

Н. И. ХИТАРОВ

**ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ В РАЙОНАХ  
СОВРЕМЕННОГО ВУЛКАНИЗМА  
В СВЯЗИ С ВОПРОСАМИ ГЛУБИННОГО РУДООБРАЗОВАНИЯ**

Освещение многих вопросов общего геологического значения опирается на материал по современным проявлениям вулканизма. Явления, протекающие в наше время, непосредственно связанные с глубинным проявлением природных сил, особенно влекут к себе исследователей, обещая разрешение многих разнообразных вопросов.

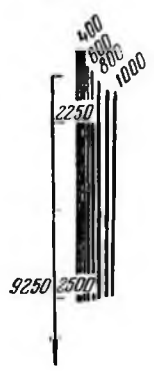
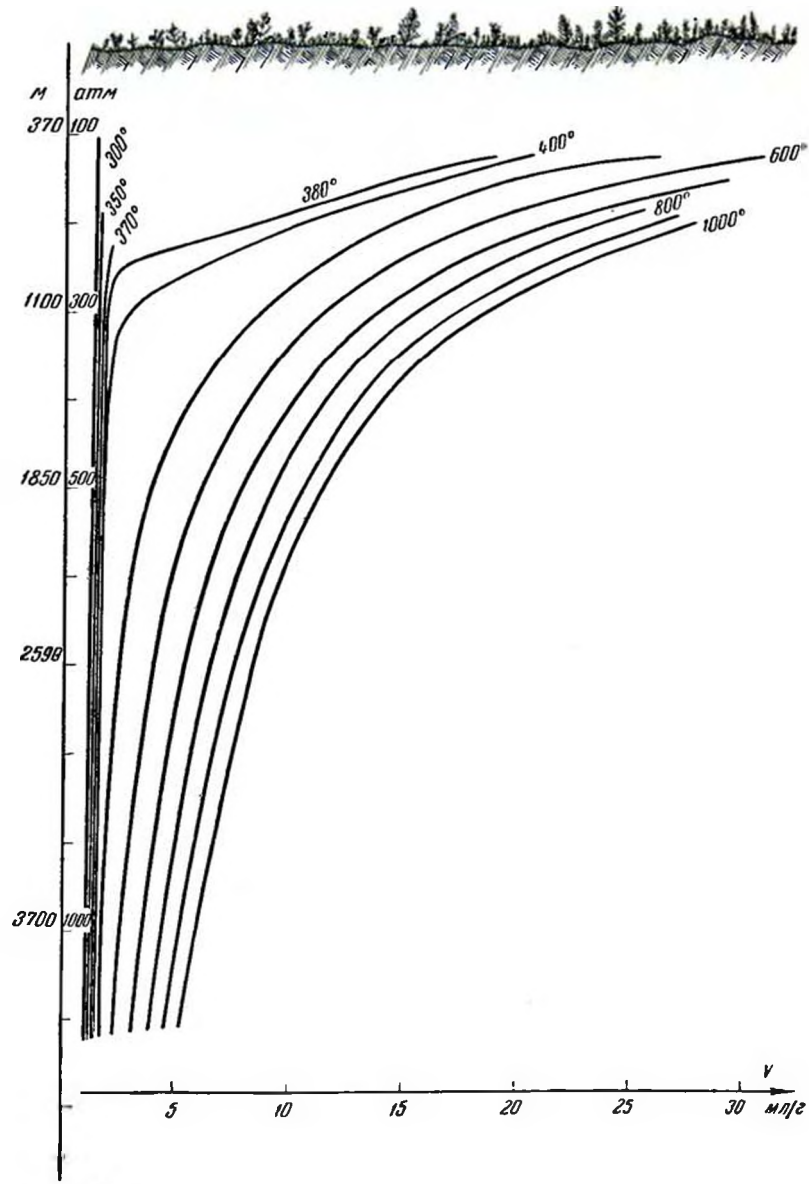
Часть из них важна для расширения представлений о ходе и особенностях процессов, ведущих к образованию на глубине рудных скоплений. Они помогут также понять и расшифровать ряд явлений, которые возникают в этих случаях во вмещающей среде и правильный анализ которых может способствовать выявлению поисковых критериев, годных для приложения в районах развития палеовулканизма.

В связи с этим исключительно важным, интересным и своевременным является постановка специально направленных исследований, способных осветить значения существенных параметров природного процесса, протекающего на глубине.

Температура, давление, вещественный состав поступающего с глубины материала, особенности взаимодействия его с окружающей средой, самый механизм развития вулканического процесса являются одними из первоочередных вопросов, которые следует осветить по действующим, современным и четвертичным вулканам и вулканическим районам.

В условиях проявления эффузивной вулканической деятельности особенно наглядно выявляется значение двух факторов — температуры и давления. Если первый принять развивающимся за счет неравномерного поступления тепла (импульсами) с глубин по каналу, а второй в какой-то мере поставить в зависимость от движущей силы паров воды, то даже при этом упрощении можно видеть, сколь резко могут изменяться физико-химические условия процессов, протекающих на относительно незначительных глубинах.

Обратимся к диаграмме-индикатору движущей силы воды, иллюстрирующей взаимосвязь между давлением, температурой и удельным объемом в координатах: глубина (и соответствующее давление, рассчитанное по колонке пород) и удельный объем. Можно видеть, например, что при глубине в 1100 м, удельном объеме  $2,8 \text{ см}^3/\text{г}$  при температуре  $400^\circ$  давление будет равняться 300 атм; при перегреве до  $700^\circ$  в тех же условиях только за счет воды разовьется давление до 1300 атм, т. е. в результате создается дополнительное напряжение в 1000 атм.



Фиг. 1. Диаграмма взаимосвязи между давлением, температурой и удельным объемом в координатах глубина  $a$  — удельный объем. Для сохранения давления в 300 атм при  $V = 2,8$  разогрев до  $700^\circ$  потребует значительного расширения (при 300 атм  $V = 13,6$ ). Удельный объем 2,8 может быть достигнут лишь сжатием до 1300 атм.

Роль воды при вулканизме значительна. Так, например, С. И. Набоко, принимая среднюю эксплозию Ключевского вулкана в 30 млн. м<sup>3</sup> рыхлых продуктов (пеплов) и подсчитывая количество воды, участвовавшей в выделениях в виде пара, дает цифру в 1200 млрд. литров. Каково давление в период активной деятельности, на каких уровнях держится давление в период затишья? Это сложные вопросы, и наблюдений в этом направлении мало. По выбросам твердых продуктов подсчитывают давление в несколько сот атмосфер. Вряд ли эти цифры отвечают действительности. Необходимо усилить наблюдения в этом направлении в максимально допустимой форме. Следует подготовить наблюдателей и разработать методику наблюдений с таким расчетом, чтобы систематическая работа могла вестись и в периоды пароксизма, и в периоды затишья. Сюда войдут определения энергии взрывов не только по выбросам твердых продуктов и по газопаропепельным скоплениям, но и по физической и химической характеристике фумарольных проявлений.

Накопленные к настоящему времени экспериментальные данные могут быть привлечены при этом к косвенной, приближенной оценке таких параметров, как температура и давление.

Например, известны содержания SiO<sub>2</sub> в сжатом паре и газе воды для меняющихся параметров по  $P$  и  $T$  для широкого диапазона значений.

Выбрасываемые вулканом пар и газ должны содержать в растворенном виде какое-то количество кремнезема. Хорошо отобранные газовые и паровые выделения могут после конденсации по содержанию SiO<sub>2</sub> дать косвенное суждение об условиях выброса по  $P$  и  $T$ , господствовавших на какой-то глубине.

Особенно ценны были бы конденсаты, взятые в надкратерной части (центральное выделение). Необходима разработка метода взятия проб — путем запуска портативных летающих аппаратов типа метеорологических зондов или отбор с самолета, пересекающего паропепельное облако (на допустимой высоте, вне зоны влияния выброса) с выпускаемым на троссе специальным пробоотборником. В этом направлении нужны поисковая работа и опыт.

Хорошо отобранные, даже единичные пробы из выбросов центрального аппарата в период пароксизма должны дать во много раз больше того, что можно извлечь из материала других стадий выделений.

Изучение газовой части только очень редких фумарол может лишь приближенно иллюстрировать химический характер первичных продуктов эгзальций, поэтому лучшие пробы — это кратерные. В этом случае следует ожидать получения наиболее близких к действительности данных по качественной и количественной характеристике газовых выделений вулкана.

Установлено, что в ходе развития вулканической деятельности создается последовательность выделения летучей части — от кислых фумарол через солфатары к мофеттам, но природа этого явления не ясна.

В этом направлении нужны систематические наблюдения и специальные тематические работы. Они должны расширить фактический материал, способный объяснить существо этого явления, и осветить некоторые важные стороны рудного процесса, как, например, вопроса стадийности образования.

Большой интерес представляет возможность привлечения изотопов к разъяснению природных процессов. Среди изотопов многих природных элементов наиболее выгодными для изучения ювенильных поступлений являются изотопы водорода, кислорода и серы.

В качестве начальных исследований по изотопам интересны были бы пробы:

- а) конденсата или газа из надкратерного облака;

- б) пробы из свежеизлившейся, застывающей лавы;
- в) пробы из фумарол.

В тесной связи с оценкой фактора давления стоит вопрос о доли участия воды и о ее значении в вулканической деятельности. В этом направлении, прежде всего, важным является постановка гидрогеологического изучения (с усиленной гидрохимической частью) района действующего вулкана, находящегося под наблюдением, с широким привлечением данных по метеорологической характеристике района.

Этой стороне исследований почти нигде не уделяют достаточного внимания. Необходимо получить какой-то новый материал, чтобы объяснить механизм выхода расплавленного субстрата и роль воды при этом. Надо осветить и такие вопросы, как характер строения жерловой части (по расчету баланса возможных питающих вод и выбрасываемых в период деятельности вулкана), значение и роль ювенильных вод.

Нам представляется, что при современном состоянии наших знаний о гидрогеологических особенностях, например, в районе вулкана Авача и Ключевской сопки, которые весьма бегло удалось осмотреть, основное парение можно объяснить лишь за счет поступлений, вернее обилия только свежеформируемых вод метеорного характера (главным образом конденсационных) с нагретой прижерловой частью вулкана. Воды подземных потоков в районе более глубокой части канала, если и соприкасаются с нагретой частью и образуют пар, конденсируются в перекрывающих и прилегающих эффузивных образованиях, стекают вниз и выходят на поверхность по периферии мантии вулкана. Эти воды почти не питают паром центральный выход.

Чтобы расширить материал по исследованию динамики развития вулканического процесса, следует организовать систематические наблюдения над взаимосвязью сейсмических проявлений в ближайших участках и особенностями парогазовых выделений. Принимая, что в действующей вулканической зоне должна иметь место газопаровая оболочка — буфер, чувствительно реагирующий на сотрясения, можно ожидать некоторого синхронизма в указанных явлениях и получить количественно оцененный его эффект.

Исследования, проводимые в районе современного, действующего вулканизма, дали и дают много для познания поверхностного его проявления, но ограничены возможностью с помощью этого материала развивать познания процессов, протекающих при этом хотя бы на относительно небольшой глубине.

В связи с этим исключительно важным, интересным и своевременным является постановка вопроса о проведении буровых работ с исследовательской целью, значительного масштаба на разные глубины на одной, двух специально выбранных, геологически подходящих, удобных в техническом отношении площадях, прилегающих к зоне проявления активного вулканизма.

Речь идет о площадях, достаточно удаленных от действующего аппарата, но находящихся, по геологическим соображениям, во взаимодействии с активной зоной.

Разбурка такой площади на глубину должна дать исключительно ценный фактический материал, освещающий многие явления взаимодействия активной зоны с прилегающими геологическими образованиями на разных глубинах (доступных для бурения в этих условиях, хотя бы в пределах от 300 до 1500 м), т. е. в условиях, где на процессах сказывалось повышенное отив атмосферного давление, в условиях, отличных от обычных картин верхностного проявления вулканической деятельности.

Отщепления, ответвления на глубине, в сторону прилегающих геологических образований как жидкой, так и газовой составляющей от маг-

мы, продвигающейся по основной линии прохождения извергаемого субстрата в центральный аппарат, должны найти освещение в материалах разбурки.

Особенности физико-химических условий, в обстановке которых произошло образование тех или иных минеральных ассоциаций, устанавливаемых в керне с различных глубин и на различном удалении (т. е. в плане) от основной линии поступления магматического субстрата, могут быть восстановлены с большим приближением к действительным, чем в других местах.

Обратимся в качестве примера хотя бы к поведению серы в условиях, изменяющихся с глубиной.

Обычно главные проявления серы в вулканических районах известны нам в виде элементарной серы,  $\text{SO}_2$  и  $\text{H}_2\text{S}$ . Это в условиях давления в одну атмосферу, при выходе на поверхность, в сепарированном от других элементов виде. Что же делается на глубине, где давление накладывает свой отпечаток на поведение серы, на ее взаимоотношения со многими рудообразующими элементами?

Если воспользоваться схемой преобразования содержащих серу соединений в различных термодинамических условиях (Дейнес), можно видеть, насколько видоизменяется и усложняется поведение серы в глубинной обстановке. По одной сере возникает уже много общего порядка вопросов генетического характера.

Мы знаем скопления серы вулканогенно-осадочного происхождения, имеющие промышленное значение, серные потоки, подобно описанному Вананабе потока вулкана Сиретокко-Есан (о-в Хоккайдо).

Известны вулканические месторождения вкрапленных и массивных руд замещения в андезитах, туфах, жилах, прожилках. Если первые развиты в поверхностной части, то последние уже переходят в приповерхностные части разных глубин.

Действующие вулканы и их ближайшая приповерхностная часть почти не несут рудных месторождений.

Само же тело вулкана и прилегающие породы на относительно незначительных глубинах уже могут служить вместителем более или менее многочисленных скоплений различных руд.

Фумаролы и горячие источники, особенно в районах современного или недавнего вулканизма, показывают длительное остывание магмы и выделение газов и паров. На глубине это может вести к концентрации рудных месторождений.

Из месторождений, образованных в этих условиях, известны месторождения золота, серебра, ртути в виде жил, рудных гнезд (бананцев), развитых в Кордильерах, месторождения вулканического кольца Тихого океана, Японии, Новой Зеландии, внутри Карпат, вокруг области опускания Венгрии и Трансильвании и др.

Как известно, газы и горячие термальные растворы разной степени кислотности накладывают свой отпечаток на породы, с которыми они соприкасаются при своем продвижении.

Одни текут медленно, просачиваясь через большие массы породы, другие — быстро в готовых каналах и вызывают значительные изменения в непосредственно примыкающих породах.

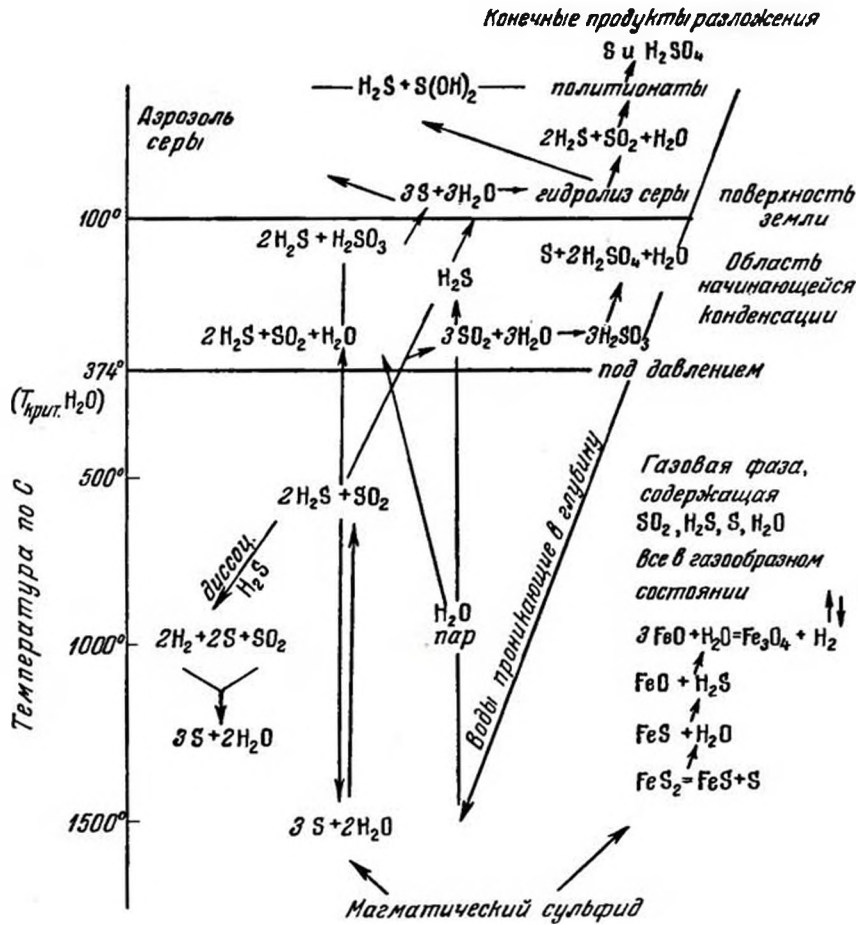
Широко распространены такие типы изменений, как пропилитизация, силификация, серицитизация, алуинитизация.

В рудоносных районах они охватывают часто значительные площади, создают зоны измененных пород. Оценка последних, как одного из широко привлекаемых поисковых признаков на руду, далеко не проста.

В связи с этим исследовательские работы на глубину в районах совре-

менного, действующего вулканизма, а также частью и в районах наиболее позднего четвертичного вулканизма, должны дать многое.

Особая ценность результатов исследований на глубину при этом определяется тем, что они будут получаться с участков проявления молодого и современного вулканизма. По сравнению с другими районами здесь



Фиг. 2. Схема процессов, развивающихся при воздействии воды на магматический сульфид и серу при различных температурах (по Дейнесу).

наименее вероятны изменения за счет наложения более поздних процессов, обычно осложняющих восстановление первичной картины.

Уместно отметить, что в области учения об осадочных породах способ подхода к решению генетических вопросов путем сравнительного сопоставления разновозрастных пород между собой и древних пород с современными осадками, как известно, геологической практикой оправдывается. Аналогично и в области учения о вулканизме, о связанных с ним явлениях и процессах, постановка специальных исследований на глубину в области современного и четвертичного вулканизма окажется полезной не только в области теории, но и в поисково-разведочной практике. Она даст возможность получить материал, способный облегчить расшифровку многих геологических неясностей в других районах Союза, где имеет развитие палеовулканизм.

Постановка бурения в указываемых районах не должна нас пугать своей сложностью, так как опыт нефтяников в этих районах уже имеется, даже до глубин, превышающих 1000 м, не говоря о зарубежном опыте — например, о бурении итальянцами на Флегрейских полях, к западу от Неаполя, где имеются скважины глубиной до 1840 м и температурой на забое около 300° С.

Нельзя обойтись без сведений о термической жизни в районе вулкана. Обычно она характеризуется температурой излияния лав, отдельных твердых выбросов, фумарольных выделений и температурой горячих источников, но систематические геотермические наблюдения, способные выявить при режимной постановке дела термическую жизнь окружающего участка на глубине, отсутствуют. Мы до сих пор не имеем никаких сведений о том, как идет подвод тепла, каков во времени ход нарастания и спада температур в тепловом поле отдельных вулканических аппаратов. Мы не имеем данных для обоснования элементарных представлений о взаимосвязях между тепловыми потоками в зоне вулканизма и основными структурными предпосылками. Весь этот раздел исследований должен привлечь к себе особое внимание. Требуется немедленное осуществление ряда мероприятий.

Необходимо в ряде точек на территории деятельности Вулканологической станции Академии наук обеспечить проходку нескольких неглубоких скважин хотя бы до 100—150 м с целью создания опорной сети скважин для проведения систематических термических наблюдений. Эти скважины следует оборудовать измерительной аппаратурой с автоматизированной записью хода температурных изменений. Результаты этих измерений в сочетании с сейсмическими данными на фоне геологического строения района должны в значительной степени расширить наши представления о термической жизни в зоне вулкана и о ее влиянии на многие сопряженные процессы, в том числе и на рудообразующие.

Данные по геотермическим исследованиям в районах современного вулканизма — это ключ к решению многих существенных вопросов теории и практики. Достаточно упомянуть хотя бы две такие крупные проблемы, как тепловое состояние земной коры и Земли в целом и вопросы практического использования подземного тепла.

Непосредственные данные, способные облегчить разработку этих двух крупнейших проблем, могут быть получены в результате систематических, целеустремленных геотермических исследований в районах современного вулканизма.

Перечисленным, понятно, далеко не исчерпываются задачи исследований в районах современного вулканизма, но уже упомянутые задачи представляют исследовательскую работу большого объема, к реализации которой нужно приступить в ближайшее же время.