинные холмы и бугры пестрой глины с редкими развалами камней и лужи, блюдца, озера мутной воды на пространстве 100×400 м — так выглядит Западное термальное поле (фото 18). К этому надо добавить, что на площадке бесчисленное количество мелких и средних струек пара, поднимающихся вверх или в зависимости от погоды стелющихся по земле. После дождя здесь особенно неуютно — повсюду вязкая глина ржаво-зеленого цвета, ни травинки, ни кустика, лишь аловещий шум сотен паровых струй. Грязевые котлы kloкочут с яростью и выплескивают куски липкой черной грязи, ощущается неприятный запах сероводорода. Однако в солнечные дни поле преобразуется. Искрятся кристаллики гипса и алюмо-аммопийных квасцов, выкристаллизовавшихся из поровых растворов. Блюдца и озерки горячей воды уже не кажутся мутными лужами.

В. Л. Комаров, побывавший на Западном термальном поле в 1909 г., пишет, что здесь был крупный ключевой пруд, в котором участники экспедиции решили выкупаться. Но через короткое время температура воды стала подниматься и достигла 55°C , купание, естественно, не состоялось. В настоящее время этот пруд превратился в

сильно заиленное небольшое озерко с температурой летом не более 28°C . Вода мутная, имеет кислую реакцию ($\text{pH } 2,9$). Породы по бортам и на дне озера превратились в каолинистые глины. Вокруг термального озера группируются невысокие, до 0,6 м, но очень похожие на настоящие глиняные вулканчики. Из их макушек курится пар и периодически изливаются миниатюрные «лавовые» потоки жидкой глины. Для полной аналогии с действующими вулканами не хватает только пламени. Но температура и здесь довольно высока. В канале вулканчиков она достигает почти 100°C и возрастает с глубиной. В некоторых местах прорываются чисто газовые струи. Сероводород окисляется до самородной серы, и ее тонкие ажурные кружева, выполненные из игольчатых кристалликов зеленого цвета, инкрустируют полости и трещины (фото 19). Серые узоры необыкновенно красивы, но взять образец в целостности невозможно: тронешь — и он рассыплется. Можно лишь любоваться этими хрупкими каменными цветами.

Растворы в грифовах имеют низкую минерализацию — 0,4 г/л. Главное место среди катионов занимают аммоний, кальций, а среди анионов — сульфат- и гидрокарбонат-ионы. Эти растворы имеют почти нейтральную реакцию (pH около 7) и возникли в основном за счет конденсации газопаровых струй, поднимающихся по тонким трещинкам из зоны паробразования. Источник их — та же хлоридно-натриевая вода, которая выходит на Восточном термальном поле. При низких температуре и давлении пар не может переносить большие концентрации хлора, натрия, и поэтому конденсирующиеся при нормальном атмосферном давлении и температуре порядка 97°C парогазовые струи дают воду с низкой минерализацией. На поверхность поступает довольно мало этих конденсатных вод, так что горячие источники здесь преимущественно бессточные.

Даже при беглом взгляде на панораму термального поля бросается в глаза, что парогазовые струи выходят на возвышенных местах — буграх гидротермально-измененных пород. Как правило, здесь же можно обнаружить крупные глыбы неизмененных или слабо измененных пород: базальтов, андезито-базальтов. Оказывается, это соседство не случайное. В прошлом все термальное поле было буквально усеяно выходами парогазовых струй. По видимому, это были фумаролы, в составе которых преоб-

ладали кислые газы, в частности серпистый и сероводород. Они поступали из развала свежих базальтов и по трещинкам в лавовых потоках. В результате боковые породы претерпевали химическое разложение и в зависимости от физико-химических условий взаимодействия в системе газ—вода—порода превращались в глины, алуиты, опалиты. Пластичные глины в конце концов залежались, или, как говорят геологи, кальматировали, выходы, и парогазовые струи в поисках новых капалов перемещались. Таким образом, парогазовые струи все время убежали от наступления глин, сами создавая их.

Участки, где в настоящее время наблюдаются парогазовые выходы, являются самыми молодыми. Места более древних выходов уже подверглись воздействию поверхностных вод, поля измененных до глин пород сейчас занимают впадины. В глинах часто захоронялись прослойки и линзы отложений самородной серы, образовавшейся вследствие окисления сероводорода или реакции сероводорода и серпистого газа в атмосферных условиях. С течением времени серные образования оказались на поверхности и в хорошо обводненных участках стали объектом интенсивного поедания тиоповыми бактериями. В результате образовалась самая настоящая серная кислота. Поэтому рН вод, пропитывающих глинистые участки, как правило, низкий — не выше 3,0. Эти растворы дополнительно выносят из пород оставшиеся в них металлы, которые зачастую выпадают в осадок при встрече с щелочными водами. Так, вокруг выходов близнейтральных конденсатных вод, на поверхности бугров измененных пород всегда видны отложения гидроокислов железа кирпичного цвета.

При проходке неглубоких шурфов по измененным до каолинитовых глин породам, в участках, прогретых выше 70° С, встречаются овалы и в виде пластин полости, заполненные студепистым кремнеземом молочно-белого цвета. Иногда эти образования разжижены до консистенции сметаны. В тех местах, где прежде высокая гидротермальная активность пошла на убыль и температура понизилась, подобные образования представляют собой плотные белого цвета крепкие породы, называемые опалитами. Они сложены минералом кремнезема — опалом.

В каолинитовой глине часто встречаются стяжения и топкие пластинки сульфидов железа: латуино-желтого пирита и сажисто-черного марказита. На этом термальном

поло нередко можно найти обломки базальтов, обохрен-ные с поверхности. При расколе их обнаруживается, что изменение исходной породы произошло зонально — почти правильными концентриками. В центре обломка, как правило, сохраняется участок слабоизмененного базальта темного цвета. Далее к периферии идут кольца все более измененной породы, в которой увеличивается количество глинистых минералов, гипса, пирита и опала. Степень изменения подчеркивается интенсивным осветлением породы. Тем не менее нередко даже в зоне полностью пре-вращенной в глину породы хорошо видны очертания кри-сталлов исходного базальта: плагиоклаза, пироксена, оливины. В периферийной зоне они целиком замещены вторичными минералами: по плагиоклазам развивается опал-каолиновый агрегат, иногда кальцит, по пироксе-нам и оливину — гидрослюда, кварц, пирит.

ГОРА БЕЛАЯ

Это поднятие (превышение над дном кальдеры составляет около 250 м) оконтуривает Восточное термальное поле с востока и юго-востока. Гора выросла вследствие выжимания вязкой так называемой дацит-липаритовой экструзии. Специфические изменения нешлого-неизовых озерных ту-фов, прорванных экструзией, наличие обломков пород этой экструзии в осадках Третьего озера, а также переслаива-ние лавовых потоков экструзии с озерными осадками по-зволили Э. П. Эрлиху, О. А. Брайцевой, Г. Е. Богояв-ленской сделать вывод о том, что рост экструзивного ку-пола происходил непосредственно в озере. Для этой горы характерны сглаженные, округлые формы поверхности, что в определенной степени объясняется большой вяз-костью дацитовых лав. Как известно, чем больше в поро-де кремнезема, тем ее расплав более вязок. Дацинты Бе-лой содержат до 70% кремнезема. Лавовые потоки экст-рузии были малоподвижны и не растекались широким фронтом или длинными речками, как, например, базаль-товые лавы.

В вертикальном профиле горы Белой наблюдается не-сколько текстурных разностей дацитов — от плотных тем-ного цвета в основании массива до полустекловатых по-лосчатых, стекловатых обсидианового типа и пористых неизовидных пород светло-серого цвета по периферии. Кроме того, в южной части массива можно увидеть тоц-

кослонистые пеплово-пемзовые туфы, образовавшиеся в озерном бассейне. Двигаясь, экструзия захватила целый блок этих туфов и подняла его до 250 м.

У основания горы до настоящего времени сохранились участки с высокой температурой и выходом горячих растворов. По-видимому, в прошлом этот участок представлял собой арену действия высокотемпературных парагазовых фумарол. Под воздействием кислых по составу фумарольных газов и конденсатных растворов породы были интенсивно изменены. Наиболее полному гидротермальному изменению подверглись пемзовидные разности дацитов. Их пористая текстура способствовала более свободной циркуляции растворов. Последние растворили и вынесли из породы кальций, магний, железо, натрий, калий, почти весь алюминий. Благодаря стойкости к воздействию слабых кислот в породе осталась лишь значительная часть кремнезема. Таким образом, вершинные части экструзии, сложенные ранее пемзовидными дацитами, превратились в опалиты. Эти породы имеют белый цвет, монолитную текстуру. Но среди них можно обнаружить участки с отдельными кавернами и полостями, заполненные почковидным опалом, патечным халцедоном, мелкими друзами кварца. Иногда на стенках таких полостей обнаруживаются мельчайшие кристаллики самородной серы.

На северо-северо-западном склоне горы, почти в основании ее, находится площадка-цирк, где в измененных до опалитов породах сохранились отложения самородной серы травяно-зеленого цвета. На дне площадки образовались три блюденоподобных мелких озера с температурой в августе 17—18° С. В двух из них вода белесо-зеленоватого цвета, с рН около 2. Во многих местах со дна выходят пузырьки газов. Дно покрывает тонкий слой ила белого цвета. Здесь активно идут микробиологические процессы окисления сероводорода с образованием серной кислоты. В этом же направлении идет и окисление самородной серы на увлажненных участках склона горы. Весь грунт на площадке ниже выходов серы имеет рН порядка 2—3. В то же время в полностью промытых опал-алувиновых породах и даже в пестрых глинах, залегающих выше этой площадки, процесс сернокислотного выщелачивания уже завершился, и рН пропитывающих их вод не опускается ниже 6.

Тонкослонистые пепловые туфы дацитов превращены в каолинит-опал-алувиновый агрегат минералов кремовато-

белого цвета. Замечено, что количество алупита в таких породах увеличивается вверх по разрезу. Алупитизированные породы имеют плитчатую отдельность и хорошо откалываются на ровные пластины.

Более плотные разновидности пород изменены слабее. Гидротермальное изменение их происходило в основном по трещинкам и по периферии минералов-вкрапленников — плагиоклазов и пироксенов. В трещинках по стекловатой массе пород развивался тонкозернистый агрегат алунита и пластинчатого тридимита, с редкими примазками тонкодисперсного гематита. Минералы-вкрапленники замещены опал-алунитовым агрегатом. Алунит представлен игольчатыми, пластинчатыми, реже конвертообразными кристаллами размером до 1—2 мм. Чаще всего встречаются криптокристаллические агрегаты алунита. Измененные породы горы Белой, особенно пластинчатые каолинит-алунитовые породы, хорошо поддаются обработке резцом и могут служить благодатным материалом для всякого рода сувенирных поделок.

УЗОН — ПРИРОДНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ

Кипит лаборатория природы; в разных уголках ее тысячами способов идут химические реакции то в одну, то в другую сторону, то создавая устойчивые вещества, то их вновь разрушая.

А. Е. Ферсман

При разработке месторождений полезных ископаемых было замечено, что скопления рудных минералов чаще всего приурочены к жилам. Они имеют самую различную толщину — от миллиметров до десятков сантиметров и выполнены обычно нерудными минералами: кварцем и кальцитом. Рудные же минералы, например сульфиды свинца, цинка, меди, железа с разной степенью концентрации, как бы обогащают эти образования. Характерно, что в большинстве случаев отложение рудного и нерудного вещества происходило одновременно, т. е. из одного родоначального раствора. Жилы могут иметь самую разнообразную конфигурацию. Встречаются почти горизонтальные пластообразные жилы и протяженные, будто вытянутые по линейке. Однако преобладает разветвленная форма. Нередко можно выделить главную, более мощную жилу (ствол) и оперяющую систему тонких прожилок.

Геологи пришли к выводу, что жильная форма в большинстве случаев обусловлена тектонической трещиноватостью горных пород. Именно по трещинам двигались рудоносные растворы, и по мере снижения температуры и изменения каких-то других параметров в определенной последовательности происходило выпадение из растворов тех или иных минералов. Какой химический состав и концентрацию имеют рудообразующие растворы? На какой глубине они зарождаются? В какой форме, т. е. в соединении с какими химическими элементами, переносятся рудные компоненты? Через какие стадии вообще проходит процесс формирования рудного месторождения? Ответы на эти вопросы очень важны для геологов.

Современные гидротермальные системы, такие, в частности, как Узонская, где в настоящее время на поверхность изливаются растворы, несущие рудные компоненты, а в разрезе обпаружены горизонты и прожилки рудных

минералов, отложившихся из этих растворов, представляют громадный научный интерес.

Но рассмотрим все по порядку.

МОГУТ ЛИ РАСТИ КАМНИ

Естествознание делит мир на живую и неживую природу, исходя из того, что составные части и вещественная основа «живой» природы — это высокомолекулярные органические вещества белки, которые находятся в центре обмена веществ живого организма и являются предметом изучения науки биологии, а неживая природа состоит из атомов и менее сложных молекул, объединенных разнообразными физическими и химическими связями в агрегаты неорганических соединений (газообразных, жидких, твердых). Они слагают различные сферы нашей планеты и изучаются геологией, метеорологией, гидрологией, минералогией, кристаллографией, петрографией.

С другой стороны, в природе через посредство, например, растений происходит постоянная громадная работа по синтезу тех же белков из неорганических соединений за счет минеральных солей и воды из почвы, а углекислоты из воздуха.

Таким образом, связь живой и неживой природы очень тесная. К тому же диалектический метод познания мира указывает: «Все течет, все изменяется». Следовательно, неживая природа, подобно живой, претерпевает определенные изменения во времени. Что это за изменения?

Человек с глубокой древности имел дело с камнями. Тысячелетняя практика и житейская необходимость в определении их свойств привели к накоплению значительных знаний о природных камнях. Как в живой природе основным звеном в структуре организма является клетка, так и в камне стержнем структуры выступает кристалл. Правда, есть породы, представляющие собой вулканическое стекло: обсидианы, перлиты, пемзы. Но это особый класс пород, которые образовались при вулканических извержениях, когда произошло резкое вспенивание и быстрое застывание приповерхностной толщи мгновенно вскрытой высоконагретой магмы. К тому же благодаря рентгеновской технике установлено, что и эти породы несут следы раскристаллизованности.

Итак, кристаллы являются кирпичиками, из которых сложены горные породы и руды. Но как из одинаковых

кирпичей можно построить разные по архитектуре дома, так и из одинаковых кристаллических структур, состоящих в то же время из разных химических элементов, строится огромное многообразие природных минералов.

Известно свыше полутора тысяч природных минералов. Разнообразно их происхождение. В одних случаях возникают скопления минералов одного вида, в других — полиминеральные агрегаты. Как же они образуются и растут?

Древние философы посвящали этим вопросам целые научные трактаты. Так, глубокие наблюдения позволили выдающемуся ученому Авиценне еще в XI в. составить классификацию минеральных тел, которой пользовались до середины XVIII в. Он подразделил природные образования на четыре группы: 1) камни, 2) плавкие тела (металлы), 3) серные (горючие) вещества и 4) соли. Знаменитый Бируни на основе находок жидких включений в кристаллах кварца сделал вывод о том, что минералы формируются из жидких растворов. Наблюдения на вулканах привели к пониманию образования огромных масс пород при извержении потоков лавы. Но в лавах кристаллы, как правило, мелкие, так как кристаллизация вещества происходит при быстром спаде температуры и давления. Лава становится вязкой, и рост кристаллов затрудняется. Если же расплав долгое время находится под землей, то в этих случаях он может существовать в горячем состоянии многие тысячелетия, кристаллизация по мере охлаждения вещества будет идти медленно, и кристаллы вырастают до значительных размеров. Таковы кристаллы в гранитах. Однако самые крупные, даже гигантские кристаллы вырастают все же из жидких растворов. Таковы кристаллы горного хрусталя (около 1 т, иногда до 40 т). С ними могут соперничать только кристаллы полевых шпатов и слюды из пегматитов — кристаллически зернистых пород, образовавшихся в результате сложных процессов застывания на глубине насыщенного газами гранитного расплава-раствора.

Согласно современным представлениям, многие руды возникли из горячих водных растворов, поступающих из глубины Земли. Но до настоящего времени нет полного единства в ответе на вопрос: откуда в растворах берутся металлы? Переносятся ли они с больших глубин, из мантии, или заимствуются горячими водами при их движении к поверхности из боковых пород? Кроме того, важно решить, в какой форме переносятся рудные компоненты:

медь, свинец, цинк, олово, мышьяк, сурьма и др.? При каких условиях они отлагаются и образуют месторождения? Ответы на эти вопросы смогли бы значительно облегчить поисковые и разведочные работы геологов.

Природной лабораторией синтеза минералов и является Узонское термальное поле — модель минерало- и рудообразующей системы в тесной связи с вулканизмом.

ПЕРЕРОЖДЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД

На Узонском термальном поле имеются фактически все типы гидротермально-измененных пород, характерные для низко- и среднетемпературных гидротермальных систем мира. Это еще раз подчеркивает широкий диапазон физико-химических сред Узона, в функциональной зависимости от которых находится характер гидротермального изменения пород.

Работами С. Ф. Главатских, С. И. Набоко здесь установлены следующие фации измененных пород: опалитовая, гидротермальных глин; аргиллитовая и цеолитовая; кварц-адуляровых метасоматитов и пропицитизированных пород.

В пространственном распределении этих фаций обнаруживается четкая вертикальная зональность. Опалиты развиты на возвышенных участках, выше зеркала грунтовых вод. С уровня грунтовых вод на пропаренных участках развиваются гидротермальные глины, в вертикальном профиле которых выделяются следующие зоны: опалово-алунитовая (с серой или без нее), опалово-каолинитовая (с окислами железа или без них), опалово-каолинитовая с пиритом, опалово-алунито-каолинитовая, опалово-монтмориллонитовая с пиритом (или без него). Аргиллизации подверглись пеплово-пемзовые туфы и гравелиты. Показательно, что аргиллизированные породы обнаруживаются в местах выходов газопаровых струй и термальных источников, содержащих заметные количества сероводорода. Фация аргиллизированных пород с цеолитами располагается ниже гидротермальных глин с пиритом, с глубины порядка 3 м. Характерными минералами этой фации являются монтмориллонит, кальцит, опал, барит, реже гипс, алунит, сера. Цеолиты представлены мелко-таблитчатыми кристалликами десмина и натролита. В этой зоне встречаются рассеянные включения реальгара, халькозина, пирита.

Кварц-адуляровые метасоматиты развиты на южном берегу Центрального озера. Это слабопористые породы белого цвета. Исходными для них были пеплово-пемзовые туфы озерного бассейна. В сахаровидных пористых метасоматитах, не содержащих реликтов исходных пород, до 85% кремнезема. Однако адуляра больше (до 10% K_2O) в породах, сохранивших реликтовую тонкослоистую структуру пепловых туфов.

Пропилитизированные породы встречаются в развалах базальтов, в 200 м восточнее Западного термального поля. По пористым базальтам здесь широко развиты адуляр, гидрохлорит, кальцит, активолит, пирит. По периферии и по трещинам адуляр замещает вкрапленники плагиоклазов; активолит в виде игольчатых кристаллов — зерна пироксенов, нередко заполняющие пустоты и поры.

Для представления о характере вертикального профиля гидротермальско-наметанных пород на самом активном Центральном участке Восточного термального поля рассмотрим разрез по ручной скважине К—4, пройденной до глубины 17 м. Скважина прошла толщу рыхлых гравелитов и на 16,7 м вошла в пачку алевропелитовых туфов (рис. 4). В приповерхностной части разреза, до глубины не более 30 см, развивается каолинит-галлуазитовая ассоциация глинистых минералов. Ниже каолинит исчезает, и до 1,5 м прослеживается галлуазит-монтмориллонитовая ассоциация. Глубже и до забоя простирается монотонная толща гравелитов, по которым развит пластичный глинистый минерал монтмориллонитового ряда. В вызах разреза, с глубины 8,5 м, вместе с монтмориллонитом встречаются мелкие иголочки цеолита (птилолита). На разной глубине, в зависимости от обогащенности сульфидами железа, цвет монтмориллонита меняется — от светлого до темно-серого и черного.

В разрезе рудные минералы имеют следующее распределение. В интервале 0—5 см — интенсивное обогащение тонкозернистыми землистыми образованиями аурипигмента со скородитом. Фактически в этом интервале формируется пласт мышьяковых руд. Ниже, до 1,5 м, следует зона с чередующимися тонкими, не более 1 см, слоями, насыщенными тем же землистым аурипигментом и мелкокристаллическим реальгаром. В интервале 30—50 см находится зона с тонкоигольчатым антимонитом. Глубже 1,5 м (до 4,5 м) наблюдается рассеянная вкрапленность реальгара. Аурипигмента уже почти нет. Глубже 5 м сульфидов нет.

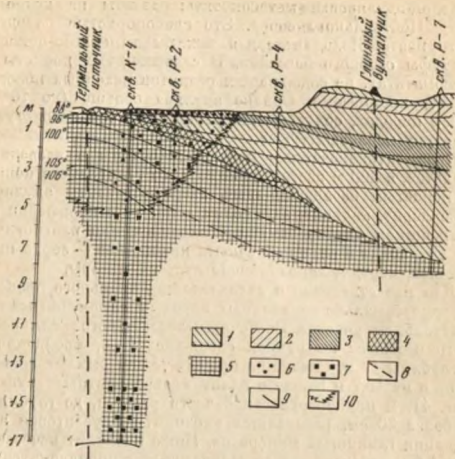


Рис. 4. Минералогический профиль Второго участка Восточного термального поля

1 — каолинит; 2 — каолинит+монтмориллонит; 3 — каолинит+галлуазит; 4 — монтмориллонит+галлуазит; 5 — монтмориллонит+цеолит; 6 — минералы мышьяка; 7 — сульфиды железа; 8 — разрывные нарушения; 9 — изотермы; 10 — граница рудной зоны

фидов мышьяка нет; по всему разрезу интенсивно развиваются тонкодисперсные и мелкокристаллические образования пирита. С 6 м преобладающей разновидностью становятся хорошо сформировавшиеся кристаллы пирита размером более 1 мм.

Скважина вскрыла зону относительно высоких температур. В процессе бурения удалось промерить температуру лишь до глубины 2 м, здесь она составила 97°С. На глубине 2,5 м произошло вскипание воды и пароводяной выброс. Дальнейшее бурение велось с закачкой в ствол холодной воды. После окончания бурения скважина имела режим самонзлива с избыточным давлением 0,3 атм. На глубине 16,5 м была зафиксирована температура 116°С.

Любая горная порода включает некоторое количество воды. Даже в свеженалившейся магматической породе — лаво содержится до 0,5% (иногда больше) воды. Она находится в межзерновых пространствах, в тонких трещинах, полостях и порах породы. Будучи универсальным растворителем, вода всегда интенсивно взаимодействует с вмещающими ее породами и фактически является раствором, содержащим самые разнообразные соли. Со временем между горной породой и заключенной в ней водой устанавливается динамическое равновесие, когда без изменения каких-либо условий не происходит существенного изменения ни солевого состава раствора, ни количественного и качественного состава вмещающих пород. Обычно в этом случае в породе завершается процесс формирования вторичных гидротермальных минералов, таких, как кальцит, гипс, опал, кварц, глинистые минералы, цеолиты и др.

Если же между породой и раствором, ее пронизывающим, еще не установилось равновесие, то возможны два случая взаимодействия — либо в воду будут интенсивно переходить минеральные компоненты породы, либо, наоборот, за счет солей раствора будет происходить кристаллизация новых минералов. Большую роль в этих процессах играют кислотность-щелочность растворов и так называемый окислительно-восстановительный потенциал вод и пород.

Изучая отжатые из горных пород растворы (например, из керн буровых скважин), можно получить представление о характере процессов, происходящих в породе на разной глубине. Для поровых растворов, находящихся в породах на глубинах, превышающих уровень циркуляции грунтовых вод, характерны слабощелочная реакция и восстановительная среда. В таких породах всегда будут находиться кристаллики пирита и, возможно, самородной меди без признаков растворения и окисления, а поровые растворы — без ионов железа и меди. В близкповерхностных условиях, в зоне активного воздействия кислорода воздуха и грунтовых вод, проникающих на глубину по топчайшим трещинкам в породах, поровые воды, как правило, несут следы окислительных процессов. В зависимости от стадии окисления в них обнаруживается как закисное, так и окисное железо, ионы сульфата, а сами растворы приобретают слабокислую реакцию (рН снижа-

ется до 5—4,0). В окисленных породах отсутствует неизменный пирит и самородная медь. Им на смену приходят окислы железа и меди, сульфаты: лимонит, алузит, ярозит, гипс, ковеллин, борнит и др. Надо отметить, что особенно интенсивно окисление происходит в поверхностной зоне породы, где возможен постоянный и быстрый приток кислорода. С глубиной концентрация окисляющего компонента (кислорода) в воде, проникающей в поры, очень мала, поэтому процессы окисления затухают. Кроме того, с глубиной увеличивается температура и затрудняются условия биохимических реакций, играющих, как показали исследования последних лет, большую роль в процессах окисления.

На Узоне, в области термального поля, в результате химических реакций раствор—порода при повышенной температуре, за время существования гидротермальной системы сформировалось сложное метасоматическое тело. Бурение показало, что оно состоит из зон гидротермально-измененных пород с новообразованными минеральными ассоциациями. На глубине вскрываются пропилитизированные породы с характерным для них набором минералов (адуляр, альбит, хлорит, кальцит, пирит). В приповерхностной зоне наблюдается развитие фаций кислотного выщелачивания. В интервале глубин 3,0—17 м (предельная глубина скважины) по озерно-кальдерным образованиям, представленным переслаивающимися гравелитами, псаммитовыми и алевропелитовыми пеплово-пемзовыми туфами с обломками лав андезита, базальта и дацита, развивается комплекс глинистых минералов монтмориллонитового ряда с цеолитами. Здесь же много прекрасно ограненных кубических мелких кристалликов пирита. Вверх по разрезу на смену монтмориллониту приходят галлуазит, каолинит и опал. Пирит в этом интервале уже тонкодисперсный. Самый верхний горизонт обогащен сульфидами мышьяка (аурипигмент, реальгар) и сурьмы (антимонит).

Интересно проследить изменение поровых растворов в вертикальном профиле описанного выше метасоматического тела. При бурении скважин поровые растворы были получены непосредственно из горячих образцов путем отжима малогабаритным прессом при давлении 100 кг/см². Они отжимались в изолированный от воздуха сосуд из фторопласта, в который были вмонтированы электроды для измерения рН и Е_h (окислительно-восстановительный

потенциал). Как правило, поровые растворы более минерализованные, сульфатные, с преобладанием кальция и натрия (в сравнении с магнием и калием). Они же имеют более высокую концентрацию водородных ионов (рН 6,3 против 7,2—7,6) и более высокий окислительно-восстановительный потенциал ($Eh +215-275$ мв против $-50-65$ мв в свободных растворах). По поровым растворам наблюдается вертикальная гидрохимическая зональность, которая находится в соответствии с вертикальной минералогической зональностью.

До глубины 0,2 м поровые растворы характеризуются низкой общей минерализацией и концентрацией основных ионов: Na и Cl. Отношение натрия к калию самое низкое для изученного разреза. В растворах отмечается самая высокая концентрация магния; гидротермальная глина в этой зоне не содержит магния (каолинит + галлуанит). Из сульфидов развиты аурипигмент и пирит.

На глубине 0,5 м рН порового раствора уже равен 6,63; $Eh +215$ мв. Вместо аурипигмента здесь образуется реальгар и антимонит. Концентрация магния в растворе остается еще значительной, однако отношение кальция к магнию повышается. Это зона перехода каолинит-галлуанитовой ассоциации к монтмориллонитовой. Глубже по всему разрезу возрастает минерализация поровых растворов, отмечается преобладание натрия над калием и кальция — над магнием. Уменьшение в поровом растворе концентрации магния соответствует увеличению с глубиной новообразованного магнезиального монтмориллонита.

Уже на глубине 1,25 м, где монтмориллонит становится ведущим гидротермальным минералом, концентрация магния в поровом растворе резко снижается. На глубине 4,2 м поровый раствор имеет повышенную концентрацию сульфат-иона и высокую общую минерализацию. Отношения натрия к калию и кальция к магнию высокие. Раствор имеет реакцию, близкую к нейтральной (рН 6,4) и ($Eh +170$ мв). В этой обстановке наряду с монтмориллонитом образуется и цеолит (клинотилолит).

Высокое содержание сульфат-иона в поровых растворах с глубины 0,5—4,2 м свидетельствует, по-видимому, об уровне провизирования зоны аэрации и об интенсивно идущих здесь процессах окисления сульфидов железа. Во всяком случае, именно на этом интервале в керне скважины отмечено две генерации пирита: мелкозернистый латунно-желтый и тонкодисперсный черного цвета.

Концентрация мышьяка и сурьмы в поровом растворе рудной залежи и по всему изученному разрезу более низкая (соответственно 0,1—1,0 и 0,008 мг/л), чем в свободных перегретых хлоридно-натриевых водах (соответственно 5—7 мг/л и 0,024 мг/л). Понижение в поровых растворах концентрации мышьяка, сурьмы, а также магния свидетельствует, по-видимому, об установившемся равновесии поровый раствор — глинистые минералы — сульфиды мышьяка и сурьмы, а также о существенном различии в физико-химической обстановке в зоне передвижения и отложения минеральных компонентов.

РУДА, ОБРАЗУЮЩАЯСЯ НА ГЛАЗАХ

В 1968 г. сотрудниками Института вулканологии ДВНЦ АН СССР на Узоне была открыта рудная залежь сложного мышьяково-сурьмяно-ртутного состава. Близкие к этому типу оруденения месторождения имеются у нас на Кавказе, в Средней Азии, на северо-востоке Сибири. Но то древние месторождения, возраст которых обычно превышает миллион лет. А на Узоне рудная залежь находится в стадии формирования. Более того, рудные минералы образуются, можно сказать, на глазах исследователя.

Как уже говорилось выше, для растворов, поступающих на поверхность в кальдере Узона, весьма характерна довольно высокая концентрация мышьяка, сурьмы, ртути, серы. На глубине в щелочных растворах и при высокой температуре они находятся в растворенном состоянии. Но поднимаясь к поверхности, глубинные растворы встречают на своем пути грунтовые воды. Происходит довольно резкое изменение многих параметров растворов: температуры, давления, кислотности-щелочности и т. д. Все это приводит к нарушению химического равновесия элементов в растворе — начинается распад одних соединений и образование других, более устойчивых. Этими соединениями являются на Узоне сульфиды мышьяка — золотисто-желтый аурипигмент и оранжево-красный реальгар, сульфид сурьмы — антимонит, сульфиды ртути — красная киноварь и темный метациннабарит, сульфиды железа — латуни-желтый пирит и почковидный черпый марказит и др. Эти минералы были обнаружены непосредственно на стенках грифонов и источников, выходящих на Центральном участке. Интересно, что и раньше исследователи Узона видели желтый осадок в некоторых грифонах с

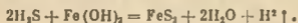
горячей водой. Но, зная, что в таких условиях на всех других термальных полях отлагается самородная сера, они и этот осадок квалифицировали как серу. Понадобилась большая внимательность и минералогическая сметливость, чтобы не пройти мимо уникальных отложений аурипигмента.

Обычно после сильного дождя, когда термальное поле мокрое, во многих грифонах прозрачная чистая горячая вода становится мутной. В ней плавают тончайшие зерна самородной серы. Осаждение серы происходит в результате окисления сероводорода, поступающего из глубины, кислородом, насыщающим дождевые и талые воды. Само поле приобретает в это время серый цвет. Однако достаточно одного-двух дней солнечной погоды, и поверхностные воды скатываются, поле подсыхает и меняет свой облик. Сначала в некоторых, особенно в небольших, бессточных котлах в воде с температурой 15—40° С возникает масса мельчайших зерен зеленого цвета. Вода как бы цветет. Постепенно взвесь оседает на дно, в котлоформируется осадок — окисел мышьяка и железа — скородит. Затем, по мере повышения температуры и подсыхания термального поля, вода в котлах начинает приобретать желтоватый оттенок, а вокруг многочисленных проколов с выходом газифицирующих горячих растворов, до этого валитых поверхностными водами, отлагается корочка аурипигмента (фото 20, 21). В некоторых грифонах с прозрачной водой и температурой выше 70° С удается наблюдать, как на дне, вокруг отверстий с выходом сероводорода, отлагается сульфид мышьяка красного цвета — реалгар. Там, где на поверхность под избыточным давлением удалось вырваться почти стогоградусным растворам, под небольшой покрывкой глинистых и кремнистых осадков были обнаружены киноварь, метациннабарит, а затем и самородная ртуть. Скорость образования минеральных осадков так велика, что, например, на стеклянных подложках, поставленных в источнике, уже за сутки нарастал слой сульфида мышьяка толщиной около 0,1 мм. В настоящее время на Узое обнаружены, помимо перечисленных минералов, скородит; сульфиды меди — борнит, халькозин; сульфид железа и мышьяка — арсенинит; сульфид железа — пирротин; сульфид свинца — галенит; сульфид цинка — сфалерит. В единичных зернах найдены самородное золото, серебро, медь. Рудные минералы обычно наблюдаются в ассоциации с церудными:

кварцем, опалом, каолином, монтмориллонитом, баритом, адуляром, кальцитом, цеолитами. В разрезе термального поля наблюдается закономерная картина: сверху вниз залегают слои скородита, аурипигмента, реальгара, и на глубине около метра отлагаются игольчатые кристаллы свинцово-черного цвета — антимонита.

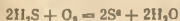
ЗОЛОТИСТЫЕ КАМЕШКИ

Такие камешки может увидеть только очень внимательный человек, хотя их и немало на Узоне. Они здесь встречаются лишь в блюдцеобразных выходах термальной воды. Воды в них так мало, что даже мелкие обломки пород (базальтов, пемзы, туфов) не покрываются полностью. Однако температура близка к точке кипения. Вода интенсивно бурлит, поскольку пузырьки газа непрерывно прорываются к поверхности. Газ, состоящий в основном из смеси углекислого газа, водорода, азота и сероводорода, с характерным булькающим звуком, нередко подбрасывает капли воды на высоту до 5 см. На дне такой «сковородки» мелкие камешки находятся в непрерывном движении и становятся окатанными. Вынув камешек из воды, видишь, что он, как глазурью, покрыт тонкой пленочкой золотистого, вернее, латунино-желтого цвета. Это дисульфид железа — пирит. Пока камень мокрый, он блестит и напоминает золотой самородок. Но, высыхая, быстро тускнеет. Как же образуется пленка пирита? В воде таких грифонов (они всегда бессточные) растворено порядка 10—15 мг/л сероводорода, реакция близонейтральная (pH=6,4—6,6). Очень небольшого количества железа, которое находится в воде, достаточно для реакции



Необходимо отметить, что образование пирита идет непрерывно, иначе на камешках наслоились бы толстые корочки золотистого минерала. Дело в том, что на термальных полях изменяются по определенным закономерностям температура растворов, их концентрация, содержание растворенных газов и т. д. Следовательно, изменяются и типы химических реакций в растворе. Поэтому в период дождей или активного таяния снега, когда термальное поле заливается водой, в грифончиках падает температура, раствор становится кислее. Вследствие высокого содержания растворенного кислорода в поверхностных водах в

смешанных таким образом термальных растворах повышается окислительно-восстановительный потенциал (Eh) в место пирита по реакции



происходит образование элементарной серы. Вода становится мутной, с обильной взвесью белесых частичек коллоидной серы. Соответственно, отложившийся ранее пирит подвергается растворению.

МНОГО ЛИ РУДЫ НА УЗОНЕ

Несмотря на то что в некоторых местах содержание рудных компонентов достигает очень большой величины, например в гравелитах иногда отмечается до 40% мышьяка, объем рудной залежи невелик.

Благодаря ручному бурению до глубины 17 м, характер литологического строения и минералогия Узонского термального поля довольно хорошо изучены. Обнаружено, что максимальные проявления оруденения приурочены главным образом к Восточному термальному полю. Наиболее выдержанное строение зоны оруденения наблюдается на Центральном участке. Именно здесь на поверхность выходят кипящие высокоминерализованные хлоридно-натриевые растворы с мышьяком, сурьмой, ртутью, а в приповерхностной зоне формируется рудопоявление мышьяково-сурьмяно-ртутного состава.

По текстурным особенностям рудного вещества зона оруденения в вертикальном профиле подразделяется на три горизонта: в интервале 0—25 м наблюдается развитие массивных землистых образований сульфидов мышьяка — реальгара и преимущественно аурипигмента (с подчиненным количеством скородита); с 0,25 до 0,6 м прослеживается горизонт тонкочередующихся прослоев реальгара, аурипигмента, с гнездами топкигольчатого антимонита (с размером кристаллов до 2 мм); далее, до 5 м, в разрезе встречаются лишь рассеянные мелкокристаллические вкрапления реальгара. По всему профилю в измененных до глины породах наблюдается обильная вкрапленность пирита. Причем в приповерхностной зоне развит пирит тонкодисперсный, черного цвета, а на глубине 1,5 м и в интервале 14—16,5 м отложился пирит латуно-желтого цвета кубического габитуса, с размером кристаллов 1,5—2,0 мм. На две Хлоридного озера также обнаружено отложение аурипигмента. Наибольшая его кон-

центрация наблюдается в слое донного ила мощностью 0,25 м.

Расчеты показывают, что на Узоне оптимальные условия для накопления имеются в основном для мышьяка. Аурипигмент и реальгар наблюдаются преимущественно в рудном горизонте. При сохранении современного режима поступления и состава термальных вод можно предполагать, что через несколько десятков тысяч лет (в геологическом масштабе времени величина незначительная) на Узоне сформируется достаточно мощное месторождение мышьяка.

Геологи, занимающиеся изучением рудных месторождений, по крупицам кропотливо собирают сведения об условиях образования тех или иных минералов и их ассоциаций. С целью воссоздания состава, температуры и давления растворов, из которых кристаллизовались минералы, ученые исследуют микроскопические газожидкие включения в кристаллах. Проводят сложнейшие эксперименты по растворимости минералов в различных средах и условиях. Все это необходимо, чтобы более определенно, не вслепую, направлять поиски полезных ископаемых, ибо знание того, как образуются минералы, дает ответ и на вопрос, где они могут залегать. Поэтому термальное поле Узона представляет собой уникальную природную лабораторию. Термальные поля, близкие к Узонскому по характеру осадков, но уступающие ему по масштабам и интенсивности рудообразования, имеются лишь в Новой Зеландии и Калифорнии.

САМАЯ МОЛОДАЯ НЕФТЬ ЗЕМЛИ

В 1969 г. при обследовании Центрального участка термального поля во всех закопашках (выемка грунта на глубину штыковой лопаты), сделанных вблизи грязевых котлов (фото 22), С. И. Набоко и С. Ф. Главатских вместе со специалистом-нефтяником, кандидатом геолого-минералогических наук Н. С. Бескровным, обнаружили проявления нефти. На поверхность горячей воды, заполнявшей закопашку, тотчас же после выемки грунта всплывали маслянистые зеленые, без запаха, а в некоторых случаях, наоборот, бесцветные, с сильным керосиновым запахом нефтяные пятна. Дальнейшие исследования показали, что проявления нефти обнаруживаются почти повсеместно. Так, при рылении осадка вблизи высокотемпературных

грифонов нефтяные пятна всплывали даже со дна Хло-ридного озера. При этом наблюдалась одна закономерность. Нефть с большей вероятностью встречалась там, где обнаруживались осадки аурипигмента и реальгара. Причем бесцветная нефть обычно концентрируется в области изотерм $40-60^{\circ}\text{C}$, а зеленая $60-80^{\circ}\text{C}$. В удалении от грязевых котлов, там, где температура растворов меньше 40°C , нефти не обнаружено. Лабораторные исследования показали, что узонская нефть относится к метаново-петро-ароматическому типу. Она оказалась тяжелой (удельный вес $0,9148\text{ г/см}^3$), смолистой (9,3% смол), сернистой (до 2% серы), малопарафинистой (2,1%). Узонская нефть обнаружила уникально высокую оптическую активность ($\alpha_D = 24,2\%$), доселе не известную ни для одного нефтяного месторождения.

До сих пор считается, что высокая оптическая активность свидетельствует о биогенной природе нефти. В то же время наряду с уникально высокой оптической активностью узонская нефть, по данным Н. С. Бескровного, не содержит изотопа ^{14}C , свойственного органическим производным. Изучая свойства нефтей разного возраста, исследователи обратили внимание на тенденцию увеличения оптической активности нефтей в более молодых по возрасту отложениях. Исходя из физико-химических свойств узонской нефти и принимая во внимание геологическую позицию района, есть основания считать описываемое нефтепроявление самым молодым в мире. Надо отметить, что уже описаны многочисленные случаи обнаружения нефти в ассоциации с рудными минералами. Например, американский геолог Д. Э. Уайт обнаружил совместноехождение нефти и киновари на ртутном месторождении Аббот в Калифорнии. Нефть здесь заполняет полости в сферических зернах опала. В этих же зернах опала в отдельных случаях обнаруживаются кристаллы киновари. Следы нефти отмечены также и на соседнем ртутном месторождении Уайд-Эвейк. На ртутных рудниках, расположенных в районе термального ручья Салфер (в одной миле от рудника Аббот), где и в настоящее время происходит кристаллизация киновари, кристаллы последней тесно ассоциируют с самородной серой и битуминозным веществом.

Так же как и на Узоне, нефть с рудника Аббот не содержит порфиринов, характеризуется высокой концентрацией углеводов с карбонильной группой ($\text{C}=\text{O}$)

и высокомолекулярных соединений; по химическому составу принадлежит к ароматическому типу. По данным изотопных анализов эта нефть имеет сходство с нефтью, обнаруженной в породах мелового возраста в долине реки Сакраменто, в нескольких милях к востоку от рудника Аббот.

Ассоциация нефти и рудных минералов, в составе которых такие компоненты, как мышьяк и ртуть, имеют явно глубинное происхождение, наводит на мысль о возможности глубинного abiогенного происхождения нефти за счет синтеза углеводородов. Кроме того, не исключено, что нефть участвует в транспортировке металлов в виде металлоорганических соединений от области зарождения до зоны разгрузки гидротермальных растворов. Ученые убеждены, что дальнейшие исследования в этом направлении дадут много ценного материала для решения теоретических вопросов происхождения нефти и условий миграции и концентрации рудного вещества. Природа очень искусно прячет свои тайны. Но иногда щедро оставляет на поверхности ключи к их разгадке, как бы приглашая людей попробовать свои силы. Такими ключами и являются для геологов Узонские горячие источники.

ГОРЯЧАЯ ВОДА — ИНТЕРЕСНЫЙ РАССКАЗЧИК

Как опытному следователю бывает достаточно находки мельчайших деталей, чтобы восстановить картину интересующих его событий, так и специалисту-гидрогеологу малейшие изменения в химическом составе воды могут сказать очень многое. Изучая выходы природных вод, гидрогеолог выступает в роли своеобразного следователя, а обычная вода может превратиться в интереснейшего рассказчика. Химические анализы показали, что на сравнительно небольшой площади Узонского термального поля наблюдаются широкие вариации химического состава вод. Здесь встречаются практически все типы вод, характерные для зон разгрузки современных гидротермальных систем. Причем, как в идеализированной схеме, на Узоне выходы разных типов термальных вод подчиняются четкой горизонтальной зональности. Наиболее высокотемпературные, кипящие, воды имеют существенно хлоридно-натриевый состав и выходят в осевой зоне термоаномалии. Здесь же по геологическим данным фиксируется зона молодых разрывных тектонических нарушений.

Хлоридно-натриевые воды имеют максимально высокую для Узонской системы общую минерализацию и наибольшую концентрацию таких компонентов, как хлор, бор, мышьяк, сурьма, ртуть, кремнезем (источник Центральный). По мере удаления от осевой зоны разгрузки к периферии наблюдается снижение температуры термальных вод и понижение в них концентрации перечисленных выше компонентов. Так, термальная вода озера Банного относится уже к сульфатному типу. В ней отмечается совершенно иной набор компонентов. Крайний член химической дифференциации термальных вод — сульфатно-гидрокарбонатный тип растворов, примером которого является узонский парзан. Зональное распределение химических компонентов в узонских растворах указывает, вероятно, на генетическую общность последних. А чем объясняется такая четко выраженная концентрическая зональность гидрохимических типов термальных вод? Геофизические и геологические данные свидетельствуют о том, что зона тектонических нарушений имеет здесь крутое падение, и движение гидротерм к поверхности осуществляется по вертикальным или близким к ним каналам (рис. 5). По-видимому, Узон является примером пространственного совмещения в плане очага генерации (зарождения) и зоны разгрузки парогидротерм.

Но какие же причины привели к возникновению разных типов вод на столь ограниченном пространстве? По мнению гидрогеолога Г. Ф. Пулипенко, детально изучавшей гидрохимию Узонских терм, ими являются следующие:

- 1) подземное вскипание глубинных гидротерм в зоне очага разгрузки, сопровождающееся их дегазацией;
- 2) разбавление глубинных гидротерм инфильтрационными поверхностными и конденсатными водами, что скалывается в закономерном убывании общей минерализации, температуры и концентрации характерных компонентов от центра очага разгрузки к его периферии;
- 3) накопление естественных конденсатов парогазовых струй в бессточных водоемах, вследствие чего образуются типичные кислые сульфатные воды.

Увеличение содержания сульфат-иона в термальных водах сульфатного типа по сравнению с хлоридно-натриевым связано с процессом окисления сероводорода и самородной серы, отлагающейся вокруг парогазовых выходов (фото 23). Здесь возникает еще один вопрос. Чем объяс-

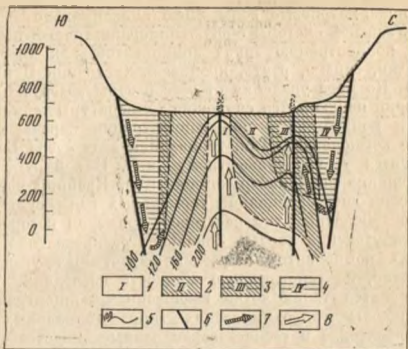


Рис. 5. Схематический гидрогеологический профиль Узонской гидротермальной системы

1 — щелочно-сульфидные, хлоридно-натриевые кипящие растворы с мышьяково-сурьмяно-ртутной специализацией; 2 — хлоридно-сульфатно-натриевые растворы; 3 — сульфатно-хлоридно-бикарбонатно-натриевые растворы; 4 — пресные инфильтрационные холодные воды; 5 — изотермы; 6 — разломы; 7 — пути миграции холодных вод; 8 — пути миграции глубинных гидротермов, I—IV — зоны гидрохимических типов термальных вод

няется кислая реакция некоторых термальных озер, например Фумарольного (рН 2—3) и многих средне- и низкотемпературных бессточных грифонов, если по основным компонентам они не отличаются от близлежащих хлоридно-натриевых вод?

Здесь можно представить ситуацию следующим образом. Как видно из таблиц химического состава термальных вод (в газовой фазе), для всех типов терм характерна обогащенность аммонием, бором, сероводородом, метаном, мышьяком, углекислотой. Именно наличие в растворах аммиака, сероводорода и метана служит указанием на высокую восстановительность среды. При фильтрации растворов к поверхности в результате их взаимодействия с вмещающими породами и смешения с поверхностными водами, обогащенными кислородом, происходит самопроизвольный рост Eh. Подобный рост окислительно-восста-

довительного потенциала играет большую роль в инверсии щелочно-кислотных свойств гидротермальной системы, ибо окисление таких восстановителей исходных растворов, как сульфидная сера, метан, аммиак, способствует появлению ангидридов сильных кислот, которые на общем фоне снижения температуры приводят к заметному раскислению растворов.

Замечено, что пробы воды, отобранные из одних и тех же источников в разное время, различаются по содержанию отдельных компонентов. Чем это вызвано? Вопрос трудный. Наиболее естественно предположить, что гидротермальный процесс является динамичным, меняющимся во времени и в пространстве. Следовательно, как на глубине, в зоне зарождения растворов, так и в приповерхностных горизонтах с течением времени и под воздействием различных причин (тектонических подвижек, отложения минеральных солей, изменения глубины парообразования окислительно-восстановительной обстановки и т. д.) происходит нарушение фазовых равновесий и изменение режима температуры и химического состава растворов. Правильно разобраться во всем этом помогут круглогодичные режимные наблюдения на термальных полях.

МЕТАЛЛЫ В ГОРЯЧИХ ВОДАХ

Термальные растворы Узона выносят на поверхность от 0,5 до 4,5 г/л солей. Среди них имеются и рудные компоненты.

Чтобы установить происхождение рудных компонентов в термальных водах, важно проследить вариации содержания специфических элементов-индикаторов в вертикальном профиле гидротермальной системы. Мы сделали это для мышьяка, сурьмы, меди, цинка и стронция. Было проанализировано 54 выхода термальных вод, в том числе девять скважин глубиной от 2 до 17 м, термальные озера глубиной от первых метров до нескольких десятков метров и разноглубинные проточные и бессточные термальные источники.

Мышьяк. Наличие мышьяка в анализированных источниках варьирует от 0,1 до 8 мг/л. Основная масса мелких термальных источников содержит мышьяк в пределах 0,2—1,7 мг/л. Небольшое количество мышьяка отмечено и в мелких термальных озерах. В то же время в

интервале глубин выхода термальных вод от 0,5 до 17 м и глубже все воды с максимально высоким содержанием мышьяка оказались хлоридно-натриевого состава. Однако в мелких источниках с сульфатным составом растворов также встречаются повышенные содержания мышьяка. Характерно, что именно к интервалу 0—0,5 м приурочена рудная зона с наиболее высоким содержанием сульфидов мышьяка (см. рис. 4). По-видимому, мелкие источники с сульфатным составом растворов обогащаются мышьяком за счет растворения ранее образованных минеральных осадков. В пользу этого предположения говорят и факты падения содержания мышьяка в источниках, где в силу каких-то причин изменились температура, pH и Eh растворов. В этих случаях растворение минерального осадка сменяется кристаллизацией сульфидов.

Вариации содержания мышьяка в одних и тех же источниках во времени хорошо прослеживаются согласно данным режимных наблюдений на экспериментальной площадке Центрального участка Восточного термального поля. Здесь были установлены дренажные трубки из нержавеющей стали на глубины развития аурипигмента (0,3 м), реалгара (0,8 м) и в подстилающие слои (1,5 м и 2 м). С 1976 г. из этих горизонтов были отобраны растворы через проточную автоклавную систему с параллельным замером t, pH, Eh и концентрации сероводорода. Согласно наблюдениям, как общесолевой состав, так и остальные параметры растворов на одних и тех же уровнях отбора проб испытывают вполне закономерные вариации, что отражается и на содержании в них рудных компонентов. Несмотря на имеющиеся флуктуации содержания мышьяка в пределах одной зоны и в разные периоды наблюдений, для каждого периода отмечается заметное увеличение его с глубиной. Особенно хорошо это прослежено в июне 1978 г. Возможно, высокие содержания мышьяка в верхнем, аурипигментном горизонте в мае 1976 г. объясняются разложением сульфидов мышьяка. Визуально это подмечено в июне 1978 г. в бессточном источнике, где ранее отлагался желтый аурипигмент. В период отбора пробы минеральный осадок имел уже зеленый цвет (скородит) и содержание мышьяка в растворе достигло 15 мг/л.

Сурьма. Для сурьмы наблюдается несколько иная картина. Ее содержание практически во всех типах растворов (за исключением углекислых) находится в пределах

0,005—0,01 мг/л. Не обнаружено и определенной зависимости содержания сурьмы ни от t , рН, Eh растворов, ни от глубины источников. Тем не менее в ряде крупных источников глубиной от 0,4 до 1,25 м с преимущественно хлоридно-натриевым составом растворов отмечены аномально-высокие содержания сурьмы, достигающие 0,07—0,09 мг/л. Практически к этому же интервалу глубины (0,6—0,8 м) приурочен и горизонт с тонкоугольчатым аптитомитом в породах гравелитов. Довольно высокие содержания сурьмы обнаружались и во всех пробах растворов из рудных горизонтов.

Медь. Содержания меди в термальных источниках Узона очень невелики и варьируют главным образом в пределах 0,008—0,01 мг/л. В единичных источниках, имеющих, как правило, глубокий уровень вскрытия, наблюдаются несколько более высокие содержания, достигающие 0,04—0,05 мг/л.

В пробах растворов, отобранных через дренажные трубки из рудных и подрудных горизонтов, содержания меди также варьируют. Причем нет какой-либо четкой зависимости ни от глубины водоносного горизонта, ни от температуры, ни от содержания хлора в растворе. Такая закономерность наблюдается и по всем термальным источникам. Тем не менее в разрезе термального поля, в интервалах 0,1—0,8 м и 3—4,5 м (скв. К—4, Р—2) встречены зоны, сравнительно обогащенные медью (0,012—0,025 вес. %). Отмечено обогащение медью новообразованного пирита (0,004 вес. %) и самородной горюшковой серы (0,0015 вес. %). В рудных горизонтах, а также в осадках на дне Фумарольного озера встречены медные минералы: борнит и ковеллин.

Цинк. Для термальных источников Узона характерны довольно высокие содержания цинка (от 0,03 до 0,45 мг/л), оптимальные лежат в пределах 0,05—0,10 мг/л. Так же как и для меди, для цинка не обнаружено четких корреляций с содержанием хлора в воде. В разрезе термального поля, в аргиллизированных породах и рудных горизонтах, содержания цинка варьируют от 0 до 0,015 вес. %, причем наблюдаются интервалы обогащения на глубинах 0,1—3,5 м; 5,5—7,5 м и 9—16 м.

Стронций. Этот элемент является обычным для всех термальных источников Камчатки. В гидротермах Узона он содержится повсеместно на уровне от 0,02 до

0,45 мг/л. Для стронция отмечается довольно четкая корреляция с хлором. Максимальные содержания стронция зафиксированы в высокотемпературных хлоридно-натриевых термах. В аргиллизированных породах и в рудных горизонтах по всему разрезу термального поля наблюдаются содержания стронция от 0,01 до 0,06 вес. %. В пробе раствора, отобранной из шурфа скважины Р-2 17 мая 1975 г. ($t=80,5^{\circ}\text{C}$, $\text{pH}=6,75$; $E_h=-40$ мв; $\text{Cl}-1710$ мг/л, общая минерализация — 3,0 г/л), атомно-абсорбционным методом определено 0,32 мг/л стронция. По данным определения изотопов стронция в этой пробе отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0,7046$. По заключению Е. В. Пивнекера, очень низкое содержание ^{87}Sr указывает достаточно однозначно на мантийное происхождение стронция в термальных водах Узона.

ГАЗОВОЕ ДЫХАНИЕ НЕДР УЗОНА

По расчетам Н. Г. Бескровного, изучавшего газы Узона в связи с проблемой нефтеобразования, за год с термальных участков выделяется порядка 10 млн. т парогазовой смеси. В составе спонтанных газов преобладает углекислый газ. Кроме него, в значительных количествах выносятся сероводород, метан, водород, азот и др. В высокотемпературных источниках обнаружено спонтанное выделение тяжелых углеводородов (табл. 1). Согласно многочисленным анализам, за год только метана выносятся на поверхность около 600 тыс. м³. За время существования гидротермальной системы, которое оценивается в 10 тыс. лет, в атмосферу улетучилось 6 млрд. м³ горю-

Таблица 1. Состав спонтанных газов в термальных источниках Узона (в объеме, %)

Источники	T °C	CO ₂	H ₂ S	O ₂	CH ₄
Центральный	94	87,5	4,4	0,0	1,22
Бурлящий	95	89,4	4,2	0,0	0,07
Фумарольное озеро	30	90,5	—	0,0	2,17
Нарынный	40	98,7	—	0,0	0,12
Трифон с колонией белых серобактерий	74	92,0	5,5	0,59	0,66
Аурипигментный	41	49,90	3,3	4,8	3,32

чего газа. Это сопоставимо с запасами среднего месторождения газа.

Каков источник газов Узонского термального поля? Частично ответить на этот вопрос может изотопный анализ элементов. Так, углерод в составе углекислого газа, отобранного с источника «Центральный», обогащен изотопом ^{13}C ($\delta^{13}\text{C} = -0,3\text{‰}$), что характерно для глубинных поступлений (в алмазе $\delta^{13}\text{C} = -0,65\text{‰}$). Не вызывает сомнения и глубинное происхождение водорода в спонтанных газах. Об этом говорят и данные по повышенному (в сравнении с поверхностными водами) содержанию дейтерия в конденсатных водах слабоминерализованных источников. Полное отсутствие в узонской нефти изотопа ^{14}C , характерного для нефти биогенного происхождения, также свидетельствует, скорее всего, о глубинном притоке углеводородов. Интересные данные получены по содержанию в термальных водах радона. Оказалось, что изолинии высоких концентраций радона хорошо соответствуют высоким изотермам. Кроме того, они огибают участки пересечения основного субширотного разлома с трещинной зоной северо-восточного простирания. Новышенные концентрации радона (от $1,5 \cdot 10^{-7}$ Ки/л) отмечаются в зоне разгрузки высокотемпературных хлоридно-натриевых вод. По мере удаления от центра очага разгрузки к его периферии наблюдается понижение содержания радона в спонтанных газах источников, т. е. опять-таки намечаются капалы, по которым осуществляется перенос с глубины п растворов, и газов. Как указывает А. М. Чирков, проводивший на Узоне радоновую съемку, радон в силу своей химической инертности и

C_1H_4	C_2H_6	H_2	N_2	$\text{Ar} + \text{Kr} +$ $+ \text{Xe}$	$\text{He} + \text{Ne}$	Дата отбора
0,0001	0,000	2,20	4,71	0,0750	0,00062	7.8.1970 г.
0,0001	0,000	0,0	6,33	0,0386	0,00050	30.7.1970 г.
0,005	0,001	2,12	5,20	0,082	0,00080	17.7.1970 г.
—	—	—	—	0,0202	0,00018	21.7.1970 г.
не опр.	не опр.	0,03	4,22	не опр.	не опр.	5.8.1970 г.
не опр.	не опр.	1,58	37,0	не опр.	не опр.	3.5.1976 г.

неспособности накапливаться в водах бессточных грифонов (период его полураспада равен 3,825 дня) является самым объективным показателем палляция в местах его скопления термовыводящих каналов. Здесь уместен вопрос о глубине и источнике поступления радона. Он непосредственно связан и с происхождением самих термальных вод, и их солевого состава. Большинство исследователей связывают формирование гидротермальных систем с активным поступлением магматического, т. е. эндогенного, флюида в верхние зоны земной коры. С этим флюидом, вероятно, привносятся уран и радий, которые на каком-то уровне глубинности выпадают из дальнейшей транспортировки и накапливаются в недрах гидротермальной системы. До самой поверхности эти элементы практически не доходят (в воде источников Центрального и Бурлящего определено лишь 10^{-12} г/л радия). По мнению А. М. Чиркова, интенсивная миграция радона (как продукта альфа-распада радия) к поверхности Земли связана с передвижением вторичного пара, возникающего при вскипании на глубине высокотермальных вод. Скорость движения парогазовой смеси к поверхности превосходит скорость движения растворов. Это позволяет при относительно короткой жизни радона установить истинное его содержание в поверхностных высокотемпературных растворах. Не исключено, что чисто газоземные эманации пронизывают гидротермальную систему, поднимаясь с большой скоростью непосредственно с подкорковых глубин.

КОГДА ПОЯВИЛИСЬ ГОРЯЧИЕ ИСТОЧНИКИ УЗОПА?

Этот вопрос интересует многих исследователей. О возрасте геологических объектов обычно судят или по датированной окаменелой фауне и флоре, содержащихся породах (палеонтологический и флористический методы), или по аналогии с толщами определенных слоев, имеющих характерный комплекс признаков, возраст которых установлен косвенными методами сопоставления, или, наконец, по продуктам распада радиоактивных компонентов (изотопный анализ) в породах. Для каждого из этих методов имеется свой порядок точности. Так, например, изотопный анализ дает наиболее надежные данные о возрасте древних пород. Палеонтологический и флористиче-



Фото 2. Выпоты квасцов на глинистой поверхности Восточного термального поля



Фото 3. Квасцы на парящей площадке Восточного термального поля



Фото 20. Хураскерпийн амьгшамфт хийд, Говь-Алтай





Фото 20. Мелкие подповерхностные термальные выходы с осадком аурипигмента



Фото 21. Термофильные сине-зеленые водоросли, титоновые бактерии (белое) и осадок аурипигмента (желтое)

ский методы анализа точны, но требуют хорошей сохранности ископаемых видов. К тому же ископаемая флора и фауна обычно приурочена к осадочным породам, накопление которых происходило в водных или наземных условиях при низких температурах и давлении. Изверженные породы, прошедшие огненное горнило, в большинстве случаев стерильно чисты (в них нет остатков живых организмов). Про такие толщи пород геологи обычно говорят, что они «немые». Они-то и преобладают в Узон-Гейзерной структуре; правда, в геологическом разрезе имеются и осадочные породы — озерные отложения пеплово-пемзовых туфов. Конечно, здесь нет характерной для бывших морских бассейнов окаменелой фауны, но все же озерные отложения формировались в водной среде при нормальных температуре и давлении. В данных условиях существовали какие-то формы растительности, отражающие специфические климатические черты своего времени. А это уже может быть достаточно надежным ключом к расшифровке возраста толщи. И такие «свидетели» геологических событий нашлись в озерных пеплово-пемзовых туфах Узона. Специалистами были обнаружены споры и пыльца, анализ которых показал, что в период осадконакопления в этом районе пропарастали открытые тундровые, болотные и луговые травянисто-кустарниковые ассоциации с отдельными участками кустарников. Лесные ассоциации фактически не обнаружены, что позволило предположить существование в то время холодных климатических условий, характерных для предледниковых эпох.

Близкие значения дает и анализ пресноводных форм ископаемых водорослей. Так, было установлено, что формированию пеплово-пемзовых туфов третьего Узонского озера происходило в эпоху похолодания конца межледникового — начала верхнеплейстоценового оледенения (Q_2^{2-3}), т. е. 38—70 тыс. лет назад. Следовательно, в это время кальдера уже существовала, однако термальных источников, по-видимому, еще не было, так как в противном случае какие-то формы термофильных водорослей наверняка захоронились бы в озерной толще.

Когда же появились горячие источники и какие события способствовали этому?

В первой главе мы уже показали, что в конце верхнего плейстоцена и вплоть до голоцена (10 тыс. лет назад) в районе Узон-Гейзерной депрессии происходила пп-

тепсивные внедрения экструзий кислого состава. В кальдере Узон в это время сформировалась экструзия горы Белой. Весь район испытал колоссальные тектонические движения. Возникли новые тектонические разломы. По одному из них заложилось русло реки Шумной, спустившей Узонское озеро. Вот с этим-то этапом проявления кислого вулканизма и тектонических движений геологи и связывают возникновение гидротермальной деятельности в описываемом районе.

Таким образом, несмотря на то что как геологическая структура кальдера Узон возникла порядка 100 тыс. лет назад, началом проявления гидротермальной системы в ней следует считать лишь период завершения кислого вулканизма, т. е. возраст горячих источников и гейзеров может быть не более 10—30 тыс. лет. Об их «молодости» говорят также следующие факты. Вышеупомянутые кислые экструзии, слагающие сопку Озерную, гору Белую и др., имеют как бы сглаженные склоны, уплощенные вершины — рельеф, характерный для ледниковых образований. Есть предположение, что эти экструзии прорвались в конце верхнеплейстоценового оледенения, возможно даже имели место подледные излияния. На бортах Узонской кальдеры также хорошо заметны типичные ледниковые кары — углубления в виде ниш, прорезанные в склоне горы ледником. В низине, на север и запад от озера Центрального, отчетливо видны однообразно ориентированные гряды низких холмов с пологой северной и крутой южной сторонами. Это также обработанные ледником останцы более плотных агломератовых туфов, отложившихся в озерном бассейне. Более рыхлые озерные отложения были выпаханы льдом. Их многочисленные валуны сейчас встречаются на юго-западном берегу озера Центрального. Но эти обломки не имеют следов воздействия горячих растворов. Также не обнаружено и характерных следов гидротермальной проработки в отложениях пеллово-пемзовых туфов, прорванных кислой экструзией горы Белой. Только в обнажениях по первому левому притоку реки Шумной встречаются маломощные зоны плотных окварцованных среднезернистых туфов, окварцеванию которых связывается с кратковременным воздействием на породы растворов с высоким содержанием кремнезема. Предполагается, что внедрение экструзии Белой могло происходить непосредственно в озерный бассейн. Породы экструзии Белой интенсивно изме-

цены в процессе газо-гидротермального воздействия на них высокотемпературных фумарол.

Эти факты позволяют говорить о том, что собственно гидротермальная система, аналогичная современной, с современным составом термальных вод, проявилась в кальдере Узон по ранее конца ледникового периода, т. е. 10—30 тыс. лет назад.

МНОГО ЛИ ТЕПЛА В КАЛЬДЕРЕ

На закате или рано утром, когда воздух еще не прогрет, Узонское термальное поле представляет собой особенно красочное зрелище: от крупных грифонов высоко вздымаются плотные столбы пара, а вблизи поверхности, как подлесок, тянутся кверху тысячи мелких струек (фото 24). Парит и вся термальная площадка на протяжении до 1,5 км. Сколько тепла уходит в воздух! По расчетам ученых, основанных на реальных замерах теплоотдачи с различных поверхностей источников и грунта, суммарный вынос тепла Узонской тепловой системой составляет порядка 70 тыс. ккал/с.

Как видно из табл. 2, основная часть тепла (более 80%) на Узоне выносится через поверхность крупных и мелких термальных водоемов. Вынос тепла термальными ручьями составляет всего порядка 10%. Суммарный расход воды с термальных полей, включающий сток и испарение, — 170 кг/с. Здесь не мог быть учтен вынос тепла скрытым, подземным стоком. В то же время в трещиноватых породах по величине он может быть равен поверхностному стоку. Поэтому приводимую в таблице величину суммарного выноса тепла (64 тыс. ккал/с), по-видимому, можно считать нижним пределом тепловой мощности.

По представлениям гидрогеолога В. В. Аверьева и теплофизика Г. Н. Ковалева Узон является одной из крупнейших гидротермальных систем на Камчатке, а вместе с расположенной рядом Долиной Гейзеров — самой крупной на Камчатке и одной из самых мощных в мире. Для сравнения можно привести Паужетскую гидротермальную систему на юго-западе Камчатки, где при выносе тепла в два раза меньшем, чем на Узоне, перегретого пара хватает для работы электростанции мощностью 10 тыс. квт. В перспективе — строительство станции на 25 тыс. квт. Такие гидротермальные системы, как Узон-

Таблица 2. Тепловая мощность термальных полей Урала*

Термальное поле	Площадь, гект. м ²	Гелиотермич. кВт/с					Суммарный вынос теп- ла, ккал/с
		с поверхно- сти крупных водоемов	с поверхно- сти мелких водоемов	паровыми трубами	с поверхно- сти прогрет- ого грунта	открытым стоком	
Восточное	187	5 000	30 700	—	3400	1900	41 000±4000
Район Фумарольного озера	150	15 200	800	—	200	3300	19 500±2000
Западное	35	—	100	700	200	—	1 000±200
Термальные площадки, расположенные север- нее и южнее Восточно- го поля	58	1 500	500	—	—	500	2 500±300
Всего:	430	21 700	32 100	700	3800	5700	64 000±6500
%		34	50	1	6	9	100

* По данным измерений Д. Н. Ковалева и Ю. Б. Селезнева в июле — сентябре 1967 г.

ская и Паужетская, давле уже используются. На подземном тепле сейчас работают несколько десятков геотермальных электростанций, вырабатывающих более 6 млрд. квт/ч электроэнергии в год. Причем электроэнергия, вырабатываемая за счет подземного тепла Земли, является самой дешевой из существующих апергисточников. Интересно отметить, что запасы вод в гидротермальных системах практически неисчерпаемы. Возраст таких систем, как правило, не менее 10 тыс. лет, а есть системы, действующие миллионы лет, и все это время на поверхность наливались горячие воды, выбрасывалась в воздух колоссальная энергия.

МОДЕЛЬ ОБРАЗОВАНИЯ РУДЫ

Материалы, полученные при изучении переноса рудных компонентов, особенностей разгрузки минеральных источников и характера отложения сульфидов мышьяка и сурьмы на Уаонском термальном поле, позволяют построить пока еще приближенную модель сульфидной рудообразующей системы. Прежде всего мы припираем два положения, необходимые для наших построений: 1) гидротермальные растворы на глубине, в зоне транспортировки рудного вещества, имеют щелочную реакцию; 2) сероводород и продукты его диссоциации имеют глубинное происхождение и переносятся по общим с гидротермалити путям фильтрации. Оба положения паходят на Уаоне подтверждение. Первое — реальными замерами рН в зонах выхода наиболее высокотемпературных хлоридно-натриевых растворов с высоким содержанием мышьяка и сурьмы; второе — наблюдениями за специфической отложения сульфидов железа, меди и мышьяка в разрезе термального поля. Так, по ручным скважинам отмечается сквозное развитие пирита от поверхности до глубины 17 м (максимальная глубина скважины). Но в то же время глубже 2,5 м встречается ассоциация пирита с пирротитом, с отчетливыми следами замещения последнего пиритом. Повсеместно с уменьшением глубины наблюдается смена реальгара аурипигментом. А в глубоких горизонтах разреза Фумарольного озера обнаружен парагенезис высокосернистого сульфида — ковеллина с пиритом. Таким образом, сульфиды развиты в профиле минералообразования сверху донизу, но с падением температуры преобладают более высокосернистые соедине-

ния, что свидетельствует о контроле сульфидообразования растворимостью и степенью диссоциации сероводорода, поступающего совместно с растворами из глубины. Несомненно глубинное происхождение сероводорода, являющегося до 5,5 объемн. % в газовых струях источников, где он находится с углекислым газом. И. А. Меняйлов отмечает обогащение CO_2 изотопом ^{13}C , что свидетельствует об эндогенном происхождении газа. Наличие самородной серы практически во всех минерализованных зонах указывает на то, что окисление глубинных щелочных сульфидсодержащих гидротерм в зоне смешения с поверхностными водами является основным процессом, приводящим к инверсии ряда термодинамических параметров рудообразующей системы. Железо для кристаллизации пирита не привносится раствором, а заимствуется из боковых пород. Об этом говорят как ничтожно малые содержания железа в растворах, широко наблюдаемые псевдоморфозы пирита по магнетиту и титаномагнетиту, так и почти полное отсутствие сульфидов железа в разрезо маложелезистых алевро-пелитовых и пеллово-пемзовых туфов на Фумарольном озере. Здесь по трещинкам в туфах обильно отлагаются агрегатные образования аурипигмента, реальгара, ковеллина, борнита, нередко встречаются гнезда тонкоягольчатого антимонита, по чрезвычайно редко — мелкие кристаллики пирита. Снижение активности комплексов и выпадение сульфидов металлов обусловлено несколькими причинами. Общим фактором, приводящим к нарушению равновесия, является снижение щелочности и повышение окислительно-восстановительного потенциала системы. Эти процессы могут происходить:

вследствие окисления сульфидной серы в сульфатную при возрастании парциального давления кислорода (и под действием тионовых бактерий);

в результате встреч и обменных реакций с поровыми сульфатными растворами;

при смешении с поверхностными метеорными водами, имеющими, в связи с высокой насыщенностью атомарным кислородом, высокий окислительно-восстановительный потенциал.

В общем случае, чем выше контрастность (по pH и Eh) рудоносных растворов и среды в зоне осадкообразования, тем интенсивнее идет процесс образования сульфидов. На Узоне такая обстановка существует у зеркала

грунтовых вод и непосредственно на поверхности термального поля, т. е. фактически вся зона аэрации и самая верхняя часть горизонта грунтовых вод представляет собой своеобразный гидрогеохимический барьер для глубоких рудообразующих растворов. Именно к этой зоне мощностью не более 0,6 м приурочено массивное реальгар-аурипигментное оруденение с антимонитом. Характерно, что в глубоких термальных источниках, выходящих в пониженных участках термального поля, как и в термальных озерах хлоридно-натриевого состава, сульфиды мышьяка выстилают стенки грифонов и осаждаются на дне. В то же время щелочные источники, изолированные от грунтовых вод капалами (например, окрепелые стволы гейзеров и пульсирующих источников), всегда чистые и свободны от сульфидов мышьяка. И лишь в зоне растека раствора, т. е. при смешении глубоких и поверхностных, окисленных, вод наблюдается образование аурипигмента или скородита.

Следует заметить, что осадок сульфидов остается на месте образования лишь в том случае, если смешение произошло в спокойной обстановке, скажем, на илистом дне озера, грифона или в самом приповерхностном горизонте. При встрече же с крупным водотоком, как и на поверхности, подверженной смыву, минеральные осадки не накапливаются, а уносятся водными потоками. Происходит рассеивание рудного вещества. В связи с этим для накопления рудного вещества, по нашему мнению, наиболее благоприятны зоны сравнительно рыхлых или обильно трещиноватых пород, находящихся на уровне грунтовых вод; крупные плоскодонные впадины с многочисленными выходами термальных растворов и водами поверхностного формирования. Необходимым условием накопления мощного рудоносного горизонта с ясно выраженной горизонтальной слоистостью является параллельное с образованием осадков захоронение рудного вещества мелкообломочным терригенным материалом.

УЗОН — ПОЛИГОН ДЛЯ ТЕПЛОВОЙ АЭРОСЪЕМКИ

Когда специалисты-геотермики пришли к выводу, что горячие воды являются своеобразным полезным ископаемым, к тому же представляющим интерес с энергетических позиций, встал вопрос о разработке быстрого и эффективного метода поисков перспективных геотермальных площадей.

Выявление мощных подземных ресурсов горячих вод традиционными наземными методами геологических поисков — чрезвычайно трудоемкий и длительный процесс. Представьте себе, сколько километров должны проходить геологи, чтобы обнаружить иногда неяркие, прячущиеся в зарослях трав или в болотах, горячие источники. Нередко выходы горячих вод приурочены к речным долинам, а иногда и вообще скрыты в руслах рек и ручьев. Нужно постоянно измерять температуру встречающихся водотоков, чтобы отыскать тепловую аномалию. Однако источники горячих вод не всегда указывают на месторождение кипятка. Чтобы выявить истинную ценность и запасы этого полезного ископаемого, нужны кропотливые гидрохимические и геотермические исследования. Как правило, эти работы начинаются составлением на базе геодезической съемки детальной термометрической карты. Это очень тяжелый труд — ведь в зависимости от поставленных задач необходимо сначала пробить или пробурить в земле по определенной сетке сотни шпуров глубиной до 1 м и в каждом измерить температуру. На выявленных таким способом перспективных участках затем бурятся глубокие скважины. Но успеха во всех случаях гарантировать нельзя — вода, в особенности горячая, очень подвижна и может далеко мигрировать от места своей концентрации. Нужны большие объемы разведочных работ, чтобы разобраться в геологической ситуации и очертить действительно перспективные участки. На все это уходит очень много времени. Например, первый этап разведки уже известного ученым Паужетского месторождения гидротермы для строительства геотермальной электростанции занял 8 лет. Поиски и разведка перспективных участков в Паужетском районе фактически продолжаются уже более 20 лет. На Узоне только для картирования выходов термальных объектов и составления термометрической карты традиционным методом наземной съемки понадобилось два года.

Конечно, такая скорость получения необходимой информации уже не удовлетворяет специалистов. И ученые нашли более эффективный способ картирования термальных районов. Им оказалась инфракрасная, или тепловая, аэросъемка. Действительно, ведь основным признаком геотермальных площадей является более высокая, чем в нормальных условиях, температура аномальных объектов.

Современная отечественная летняя аппаратура в состоянии регистрировать тепловое излучение ландшафта в спектральных интервалах 1,8—5,3 и 7,5—14 мкм с высоты до нескольких километров. Таким образом, скорость обследования геотермальных площадей возрастает во много раз. Аппаратура для инфракрасной съемки может фиксировать температурные контрасты земной поверхности с точностью до десятых долей градуса. Причем наблюдается возможность хорошего сопоставления инфракрасной и аэрофотосъемок близкого масштаба.

В Советском Союзе первые испытательные работы с ИК-аппаратурой на термальных объектах были проведены в 1967 г. И первым опытным полигоном гидротермальной системы стала кальдера Узон. Она оказалась наиболее удобным объектом как в силу уникально концентрированного выхода термальных вод, так и в связи с большим разнообразием типов термопроявлений, идентифицировать которые предполагалось с помощью нового метода. Инфракрасная аэросъемка на Узоне проводилась в сентябре с высоты 600—800 м. Были получены ИК-изображения ландшафта местности в масштабе 1 : 18 000. Одновременно выполнялась стандартная аэрофотосъемка того же масштаба для совместного дешифрирования. Уже первые результаты оказались поразительными. Обнаружилось большое контурное сходство обоих полученных планов. В то же время на инфракрасном плане отчетливо выделились группы изображений изометричной и неправильной формы, отличающиеся степенью яркости. Детальное дешифрирование позволило руководителю работ Н. А. Гусеву и его сотрудникам уверенно выделить по степени яркости изображения и его конфигурации шесть типов термопроявлений: 1) гейзеры и фумаролы, 2) горячие и теплые источники, 3) теплые речки, 4) глиняные вулканчики и грязевые котлы, 5) тепловые озера, 6) термальные площадки, не имеющие видимых выходов горячих или теплых вод.

Первый тип имеет самую высокую яркостную характеристику, отражающую высокую температуру (около 100°С и выше) на выходе гейзеров и газопаровых струй. В зависимости от температуры горячие и теплые источники имеют широкий спектр яркости, но дешифрирование их облегчается специфической конфигурацией таких объектов. Они всегда имеют удлиненную форму, хорошо повторяющую русло потока. Обычно значитель-

ную протяженность и ширину аномалий имеют и теплые речки. Заметим, что на аэрофотоснимках теплые речки не отличаются от холодных. Поэтому при поисках термальных площадей ИК-съемка становится единственным методом, позволяющим определить аномальные по температуре водотоки, даже если их температура отличается от фоновой всего на первые градусы.

В виде отдельных точек или группы их высокой яркости дешифрируются глиняные вулканчики и грязевые котлы, имеющие сравнительно небольшие размеры, но высокую температуру. Наиболее просто дешифрируемыми объектами оказались теплые озера. Благодаря своим значительным размерам и объему теплой воды на инфракрасных снимках они выделяются площадными аномалиями яркости. Кстати, благодаря инфракрасной съемке в термальных озерах удалось выявить зоны притоков высокотемпературных терм, находящихся под водой. В этих случаях на более или менее однородном по яркости фоне выходы термальных вод из-за повышенной температуры фиксируются четкими, более яркими точками. По серии точечных выходов, расположенных на одной линии, появилась возможность выявлять зоны мелких тектонических нарушений. Общая ориентировка выходов термальных объектов позволяет судить о более крупных структурно-тектонических элементах геотермальных месторождений.

Несколько хуже дешифрируются термальные площадки, не имеющие открытых выходов термальных источников. Тем не менее по ряду косвенных признаков (обильное развитие растительности на более теплых почвах, более резкий контраст яркости с фоном на дневных и ночных снимках) и эти объекты поддаются дешифрированию. Главным положительным качеством инфракрасной съемки является возможность практически мгновенно получить тепловую карту поверхности и исключительно быстро добыть важную информацию о выборе оптимальных объектов для постановки более детальных исследований.

Как видим, Узонский полигон оправдал прогнозы исследователей, и методические разработки, проведенные на его термальных объектах, будут широко использоваться в геологоразведочных работах.

Когда мы говорим о тепловой мощности Узона, это ни в коем случае не предполагает утилитарного ее использования. Узон — земля заповедная. Она входит в территорию Кроноцкого государственного заповедника, созданного с целью охраны редких зверей и растительности на Камчатке. Узон сам по себе является уникальным объектом. А уникальность его связана с горячими водами и исключительно благоприятными гидрогеологическими условиями их выхода на поверхность. Узонская кальдера оказалась почти идеально замкнутой структурой, очень удобной для накопления подземных вод. Впадина заполнена водопроницаемыми озерными образованиями — туфами, гравелитами, зажатыми в блоке из менее проницаемых базальтов. Обильные атмосферные осадки (порядка 3000 мм в год); благоприятный режим накопления запасов грунтовых вод (по бортам кальдеры снег лежит 8—9 месяцев в году); крупное озеро (Центральное), хорошо регулирующее сток (на реку Шумной, вытекающей из озера, не бывает паводков); интенсивная тектоническая дробленость пород — все это способствовало тому, что в недрах Узонской структуры сформировалась сложная водонапорная система, состоящая из гидравлически связанных горизонтов грунтовых, артезианских и трещинных вод. Большую долю в составе выходящих на термальном поле горячих растворов занимают поверхностные инфильтрационные воды, участвующие в круговороте воды. Тем не менее, благодаря пространственному совмещению в плане зоны нагрева и подтока глубинных эманаций с зоной разгрузки горячих вод, на Узоне по трещинным зонам выходят растворы, наиболее богатые веществом магматического происхождения.

Именно здесь гидрохимики обнаружили полный спектр гидрохимических типов растворов — от существенно хло-

ридно-патриевых до углекисло-сульфатных и даже углекислых вод типа парзана.

Минералогии продуктивно изучают на Узоне условия кристаллизации сульфидов многих элементов. Получены исключительно интересные материалы по условиям формирования гидротермальных глин — каолинита и монтмориллонита, считавшихся ранее только продуктами химического выветривания пород. Геологи-рудники изучают здесь процессы, приводящие к накоплению рудного вещества. Нефтяники, как уже говорилось выше, также обнаружили на Узоне факты, проливающие свет на происхождение нефти.

Помимо геологических задач, много интересного на Узоне для специалистов самого разного профиля: орнитологов, дендрологов, бальнеологов, микробиологов и т. д.

МИКРОКЛИМАТ И АБОРИГЕНЫ УЗОНА

Географическое положение Узонской впадины, расположение всего в 40 км от океана, в поясе умеренных широт, а также рельеф местности определили климат и характер растительного мира. В целом прибрежная зона характеризуется морским климатом. Лето здесь влажное и умеренно прохладное, самый теплый месяц — август. Осень обычно начинается с сухой малооблачной погоды. Заморозки отмечаются в первой декаде октября, а с середины месяца дуют сильные ветры. Снег ложится в конце октября — начале ноября и удерживается до июля. Зимой, особенно в январе-феврале, часты циклоны, метели.

Наиболее холодная погода устанавливается в феврале, когда мороз достигает -20°C . Зафиксированы понижения температуры до -38°C .

Следует сказать, что замкнутое положение структуры кальдеры, с обилием атмосферных осадков и высокой влажностью за счет интенсивного испарения горячих вод, создает здесь своеобразный микроклимат. Зимой на Узоне низкие температуры бывают чаще, чем на побережье. В то же время летом намного теплее и больше солнечных дней.

Непосредственно у термального поля, где почва всегда прогрета и не покрывается снегом, трава и зеленые мхи растут круглый год. Это обстоятельство при-

влекает сюда массу птиц и мелких животных. Влияние горячих источников сказывается и в том, что в кальдере не наблюдается резкой высотной зональности развития растительности, свойственной всем горным местностям. Здесь фактически на одном гипсометрическом уровне совместились четыре растительные зоны: каменноберезовых лесов с высокотравьем, болот с редкостойными каменными березами вдоль ручьев, кедрового стланика с островками горных лугов, горных тундр.

На Уаоне хорошо заметна особенность пропарастания камчатских березяков — парковость. Здесь нет сплошных лесных массивов. Отдельные группы деревьев, иногда рошницы, растут на невысоких холмах, вокруг крупных озер (фото 25—27). Любопытно, что в каменноберезовом лесу нет развитого подлеска. Вместо него здесь обильно растут всевозможные травы, достигающие 1,5—2 м высоты. Особенным гигантизмом отличается шеламайник, образующий, например, у Фумарольного озера труднопроходимые заросли высотой до 3 м. Нередка встречаются заросли кустарниковой рябины с крупными, сочными, съедобными ягодами оранжево-красного цвета.

На каменистых склонах невысоких горок, как, например, по бортам озера Дальнего, горы Белой и др., густые заросли ольховника перемежаются с участками кедрового стланика. Заросли кедрового стланика настолько труднопроходимы, что даже медведи не могут их преодолеть. Большие пространства на Уаоне заняты сухой тундрой. На невысоких кочках, покрытых мхом, обильно растут тонкие низкие кустики голубики, ярко-зеленые веточки шикши. В пору цветения тундра превращается в замечательный красочный ковер, вытканый цветами всевозможных оттенков. Там, где тундра подходит к каменистым склонам, встречаются нечпозеленые кустики рододендрона с золотисто-желтыми цветами. На пойменных лугах белеют гололки пушицы, полыхают оранжевыми цветами пазычные лилии-саранки, горделиво возвышаются над травой многоярусные пурпурные соцветия кипрея. Встречаются фиолетовые прысы. Берега горячих ручьев и прогретые бугры на термальном поле обычно густо зарастают осокой, корни которой выдерживают температуру до 40° С.

Богат и животный мир Уаона. Вольготно здесь живет бурый медведь, они считаются одними из самых крупных в мире — вес отдельных экземпляров достигает

700 кг. Туристы балуют животных сладостями, и добродушные звери часто становятся настоящими вымогателями, карауля на пешеходной тропе очередную группу или настойчиво околачиваясь возле костра. Очень редко, но случается, что такие полуприрученные медведи становятся опасными. Из крупных зверей на Узоне водятся также волки, россомахи. Периодически из соседнего Голубого дола сюда забегают олени. В скалах Узона водятся снежные бараны. Постоянно живут в кальдере огненнорыжие лисицы, зайцы, горностап, из мелких грызунов — мыши-полевки, лемминги, евражки.

Обильный корм на постоянно зеленеющих термальных лужайках и термофильные водоросли привлекают в кальдере массу всевозможных птиц. Здесь постоянно обитают кулочки, утки-чирки, хохлатая черныш, трясогузки, куропатки. В лесу обитают черная воропа, сорока, дятел, кедровка, ястребиная сова, ястреб-тетеревятник, кукушка.

Круглогодичные наблюдения за жизнью пернатых, проведенные сотрудником Кроноцкого государственного заповедника А. Стенченко, позволили выявить некоторые интересные аномалии их поведения. Так, например, на термальных площадках гнездование многих птиц начинается на две-три недели раньше нормы. Наблюдаются заметные аномалии в яйценосности. Нарушаются циклы насиживания кладок (инкубация яиц идет за счет подземного тепла). Птенцы растут гораздо быстрее, чем при тепловой аномалии. Кроме того, период гнездования затягивается до глубокой осени, и птицы успевают произвести два потомства в год. А. Стенченко предполагает, что благодаря гигантскому травостой на Узоне существуют особые экологические адаптации к внешней среде, а также, возможно, присутствуют стимуляторы роста в виде канцерогенных агентов или других биологически активных веществ.

Весной и осенью перелетные птицы часто останавливаются на Узоне для отдыха, нередко пережидают здесь непогоду. По-видимому, это обстоятельство можно использовать для отлова и кольцевания трапантих птиц с целью изучения их трансконтинентальных маршрутов.

В какое бы время года ни приходилось бывать на Узоне, всегда можно увидеть здесь белых лебедей (фото 28). Трудно сказать, постоянные ли это жители Узона или каждый год здесь остаются новые пары, но то, что для некоторых из них Узон — родина, несомненно.

В летнее время в верховьях реки Шумпой и на Центральном озере обычно живут две-три пары лебедей-кликунов. В декабре 1973 г. на льду Центрального озера, у истока Шумной, мне довелось увидеть 15 лебедей. Среди них были и птицы серого цвета — молодые лебеди летнего выводка. Озеро замерзает полностью, но в него с севера и с северо-востока впадают холодные и теплые ручьи. Теплые несут массу сине-зеленых термофильных водорослей, по-видимому служащих лебедем пищей. В этих же ручьях, а также в верховьях пезамерзающей реки Шумной птицы ночуют. Врагами их здесь могут быть только лисы. Ранним зимним утром, когда здесь над землей стоит густой туман, мне не раз приходилось слышать тревожные клики лебедей со стороны Центрального озера. Следы на снегу показывали, что рыжая плутовка близко подбиралась к ночевке птиц, но охота, вероятно, редко удавалась — мне ни разу не приходилось видеть раненых лебедей. Любопытно, что днем они обычно находятся на обширном ледовом поле озера, вблизи широких ручьев, так что подкрасться к ним пезаметно практически пезвозможно. Обычными маршрутами местных перелетов лебедей являются верховья реки Шумпой и озера Дальнего. Здесь в изобилии водится голец. Но озеро Дальнее зимой полностью покрывается льдом, кормиться на нем пезвозможно, и тем не менее лебеди по несколько раз в день летают на это озеро. А вот на Фумарольное озеро, расположенное почти рядом с Центральным, они не залетают никогда. Это озеро названо Фумарольным из-за того, что, по представлениям некоторых вулканологов, оно образовалось на месте когда-то мощной фумаролы.

По периферии озера, особенно в его восточной и северо-восточной частях, наблюдаются многочисленные выходы горячих вод и газов с температурой до 90° С. Фумарольное озеро никогда не замораживает, но вода в нем имеет высокую минерализацию и кислую реакцию (вспомним, что дождевая вода обладает щелочной реакцией). В озере нет никакой живности, вода содержит много растворенного сероводорода, поэтому, видимо, лебеди и облетают стороной этот крупный водоем.

А озеро Дальнее лебеди посещают охотно. Это озеро находится в северо-восточной части кальдеры. Почти идеально круглое, диаметром около 1 км, озеро возникло в кратере молодой воронки взрыва — маара. Берега

окружены кольцевым валом высотой 60—100 м, сложенным из туфов, шлаков и лавы базальта. Северный склон более крутой, здесь часто происходят обвалы, осыпи, поэтому он не залесен. На расстоянии около 150 м не растут даже кустарники. Узкий, не более 10 м, пляж завален крупными глыбами базальта. В 10 м от берега глубина не превышает 1,0—1,5 м. Дно местами поросло зелеными водорослями. В северо-восточной стороне у берега замечены редкие выходы пузырьков газа. Возможно, это фотосинтезирующий кислород с покрова водорослей. Кроме северного внутреннего склона, борта озера обильно залесены. Особенно густо заросли ольшаником, кедром и редким, но довольно высокими березами западный и южный берега. Ольшаник спускается прямо к пляжу. На западной стороне озера пляж мелкогравийный, с редкими глыбами пористых шлаков и массивных базальтов. Здесь он тоже узкий, не более 5—8 м. В северо-западном секторе на протяжении около 200 м пляж завален глыбами базальтов размером до 0,5 м, скатившимися с отвесной кромки базальтового карниза, впечатляющего структуру. На остальных участках озера пляж гравийно-галечниковый. На крайнем востоке в озеро впадают два крупных ручья, и пляж здесь расширяется до 100 м. Ручьи выносят с верховьев мелкие, до 3 см, обломки белой пемзы, которая заметно осветляет поверхность пляжа. Оба ручья к концу августа высыхают, хотя северный функционирует несколько дольше. В конце октября обычно замечается спад воды в озере, максимальное понижение уровня воды достигает 0,8 м. На восточном берегу осушается до 10 м пляжа.

В августе 1979 г. озеро было обследовано аквалангистами. Почти повсеместно удалось осмотреть дно озера, промерить глубины по профилям, отобрать донные пробы ила и грунта. Оказалось, что озеро имеет классический корытообразный профиль с почти симметричной формой. Причем центральная часть озера круто вогнута со дна, с глубины 25 м, и имеет профиль, аналогичный прибреговому, т. е. у берега озера и центрального островка, на протяжении 5—30 м тянется кромка мелководья глубиной не более 1,4—2 м. Далее идет уступ, имеющий угол порядка 40—45° и опускающийся на глубину 22 м. Вокруг острова тянется шельфовая зона. В 10 м от него на дне развит толстый ил зеленовато-серого цвета. На глубине 3 м с западной стороны на дне встречаются

пятна водорослей темно-зеленого, буроватого цвета. С северной стороны на почти плоском дне на глубине 20—25 м развита толща пла буроватого цвета мощностью не менее 0,4 м. На нем растут единичные кустики красных водорослей длиной не более 1,5 см. На глубине 5—20 м изредка попадаются крупные особи гольца.

По-видимому, икру рыб занесли в озеро на лапках утки и лебеди с реки Шумной. Но вот то, что голец в холодном замерзающем озере вырастает до таких крупных размеров, несомненно, можно назвать своеобразным биологическим феноменом. Вероятно, в озере постоянно имеется достаточное количество придонных микроорганизмов, обеспечивающих круглогодичное питание рыбы. Пористые, трещиноватые вулканические породы, слагающие дно и борта озера, служат отличными водопроводными магистралями грунтовых вод.

В валунино-галечном грунте дна постоянно бьют холодные родники, поставляющие кислород. Этим, по-видимому, и объясняется отсутствие зимнего замора рыбы на озере.

ЖИЗНЬ В КИПЯТКЕ

Даже при беглом взгляде на горячие ручейки источников Узона и соседней с ним Долины Гейзеров бросается в глаза травяно-зеленый цвет их русел и растекающегося шлейфа воды. В Долине Гейзеров один из красивейших гейзеров получил название Малахитовый. Зеленый цвет камней объясняется обильным развитием здесь так называемых термофильных водорослей. Родственники обычных сине-зеленых, широко распространенных во всех морях и океанах, термофильные сине-зеленые водоросли могут жить при температуре до 65° С. Их колонии в зависимости от скорости протекания горячей воды представляют собой образования либо плотные темно-зеленого цвета, либо нитчатые, ветвящиеся светло-зеленого цвета, вытянутые по течению и прикрепленные к береговым камням. Окраска зависит от толщины массы водорослей. Подмечено, что их особенно много в источниках, где присутствует аммиак. Плотные сплетения тончайших коротких нитей этих водорослей образуют иногда в обширных и бессточных выходах горячих вод или на шлейфе их растека мощные плащеобразные покровы. Жирные на ощупь, они привлекают к себе массу всевозможных насе-

комых-мушек, которые буквально кишат на поверхности водорослей в прибрежной более охлажденной зоне горячих ручьев. В свою очередь эта живность привлекает к себе мелких птиц — трясогузок, куличков, бесстрашно порхающих в клубах пара и кормящихся в непосредственной близости от кипятка.

В источниках с температурой вплоть до 95° С микробиологи обнаружили удивительные микроорганизмы, играющие большую роль в преобразовании серы.

Было замечено, что в термальных водах бессточных и малодебитных источников, а также грязевых котлов содержание иона SO_4^{2-} всегда выше, чем в водах высокодебитных источников или в пробах воды, отобранных из скважин. Чем это объясняется? Сульфат-ион может образовываться как за счет окисления сульфидов металлов, оказавшихся в районе выхода горячих вод, так и вследствие окисления серы. Было высказано предположение, что высокое содержание сульфат-иона и как результат этого кислая реакция таких растворов обуславливается наличием окислов серы в виде SO_2 или SO_3 в составе газов, обильно выделяющихся в источниках. Однако последнее предположение отпало, как только проанализировали состав спонтанных газов. Во всех случаях он включал в себя сероводород. Одновременное же нахождение такого сильного восстановителя, как H_2S , и сильного окислителя, как SO_2 , с химических позиций не представляется возможным.

Следовательно, наиболее вероятным путем увеличения сульфат-иона в растворе может быть механизм окисления сульфидной серы до элементарной и далее до сульфатной. Но такое окисление при температуре до 100° С должно происходить в присутствии органического вещества. Тщательные наблюдения непосредственно на термальных источниках позволили обнаружить эти органические вещества.

Еще в 1933 г. японский микробиолог Эмото обнаружил и выделил из кислых ручьев с pH от 1,0 до 6,9 три вида термофильных типовых бактерий: *Thiobacillus thermanus*, *Thiobacillus crenatus* и *Thiobacillus lobatus*. Эти бактерии развивались в источниках с температурой до 80° С. Эмото высказал предположение, что кислая реакция воды горячих источников, возможно, обусловлена в значительной мере биологическим окислением молекулярной серы до серной кислоты. Советский микробиолог

С. И. Кузнецов, исследуя пробы воды и осадков из сероводородных источников, отобранных на термальном поле в верховьях реки Гейзерной и на Западном термальном поле Узона, обнаружил другой вид термофильных тиоловых бактерий — *Thiobacillus thiooxidans*. Во всех случаях в грифонах термальных источников рН был 1,8—2,0 и на поверхности воды плавала пена, состоящая из светло-серой коллоидной серы. В то же время на Узоне наблюдаются многочисленные высокотемпературные термальные источники, в которых вода имеет близонейтральную реакцию, а в руслах обильно отлагаются кристаллы самородной серы.

Такие выходы термальных вод хорошо просматриваются благодаря наличию осадков черного цвета непосредственно на истоке и белого цвета по всему руслу. Осадок черного цвета — это сульфиды железа пирит и марказит. А белый цвет осадка обусловлен интенсивным развитием еще одной формы бактерий *Thermotrix thioparus*, на тонких космообразных колониях которых отлагаются кристаллики серы (фото 29). Любопытно, что в таких источниках в составе спонтанных газов сероводорода еще больше, чем в описанных выше, а водорода, как правило, на 1—2 порядка меньше (см. табл. 1, грифон с колонией белых бактерий). Причем по мере удаления от истока в воде наблюдается закономерное уменьшение сульфат-иона. Возникло предположение, что в таких источниках имеет место биогенное происхождение сероводорода за счет деятельности десульфуризирующих бактерий. Опыты, проведенные в Институте микробиологии АН СССР с пробамн воды, отобранными на Камчатке, полностью подтвердили это. Характерно, что десульфуризирующие бактерии на восстановление сульфатов использовали не органическое вещество, а водород. Эти термофильные бактерии живут при температуре до 90°С и отнесены С. И. Кузнецовым к виду *Vibrio thermodesulfuricans*.

Таким образом, даже на одном источнике могут развиваться несколько видов термофильных бактерий разных «специальностей». Одни, например *Vibrio thermodesulfuricans*, непосредственно на истоке, при наличии в газах водорода восстанавливают сульфатную серу до сульфидной; другие, например *Thermotrix thioparus*, развиваясь чуть ниже по течению, окисляют сульфидную серу до серы элементарной, которая и оседает на колониях бактерий.

Описанные явления убедительно показывают огромную роль микроорганизмов, живущих в горячих водах. На Узле часто можно видеть обнажения пестроцветных, от охристо-рыжих до серых и голубых глин. Они возникли за счет переработки горных пород кислыми растворами. А в образовании кислых растворов, как мы уже выше отметили, вложили свой труд тионовые бактерии.

В последнее время бактерии находят самое удивительное применение непосредственно в промышленности. Так, уже обнаружены термофильные бактерии, окисляющие сульфиды никеля, цинка, меди. Причем процесс идет очень быстро, что открывает возможность колоссального удешевления технологии плавки металлов из руд.

Возможно, именно на термальных полях Узла ученые-микробиологи обнаружат виды бактерий, «специализированные» на других металлах.

ОЗЕРО ЦЕНТРАЛЬНОЕ

Это самое крупное холодное озеро в кальдере. В него впадает около 10 ручьев, три из которых в своих истоках несут горячую воду. Тем не менее температура озера летом не превышает 15°C на поверхности, а зимой озеро почти полностью замерзает. Остаются только полыньи вдоль потоков впадающих в озеро теплых и быстрых ручьев. По-видимому, большой вклад в водный баланс озера вносят окружающие его болотистые пазухи.

Центральное озеро имеет глубину от 0,5 до 1,5 м. С северного берега до середины озера дно медленно углубляется от 0,2 до 0,6 м. Затем на протяжении около 100 м происходит углубление до 1,5—2 м, и в 200—250 м от южного берега зафиксирована максимальная глубина 2,2 м. У самого южного берега, с расстояния 15—20 м, дно резко поднимается. У берега отмечены высокие заросли зеленых водорослей. Дно очень вязкое, с тиной серого цвета, и лишь напротив устья ручья Веселого отмечается тонкий слой песка. На глубине встречаются своеобразные водоросли светло-красного цвета. Предполагается наличие на них тонкого осадка коллоидных гидроокислов железа, при встряхивании осадок слетает, и водоросли приобретают светло-зеленый цвет.

Вода в озере мутная, много взвеси бурого цвета, сформировавшей осадок мощностью не менее 0,5 м. При взму-

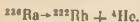
чивании осадка образуется облако ила черного цвета. В озере обитают жучки коричнево-черного цвета, улитки и небольшие гольцы. Из озера вытекает река Шумная.

РАДОНОВЫЕ ВАННЫ

При комплексном изучении термоявлений в кальдере Узон, естественно, термальные источники были обследованы и на содержание в них радиоактивных элементов. Большую работу в этом направлении провел научный сотрудник Института вулканологии ДВНЦ АН СССР А. М. Чирков. В 1969 г. им была выполнена серия измерений концентрации радона в спонтанных газах горячих источников, грязевых котлов и теплых озер Узона. В последующие годы были проведены режимные определения содержания радона в реперных точках, а также фоновые содержания радона в воздухе и почвах Узона. Для измерения радиоактивности газов термальных источников использовался радиометр РКБ4-1ем, позволяющий определять объемную альфа-активность с точностью до $0,5 \cdot 10^{-10}$ Ки/л. Конструкция детектора радиометра РКБ4-1ем обеспечивает отбор жидких и сыпучих проб, что дает возможность определять суммарную радиоактивность проб воды из термальных источников и грунта термальных полей. Радиоактивность воздуха измерялась аманометром «Альфа» с точностью до $0,5 \cdot 10^{-11}$ Ки/л. Отбор проб воздуха на термальных полях производился на высоте 1 м от поверхности исследуемого объекта. Работами А. М. Чиркова было установлено, что в кальдере фиксируются четыре аномальные зоны, приуроченные к первому, второму и третьему участкам Восточного термального поля и к району Фумарольного озера. Обнаружилось, что контуры температурных и радоновых аномальных зон имеют большое сходство. Кроме того, выявилась четкая приуроченность как более высокотемпературных, так и наиболее высокорадоновых участков к линейным зонам тектонических нарушений. Было замечено также увеличение радиоактивности спонтанных газов в участках пересечения трещинных зон северо-западного и северо-восточного простирания. Эти наблюдения позволили предположить, что поступление как высокотемпературного теплоносителя, так и радона происходит по одним и тем же каналам, которыми являются, скорее всего, тектонические трещины. По ним же к поверхности

Земли поднимаются и высокоминерализованные термальные воды хлоридно-натриевого состава. С удалением в стороны от трещин уменьшается и радиоактивность, и общая минерализация, и температура растворов источников.

Радон — радиоактивный химический элемент с порядковым номером 86. Он имеет три природных радиоактивных изотопа, принадлежащих радиоактивным семействам урана (радон с атомным весом 222), тория (торон с атомным весом 220) и актиния (актион с атомным весом 219). Название элементу дал наиболее долгоживущий изотоп, образующийся в результате альфа-распада изотопа радия с атомным весом 226 по схеме:



Период полураспада радона равен 3,825 дня. В атмосфере обычно содержится порядка $7 \cdot 10^{-17}$ вес. % радона. При стандартных условиях ($t = 25^\circ \text{C}$, $P = 1$ атм.) радон находится в газообразном состоянии. В воде при 0°C растворяется около 0,51% (от объема воды) радона.

Своей широкой известностью радон обязан, по-видимому, применению в медицине. Радиотерапия в виде радоновых ванн пользуется большой популярностью на таких известных курортах с природными радоновыми водами, как Цхалтубо, Пятигорск на Кавказе, Белокуриха в Саяно-Алтайской области и др.

К радоновым, по классификации Е. В. Посохова и Н. И. Толстихина (1977), относятся воды, содержащие более $5 \cdot 10^{-9}$ Ки/л радона. В случаях, если достаточно высокий дебит источников позволяет принимать проточные ванны, радоновыми могут считаться и воды, где менее $5 \cdot 10^{-9}$ Ки/л радона. Целебность радоновых ванн заключается в действии радоновых излучений. Радиотерапия применяется при лечении заболеваний суставов, периферических нервов, сердечно-сосудистой системы.

На Узоне зафиксированы концентрации радона в газах термальных источников от $3,0 \cdot 10^{-9}$ до $150 \cdot 10^{-9}$ Ки/л. Обычными являются концентрации $(7-9,0) \cdot 10^{-9}$ Ки/л. На третьем участке Восточного термального поля и в районе Фумарольного озера чаще отмечаются высокие концентрации, порядка $35 \cdot 10^{-9}$ Ки/л.

Наблюдениями А. М. Чиркова установлено, что приток радона к поверхности Земли на Узоне осуществляется с газами. Сама термальные воды, лишенные газов, практически не содержат радона.

Наиболее интересным, с точки зрения приема радоновых ванн на Узоне, является горячее Банное озеро на Первом участке Восточного термального поля. В истоке ручья, вытекающего из озера, постоянно бурлит крупными газовыми пузырями глубокий грифон. купающиеся называют это место «парилкой». На дне грифона (глубина более 1,5 м) хорошо прощупывается трещина, из которой бьет струя газовой смеси с температурой не менее 70° С. Смешиваясь с большим объемом 35-градусной воды озера (в приповерхностном слое), эта струя в радиусе 3—4 м создает насыщенную газами зону с температурой 42—45° С. Основным компонентом в газовой смеси является углекислый газ. В этом грифоне в октябре 1978 г. концентрация радона достигала $5,3 \cdot 10^{-9}$ Ки/л.

УЗОНСКИЙ НАРЗАП

Узон уже познакомил нас с самыми разнообразными явлениями природы. Поэтому наличие здесь минеральных источников, сходных по ряду признаков с известными кисловодскими нарзанами, воспринимается уже как само собой разумеющееся. Действительно, даже для кавказских нарзанов общепринятым является мнение о вулканогенном происхождении насыщающего их углекислого газа. А Узон ведь сам в недавнем прошлом — активный вулкан, и, как мы помним, основным компонентом в газовом дыхании педр кальдеры является именно углекислый газ. Он поднимается по трещинкам зоны глубинного тектонического разлома и, встречая на своем пути слабоминерализованные пластовые воды, выходит вместе с ними на поверхность в виде интенсивно газифицирующих минеральных источников. Они сконцентрированы в двух местах. Один участок выходов углекислых термальных вод сосредоточен под северо-западным склоном горы Белой, в 300—350 м к западу от тропы, идущей от озера Банного к истоку реки Шумной. Здесь, у самого края болотистой павшины, простирающейся вплоть до Центрального озера, выходят несколько небольших газифицирующих источников с общим дебитом не более 1 л/с. Вода сульфатно-углекислая, магниезально-кальциево-натриевая, с общей минерализацией не более 1,3 г/л, рН 6,1 и температурой 20° С.

Вторая, гораздо большая по масштабу проявления, группа нарзанных источников была обнаружена в районе северо-восточного обрамления озера Центрального. Она

прослеживается вдоль правого берега холодного ручья Комариного, впадающего в озеро Центральное. Здесь, между невысоким холмом, поросшим рябишником и редкими березами, и руслом ручья, выходит около полутора десятков газирующих источников округлой формы. Они хорошо заметны благодаря шлейфу осадков гидроокислов железа кирпично-красного цвета, обрамляющих грифоны источников и ручейки, вытекающие из них. Вода источников имеет температуру порядка 40° С, рН 6,5. По составу — сульфатно-хлоридно-углекислая, кальцево-натриевая, с общей минерализацией темного более 1 г/л. В этих нарзанах содержится до 90—150 мг/л свободного углекислого газа. Активное выделение пузырьков углекислого газа наблюдается и в самом русле холодного ручья, на всем протяжении зоны выходов термальных источников. Видимо, термальные источники фиксируют трещину меридионального простирания, по которой заложилось и устье ручья. Общий дебит нарзанных источников второй группы едва ли превышает 5 л/с. Показательно полное отсутствие в нарзанах сероводорода и мышьяка, столь обычных для горячих источников Узона. Хотя детального бальнеологического анализа узонских нарзанов пока еще не сделано, но по степени минерализации, солевому, ионному и газовому составу, кислотности-щелочности они могут быть отнесены к минеральным водам нарзанного типа.

ПОСЛЕДНИЕ ЭКСПЕДИЦИИ НА УЗОН

Тяжелый Ми-8 завис над поляной с редкими ветвями выбивающегося из-под сугроба кедрового стланика. Снег рыхлый, глубокий, и командир вертолета решил произвести выгрузку без остановки двигателя. Операция длится несколько минут. Вот задраена дверь, мы падаем на свои тюки, ящики, прикрываем головы от снежного вихря, и огромная «стрекоза» уносится вверх. Немного огулушенные, мы поднимаемся на ноги и осматриваемся.

Мы — участники зимней экспедиции Института вулканологии — высадились почти рядом с нашим базовым домиком, который находится на берегу полузамерзающего озера Восьмерка. Еще около 5 час. вечера, а солнце уже готовится перевалить за западную гряду Узонских скал. Надо торопиться устроиваться на ночлег. Откапываем полузапесенную дверь домика. В тамбуре — поленица дров, оставшихся с прошлого заезда.

Уаонская земля — заповедная. Здесь нельзя рубить деревья. Поэтому мы привезли с собой уголь и коросин. Быстро спускаются сумерки, но у нас уже весело потрескивает огонь в печке, варится ужин, разложены спальные мешки. Завтра с утра — работа на термальном поле. Очень хочется отправиться туда немедленно. Как оно намспилось по сравнению с летним временем? Идет ли отложение рудных минералов, каковы температура и состав растворов? Вопросов много. Позволит ли только погода осуществить намеченную программу экспедиции?

Утром просыпаемся от холода. Печка прогорела, и домик изрядно выхолодился. Дежурные принимаются за приготовление завтрака, а я решил провести рекогносцировку. В рюкзак положил термометр, несколько полиэтиленовых бутылок для проб растворов и зарядку для анализа содержания сероводорода.

Еще сумеречно. В провале между горой Белой и вулканом Зубчатка прозрачные облака уже подкрашены розовым. Снежные вершины на западе блестят, а восточное обрамление кальдеры погружено в фиолетовый сумрак.

Но вот откуда-то с запада налетел резкий порыв ветра. Крутящиеся смерчи то здесь, то там взвихривают снег и уносят вверх фонтанчики снежной пыли и мелкие ледяные крошки. Однако порыв ветра длится минуту-две.

Уже искрятся ледяные пики западной части кальдеры. Черные отвесные базальтовые скалы резко контрастируют с заснеженными ложбинами. На востоке льдистые облака становятся поадреватыми, тают в холодной голубизне, и небо постепенно становится аквамаринным.

Из-за южного борта горы Белой поднимается солнце. Еще минуту назад были видны его длинные тонкие лучи, а сейчас оно висит над вершиной, как раскаленный шар, и слепит немилосердно. Гора Белая стала совсем черной, а Уаон, наоборот, ослепительно белым. Даже черные базальты стали светлей. Солнечная дорожка прорезала гладь Хлоридного озера, поверхность которого блестит, как каток. Несмотря на мороз, вода в озере 19° С.

Спускаюсь на термальное поле, где предстоит интересная работа.

Следующая наша поездка на Уаон — во второй половине мая. Мы снова летим. Вертолет медленно перепосит нас через многочисленные распадки, речки, вулканы.

После горного массива «Жупановские востряки» снег стал заметно темнее. Значит, Карымский вулкан работал

этой зимой очень активно. Его пепел разнесся на юг не менее чем на 30 км. Зеленью отсвечивает Карымское озеро — уже началось подтаивание льда. Делаем посадку в районе Карымского вулкана. На северо-западной стороне вьются дымки над небольшим потоком остывающей лавы. Наш прилет вулкан отмечает серией газопепловых выбросов на высоту 200—300 м.

В районе группы вулканов массива Большой Семьячки снег снова ослепительно белый. Проходим Голубой Дол — многочисленные блюдца озер с зеленовато-голубым льдом тянутся до самой бровки кальдеры Узона. Вертолет делает вращение вправо и входит в кальдеру. Сразу запахло сероводородом. Вот они узонские горячие источники! В обрывах Байного и других теплых озер хорошо виден мощный (4—5 м) снеговой покров. Громадные обледенелые козырьки свисают над горячими грифодами. Лед и кипиток — совсем рядом.

Склоны кальдеры выножились и превратились в отличные трассы для горполыжников. Повсюду на снегу — сложные узоры звериных следов. Больше всего заячьих. Беляки переживают в это время брачную пору, часто режутся на лужайках и, кажется, полностью игнорируют опасность. Впрочем, опасны для них здесь только лисица и соболь. Всегда в одном и том же месте встречается тропа росوماхи. Она живет в районе озера Дальнего и рано утром обегает кальдеру по периметру. Нам попался этот толстошерстый зверь, похожий на приземистого медведя. Однако всякий раз метров за 100—150 росوماха успевала нас учуять и убегала. У кустиков ольхи и около березок — масса следов куропаток (фото 30). Сейчас их главная пища — едва оживающие почки березы и ольхи. Удивительно, но на Узоне тундровые куропатки зимой питаются на деревьях. Я много раз видел их сидящими высоко на березе, где они деловито, как дятлы, выбивали еще твердые почки. Ночуют куропатки в снегу, пробивая в пасте мелкие лунки. За ночь их заносит снегом. А утром, идя на термальное поле, вдруг буквально под лыжей ощущаешь взрывоподобный хлопок — это из своей лунки вырывается потревоженная куропатка. Днем же белые курочки безбоязненно подходят к нашему домику.

Природа Узона сохранила свой первоначальный облик. Сюда устремились туристы и исследователи, но работать здесь нужно очень осторожно, не забывая о своеобразии и неповторимости этих мест.

- Адуляр** — минерал состава $KAlSi_3O_8$, прозрачная разноморфность калиевого полевого шпата.
- Актинолит** — минерал состава $Ca_2(Mg, Fe)_3[Si_4O_{11}](OH)_2$, зеленоватого цвета, игольчатый, волокнистый. Практическое значение имеют вязкие плотные спутанно-волокнистые агрегаты под названием нефрит.
- Алузит** — минерал состава $KAl_3[SO_4]_2(OH)_2$, белого, серого, желтоватого и кремового цветов; синоним — квасцовый камень.
- Антимонит** — минерал, сульфид сурьмы Sb_2S_3 , от свинцово-серого до стальпо-серого цвета, кристаллы призматические, с вертикальной штриховкой граней. Блеск металлический. Непрозрачен. Основной источник сурьмы.
- Архализация** — превращение лав и других пород в глины.
- Аурипигмент** — минерал, сульфид мышьяка As_2S_3 , золотисто-желтого цвета. Блеск жирный, на плоскостях спайности перламутровый.
- Базальт** — излившаяся на поверхность (эффузивная) вулканическая порода темного цвета с невысоким (до 52%) содержанием кремнезема.
- Галлуазит** — минерал состава $Al_2Si_2O_5(OH)_4$, из семейства глинистых минералов, близок к каолиниту, от белого до синеватого и красноватого цвета.
- Гидростюда** — минерал из группы слюд состава $KAl_2(OH)_2AlSi_2O_{10}$; тонкочешуйчатые агрегаты светлого цвета.
- Гидрохлорит** — минерал, алюмосиликат магния, алюминия и железа, обогащенный водой. Характерны тонкочешуйчатые агрегаты от зеленого до черного цвета.
- Гравелит** — цементированная осадочная порода, обломки которой по своим размерам соответствуют граввию.
- Дацит** — эффузивная вулканическая порода светлого цвета, состоящая из стекловатой основной массы и мелких вкрапленных кристаллов полевых шпатов и темноцветных минералов (пироксена, роговой обманки, реже биотита). По химическому составу отличается высоким (до 70%) содержанием кремнезема.
- Десмин** — минерал из группы цеолитов состава $(Ca, Na_2)Al_2Si_4O_{14} \cdot 6H_2O$. Кристаллы пластинчатые, удлиненные, белого, желтоватого цвета.
- Друза** — шотковидная совокупность кристаллов.

- Туф** — порода вулканического происхождения, состоящая из пористого, чаще всего мелкозернистого материала.
- Фациа** — совокупность горных пород, образовавшихся в результате комплекса изменений под воздействием определенного типа растворов, при специфических условиях температуры, давления, концентрации основных компонентов растворов.
- Фумаролы** — выходы горячего вулканического газа и пара в виде струй или спокойно парящих масс из трещин или каналов на поверхности вулкана или из неостывших лавовых потоков. По составу газов различают еще серпистые фумаролы — сольфатары и углекислые — мофетты.
- Халцедон** — минерал, микрокристаллическая разновидность кварца волокнистого строения. Встречается преимущественно в виде почковидных, сферолитовых агрегатов белого, синеватого, желтого и других цветов.
- Цеолиты** — минералы, водные алюмосиликаты щелочей и щелочных земель. Чистые цеолиты бесцветны, примесями окрашены в разные цвета. Благодаря наличию определенного размера полостей в структуре каркаса цеолиты используются в качестве уникальных молекулярных сит и сорбентов.
- Щитовой вулкан** — тип вулкана, образовавшегося в результате извержения очень жидких высокоподвижных базальтовых лав. Вулканическая постройка состоит из тонких слоев лавы и ничтожно малого количества рыхлых продуктов. Характерна форма в виде пологого щита.
- Экструзия** — тип извержения, свойственный вулканам с вязкой лавой. Выражается в образовании на поверхности Земли куполообразных вулканических тел.
- Эффузивная деятельность** — извержение вулкана, характеризующееся главным образом спокойным излиянием лавы, почти не сопровождаемое взрывами.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Владеец В. И.* Вулканы Земли. М.: Наука, 1973.
- Дворов И. М.* Глубинное тепло Земли. М.: Наука, 1972.
- Дворов И. М.* Геотермальная энергетика. М.: Наука, 1976.
- Дитмар К.* Посадки и пребывание в Камчатке в 1851—1855 гг. СПб., 1901.
- Комаров В. Л.* Путешествие по Камчатке в 1908—1909 гг. Избр. соч.: В 6-ти т. М., 1950, т. 6.
- Крашенинников С. П.* Описание земли Камчатки. СПб., 1775.
- Лодис Ф. А.* Горячие источники Камчатки. Петропавловск-Камчатский: Дальневост. книжн. изд-во, 1976.
- Мархинин Е. К.* Вулканическая гипотеза. Петропавловск-Камчатский: Дальневост. книжн. изд-во, 1967.
- Мархинин Е. К.* Плутон — создатель. М.: Знание, 1971.
- Набоко С. И.* Гейзеры Камчатки.— Тр. Лаб. вулканол., 1954, вып. 8.
- Новограбленов П. Т.* Горячие ключи Камчатки.— Зап. Рус. геогр. о-ва, 1931, т. 13, вып. 5—6.
- Пийп В. Я.* Термальные ключи Камчатки. М.: Изд-во АН СССР, 1937.
- Пузанов Ю. М., Бобров В. А., Дучков А. Д.* Радиоактивные элементы и тепловой поток земной коры полуострова Камчатка. Новосибирск: Наука, 1977.
- Романов Н. Е.* Целебные силы природы. М.: Знание, 1969.
- Рудич К. Н.* Камешные факелы Камчатки. Новосибирск: Наука, 1974.
- Святловский А. Е.* К вулканам Камчатки. М.: Географгиз, 1960.
- Святловский А. Е.* Геотермальный проект — вулканический очаг. М.: Знание, 1973.
- Семенов В. И.* В краю вулканов и гейзеров. М.: Физкультура и спорт, 1973.

СОДЕРЖАНИЕ

Камчатка — страна вулканов и горячих источников	3
Узон — вулкан и депрессия	9
Первые экспедиции на Узон	9
Геология Узона	11
Кальдера вулкана	14
Восточное термальное поле	15
«Поющая сковородка» и вулканы-нарники	20
Озеро Восьмерка	27
Оранжевое поле	28
Северное термальное поле	32
Фумарольное озеро	33
Западное термальное поле	35
Гора Белая	38
Узон — природная лаборатория	41
Могут ли расти камни	42
Перерождение горных пород	44
Вода в порах горных пород	47
Гула, образующаяся на глазах	50
Зеленоватые камешки	52
Много ли руды на Узоне	53
Самая молодая нефть Земли	54
Горячая вода — интересный рассказчик	56
Металлы в горячих водах	59
Газовое дыхание недр Узона	62
Когда появлялись горячие источники Узона?	67
Много ли тепла в кальдере	67
Модель образования руды	69
Узон — полигон для тепловой аэрофотосъемки	71
Узон — земля заповедная	75
Микроклимат и аборигены Узона	76
Щавль в кипятке	81
Озеро Центральное	84
Радиевые вапны	85
Узонский парзан	87
Последние экспедиции на Узон	88
Геологические термины	91
Рекомендуемая литература	95





**ИЗДАТЕЛЬСТВО
«НАУКА»
ГОТОВИТСЯ
К ПЕЧАТИ
КНИГА:**

**Серебрянный Л. Р. ДРЕВНЕЕ
ОЛЕДЕНЕНИЕ И ЖИЗНЬ. 10 л.
35 к.**

В центре внимания предлагаемой книги — новейшая история эволюции биосферы, охватывающая четвертичный период. Систематизация существующих представлений о природе этого периода и, в частности, о покровных оледенениях, позволяет по-новому взглянуть на процессы развития органического мира. На примере наиболее изученного последнего оледенения Земли дана картина изменения природных зон в пространстве и времени.

Книга рассчитана на широкий круг читателей.

Заказы просим направлять по адресу: МОСКВА В-164, Мичуринский проспект 12, магазин «Книга — почтой»

Центральной конторы «Академкнига»: ЛЕНИНГРАД П-110, Петрозаводская ул., 7, магазин «Книга почтой» Северо-Западной конторы «Академкнига» или в ближайший магазин «Академкнига».

Адреса магазинов «Академкнига»:

480191 Арча-Атн, ул. Ферманова, 91/97;
370005 Баку, ул. Джалалидзе, 13;
320005 Днепродзержинск, проспект Гагарина, 24; 734001 Душанбе, проспект Ленина, 95; 375009 Ереван, ул. Туманяна, 31; 644033 Иркутск 33, ул. Лермонтова, 303; 252030 Киев, ул. Ленина, 42; 277012 Кишинев, ул. Пушкина, 31; 443002 Куйбышев, проспект Ленина, 2; 192104 Ленинград Д-120, Литовский проспект, 57; 199164 Ленинград, Менделеевский динив, 1; 199004 Ленинград, 9 линия, 16; 107009 Москва, ул. Горького, 8; 117312 Москва, ул. Вавилова, 55-7; 630076 Новосибирск, Красный проспект, 51; 630090 Новосибирск, Академгородок, Морской проспект, 22; 700029 Ташкент, Д-29, ул. Ленина, 73; 700100 Ташкент, ул. Шота Руставели, 43; 634050 Томск, наб. реки Ушайки, 18; 450075 Уфа, Коммунистическая ул., 49; 450075 Уфа, проспект Октября, 129; 720001 Фрунзе, бульвар Дзержинского, 42; 310003 Харьков, Уфимский пер., 46.