

«Вулканолаг» исследует подводный факел

Г. П. Авдейко,
кандидат геолого-минералогических наук

Г. М. Гавриленко

Л. В. Черткова,
кандидат геолого-минералогических наук

Институт вулканологии ДВНЦ АН СССР
Петропавловск-Камчатский

Март 1982 г. Научно-исследовательское судно АН СССР «Вулканолаг» пересекает Филиппинское море, возвращаясь в Петропавловск-Камчатский после очередного 13-го рейса. Позади объекты исследования — подводные вулканы западной окраины Филиппинского моря и участок шельфа Южно-Китайского моря. Научный состав экспедиции подводит итоги, когда на борт судна поступает радиограмма из Института вулканологии АН СССР. Суть ее в том, что рыболовный траулер «Пограничник Змеев» в Охотском море, вблизи о. Парамушир, обнаружил на глубине 820 м действующий вулкан диаметром 290 м. При облете с самолета 23 марта никаких признаков извержения на поверхности моря не обнаружено. Нам предстоит проверить сообщение «Пограничника Змеева» в море.

Итак, программа рейса продлена. Никто из нас и не подозревал, что новый объект исследований будет «притягивать» нас на протяжении нескольких лет.

ФАКЕЛ АНОМАЛЬНОЙ ВОДЫ

Отыскать в море объект такого размера, к тому же невидимый с поверхности, даже если известны координаты, — задача довольно сложная. Ведь точность их определения на рыболовном судне значительно ниже 150 м, т. е. половины диаметра объекта. Но извержение подводного вулкана, если оно было, обязательно оставило следы в рельефе дна, в строении осадков, в химическом составе воды и растворенных в ней газах. А наш «Вулканолаг» оснащен аппаратурой, способной отыскивать такие следы. На нем имеются и современные эхолоты для фиксации рельефа дна, и аппаратура непрерывного

сейсмоакустического профилирования, позволяющая видеть то, что находится под дном, и магнитометры, и приборы для непрерывной регистрации содержания растворенных в воде газов и температуры поверхностного слоя воды с точностью до сотых долей градуса. Вся эта аппаратура работает во время хода судна. Кстати сказать, почти вся она, за исключением эхолотов и газогадросхимической аппаратуры, сконструирована, изготовлена и обслуживается нашими инженерами В. Н. Дубровским и В. А. Сергеевым. Кроме того, с борта «Вулканолага» ведется отбор проб воды и осадков, драгирование поверхности дна для отбора образцов лав и других пород, измеряется тепловой поток и т. д. Словом, мы почти уверены: если извержение было, мы его обнаружим.

При подходе к указанной точке следим за показаниями приборов и поверхностью — никаких признаков извержения: на эхолоте — ровное дно, на ленте сейсмопрофилографа — под дном осадки толщиной более километра, никаких магнитных, газогадросхимических и температурных аномалий. Разворачиваем судно на противоположный курс и проходим параллельным галсом в 200—250 м от первого, чтобы не пропустить «ничто» диаметром около 300 м. Снова ничего.

Наконец, на пятом галсе самописец эхолота прорисовывает темный столб воды, оторванный ото дна. Обычно вода на эхограмме светлая, если только не насыщена местами (обычно у поверхности) планктоном. Затем подсекаем основание столба — небольшое, высотой около 5 м, конусообразное возвышение, от которого и отходит факел аномальной воды. Этот факел и был принят траулером за извер-



«Вулканолог» возвращается из рейса.

гающийся подводный вулкан. И параметры его почти совпали с теми, что сообщил траулер: высота — около 500 м, диаметр — около 300 м, а основание — на глубине 800 м. Рыбаки, спасибо!

С аналогичными записями на эхограммах над подводными вулканами нам уже приходилось сталкиваться в предыдущих рейсах. Причиной появления на записях факелов были парогазовые струи в кратерах или прикратерных частях вулканов — подводные фумаролы, поставляющие рудные компоненты из недр Земли на поверхность. Так, в 4-м рейсе было установлено, что подводной фумаролой вулкана Эсмальда, вблизи Марианских о-вов, на дно моря выбрасывалось более 1500 кг/с смеси горячей воды, пара и газа и вместе с ней 13 т железа, 3 т цинка, 1,8 т меди и 0,2 т никеля в сутки. И наземные вулканы поставляют рудные компоненты на повер-

хность Земли, но только на дне моря создаются условия для их осаждения и формирования месторождений полезных ископаемых.

В нашем случае связи факела с каким-либо вулканом не выявляется. На самописце сейсмопрофилографа под факелом фиксируются слоистые осадки. Поднимаем грунт дночерпателем. Действительно осадки, но с запахом сероводорода. Пробы морской воды не дают значительных отклонений от фоновых значений. Чем же вызван факел? Нужны специальные работы, а судну пора возвращаться в Петропавловск. Откладываем решение загадки до осени.

НЕ ВУЛКАН, А ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЙ ИСТОЧНИК

Прошло полгода. В сентябре, в 15-м рейсе, «Вулканолог» идет к подводным вулканам Курил. Исследования факела включены в программу рейса. Быстро его находим. Он почти не изменился ни по

высоте, ни по диаметру и слегка наклонен на северо-восток в соответствии с течением. Берем пробы воды и осадков и, пока на борту ведется их предварительный анализ, начинаем исследовать район.

Прежде всего нужно дать, как мы говорим, геолого-структурную характеристику района. Устанавливаем, что он приурочен к вулканической зоне, где встречаются небольшие подводные вулканические конусы, которые под водой продолжают цепь вулканов на о. Парамушир. Связь факела с вулканизмом, скажем осторожно, вероятна. Однако на сейсмопрофилях видно, что эти конусы высотой до 600 м полностью погребены под слоем осадков. Возможны два объяснения: либо они сформировались недавно при внедрении лав в осадки, и тогда они могут еще быть горячими, либо они погребены под осадками после их образования, и тогда при средней скорости накопления осадков 200 мм в 1000 лет они не моложе 3 млн лет и должны были полностью остыть.

На сейсмопрофилях выявляется также, что в районе факела на дне моря немало трещин. Больше всего их на участке между факелом и вулканом Чикурачки. Значит, наш факел все же связан с вулканической зоной о. Парамушир, а ведь на ней, помимо активных вулканов, есть гидротермальные источники. Может быть, и мы имеем дело с подводным гидротермальным источником? Трещиноватые породы в этом случае служат путями подъема горячей воды к поверхности.

Обратимся к данным магнитных измерений. Они не приводят к однозначным выводам. Одни конусы никак не выражены в магнитном поле, другие дают значения, характерные для вулканических построек, сложенных лавами. Магнитные данные дают представление и о возрасте построек. В геологической истории Северный и Южный магнитные полюса периодически менялись местами. Такие смены полярности называют инверсиями. Вулканы как бы запоминают магнитное поле, которое существовало при излиянии лав и их остывании. Последняя инверсия полюсов произошла около 700 тыс. лет назад, т. е. с нашей, геологической, точки зрения совсем недавно. Так вот, выясняется, что большинство выявленных в районе факела вулканических конусов намагничено «по современному полю», т. е. положительно, и они могут быть моложе 700 тыс. лет, а один имеет отрицательную намагниченность и ему более 700 тыс. лет.

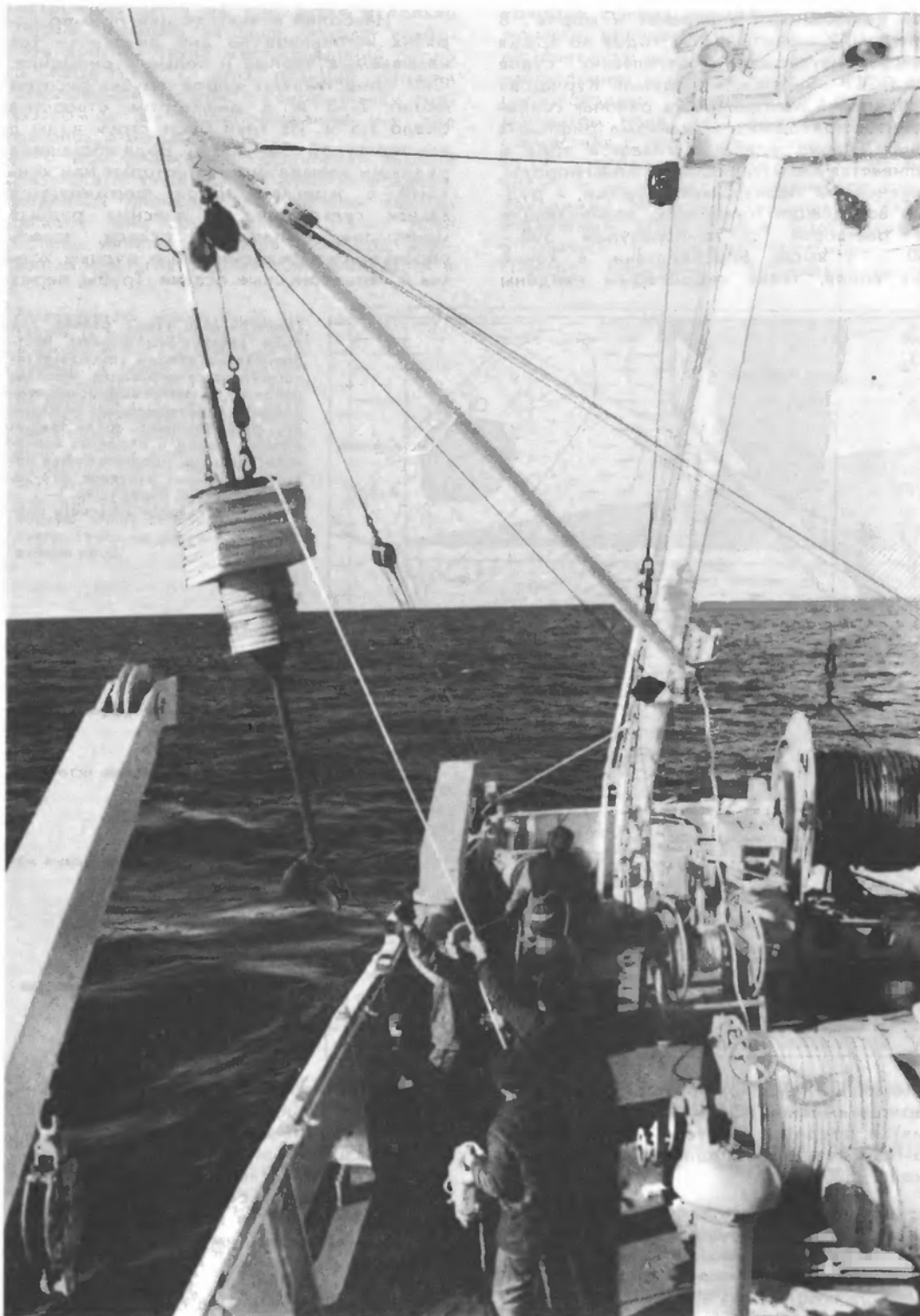
Ну, а о чем говорят непосредственные исследования воды? Каких-либо значительных отклонений в температуре приповерхностного слоя воды и содержании растворенных в ней углеводородных газов не обнаружено. Но мы на это особенно и не рассчитывали. Для создания ощутимой газовой аномалии в приповерхностном слое концентрация газа на глубине 800 м должна превышать фоновую минимум в 15 раз. А содержание метана, основного углеводородного газа в современных гидротермальных источниках суши, значительно ниже. Температурные аномалии «гасятся» в воде еще быстрее. Более информативными должны быть пробы воды непосредственно из факела.

Снова выходим к факелу и берем пробы воды из различных горизонтов водной толщи сначала над ним, а затем примерно в 0,5 и 3,5 км от него. Оказывается, и температура и соленость воды в придонном слое в зоне факела чуть-чуть выше, чем на фоновых станциях. В столбе аномальной воды заметно больше углекислого газа, метана и особенно водорода, гелия и кремния. Эти газы и кремний всегда встречаются в повышенных концентрациях в горячих водах, связанных с вулканической деятельностью, и в фумарольных струях на активных вулканах. Так как факел не связан с каким-либо подводным вулканом, а только приурочен к вулканической зоне, скорее всего это — подводный гидротермальный источник.

Таким образом, нам, видимо, удалось обнаружить первый сравнительно глубоководный гидротермальный источник в островных дугах. Мелководные источники в прибрежной зоне вулканических островов встречаются довольно часто. Имеются они и на Курильских о-вах. Но именно глубоководные источники имеют особую ценность. Вокруг них образуются гидротермально-осадочные сульфидные руды за счет выносимых источниками рудных компонентов.

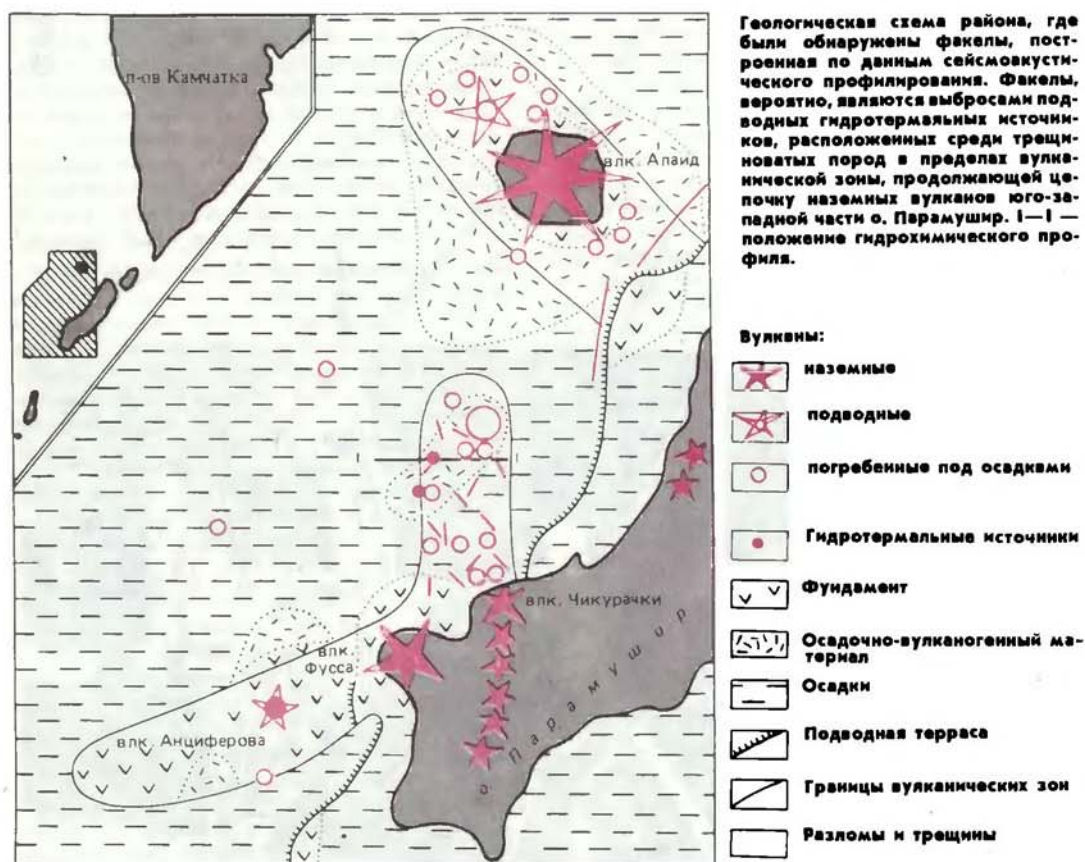
ПОСТАВЩИКИ РУД В ОКЕАНЕ

В последнее время во всем мире возрос интерес к подводной гидротермаль-



ной деятельности в океанах и морях¹. В конце 60-х — начале 70-х годов во время рейсов научно-исследовательских судов АН СССР «Витязь», «Академик Курчатов» и «Дмитрий Менделеев» в районах современного подводного вулканизма (рифтовых зонах океана, где растягивается кора и изливается лава) были обнаружены породы, измененные термальными водами, и рудные ассоциации минералов, возникающие из растворов с температурой 300—350 °С и выше. Впоследствии, в конце 70-х годов, такие гидротермы найдены

Наиболее впечатляющий пример горячих источников на дне океана — так называемые черные и белые курильщики. Они представляют собой трубы высотой около 2—3 м с диаметром отверстия около 1,5 м. Из труб бьют струи воды с температурой 350—400 °С. Вода обогащена рудными элементами, из которых при контакте с морской водой формируются взвеси сульфидных и окисных рудных минералов. Выпадая в осадок, взвесь образует сульфидно-окисные рудные холмы и металлоносные осадки. Трубы, через



с помощью глубоководных обитаемых аппаратов «Алвин» (США) и «Сиана» (Франция) в пределах рифтовой зоны Восточно-Тихоокеанского поднятия на глубинах около 2500 м.

которые поступает термальная вода, также сложены сульфидами железа, меди, цинка, свинца и других металлов.

Масштабы этого процесса поистине грандиозны. Многие известные сейчас на континентах месторождения сульфидных руд меди, цинка, свинца и других металлов формировались именно в такой обстановке, т. е. в зонах проявления вулканизма и связанной с ним гидротермальной деятельности в рифтовых зонах или в

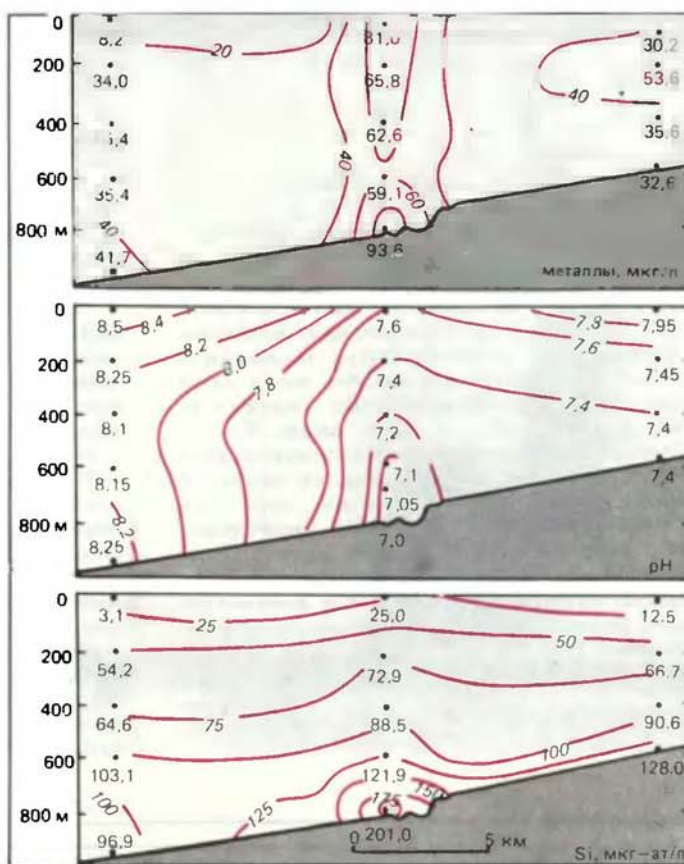
¹ См., напр.: Батурин Г. Н. Сульфидные руды на дне океана // Природа. 1985. № 6. С. 98—104; Базилевская Е. С. Металлоносные осадки // Природа. 1986. № 4. С. 34—41.

островных дугах на дне моря и только потом оказались на суше. Возраст наиболее древних таких месторождений около 3 млрд лет. С этих позиций понятен повышенный интерес к современным гидротермам и рудообразованию на дне океанов и морей.

Вот почему нас обрадовали первые результаты химического анализа осадков, поднятых дночерпателем вблизи выхода факела: они содержали в 1,5—2 раза больше никеля, марганца, фосфора, алюминия и других рудных компонентов. А в

природе факела аномальной воды и возможном количественном выносе рудных компонентов можно было бы только при наблюдениях и отборе проб с обитаемых глубоководных аппаратов. У нас таких аппаратов пока нет. Была разработана совместная с Институтом океанологии АН СССР программа: летом 1986 г. «Вулканолаг» и научно-исследовательское судно «Академик Мстислав Келдыш» с двумя аппаратами «Пайсис» на борту вместе отправятся к факелу. Напомним, что «Пайсис» способен погружаться, вести

Распределение концентрации металлов (в микрограммах на литр) в растворенном и взвешенном состоянии, а также pH и кремния (в микрограмм-атомах на литр) по профилю I—I. Наиболее высокие концентрации металлов и кремния и низкие значения pH приурочены к источнику факела — предполагаемому выходу гидротермального источника на дно моря. Аномальные «ореолы» охватывают всю водную толщу вплоть до поверхности. Точки на рисунке — места отбора проб.



субколлоидной фракции, источником которой, по-видимому, являются гидротермальные поступления, доля подвижного (гидрогенного) железа достигает 75 %. Косвенным признаком существования подводного гидротермального источника является и резко восстановительная обстановка илов вблизи источника, тогда как при удалении от него на 200—300 м уже наблюдается окислительная обстановка.

Но окончательно решить вопрос о

наблюдения и отбирать пробы воды и осадков до глубин 2000 м.

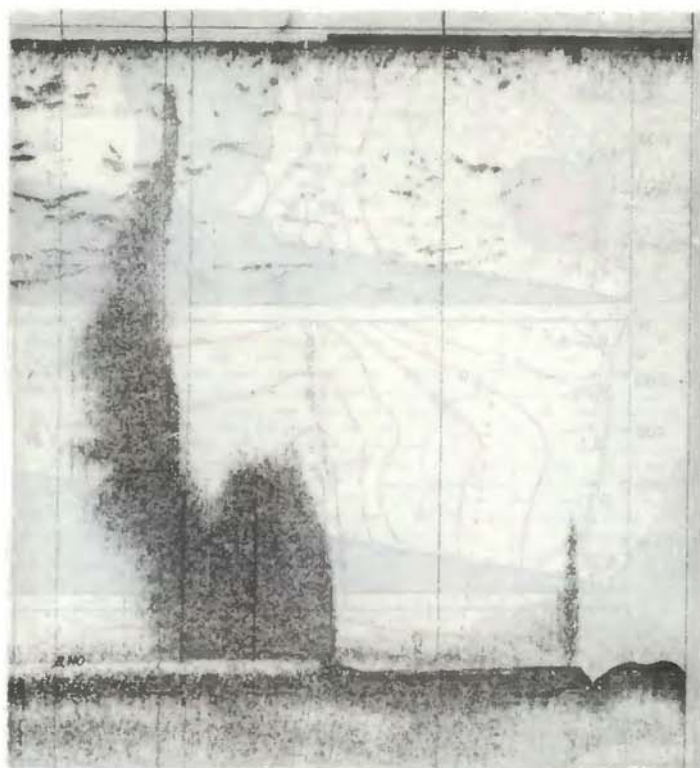
РУДНЫЕ КОМПОНЕНТЫ АНОМАЛЬНОЙ ВОДЫ

Но до этого срока факел находится под пристальным вниманием «Вулканолага». Для успешной работы глубоководных аппаратов нужны и детальная батиметрическая карта, и газогидрохимическая

характеристика морских вод в районе факела, и карта осадков, и схема тектонических нарушений, и данные об изменении параметров факела во времени. Все это заставляет нас проводить кратковременные наблюдения. Дважды за это время специалисты института модернизировали станцию непрерывного гидрогазопрофилирования. Был расширен спектр определяемых газов, поднята чувствительность приборов. Во время исследований в 17-м (1983 г.) и 24-м рейсах (1985 г.) «Вулканолога» установили, что в приповерхност-

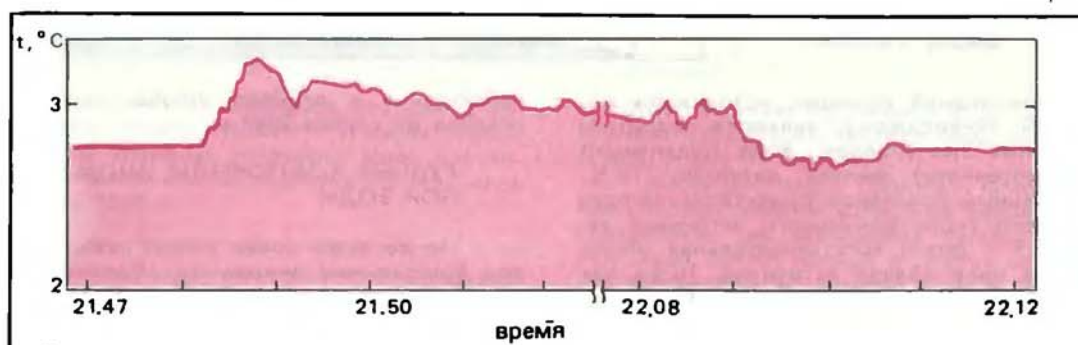
ном слое морской воды над факелом концентрации растворенных газов (водорода, азота, углекислого газа и в меньшей степени метана и аргона) повышены. Это очень важно для разработки методики поисков подводных гидротерм. Искать их с поверхности и дешевле и быстрее.

При детальных гидрохимических исследованиях в 24-м рейсе «Вулканолога» удалось выявить отчетливые зоны повышенных концентраций меди, железа, марганца, фосфора, цинка и других рудных компонентов над предполагаемым выхо-



Эзограмма, сделанная с борта «Вулканолога» 4 сентября 1985 г. Темные участки на рисунке — приповерхностный слой, дно, скопления планктона и, наконец, факел аномальной воды. Глубина моря в районе факела около 800 м, его диаметр — около 300 м. Вертикальные полосы — отметки времени, ограничивающие получасовой интервал.

Автоматическая запись температуры слоя воды на высоте 10 м от дна в районе факела, сделанная с борта «Вулканолога» 5 сентября 1985 г. Разрыв в записи обусловлен ее однотипностью. Температура воды в зоне факела на 0,2—0,5 °С превышает фоновую. Максимальное превышение температуры зафиксировано в начальный момент вхождения датчика в аномальную воду в интервале от 21 ч 48 мин до 21 ч 49 мин.



дом источника на дне. Это еще одно свидетельство в пользу гидротермальной природы факела.

Над источником зафиксирована такая же аномальная концентрация кремнезема — одного из наиболее характерных гидротермальных компонентов, и pH, т. е. концентрации ионов водорода. Регистрация pH представляет особую ценность — этот показатель фиксируется на многие километры от источника и его можно определять в автоматическом режиме на ходу судна. Так что это еще один сравнительно дешевый метод поисков подводных гидротерм.

Если мы имеем дело с подводной гидротермой, важным ее показателем должна служить температура воды. На поверхности моря никаких аномалий мы не обнаружили. Правда, непосредственно над факелом (а в августе 1985 г. факел доходил почти до поверхности, т. е. высота его составляла 800 м) температура воды была на 0,1—0,2 °C ниже окружающей. Это легко объясняется тем, что восходящей струей затягивается и поднимается холодная придонная вода.

А какова же температура на выходе источника? Замеры вблизи гидротермальных источников в рифтовых зонах Тихого океана с обитаемых глубоководных аппаратов «Алвин» и «Сиана» показали, что при температуре источников 350—400 °C, температура морской воды в 10—15 м от них отличается от фоновой всего лишь на 0,4—0,6 °C. Так что зафиксировать с «Вулканолога» такую температурную аномалию на дне моря было очень и очень трудно. По образному выражению нашего сотрудника Е. А. Вакина, это все равно, что измерить температуру, например, Малкинских гидротермальных источников на суше с вертолета, зависнув на высоте 800 м, да еще в туман. Но мы все-таки предприняли такую попытку и, как оказалось, безуспешно.

В. А. Сергеев изготовил специальный безынерционный датчик температуры, который на корабле опускался на расстояние 8—10 м от дна. Запись температуры производилась на ленте самописца на борту судна. За положением датчика относительно дна следили по эхолоту. Сначала при продвижении судна к факелу на самописце прописывалась обычная температура придонного слоя: 2,74—2,77 °C. При входе датчика в факел температура воды резко поднялась до 3,23 °C, т. е. почти на 0,5 °C. Это очень большой перепад, сопоставимый с перепадом температур у подводных источников

Тихого океана, имеющих собственную температуру 350—400 °C. Так что такие температуры не исключены и для источника у о. Парамушир.

Непрерывным сейсмоакустическим профилированием выявлены облакоподобные структуры осадков под дном в районе выхода источника и на значительном удалении от него. Они также могут быть созданы под воздействием поднимающихся горячих растворов. Такой процесс называют гидротермальным метаморфизмом. В подтверждение наших предположений при детальных исследованиях, проведенных в сентябре 1985 г. в 24-м рейсе «Вулканолога», удалось обнаружить еще один факел аномальной воды, расположенный в 8 км от первого примерно в такой же обстановке.

Таким образом, скорее всего мы имеем дело с крупным подводным гидротермальным полем, расположенным к западу от о. Парамушир. И вполне возможно, что это поле является рудоносным. Во всяком случае, в пользу этого говорят пробы морской воды и осадков. Руды могут отлагаться как на дне, так и на путях миграции гидротермальных растворов при подъеме их к поверхности. А «маркировать» такие участки рудоотложения могут те самые облакоподобные структуры.

В июле 1986 г. «Вулканолог» из Петропавловска-Камчатского и «Академик Мстислав Келдыш» из Владивостока возьмут курс на о. Парамушир, в район проявления факелов. Все мы напряженно ждем, когда «Пайсисы» опустятся на дно и возьмут пробы воды и осадков у выхода источников, а участники погружения увидят непосредственное рождение факелов аномальной воды и зафиксируют этот процесс с помощью современной фото- и теле-техники.