

Результаты научных исследований

УДК 55.23(571.66)

ХОДУТКИНСКИЕ ТЕРМАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

© 2003 **Е.А. Вакин**

Институт вулканической геологии и геохимии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006.

Рассмотрены геологическая обстановка, гидрогеология, химический состав и особенности строения Ходуткинской гидротермальной системы – памятника природы областного значения.

ВВЕДЕНИЕ

Ходуткинские источники дают начало самому большому на Камчатке термальному водотоку – реке Горячей. Счастливым сочетанием живописнейших ландшафтов, богатой фауны, мягкого микроклимата и удобного для купания зимой и летом обширного природного бассейна с приятной водой любой температуры сделало эти источники очень популярным у гостей и жителей полуострова местом отдыха. Источники мощные – около 150 литров/с минеральной воды с температурой до 90°C. Это низкоминерализованные слабощелочные гидрокарбонатно-хлоридные натриевые углекисло-азотные воды. По комплексу гидрохимических показателей аналогов на Камчатке у них нет.

Ходуткинские источники объявлены памятником природы областного значения.

В августе 1996 г. нами были предприняты исследования, ставившие цель зафиксировать современное состояние очага разгрузки Ходуткинских терм и выявить изменения в их режиме, вызванные естественными причинами, хозяйственной деятельностью и, в особенности, усилившимся в последние годы, неконтролируемым антропогенным прессом.

Во время полевых работ впервые сделана топографическая съемка всей области разгрузки гидротерм в масштабе 1:2 000 на площади 0.3 км² (предыдущие исследователи ограничивались глазомерными схемами истоков р. Горячей). На этой же площади проведена термометрическая съемка по сетке 20x40 м и по отдельным профилям. Измерены температуры всех источников по берегам р. Горячей и в воронках на термальных площадках, донная температура главного грифона в истоках реки, межennyй расход реки Горячей. Отобраны гидрохимические пробы в речке и основных источниках. Обследовано экологическое состояние источников и

прилегающей территории, соответствующей I и II зонам их санитарной охраны. На результатах этих работ и на опубликованных и архивных материалах прошлых лет построено предлагаемое здесь описание.

Полевые исследования были выполнены Е.А. Вакиным и Г.Ф. Пилипенко. В полевых работах участвовал К.М. Вакин. Гидрохимические и газовые анализы выполнены в лабораториях Научно-исследовательского геотехнологического центра ДВО РАН.

Текст адаптирован для читателей, не имеющих специальной подготовки в области гидрогеотермии и гидрогеохимии.

ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ

Первое очень краткое научное описание источников содержится в трудах Камчатской экспедиции 1908-1911 гг. (Конради, Келль, 1925). В книге Б.И. Пийпа приведены данные из записки Гультена (Пийпа, 1937; Hulten, 1923) и повторены данные Конради-Келля (1925). В упомянутых работах дебит источников определен в 250 л/с, максимальная температура воды – 100°C, описаны мощные термальные грифоны на берегах и дне теплой реки.

В шестидесятые-семидесятые годы XX в. Ходуткинские источники обследовались вулканологами и геологами, как очаг разгрузки высокотемпературной гидротермальной системы и потенциальное месторождение термоминеральных вод (Вакин, 1974, 1977; Кирсанов, 1961 г.; Кирсанова, 1961, 1974; Мелекесцев, 1974; Пилипенко, 1974 и др.) Результаты этих исследований содержатся в фондовых материалах Института вулканологии и ПГО «Камчатгеология».

Наиболее полное описание Ходуткинских источников опубликовано в статье (Кирсанова, Мелекесцев, 1984). Популярное описание - в книге

(Лодис, Семенов, 1993) фрагментарно и не свободно от ошибок.

Результаты предшествующих исследований позволяют составить представление о характере и масштабе термопроявления, химическом и газовом составе вод, геологии района. Однако приходится признать, территория памятника природы нуждается в профессиональном геолого-почвенном, ботаническом, микробиологическом, зоологическом описании. Отсутствуют систематические данные о многолетнем и сезонном режиме терм, не изучены их бальнеологические свойства. Остаются спорными вопросы происхождения источников. Наши исследования могут только отчасти восполнить эти пробелы.

ОПИСАНИЕ ИСТОЧНИКОВ

Ходуткинские термальные источники расположены на левом берегу р. Правая Ходутка у северо-западного подножия вулкана Приемыш, составляющего вместе с более молодым вулканом Ходутка единый массив (рис. 1, 3-я страница обложки). Расстояние от источников до вершины Приемыша 3,2 км, вулкана Ходутка – 6,5 км. Расстояние по прямой от Петропавловска-Камчатского ~ 130 км.

Абсолютная отметка выхода источников 220-230 м. Географические координаты: 50°06'20" с.ш. и 157°39'43" в.д.

В верхнем течении река Правая Ходутка с трех сторон огибает Ходуткинский вулканический массив, трассируя неясно выраженную кальдеру. В северо-западной части десятикилометровой излучины река меандрирует, растекается на протоки и старицы. Широкая пойма заболочена, заросла труднопроходимым ивняком и высокотравьем. Надпойменные террасы и склоны сопки покрыты парковым лесом каменной березы, ольховым и кедровым стлаником. Здесь, на левом плоском берегу, менее чем в километре от реки, посреди обширной поляны, окруженной со всех сторон березовым лесом, берет начало самый большой на юге Камчатки термальный водоток – река Горячая (рис. 2). В истоке это скорее не река, а вытянутое озерко шириной до 50 м с низкими извилистыми берегами. На запад оно сужается и постепенно переходит в протоку с едва заметным течением, уходящую в густой березняк. Через 700-800 метров протока теряется в пойменных болотах Правой Ходутки. Вода в озерке горячая, почти всюду более 40°C, к устью протоки температура снижается до 30°C (летом). Глубина озера до 2 м, а протоки – ~ 1,5 м.

Основная масса термальной воды поступает в озеро двумя мощными пульсирующими грифонами через воронку в дне округлого заливчика у северного берега. Грифоны хорошо видны по бурлящей поверхности воды и пузырям газа, создающим иллюзию кипения. В дне озера множество мелких горячих источников, заметных на поверхности по пузырькам газа, а из-под берегов термальная вода вытекает в виде небольших источников или высачивается слабыми струйками. Источники имеют вид небольших углублений диаметром 30-60 см с песчаным дном, через которое выбивают струи горячей воды и газа. Дебиты таких источников – десятые и сотые доли литра в секунду, температура колеблется в широких пределах от почти холодной (8-13°C) до 87°C у дна в главном грифоне.

Берега и дно реки Горячей сложены рыхлыми пемзами. В местах современной и древней разгрузки гидротерм пемзы сцементированы кремнистыми и железистыми осадками и образуют плотные прослои и покровы. По всему водоему активно развивается термофильная флора. В основном, это темно-зеленые нитевидные водоросли. Там, где температура воды превышает 45°C на дне и поверхности у берегов появляются маты бурых, желтовато-красных термофилов. На дне озерка и протоки лежит слой тонкого темного ила.

В конце сухого лета 1996 г. уровень воды в реке Горячей опустился на 40-50 см ниже среднего. Расход реки на 14 августа 1996 г. составил 160 л/с при температуре 37°C. Вода р. Горячей – это смесь остывающей термальной воды и холодных грунтовых вод. Подток воды с температурой 6-9°C наблюдается из-под юго-восточного берега озерка и с температурой 12-13°C – у северо-западного. У северо-восточной оконечности озера находится единственный вблизи реки Горячей источник пресной холодной воды (рис. 2).

Помимо непосредственного притока в реку Горячую явные признаки разгрузки гидротерм видны на больших пространствах по ее обоим берегам. Значительная часть обширной поляны вокруг теплого озерка в истоках реки является типичной термальной площадкой с прогретым грунтом, угнетенной растительностью и следами бывшей разгрузки горячей воды.

Термальная площадка протягивается в виде широкой поляны на 450 м на север от теплого озера, узкой полосой на 200 м на юг и отдельными фрагментами более чем на 350 м на восток. В северной и восточной частях площадки сохранились признаки разгрузки высокотемпературных вод: остатки гейзе-

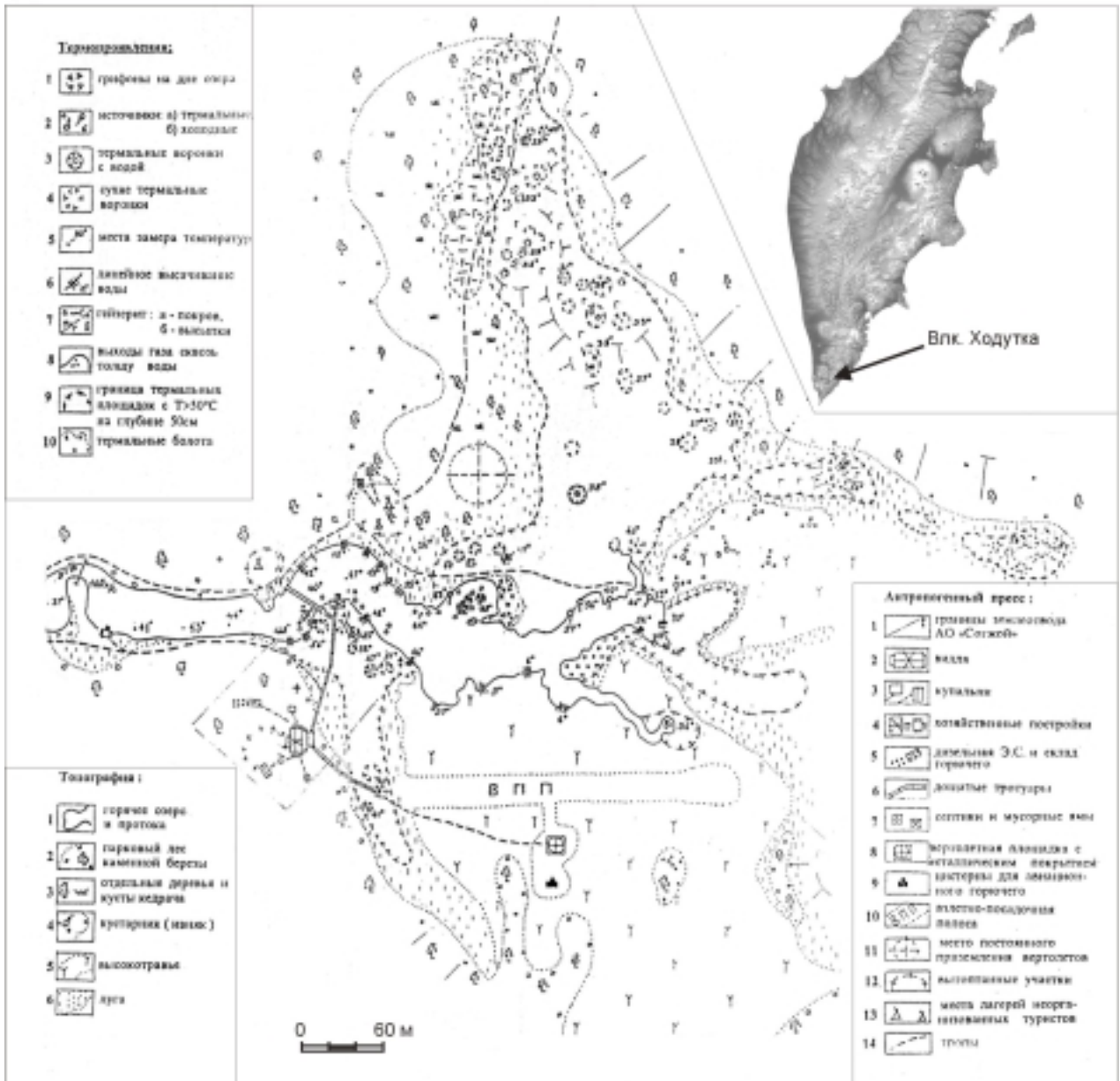


Рис. 2. Ходуткинские термальные источники по состоянию на август 1996 г. (топография, термопроявления, антропогенный пресс).

ритового покрова и низкие отлогие бугры, сложенные пемзой тефрой, цементированной кремнистым цементом. На наиболее прогретых участках термальной площадки множество блюдцеобразных углублений (воронки) – следов недавней разгрузки гидротерм – от хорошо выраженных до едва заметных. Диаметр таких воронок от 1 до 5 м, глубина до 0.7 м. На дне многих из них сохранились засохшие термофильные водоросли и даже стоячие лужи теплой воды. Почти во всех воронках температура грунта у поверхности выше 30°C , а в одной измерена максимальная для Ходуткинских терм температура - 90°C . В “сухих” воронках вода с температу-

рой, близкой к 90°C , находится на глубине менее 1 м от поверхности. Во время весеннего паводка и подъема уровня грунтовых вод многие воронки заполняются теплой водой.

На термальной площадке хорошо различаются участки с разной интенсивностью прогрева. На сильно прогретых участках отсутствует или очень слабо развит почвенный покров. Растительность сильно угнетенная, представлена мхами, лишайниками, ягодниками (шикша, голубика), злаками.

Для менее прогретых участков характерна луговая растительность: злаки, осот, вейник, ирисы, кровохлебка. Встречаются как угнетенные, так и

ХОДУТКИНСКИЕ ТЕРМАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

гипертрофированные формы растений. Граница термальной площадки примерно совпадает с границами леса, кустарника, зарослей шеломайника, крупных зонтичных, кипрея и т.п.

Растительные сообщества Ходуткинской термоаномалии ещё ждут своих исследователей. Мы отметим лишь огромное разнообразие и ясно видимую зависимость видового состава и состояния растений от геотемпературных условий.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА*

В геолого-структурном отношении Ходуткинский массив располагается в восточной части зоны активного вулканизма Южной Камчатки. Вокруг массива простирается вулканическое нагорье, состоящее из остатков сильно разрушенных щитообразных вулканов и лавовых плато верхнеплиоценового-нижнеплейстоценового возраста (около 1.5 млн. лет) и более молодых лучше сохранившихся андезито-базальтовых стратовулканов средне- и верхнеплейстоценового возраста (100-150 тыс. лет). К западным подножиям массива примыкает зона молодого (до современного) ареального вулканизма, это базальтовые шлаковые конусы, лавовые потоки небольшие щитовые вулканы (рис. 3).

Ходуткинский массив состоит из двух слившихся крупных стратовулканов — Приемьша и Ходутки. Приемьша более древний - 10-20 тыс. лет. Он сложен породами андезито-базальтового и андезитового состава. Вулкан Ходутка сформировался в начале голоцена – менее 10 тыс. лет назад. Состав его пород более кислый – андезиты, дациты. Оба вулкана образованы преимущественно из пирокластического (пеплового, шлакового) материала – туфов, агглютинатов, тефры. Эффузивные породы (лавы) играют подчиненную роль. На склонах этих вулканов хорошо видны следы последних побочных извержений – экструзивные купола, лавовые конусы, воронки взрыва.

Три такие воронки образуют на северо-западном склоне вулкана Приемьша цепочку длиной около 2 км, вытянутую вдоль вулcano-тектонического разлома. Верхняя воронка хорошо выражена в рельефе. У нее высокие обрывистые борта со стороны вулкана и отлогий северный. Ее размер 0.8x1.0 км. В ней расположилось очень живописное холодное озеро. Диаметр нижних воронок 0.3 и 0.45 км, глубина воронок

оценивается соответственно 0.5, 0.15 и 0.3 км. Верхняя воронка заполнена отложениями взрыва на 2/3, а нижние - почти полностью. Они с трудом различаются на местности, но довольно ясно видны на аэрофотоснимках. В нижней воронке и расположены Ходуткинские горячие источники. Скорее всего, это не одна, а несколько слившихся воронок, заполненных материалом более поздних взрывов. Взрывы, образовавшие воронки, сопровождались выбросом тефры: риолит-дацитовых пемз (магматического материала) с примесью 20-30% резургентного материала – обломков пород, слагающих подножия вулкана Приемьша. Объем выброшенной при взрывах породы близок к 1 км³. По положению этой тефры в разрезе почвенно-пирокластического чехла возраст воронок оценивается в 3000 лет (Кирсанова, Мелекесцев, 1984).

Еще две соприкасающиеся воронки взрыва находятся в 3 км от термальных источников, на западном склоне вулканического массива. Это более молодые воронки, их радиоуглеродный возраст 1800-1900 лет. Одна из воронок заполнена лавами липарта-дацитов. Выброшенная при их образовании пемзовая тефра не отличается от тефры трех воронок северного склона, а объем выброшенного материала оценивается в 3-4 км³.

Все эти воронки образованы фреато-магматическими взрывами, т.е. паро-газовые взрывы сопровождались выбросами большого объема магматического материала. Вместе с очень молодым возрастом извержений это свидетельствует о том, что “вулканическая жизнь” Ходуткинского массива продолжается, и Ходутка должна считаться действующим вулканом. Характер взрывов позволяет утверждать, что под вулканическим массивом на очень небольшой глубине находится активный очаг кислых магм гранитоидного (липартит-дацитового) состава. Судя по размещению воронок взрыва и количеству извергнутого материала, объем этого очага может составлять десятки кубических километров. Этот очаг и выделяющиеся из него газо-водные флюиды и служат источником тепла Ходуткинских гидротерм.

ЭЛЕМЕНТЫ ГИДРОГЕОЛОГИИ

Ходуткинские источники расположены на относительно плоском дне замкнутой с трех сторон межгорной котловины, куда направлен сток поверхностных и грунтовых вод со склонов окружающих горных массивов. Котловина заполнена аллювиальными отложениями реки Правая Ходутка и пирокластическими отложениями извержений ближайших вулканов (пемзы, шлаки). В этих рыхлых отло-

* Этот раздел составлен по данным, полученным И.В. Мелекесцевым (Кирсанова, Мелекесцев, 1984).

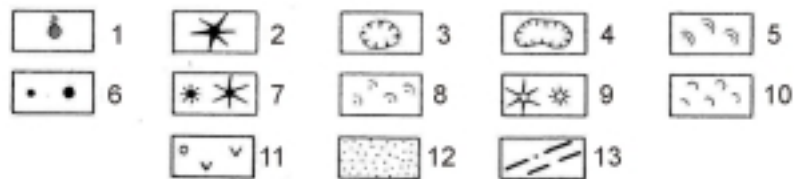
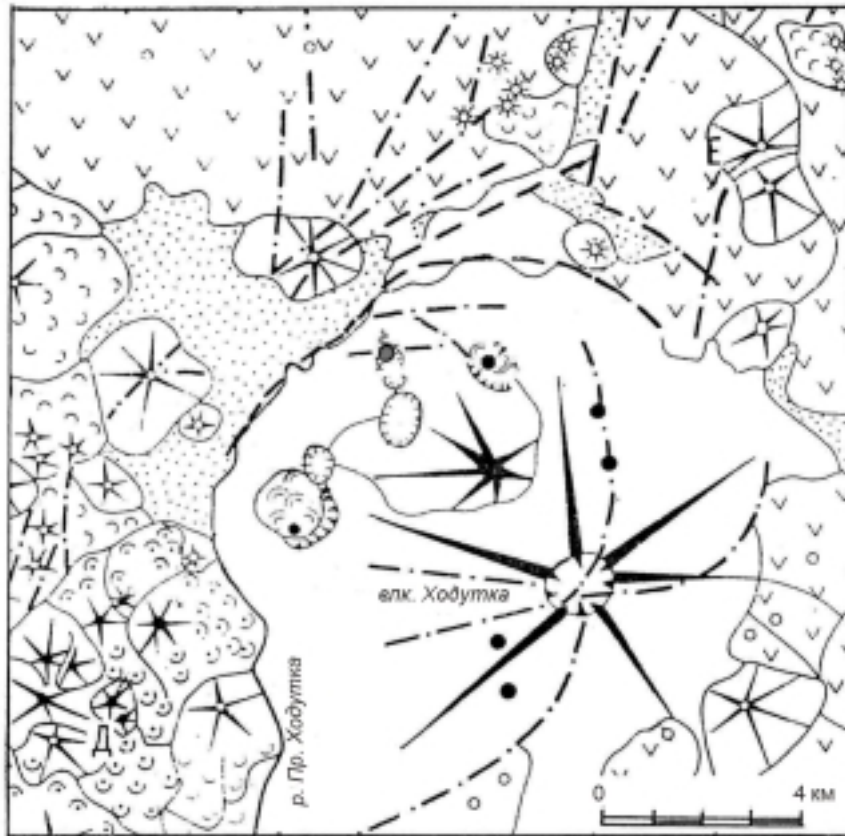


Рис. 3. Геолого-гоморфологическая схема по И.В. Мелекесцеву (Кирсанова, Мелекесцев, 1984). 1 – выход термальных вод; 2 - конусы стратовулканов Приемьши и Ходутка; 3- крупнейшие эксплозивные кратеры; 4 – прочие кратеры; 5 – риолитовые экструзии и их лавовые потоки; 6- эруптивные центры Ходуткинского массива; 7-10 – вулканические формы, связанные с проявлением базальтового ареального вулканизма (7- голоценовые шлаковые конусы; 8- голоценовые лавовые потоки; 9 – позднеплейстоценовые шлаковые конусы; 10 – позднеплейстоценовые лавовые потоки); 11 – прочие четвертичные вулканические образования и их эруптивные центры; 12 – аккумулятивные равнины; 13 - разрывные нарушения, выраженные в рельефе и погребенные.

жениях заключен водообильный горизонт грунтовых вод, который дренируется рекой Правая Ходутка. В геологическом разрезе пород, заполняющих депрессию, нет водоупорных прослоев, которые могли бы препятствовать фильтрации поверхностных вод на глубину.

Через эти сильно обводненные рыхлые отложения термальные воды могут пробиваться к поверхности только благодаря процессам “самоизоляции”.

На контакте пресных холодных и горячих минерализованных вод возникает тепловой и геохимический барьер, идет выпадение растворенных в воде веществ и заполнение пор и трещин минеральными новообразованиями (окисью кремния, карбонатами кальция, гидроокислами железа и т.п.). Вокруг подземных потоков термальных вод образуется водонепроницаемый защитный чехол. Прослои таких сцементированных пород можно наблюдать

ХОДУТКИНСКИЕ ТЕРМАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ



Рис. 4. Термометрическая карта очага разгрузки Ходуткинских гидротерм. 1 – точки температурного ($^{\circ}\text{C}$) зондирования на глубине 0.5 м: а – > 50 ; б – 20-50; 2 – грифоны на дне реки; 3 – источники и их температура: а – горячие; б – холодные; 4 – линейные высачивания грунтовых вод в берегах и их температура; 5 – термальные воронки: а – с водой; б – пересохшие; б – изотермы на глубине 0.5 м: а – 20°C ; б – 50°C ; 7 – створ замера расхода реки, 14.08., 1996 г.

на дне и берегах реки Горячей и на термальных площадках.

Область атмосферного водного питания Ходуткинских терм (бассейн реки Горячей) не велика, всего 3 км^2 . Большую ее часть составляет северо-западный сектор вулкана Приемыш, где проходит вулcano-тектонический разлом с воронками взрывов. Лаво-пирокластические породы конуса вулкана и пемзовая тефра его подножий отличаются высокой водопроницаемостью, поэтому дождевые и талые воды очень легко инфильтруются и переходят в подземный сток, а зона трещиноватости тектони-

ческого разлома позволяет им проникать на большую глубину. На всем участке водосбора р. Горячей нет постоянных поверхностных водотоков, т.е. река питается в основном подземными водами – грунтовыми и горячими глубинными.

Гидрометеорологические наблюдения в районе источников не проводились. Если для самых приблизительных оценок водного баланса р. Горячей принять водосборную площадь 3 км^2 (по поверхностным водоразделам), количество осадков 1500 мм/год (величина, характерная для среднегорья

Таблица 1. Вынос тепла с поверхности термальной площадки

Температура на глубине 0.5 м, °С	Площадь, м ² · 10 ⁻³	Теплоотдача, ккал/м ² ·с	Вынос тепла	
			ккал/с · 10 ⁻³	КДж/с · 10 ⁻³
20-50	80	0.04	3.2	13.4
50-90	70	0.10	7.0	29.3
Сумма	150	-	10.2	42.7

южной Камчатки), испарение 200 мм/год, то среднегодовой расход р. Горячей должен быть ~ 110 л/с.

В августе 1996 г. при минимальном расходе мы замерили 160 л/с. Значит среднегодовой расход будет значительно больше (более 250 л/с). Даже при таких приближенных оценках ясно, что в р. Горячую разгружается значительно больше воды, чем поступает в ее бассейн с атмосферными осадками. Значит

замеры на глубине 1 м показали больше 90°С. На этой глубине зондировочные скважины уже вскрывают горячие грунтовые воды. Разгрузка термальных грунтовых потоков четко прослеживается в берегах теплого озера. Совершенно ясно, что прогрев термальной площадки идет за счет восходящего потока термальных вод, почти достигающих поверхности.

Таблица 2. Тепловой баланс очага разгрузки Ходуткинских гидротерм

Метод расчета	Вынос тепла, ккал/с /КДж/с		
	Суммарный	Теплопотери с поверхностей	Рекой Горячей
По теплоотдаче с поверхностей	<u>16100</u>	<u>10200</u>	<u>5900</u>
	67400	42700	24700
По химическому стоку	<u>13800</u>	<u>7900</u>	<u>5900</u>
	57800	33100	24700

Ходуткинские источники “подтягивают” глубинный сток со значительно больших чем бассейн р. Горячей площадей и подпитываются восходящими водами глубокой циркуляции.

ГЕОТЕРМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

На карте очага разгрузки источников (рис. 2) показаны данные массовых замеров температуры воды и грунта вблизи поверхности (на глубине 10-15 см), а на термометрической карте (рис. 4) – результаты термометрического профилирования по сетке 20х40 м. Температуры измерялись на поверхности, на глубине 50 см и, в отдельных точках, на глубине 1 м.

По данным термометрической съемки и по геоботаническим признакам в пределах термальной площадки можно выделить зоны с разной интенсивностью прогрева. Объем полученных нами данных позволяет выделить две зоны по замерам на глубине 50 см: с температурой более 50°С и 50-20°С (рис. 4).

Полностью околонтурена только зона максимального прогрева (более 50°С). Ее границы хорошо различаются по резкой смене характера растительности. Площадь этой зоны 7000 м². Температура вблизи поверхности (на глубине 20 см) в августе 1996 г. здесь повсюду превышала 30°С, а отдельные

Следующая зона с температурой от 50 до 20° на глубине 0.5 м узкой каймой (редко шире 50 м) охватывает высокотемпературные площади и длинными клиньями вытягивается на восток и на юг от озера. Внешние границы этой зоны прослежены не по всему периметру. Они приблизительно совпадают с границей березового леса, кустарника и зарослей гигантских зонтичных и шеломайника. Заросли шеломайника отчетливо маркируют потоки холодных грунтовых вод, направленные в озеро. Это хорошо видно на карте.

Отдельными замерами на глубине более 1 м установлено, что термоаномалия продолжается на запад вдоль левого берега реки Горячей. Общая площадь термоаномалии в границах по изотерме +20°С на глубине 50 см превышает 150 000 м².

Через нагретую поверхность термальных площадок, включая водную поверхность озера, выносятся большое количество тепла. Измерить интенсивность выноса очень трудно. Она сильно зависит от погодных условий, характера поверхности и многих других факторов. Для ориентировочных оценок можно воспользоваться усредненными показателями теплопотерь, полученными опытным путем при детальном исследовании других Камчатских гидротермальных систем: 0.10 ккал/м²·с для участков с температурой 50-90° и 0,04 ккал/м²·с для

ХОДУТКИНСКИЕ ТЕРМАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

температур 20-50°C на глубине 0.5 м (Гидротермальные системы..., 1976). В табл. 1 сделан расчет выноса тепла с поверхности Ходуткинской термальной площадки.

Теплоотдача с нагретых поверхностей Ходуткинской термоаномали оценивается в 10200 ккал/с (42700 КДж/с). В кальдере Узон, например, 58000 ккал/с. Вместе с выносом тепла рекой Горячей (5900 ккал/с) тепловая мощность Ходуткинских терм составляет 16100 ккал/с. Все это тепло выносятся к поверхности горячей водой, следовательно, общий расход Ходуткинских гидротерм, в пересчете на воду с температурой 90°C, можно оценить в ~ 180 л/с (16100 ккал/с: 90 ккал/л=179 л/с).

Рассчитать вынос тепла можно другим независимым способом: по химическому стоку реки, дренирующей очаг разгрузки. При этом не учитывается подрусловый поток в речных отложениях. По химическому составу вода реки очень мало отличается от воды Главного грифона. Она почти полностью состоит из охлажденной термоминеральной воды. Примесь пресной грунтовой воды составляет всего 1/20 часть* (табл. 3, №№ 1, 5, 6).

Расход реки Горячей в августе 1996 г. был 160 л/с при температуре 37°C, из них 152 л/с термоминеральной воды и 8 л/с холодной пресной. Измеренный вынос тепла рекой – 5900 ккал/с (37 ккал/л·160 л/с). При пересчете на температуру термоминеральной воды 90°C и холодной 13°C вынос тепла должен быть 13 800 ккал/с (152 л/с·90 ккал/с + 8 л/с·13 ккал/л). Т.е. на охлаждение с поверхностей теряется 7900 ккал/с (13 800 ккал/с – 5900 ккал/с).

В табл. 2 сравниваются величины выноса тепла, полученные двумя независимыми способами.

Учитывая оценочный характер расчетов, совпадение цифр надо считать очень хорошим, что говорит об их достоверности. Разница величины теплопотерь может указывать на наличие неучтенного стока термальных вод в подрусловом потоке р. Горячей или в реку Ходутка.

* Расчет выполнен по формуле:

$$n = \frac{Q_{г\text{ор}}}{Q_{х\text{ол}}} = \frac{C_{с\text{м}} - C_{х\text{ол}}}{C_{г\text{ор}} - C_{с\text{м}}} = \frac{99,3 - 29}{102,8 - 99,3} = 20,1$$

$Q_{г\text{ор}}$ – расход горячей воды, $Q_{х\text{ол}}$ – расход холодной воды, C – концентрация характерного компонента минерализации: $C_{г\text{ор}}$ – в горячей воде, $C_{х\text{ол}}$ – в холодной, $C_{с\text{м}}$ – в смешанной. В качестве характерного компонента выбран Cl , как наиболее устойчивый в поверхностных условиях; за эталон горячей воды принят состав воды Главного грифона (Cl – 102.8 мг/л), холодной – вода холодного родника в истоке реки Горячей (Cl – 29 мг/л), смешанной – вода р. Горячей (99.3 мг/л) (табл. 3, №№ 1, 5, 6).

Таким образом, величина дебита Ходуткинских источников, включая скрытую разгрузку, по нашей оценке лежит в пределах 180-150 л/с (в пересчете на воду с температурой 90°C). Последняя цифра представляется автору более достоверной. Напомним, что Т.П. Кирсанова приводит величину 115 л/с (Кирсанова, Мелекесцев, 1984). Для сравнения: дебит Больших Банных источников – 100 л/с, Верхне-Опальских – 20 л/с, Нижне-Жировских – 40 л/с, Вилючинских – 10 л/с (Гидротермальные системы..., 1976).

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ

Состав Ходуткинских вод исследован достаточно полно. Полученные нами в 1996 г. гидрохимические данные не вносят принципиальных изменений в сложившиеся ранее представления.

В табл. 3 сведены наиболее характерные анализы термоминеральных и холодных вод Ходуткинских источников. Это слабощелочные низкоминерализованные воды. По составу они гидрокарбонатно-хлоридные, натриевые, т.е. представляют собой смесь слабых растворов поваренной соли и питьевой соды (гидрокарбоната натрия). В небольших количествах присутствуют кальций и сульфат, практически нет магния. Были обнаружены также бром (0.6 мг/л), литий (0.4 мг/л), мышьяковистая кислота (0.8 мг/л). Примечательно, что воды источников с разной температурой (от 44 до 88°C) имеют очень близкий химический состав. Это говорит о том, что их охлаждение идет без подмешивания воды с низкой минерализацией.

В Ходуткинских термах мало кремнекислоты, хотя, в недалеком прошлом, источники отлагали гейзерит (выходы гейзерита показаны на рис. 2). Ходуткинский гейзерит на 95% состоит из окиси кремния и содержит лишь незначительные примеси окисей кальция, магния, фосфора и серы. Из тяжелых металлов в малых количествах обнаруживаются ванадий, железо, титан, медь. Гейзериты отлагаются только в кипящих источниках, следовательно, в недалеком прошлом температура вод на поверхности была здесь 100°C, а на глубине могла достигать 210°C. Методом геохимической термометрии (по количественным соотношениям растворенных в воде компонентов) были сделаны расчеты современных глубинных температур Ходуткинских вод. Различные геотермометры дают температуры 130°-140°C (Кирсанова, Мелекесцев, 1984).

Состав и количество сопутствующих газов во многом определяют геохимические свойства и

Таблица 3. Химический состав вод, мг/л

№	Адрес	Дата, мес., год	Т, °С	рН	Компоненты минерализации мг/л												Формула химического состава	
					NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	F ⁻	H ₄ SiO ₄	H ₃ BO ₃	ΣМ	/ %мг/экв /	
1	Главный грифон у дна	08.1996	87	8.8	0.1	109.2	4.2	8.0	0.7	102.8	20.8	114.2	0.9	87.5	12.9	533.5	Cl55HCO ₃ 36/Na89Ca8	
2	Главный грифон у поверхности	08.1996	65	8.6	>0.1	100.7	4.2	8.4	0.5	100,0	25.7	110.3	0.8	66.0	13.9	430.4	Cl58HCO ₃ 37/Na88Ca9	
3	Главный грифон	07.1982	88	7.4	0.0	124	6	9	1	112	52	107	–	164	18.5	595	Cl53HCO ₃ 39/Na90Ca7	
4	Источник в лев. берегу р. Горячей	08.1996	70	9.0	0.1	136.7	2.4	9.2	0.6	130.5	26.1	126.0	1.0	114.5	20.8	578.7	Cl58HCO ₃ 32/Na89Ca7	
5	Холодный источник в прав. берегу р. Горячей	08.1996	13	6.3	0.2	40.7	3.7	8.0	1.1	29.1	3.8	63.5	0.2	87.5	8.9	209.6	HCO ₃ 53Cl42/Na77Ca17	
6	р. Горячая, ниже термопроявлений	08.1996	37	9.2	>0.1	111.6	5.1	9.2	0.5	99.3	19.6	158.2	0.5	63.1	17.8	485.0	Cl48HCO ₃ 44/Na89Ca8	
7	Озеро на с.в. склоне вулк. Ходутка	07.1982	14	7.1	0.2	7	0.0	4	0.0	6	0.0	30	0.0	8	0.0	55	HCO ₃ 70Cl30/Na62Ca38	
8	р. Ходутка выше устья р. Горячей	07.1982	9	7.0	0.0	4	0.0	9	0.0	7	0.0	25	0.0	21	0.0	67	HCO ₃ 67Cl33/Ca70Na25	

Пробы №1,2,4,5,6 отобраны Е.А. Вакиным и Г.Ф. Пилипенко, аналитик М.Д. Колтыпина; пробы № 3,7,8 – Т.П. Кирсановой (Кирсанова, Мелекесцев, 1984). ΣМ – общая минерализация; прочерк – компонент не анализировался.

ХОДУТКИНСКИЕ ТЕРМАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

Таблица 4. Состав свободного газа, % об

№	Дата отбора	T, °C	He	H ₂	O ₂	N ₂	Ar	CO ₂	CH ₄	C ₃ H ₈	R	Примечания
1	1961	–	1.7·10 ⁻²	–	–	93.4	1.4	4.7	0.4	–	–	
2	08.1974	–	–	0.01	1.50	87.02	–	9.43	1.97	0.7·10 ⁻⁴	–	³ He/ ⁴ He 9.5·10 ⁻⁶
3	07.1977	88°	8·10 ⁻³	0.01	4.45	91.87	–	5.54	1.13	0.7·10 ⁻⁴	0.03	³ He/ ⁴ He 8.5·10 ⁻⁶
4	05.1981	44°	1.6·10 ⁻²	0.00	2.71	9.05	1.56	0,76	0.61	11·10 ⁻⁴	–	Rn–159Бк/л (43 эман)
5	03.1984	46°	1.6·10 ⁻²	0.01	13.5	83.4	1.31	0.23	1.55	–	–	

Пробы газа отобраны: 1 – Т.П. Кирсановой; 2-3 – Е.А. Вакиным; 4 – Ю.А. Тараном, 5 – А.М. Рожковым.

Анализы выполнены в Институте вулканологии. Изотопные отношения He определены в физ-техн. ин-те им. Иоффе.

R – газовый фактор (объемное отношение газ/вода).

бальнеологические качества термоминеральных вод. Газонасыщенность (объемное отношение газа и воды) Ходуткинских терм не высока. По нашим оценкам 20-40 см³ газа на 1 л. воды. В табл. 4 приведены наиболее представительные анализы спонтанного (свободно-выделяющегося) газа. Пробы были отобраны в разные годы в разных точках и проанализированы разными методами, поэтому некоторые различия в анализах скорее отражают случайный разброс значений, чем какие-либо закономерности в изменчивости состава газов.

В газах Ходутки резко преобладает азот, но в заметных количествах присутствует и СО₂. Кроме метана обнаруживаются и более тяжелые углеводородные газы. Концентрация гелия приблизительно на 1-1.5 порядка выше атмосферной. Примечательно очень высокое изотопное отношение ³He/⁴He – до 9.5·10⁻⁶, что почти на порядок выше атмосферного — это редкость даже для Камчатки. Высокую концентрацию ³He принято считать признаком поступления вещества мантии в верхние горизонты коры. В газе Ходуткинских терм определен радон в количестве 159 Бк/л, но из-за низкого газосодержания и низкой растворимости в горячей воде общее содержание радона в Ходуткинских термах всего около 25 Бк/л. Радоновыми считаются воды при содержании более 200 Бк/л.

Из-за низкой концентрации растворенных компонентов и низкого газового содержания Ходуткинские воды лишь с долей условности могут считаться минеральными.

По составу растворенных компонентов и сопутствующих газов полных аналогов у Ходуткинских вод на Камчатке нет. Наиболее близки к ним термы Карымского озера и Нижне-Жировские.

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ХОДУТКИНСКОЙ ГИДРОТЕРМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Выходы Ходуткинских гидротерм структурно приурочены к южной из трёх воронок взрыва, образовавшейся около 3000 лет назад на склонах вулкана Приёмьш вдоль вулcano-тектонического разлома (Кирсанова, Мелекесцев, 1984).

Судя по составу выброшенных при взрывах пород, источником нагрева терм служит магматический очаг липарит-дацитового состава, залегающий под Ходуткинским массивом на очень малой, всего около километра, глубине. Высокотемпературные флюиды этого очага поступают через взрывные каналы (трубки взрывов) в рыхлые отложения, заполнившие воронки, где вступают в контакт с инфильтрационными водами. Здесь идут сложные геохимические процессы, сопровождающие формирование термоминеральных вод, такие как вскипание и дегазация, гидротермальная переработка (метасоматоз) водовмещающих пород, минералоотложение (возможно и рудообразование) и т. п.

Благодаря термоартезианскому напору (за счёт разницы удельного веса горячей и холодной воды) и газлифту (процесс, похожий на выброс шампанского из бутылки), гидротермы достигают поверхности. Их восходящий поток защищён от приповерхностных вод чехлом пород, сцементированных осадками, выпавшими из гидротерм.

Конфигурация термальных площадок показывает, что горячая вода поднимается к поверхности по линейным проницаемым зонам широтного и субмеридионального направлений. На месте их пересечения образовалось термальное озеро. Оно одновременно является и местом наиболее интенсивной раз-

грузки гидротерм в виде мощных источников в его дне, и базисом дренирования для грунтовых потоков горячих вод с термальных площадок на обоих берегах. Таких потоков три: с севера (самый мощный), с востока и с юга.

Восходящий поток гидротерм выносит из недр значительное количество тепла – 14–16 тысяч ккал/с ($5.8–6.7 \cdot 10^4$ кДж/с), т.е. их тепловая мощность около 60 МВт. Большая часть этого тепла рассеивается через поверхность термальных площадок и тёплого озера ($8–10 \cdot 10^3$ ккал/с), остальное ($\sim 6 \cdot 10^3$ ккал/с) сбрасывается с водой в р. Горячая. Вода р. Горячей более чем на 90% состоит из термальной воды.

Ходуткинские воды отличаются от большинства камчатских гидротерм очень низкой минерализацией – менее 600 мг/л. По существу, это пресные воды, вполне пригодные для питья и приготовления пищи. По химическому составу они представляют собой очень слабый раствор хлорида и гидрокарбоната натрия. По-видимому, в формировании состава этих вод главную роль играют не процессы выщелачивания вмещающих пород, а выпадение растворённых компонентов (в основном SiO_2) при резком охлаждении при взаимодействии высокотемпературных магматогенных растворов с инфильтрационными водами. При подъёме к поверхности эти гидротермы проходят слишком короткий по времени и расстоянию путь в неизменённых химически устойчивых вулканогенных породах и, в сложившейся здесь геохимической обстановке, не обогащаются веществом вмещающих пород. Изотопный состав гелия ($^4\text{He}/^3\text{He} = 9.5 \cdot 10^{-6}$) и несколько утяжеленный состав гидроизотопов ($\delta\text{D} = -83$; $\delta^{18}\text{O} = -11$) указывает на возможность присутствия магматической составляющей в этих водах, несмотря на их низкую минерализацию.

Ходуткинская гидротермальная система одна из самых молодых на Камчатке – её возраст менее 3 тысяч лет. Возраст большинства более мощных систем, таких как Мутновская, Паужетская, Долины Гейзеров более 10 тысяч лет. Ходуткинские гидротермы отличаются от них по генезису¹ – они возникли в воронке гигантского взрыва, сопровождавшегося выбросом на поверхность магматического материала из залегающего на малой глубине магматического очага. По похожему сценарию возникли

гидротермальные системы кальдеры Ксудач и Карымского озера. Это особый малоизученный тип гидротермальных систем.

По температуре, дебиту и тепловой мощности (естественному выносу тепла) Ходуткинская гидротермальная система входит в число крупнейших на Камчатке². По классификации Центрального института курортологии (Иванов, Навраев, 1964) определяются как азотные кремнистые щелочные слабоминерализованные. Их бальнеологические свойства не исследованы.

Ходуткинские термальные источники объявлены памятником природы областного значения. Установлена площадь памятника, однако, его границы до сих пор не определены. Термальные источники – главная, но не единственная достопримечательность парка. Вокруг каждой группы термальных источников формируются каждый раз по своему уникальные растительные и биологические сообщества. Для Ходуткинских источников это термофильная флора озера и горячей реки, термальные болота по их берегам со специфическим набором редких растений (они ещё не изучены), обширные сильно прогретые поляны с угнетённой растительностью посредине и высокотравными лугами и берёзовым лесом вокруг. Без полян с теплолюбивой растительностью, обрамлённых парковым лесом, Ходуткинские источники потеряли бы свою неповторимую привлекательность и культурную ценность, как памятник природы.

Кроме рекреационной значимости район Ходуткинских источников не оценим как научный полигон для изучения отдалённых последствий мощных вулканических извержений, формирования гидротермальной системы с редким типом термоминеральных вод и, конечно же, богатейших фитоценозов, возникающих на месте геологических катастроф. Необходимо установить такие границы памятника природы и такой режим на его территории, чтобы обеспечить целостность и сохранность всего природного комплекса.

ГРАНИЦЫ ПАМЯТНИКА ПРИРОДЫ

Основным объектом охраны на Ходутке остаются термальные источники. В гидрогеологической и курортологической практике выработаны приёмы такой охраны и действуют соответствующие нормы. Для водных источников, водозаборных и водонакопительных сооружений устанавливается зона санитарной охраны – ЗСО, в которой выделяется два пояса: I – строгого режима и II – пояс огра-

¹ О происхождении упомянутых гидротермальных систем см. (Гидротермальные системы ..., 1976).

² Естественная тепловая мощность Ходуткинской гидротермальной системы 60 МВт, Мутновской – 154, Паужетской (с Камбальным хребтом) – 90, Долины Гейзеров 260 МВт.

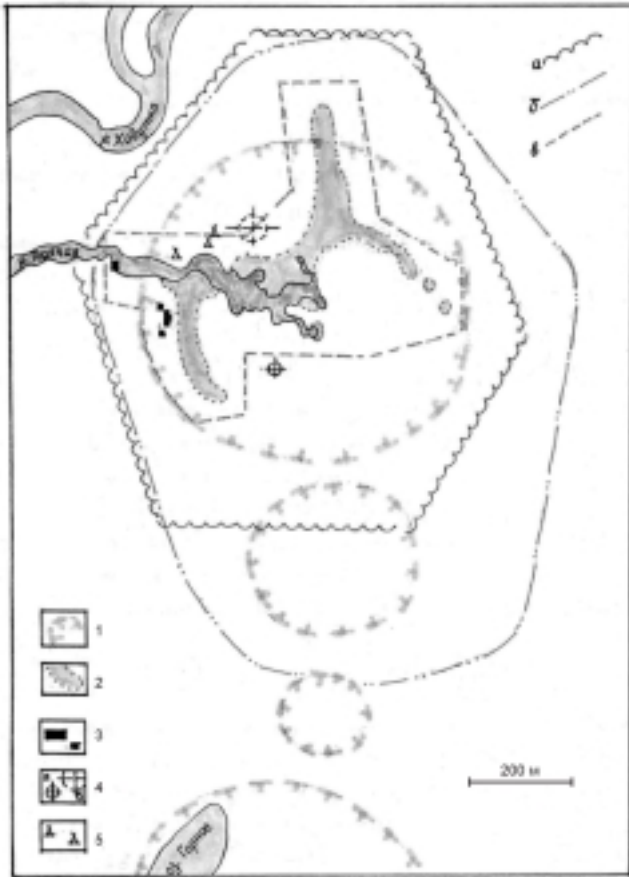


Рис. 5. Границы природоохранных территорий: *а* – памятника природы (минимальная площадь); *б* – II зоны санитарной охраны; *в* – I зоны санитарной охраны (зона строгих ограничений). 1 – контуры взрывных воронок; 2 – термальные площадки; 3 – постройки АО «Согжой»; 4 – вертолетные площадки; 5 – места палаточных лагерей.

ничений. Для бальнеологических объектов (минеральные источники, лечебно-оздоровительные местности и т. п.) устанавливается округ санитарной (горно-санитарной) охраны – ОСО. Режимы ЗСО и ОСО отличаются мало. На наш взгляд, они вполне применимы для режима памятника природы “Ходуткинские источники” и могут обеспечить его нормальное состояние и функционирование. Для определения размеров и конфигурации ЗСО проводятся специальные достаточно трудоёмкие исследования. Мы можем высказать лишь предварительные рекомендации, полагаясь на наш опыт изучения гидротерм Камчатки.

С гидрогеологической точки зрения, Ходуткинские источники – это не только озеро в истоках реки Горячей с выходами гидротерм на дне и в берегах, но и обширные термальные площадки по обоим берегам, где разгружается около двух третей общего количества термальной воды (рис. 2). На этих площадках термальная вода поднимается до

глубины 0.5–1 м и затем, в виде грунтовых потоков, стекает в озеро. Туда же направлен подземный сток дождевых и талых вод. Грунтовый сток здесь ни чем не защищён от загрязнения с поверхности, так как почвенный слой очень тонок, а подстилающая его рыхлая тефра обладает высокой проницаемостью. Поэтому весь очаг разгрузки Ходуткинских терм должен находиться на территории памятника природы и иметь природоохранный режим, соответствующий II, частично, I зоне санитарной охраны (рис. 5).

I зона (пояс) строгих ограничений (ЗСО) устанавливается для охраны непосредственно водозаборных и водосборных сооружений, источников и водоёмов. Обычно границы этой зоны проводятся в 50 м от охраняемых объектов. Здесь запрещается проживание и все виды хозяйственной деятельности, за исключением работ, связанных с изучением и использованием в оздоровительных целях при условии применения экологически чистых и рациональных технологий. Любые работы ведутся только с разрешения природоохранных органов. На Ходуткинских источниках зона строгих ограничений должна включать пятидесятиметровую полосу вдоль берегов тёплого озера, расширяющуюся до 100 м на термальных площадках. Предлагаемая граница I зоны ~ 20 га.

II зона (пояс) санитарной охраны устанавливается для защиты поверхностного и подземного стока, направленного к охраняемым объектам. В пределах этого пояса запрещается: 1) работы в земных недрах (шурфы, котлованы, скважины и т. п.), которые могут вызвать загрязнение водоносного горизонта; 2) строительство отстойников сточных вод; 3) ограничивается сельскохозяйственная деятельность с применением ядохимикатов и удобрений; 4) обязательна канализация со сбросом за пределами зоны и регулирование поверхностного стока.

Граница II зоны, как правило, проводится по “разделительным линиям тока” – по местным водоразделам, которые оконтуривают области инфильтрационного питания охраняемого объекта. В нашем случае она почти совпадает с остатками валов вокруг взрывной воронки, в центре которой находятся источники. Фрагменты валов трудно различить на местности, так как они находятся в лесу, но они хорошо видны на аэрофотоснимках. Этот контур был бы идеальной естественной границей памятника природы. Его площадь составила бы 80 га. Имеется возможность несколько уменьшить территорию памятника без большого ущерба для охраняемого природного комплекса, приблизив границы к опушке берёзового леса. Тогда площадь

памятника сократится до 60 га, но при этом II ЗСО должна продолжаться на юг, за пределы памятника, так как поток холодных грунтовых вод из верхних воронок направлен в сторону тёплого озера.

В последнем варианте в территорию памятника природы войдёт озеро с горячими источниками и верховья реки Горячей, термальные площадки на берегах озера, обрамляющие их высокотравные луга, кустарники и достаточно широкая полоса паркового леса. Таким образом, в охраняемую территорию будет полностью включён очаг разгрузки гидротерм и все характерные элементы окружающих ландшафтов

АНТРОПОГЕННЫЙ ПРЕСС

Ходуткинские источники и их окрестности настолько привлекательны с любой точки зрения, что просто не могли не стать объектом повышенного внимания жителей и гостей Камчатки. Приток посетителей пока сдерживается относительной недоступностью этих мест. Происходит «естественный отбор» посетителей. Чтобы попасть на Ходуткинские источники, надо быть либо достаточно подготовленным туристом, либо состоятельным (или влиятельным) человеком, для того, чтобы иметь возможность оплатить вертолет или воспользоваться им другим способом. Это положение скоро изменится, так как от Асачинского золоторудного месторождения, разработку которого начинает АО «Тревожное зарево», пеший переход с одной ночевкой, и нет препятствий для проезда вездеходов, особенно по весеннему снегу в апреле-мае.

Уже сейчас состояние источников и их окрестностей далеко от первозданного. Медленно, но заметно редет лес и кустарники на опушке на правом берегу р. Горячей. По берегам реки и озера протоптаны тропы, остались следы старых палаточных лагерей, видны следы порубок разных лет.

Началось хозяйственное освоение Ходуткинских источников. В непосредственной близости от теплого озера акционерному обществу «Согжой» отведен земельный участок. Здесь сооружена деревянная двухэтажная вилла и подсобные постройки: дизельная электростанция со складом ГМС, туалеты, душевая, жилой дом для обслуживающего персонала.

За пределами отведенного участка на берегу озера построено комфортабельное купальное здание. К нему от виллы через термальную площадку проложен деревянный тротуар длиной ~ 100 м, а

через р. Горячую сделан мост. Другая благоустроенная открытая купальня построена в 180 м ниже на левом берегу р. Горячей.

В 200 м от виллы оборудована вертолетная площадка с металлическим покрытием, здесь же установлена цистерна для авиационного горючего. Заросли шеломайника вокруг площадки выкошены, прокошена также вертолетно-посадочная полоса для малых самолетов длиной 250 м и шириной 20 м.

Все эти сооружения используются для приема иностранных туристов и высокопоставленных гостей. Они охраняются и содержатся в надлежащем состоянии специальным работником АО «Согжой», который находится здесь постоянно.

Памятник природы находится в центре охотничьих угодий (промысловый участок В.М. Ворошилова). По его словам звери и птицы стали покидать окрестности Ходуткинских источников. Раньше здесь был может быть самый большой на Камчатке глухариный ток. Собирались сотни птиц. Теперь вблизи источников нет ни одного глухариного выводка, нет и пушного зверя.

На правом берегу р. Горячей, на опушке леса, традиционно установилось место остановки неорганизованных посетителей источников: туристско-многодневщиков, туристов выходного дня, а также «залетных» посетителей, которые не упускают возможности приземлиться на короткое время вертолет, чтобы искупаться в источниках. Это действительно самое удобное место и для посадки вертолетов, и для пикников, и для купания в озере и реке. Рекреационный инспекцией установлено здесь постоянное место для костра и площадки для палаток. Существует мусорная яма и неблагоустроенный туалет.

Вертолеты приземляются в непосредственной близости или прямо на термальную площадку, причиняя заметный вред хилой растительности и тонкому почвенному покрову. В зимнее время термальная площадка свободна от снега, чем, судя по ямам от колес, активно пользуются авиаторы (по нашим наблюдениям оборудованной посадочной площадкой на левом берегу пользуются только вертолеты компании «Кречет»).

Летом вертолетных посетителей источников достаточно много. Иногда в воскресные дни собирается до 60 человек. В результате растительный покров и почва нарушены на площади ~ 1 га. Группы пешеходных туристов редки и малочисленны. Рекреационная инспекция только частично может управлять ситуацией, хотя присутствие общест-

ХОДУТКИНСКИЕ ТЕРМАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

венных инспекторов оказывает заметное воздействие на поведение туристов.

Пока вред, причиненный источникам и их окрестностям, в целом нельзя назвать значительным и непоправимым. Территория АО «Согжой» и постройки на ней находятся в удовлетворительном состоянии. Площадь, поврежденная и замусоренная неорганизованными туристами, невелика. Небольшую тревогу вызывает массовая посадка вертолетов на правом берегу на термальные площадки. Дело в том, что твердый слой тефры, сцементированной гейзеритом, очень тонок и может разрушаться и проседать под тяжестью вертолета. Ниже залегают рыхлые пемзы, в которых обязательно есть заполненные водой пустоты – каналы движения гидротерм. Они могут быть затромбованы, и режим разгрузки источников нарушится. В экстремальных случаях не исключены опасные провалы вертолетов в полости с горячей водой.

Экологическая обстановка на территории памятника может измениться в худшую сторону, и такая тенденция есть.

Приходится констатировать, что почти весь участок, отведенный АО «Согжой», с большинством построек, включая виллу, оказывается в зоне I зоны санитарной охраны источников – в поясе строгих ограничений. Землеотвод был сделан с нарушением норм водоохраны, и строительство велось явно без ведома санитарной инспекции и без экологической экспертизы.

Стоянки неорганизованных туристов и места посадки вертолетов на правом берегу р. Горячей также попадают в I зону санитарной охраны источников. Опыт показывает, что такое положение неминуемо ведет к деградации источников.

Отдавая себе отчет в нереальности настоящего благоустройства и полноценной охраны памятника в ближайшее время, мы перечислим реальные природоохранные меры, которые, по нашему мнению, необходимо принять в первую очередь.

1. Разработать и довести до сведения землепользователей, авиационных предприятий и туристических организаций правила поведения на территории данного памятника природы.

2. Уточнить и обозначить на местности I ЗСО источников (пояс строгих ограничений).

3. Запретить посадку вертолетов в I ЗСО источников и на термальные площадки. Одновременно обозначить (по возможности оборудовать) новую площадку или согласовать с АО «Согжой» посадку всех вертолетов на оборудованной площадке на левом берегу.

4. Отвести и оборудовать участок для пребывания неорганизованных туристов за пределами I ЗСО источников.

5. Прекратить любое строительство на территории памятника природы без согласования с Государственным комитетом охраны природы.

6. Периодически ревизировать участок АО «Согжой» и имеющиеся на нем сооружения на их соответствие режиму памятника природы и зоне санитарной охраны.

При написании этой статьи, 13 сентября 2003 г., после тяжелой болезни, Е. А. Вакин скончался. Статья осталась им не до конца отредактированной.

Подготовку статьи к публикации взяла на себя редакция журнала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки / Отв. ред. В.М. Сугробов. Владивосток, 1976. 283 с.

Иванов В.В., Невраев Г.А. Классификация подземных минеральных вод. М.: Недра, 1964. 168 с.

Курсанова Т.П., Мелекесцев И.В. О происхождении и возрасте Ходуткинских терм // Вулканология и сейсмология. 1984. № 5. С. 49-59.

Конради С.А., Келль И.Г. Геологический отчет Камчатской экспедиции 1908-1911 гг. // Известия Русского географического об-ва. 1925. Том. 57. Вып. 1.

Лодис Ф.А., Семенов В.И. Камчатка – край лечебный. Петропавловск-Камчатский, 1993.

Пийп Б.И. Термальные ключи Камчатки // Тр. СОПСАН СССР. Сер. Камчатская. 1937. Вып. 2. 278 с.

Hulten E. Some geographical notes on the map of South Kamchatka // Geografica Annaler. 1923. № 4. P. 13-25.

Khodutkinskie thermal springs

Е.А. Вакин

Institute of Volcanic Geology and Geochemistry FED RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006

In this paper we consider geological background, hydrogeology, chemical composition and specific features of the Khodutka hydrothermal system - natural monument of the Kamchatka region.