

АВАЧИНСКАЯ ГРУППА ВУЛКАНОВ
(Ю.П. Масуренков, И.А.Егорова, М.Ю.Пузанков)
Геологическое строение и история развития
вулканов Авачинской группы

Авачинская группа представлена линейным рядом вулканов, вытянутым в северо-западном направлении, т.е. вкрест Восточному вулканическому поясу. Группа состоит из вулканов (с запада на восток): Ааг (2319 м), Арик (217 м), Корякский (3456 м), Авачинский (2751 м) и Козельский (2190 м). Общая площадь связанных с этими вулканами отложений равна примерно 2000 км². До высоты около 1000 м отдельные вулканы группы не обособляются, отложения их подножий образуют изометричный аккумулятивный пьедестал диаметром 40-50 км.

Ааг и Арик представляют собой вулканический массив, образовавшийся вследствие накопления лавово-пирокластического материала через систему сближенных центров извержений. Среди последних существенное место занимают экструзии. Подобное строение имеет и вулкан Козельский, образующий противоположный конец ряда. Он представляет собой массив слившихся экструзий и центров преимущественно лавовых излияний. Корякский вулкан относится к стратовулканам центрального типа с побочными лавовыми излияниями. Авачинский вулкан построен по типу Сомма-Везувий. Высота соммы достигает 2317 м, диаметр - 4 км, относительная высота вложенного в сомму молодого конуса - 700 м, кратер на его вершине имеет в диаметре 350 м, глубина его 220 м.

Особое место в Авачинской группе вулканов занимает вулканический массив Монастырь-Сарай, расположенный в юго-западном секторе Авачинского вулкана. Его положение

ние на месте недостающего юго-западного звена соммы и сходство составов пород послужило А.Н. Заварицкому основанием для отнесения его к сомме Авачинского вулкана. Наши работы выявили новую систему фактов, дающих основание для отнесения этого массива к уцелевшему фрагменту более древнего самостоятельного вулкана.

Формирование вулканической группы началось, по меньшей мере, со среднего плейстоцена. В историческое время известны извержения Корякского и Авачинского вулканов. Последнее извержение Корякского вулкана произошло в 1956-1957 гг., когда из радиальной прикратерной трещины на северо-западном склоне наблюдались выбросы газов и пепла. Авачинский вулкан извергался 40 лет назад в 1945 г. Извержение было эксплозивным, выпало большое количество пепла. В настоящее время оба вулкана находятся в стадии фумарольной деятельности.

Среди действующих вулканов Камчатки и СССР в целом Авачинская группа вулканов, наряду с Эльбрусом, занимает исключительное место. Это определяется ее положением в экономически освоенном районе, с одной стороны, и наличием близповерхностного магматического очага - с другой. Первый аспект выдвигает проблему изучения вулкана как потенциально опасного объекта. На первое место в этой проблеме выходит служба прогноза ожидаемых вулканических извержений. Через сеть автоматических сейсмостанций Институт вулканологии постоянно следит за состоянием вулкана. Второй аспект особого значения рассматриваемой вулканической группы состоит в возможности утилизации ее глубинной энергии. Общее количество тепла, заключенного в близповерхностном магматическом очаге, оценивается в 2×10^{20} кал (Федотов и др., 1977). В связи с этим Институтом вулканологии предложено бурение в очаговую зону с целью извлечения глубинного тепла.

Ниже излагаются основные представления о строении и развитии вулканов группы, отражающие достигнутый к настоящему времени уровень их изучения.

Строение фундамента вулканов. Главная особенность структурного положения Авачинской группы вулканов состоит в их связи с пересечением продольных и поперечных разломов. При этом наиболее ярко проявилась система поперечных к общекамчатскому простиранию разломов. Образуя южное звено Восточного вулканического пояса Камчатки, Авачинская группа вулканов приурочена к так называемой Налачевской поперечной шовной зоне (Масуренков, Комкова, 1978). Вдоль этой зоны происходит замыкание Восточно-Камчатского синклиория, в пределах которого локализуется Восточный вулканический пояс. Замыкание осуществляется путем воздымания структур и слияния обрамляющих синклиорий с запада и востока структурно-фациальных зон.

Систему продольных структур в районе Авачинской группы вулканов образуют Термальный рифт и Авачинско-Вилучинский линеамент (рис.12). Термальный рифт связан с региональным глубинным разломом, определяющим локализацию вулканических центров и гидротермальных систем Восточного вулканического пояса. В пределах рассматриваемой группы вулканов Термальный рифт представлен Пиначевско-Аагским

Рис.12. Карта поверхности мелового фундамента Авачинской группы вулканов:

1 - изогипсы поверхности в метрах; 2 - разломы; 3 - проявления термальных и минеральных вод; 4 - гидрохимические аномалии; 5 - плейстоцен-голоценовые стратовулканы; 6 - ось Термального рифта; 7 - Авачинско-Вилучинский линеамент; 8 - оси дуговых поднятий (блоков).

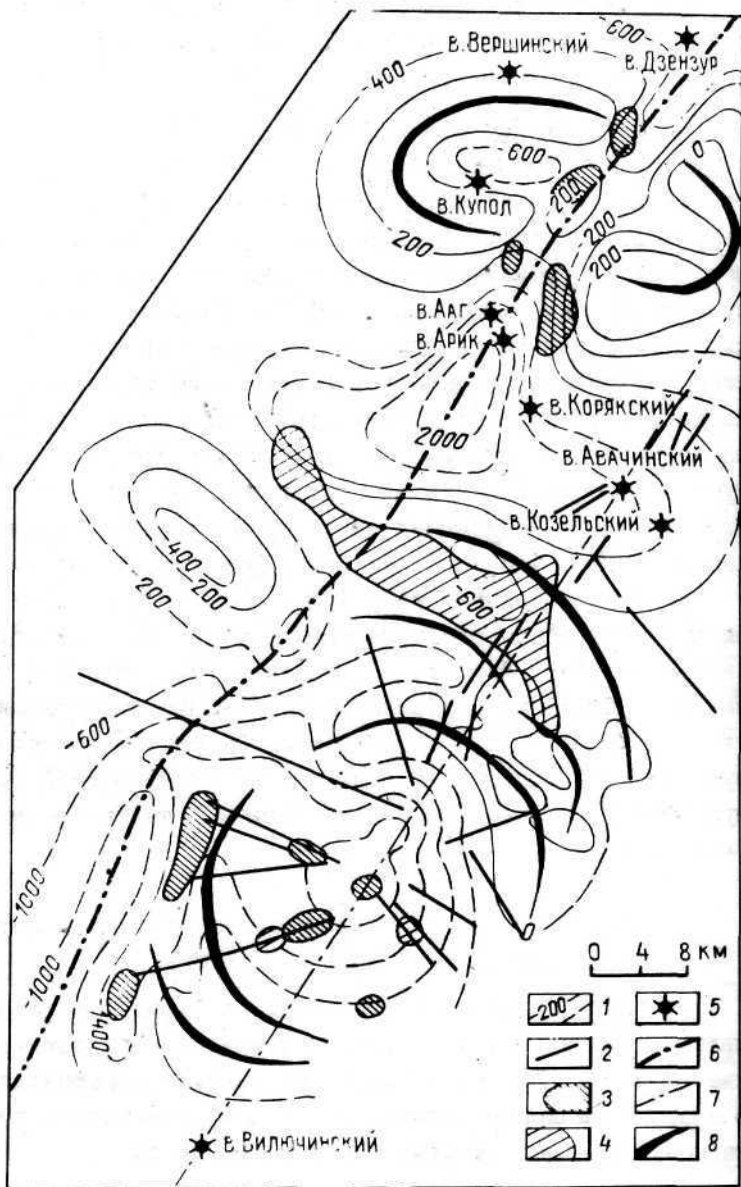


Рис. 12.

грабеном, определяющим размещение вулканических аппаратов и гидротермальных проявлений в западной части вулканической группы. Авачинско-Вилючинский линеамент проявлен системой разломов, вдоль которых расположены вулканы Жупановский, Авачинский, Вилючинский и ряд более мелких аппаратов. Структура рифта выражена не явно, она намечается лишь на отдельных участках.

Авачинская группа вулканов расположена на периферии Налачевского вулканического центра и является его крайним юго-восточным фрагментом. Центр развивался с миоцена, некоторые элементы его структурной предыстории четко прослежены с мел-палеогенового этапа. На юге Авачинская группа вулканов примыкает к сложной купольно-кольцевой структуре Авачинской бухты. Эта структура развивалась главным образом в плиоцене. В настоящее время она проявляет себя повышенной сейсмичностью. В ее пределах известны голоценовые вулканические аппараты.

Структурную позицию Авачинской группы вулканов хорошо отражает поверхность мелового фундамента (см. рис. 12). Главная особенность ее состоит в наличии купольной структуры, совпадающей с Налачевским вулканическим центром. Свод купола, осложненный просадками и расчлененный Термальным рифтом, располагается в истоках р. Налачевы к северо-западу от Авачинской группы вулканов. Здесь меловые породы основания подняты на высоту 0-200 м относительно уровня моря. К периферии купола поверхность мелового фундамента погружается до глубины 1500-2000 м ниже уровня моря. Авачинская группа вулканов приурочена к южному и юго-восточному склону купола.

В расположении вулканов группы существенную роль играют и разломы, проявленные в виде уступов на поверхности мелового фундамента. Вулканы Корякский, Авачинский и Козельский располагаются вдоль такого уступа, являю-

щегося частью Налачевской поперечной шовной зоны. Вдоль нее погружена юго-западная часть структуры. Вулканы Ааг и Арик, помимо этого же северо-западного разлома, контролируются прогибом упомянутого Пиначевско-Аагского грабена.

Вблизи города поверхность меловых пород снова испытывает воздымание. Ее характер позволяет выделить несколько структурообразующих систем. Первая принадлежит купольно-кольцевой структуре, состоящей на этом участке из ряда дуговых блоков, ступенчато поднимающихся к середине купола. На его своде располагается депрессия Авачинской бухты. Вторая структурообразующая система представлена крупными северо-западными разломами, третья - северо-восточными. Последняя, являясь частью Авачинско-Вилючинского линеамента, играет существенную роль в размещении новейших вулканических проявлений.

Геология и история развития. Древнейшим вулканическим-сооружением в пределах Авачинской группы вулканов, по нашему мнению, является массив Монастырь-Сарай. В отличие от предложенной А.Н. Заварицким и повторенной вслед за ним другими трактовки этого массива как части соммы Авачинского вулкана, мы считаем возможным отнести его к самостоятельному образованию. Это основывается на следующих данных:

1. По положению, морфологии и степени эрозионной обработки массив не "вписывается" в сомму.

2. Эффузивно-пирокластические и вулканогенно-осадочные отложения массива залегают относительно Авачинского вулкана центриклинально в отличие от периклиналиного залегания отложений соммы. Разница в положении толщ составляет более 40° . Поворот горного массива на такой угол ничем не подтверждается. Попытка реконструкции его пер-

вичного положения, при допущении такого поворота, приводит к еще большему несоответствию морфологии массива и соммы. Внешняя сторона массива при этом вместо пологого, как у соммы, наклона приобретает почти отвесное положение, что, естественно, невозможно для вулкана.

3. Строение массива не соответствует строению союш. В массиве четко выделяются две разные по генезису и составу толщи; зффузивно-пирокластическая и вулканогенно-осадочная. Сомма сложена монотонно переслаивающимися лавовыми и пирокластическими отложениями.

4. В массиве наблюдается выклинивание нескольких даек в направлении к кратеру Авачинского вулкана. Это может быть истолковано как свидетельство поступления расплава не со стороны Авачи, а с противоположной, где предполагается кратер более древнего вулкана.

5. К югу от массива геологическими и геофизическими исследованиями выявлены вулканические образования, которые вместе с массивом образуют кольцо останцов, подобных руинам единого сооружения с центром в районе Бомбежного поля.

Из этих данных видно, что массив Монастырь-Сарай с большой вероятностью может быть отнесен к фрагменту древнего вулкана. По-видимому, этот вулкан был уничтожен взрывами, направленными главным образом к югу, т.к. южнее его взрывной кальдеры располагается огромное поле взрывных отложений. Оно занимает площадь более 160 км^2 , объем отложений, по разным оценкам, составляет $30-70 \text{ км}^3$. Ранее эти взрывные отложения приписывались Авачинскому вулкану. Однако их объем и положение противоречат этому: объем сорванной вершины Авачи не превышает 8 км^3 , а массив Монастырь препятствует размещению взрывных авачинских отложений на этой площади. Он служит экраном для них, направляя взрывы к краям площади распространения

описываемых взрывных отложений. Их рельеф и ориентировка пирокластических потоков прямо указывает на район Бомбежного поля как на источник этих отложений. Здесь геофизическими методами на поверхности меловых образований выявлена овальная воронка, которая может быть интерпретирована как взрывная кальдера. Вокруг нее располагается кольцевая система нескрытых экструзий или фрагментов взорванного вулкана.

Возраст предполагаемого вулкана Монастырь - не позднее среднечетвертичного, а вероятнее всего - нижнечетвертичный. Вулканиты представлены андезитами, андезитобазальтами и базальтами.

Следующими по возрасту образованиями в пределах Авачинской группы вулканов являются ее самые западные постройки - вулканы Ааг и Арик. Они несут яркие следы обработки ледниками второй фазы верхнеплейстоценового оледенения, в то же время лавы этих вулканов моложе нижнечетвертичных эффузивов, на которых они располагаются. Следовательно, вулканизм этого этапа относится к среднему началу верхнего плейстоцена. К этому же времени относятся и экструзии у северного окончания Пиначевского хребта и р. Дремучей.

Постройки вулканов Ааг и Арик формировались в течение двух фаз. Первая фаза - образование обломочно-пирокластической толщи в основании вулкана Ааг и перекрывающих ее лавобрекчий и лав. Вторая фаза - серия многочисленных центров излияния лав и экструзий, в том числе и вулкан Арик. Вулканиты представлены дацитами, андезитодацитами, андезитами.

Ко второй половине верхнего плейстоцена относится формирование вулканов Козельского, Авачинского и Корякского. В их строении и истории развития отмечаются существенные различия.

Самый восточный вулкан группы - Козельский, согласно данным В.А. Будникова с соавторами (1976), формируется как исключительно эффузивный вулкан центрального типа с андезитовым составом лав. Наши наблюдения свидетельствуют о присутствии в разрезе конуса не только эффузивов, но и пирокластических образований. Имеются среди пород Козельского вулкана и более основные, чем андезиты, разновидности - базальты и андезито-базальты. Они чаще встречаются в верхней части разреза, т.е. изливались на заключительных стадиях формирования конуса. После некоторого перерыва в процессе и после серии направленных взрывов, разрушивших северо-восточную часть постройки, происходит образование экструзивных куполов. Всего в теле вулкана насчитывается не менее 15 крупных экструзий, составляющих до 20% от объема всего вулкана.

Экструзия Фанза на р. Мутной имеет форму типа тюя, т.е. формировалась, по-видимому, в леднике. Продукты катастрофических взрывов, уничтоживших часть постройки, среди отложений подножий в чистом виде не выделяются, т.к. перекрыты или поглощены мореной первой и второй фазы верхнеплейстоценового оледенения. Эти факты делают возрастное положение Козельского вулкана довольно определенным - накануне и в течение верхнеплейстоценового оледенения.

Конус Авачинского вулкана формировался также, вероятно, в течение оледенения. Он построен по типу обычного стратовулкана. Его разрез хорошо обнажен в обрывах соммы. Это монотонная перемежаемость лавовых потоков с пирокластикой. Состав вулканитов - базальты, андезито-базальты и андезиты. В конце верхнеплейстоценового оледенения в результате взрывов была сорвана верхняя часть постройки объемом около 8 км³. Взрывы были направлены к юго-западу вдоль долин рр. Ботанической, Камбальной

и Сухой Халактырской. Взрывные отложения слагают высокие борта долины этих рек в верхнем течении и погребены под более молодыми отложениями - в среднем. Их соотношение с моренами второй фазы оледенения свидетельствует скорее о фациальном замещении, т.е. о субсинхронном образовании. Многочисленные экструзии, окружающие Авачинский вулкан, формировались во время или после взрывной стадии в конце оледенения. Об этом свидетельствуют такие их формы как туюя (экструзия Меса) и маар (экструзия Ванна Сергея). Часть экструзий относится к последниковому времени - концу плейстоцена - началу голоцена.

На вулкане Корякском отсутствуют скульптурные ледниковые формы верхнеплейстоценового оледенения, однако широкое развитие у его подножия пояса морен этого возраста позволяет считать, что в конце позднего плейстоцена вулкан уже существовал и продолжал действовать в голоцене (Мелекесцев и др., 1970).

Современная постройка Корякского вулкана образована в два этапа. В начальный, плейстоценовый, этап деятельности последовательными излияниями лав оливин-клинопироксеновых плагиобазальтов и пироксеновых андезитобазальтов была сформирована щитообразная постройка с абсолютной высотой до 2 км (судя по положению выходов этих пород на склонах вулкана). На втором этапе в ранне-среднеголоценовое время, т.е. почти без перерыва, главный центр извержений сместился к западу, и вулканическое сооружение наращивалось преимущественно потоками двупироксеновых андезитов и андезито-базальтов. Эффузивные извержения происходили как из центрального, так и из побочных кратеров. По-видимому, в раннем голоцене образовался ряд шлаковых и лавовых конусов на южном склоне вулкана, сложенных оливин-двупироксеновыми плагиоба-

зальтами. В среднем голоцене после излияния лав двупироксеновых андезитов и андезито-базальтов из субтерминального и латеральных кратеров изливались мощные потоки роговообманково-пироксеновых андезитов. В дальнейшем действовали отдельные шлаковые и лавовые конусы на склонах и у подножия Корякского вулкана. Сложены эти конусы оливиновыми базальтами.

Основой для реконструкции голоценовой истории Авачинско-Корякской группы вулканов послужило изучение разрезов пирокластических отложений, сформировавшихся у подножий отдельных вулканов. Как показали исследования О.А. Брайцевой и др., проведенные на других объектах, разрезы пирокластических отложений довольно полно отражают историю эксплозивной активности вулканов за определенный отрезок времени.

В голоцене самым активным был Авачинский вулкан. У его подножия образовался чехол пирокластических отложений мощностью до 10 м. Наиболее представительные разрезы пирокластических отложений расположены в 4-7 км от современного конуса (долины рр. Сухой Елизовской, Сухой Халактырской, Мутной, Седловинной), где кроме вулканогенных отложений хорошо выражены горизонты погребенных почв и супесей, образовавшихся во время ослабления или прекращения вулканических проявлений (почвенно-пирокластический чехол).

Полный голоценовый почвенно-пирокластический чехол сформировался на моренах верхнеплейстоценового оледенения, которые имеют широкое распространение в районе Авачинско-Корякской группы вулканов (Мелекесцев и др., 1970). По результатам спорово-пыльцевого анализа (сопоставление спорово-пыльцевой диаграммы разреза почвенно-пирокластического чехла подножия Авачинского вулкана с датированной диаграммой эталонного разреза восточной вул-

канической зоны (Егорова и др., 1960, "Вулканический центр. Г), формирование почвенно-пирокластического чехла в районе Авачинско-Корякской групп вулканов началось 8000-9000 лет назад. Горизонты пирокластики начали накапливаться около 7000 лет назад. Таким образом, в почвенно-пирокластическом чехле запечатлена история эксплозивной активности за последние 7000 лет,

У подножия Авачинского вулкана разрез пирокластических отложений имеет четкое двучленное строение, свидетельствующее о двух этапах или двух крупных циклах вулканической активности, отличающихся как по вещественному составу, так и по характеру эксплозивной деятельности. Нижняя часть разреза, представленная преимущественно пемзовым материалом андезитового состава (SiO_2 57-62%), отражает, по-видимому, завершение крупного вулканического этапа, начавшегося еще в доголоценовое время. В пользу такого предположения говорят довольно мощные отложения пемзовой пирокластики, сохранившейся на древней поверхности плато постройки Монастырь, примыкающей с юга к подножию современного конуса Авачи. Сохранились фрагменты пирокластических потоков, представленных серыми и розовыми туфами, состоящими в основном из ювенильного материала, а также бурыми туфами, насыщенными резургентными обломками. Туфы переслаиваются с пемзовой тефрой, состоящей из белых и розовых лапилли, бомб, пемзовых песков, и с горизонтами раздробленных серых андезитов. С небольшими перерывами на слегка эродированной поверхности этих отложений залегает голоценовый пирокластический чехол, возраст которого 7000 лет. Следы этого крупного доголоценового этапа сохранились в виде фрагментов пирокластических потоков и пемзовой тефры на останцах древних построек и у северного подножия Авачи (верхове р. Седловинной, подножие высоты 964). По-

следний ритм активности названного этапа запечатлен в голоценовом почвенно-пирокластическом чехле. Этот ритм, в свою очередь, состоит из трех микроритмов, разделенных периодами ослабления вулканической активности. Извержения этого периода отличались большой силой, носили взрывной характер и сопровождалась не только выбросами тефры, но и излияниями пирокластических потоков. Как тефра, так и отдельные порции пирокластических потоков насыщены резургентными обломками. Пирокластические потоки распространялись в южном направлении по долинам рр. Сухой Елизовской и Сухой Халактырской и вошли в зону древесно-кустарниковой растительности. Обугленная древесина, обнаруженная в основании пирокластических потоков, имеет радиоуглеродный возраст около 5000 лет (Мелекесцев, 1970). Пемзовая тефра образовала покровы мощностью от 40 до 100 см на большой площади в северо-восточном и северо-западном направлениях. Пемзовые лапилли засыпали северное и северо-восточное подножие Авачинского и все подножие Корякского вулканов. В долине р. Налачевой, на расстоянии более 18 км от центра извержения, залегает метровый слой пемзы, который используется в народном хозяйстве.

Завершился последний ритм крупного этапа активности Авачинского центра 4500-5000 лет назад. Морфологического выражения в виде вулканической постройки или кратера описанный этап вулканизма не имеет. Можно только предположить, что на месте современного конуса Авачи в конце плейстоцена - начале голоцена существовала какая-то постройка, скорее всего это были экструзивные купола, которые разрушились при извержениях.

После периода относительного покоя, фиксированного в почвенно-пирокластическом чехле образованием горизонта погребенных почв, 3500-4000 лет назад начался новый

этап активности, выразившийся в формировании современного конуса вулкана Авача. Во время формирования конуса извержения носили пульсирующий характер. Короткие периоды активности, сопровождающиеся выбросами больших объемов пироклаستيку и излияниями лавовых потоков, чередовались с периодами ослабления вулканических проявлений, во время которых формировались маломощные горизонты погребенных почв. Пирокластический материал представлен темно-серыми шлаками и шлаковыми бомбами, вулканическими песками преимущественно базальтового и реже андезитово-базальтового состава (SiO_2 51,5-54,5%). Андезитово-базальтовым составом характеризуется пирокластик извержений последней тысячи лет.

Корякский вулкан сильных эксплозивных извержений в голоцене не имел, пирокластический чехол у его подножий в основном представлен тефрой Авачинского вулкана. Извержения Корякского вулкана носили преимущественно эффузивный характер. На склонах вулкана и у подножий происходило образование трещин, излияние лавовых потоков и формирование лавовых и шлаковых конусов. В результате таких извержений образовались обширные лавовые поля у юго-западного и западного подножий. Наиболее интенсивная вулканическая деятельность Корякского вулкана в голоцене совпадает с периодами эксплозивных извержений на вулкане Авача в диапазоне 4500-7000 лет назад. Происходившие более поздние извержения были менее значительными.

Глубинное строение по геофизическим данным. В районе Авачинской группы вулканов выполнен комплекс геофизических работ, представивших значительную информацию о глубинном строении вулканической группы и ее связи с мантией (Балеста, 1966, 1967, 1961; Горельчик, 1970; 1974; Фарберов, 1974; Федотов, Фарберов, 1966; Федотов, Потапова,

1974). Настоящий раздел написан по материалам этих исследований.

Мощность земной коры в районе группы вулканов, по данным ГСЗ, заметно сокращена относительно соседних районов и составляет 18-22 км. Верхняя мантия слоиста. Глубже 45 км залегает слой со скоростью продольных сейсмических волн 8,1 км/с. В интервале глубин 29-45 км лежит линза со скоростью 7,4-7,6 км/с, выше, в интервале 21-42 км - более плотный слой со скоростью 7,8-7,9 км/с. Таким образом, под вулканами фиксируется аномальное строение верхней мантии, выражающееся в наличии скоростной инверсии, что предопределяет неравновесное состояние недр вулканов. Более высокоскоростной и, следовательно, плотный слой, лежащий на относительно легком слое, рассматривается нами как остаточный (реститовый) слой, образовавшийся после удаления из него легкоплавкой части. Линза относительно легких пород мантии (скорость 7,4-7,6 км/с) является, по-видимому, недифференцированной смесью ультраосновного кристаллического вещества мантии с неотделившимся от него базальтовым расплавом (Масуренков, Комкова, 1978). Областью питания вулканов базальтовой магмой является, вероятно, этот аномальный слой мантии на глубине 29-45 км.

Кровля "базальтового" слоя (пластовые скорости 7,0-7,2 км/с) залегает под вулканами на глубине 9-10 км. Мощность слоя составляет 12-14 км. "Гранитный" слой сокращен в мощности до 2-6 км, кровля его залегает на глубине около 8 км. Выше располагается слой со скоростями соответственно 5,7 и 5,5 км/с, его поверхность под Авачинским вулканом лежит на глубине 2 км. По-видимому, это кристаллический фундамент.

Аномальные свойства мантии, помимо наличия скоростной инверсии в ней, сказываются также в асейсмичности недр и

явлениях затухания и экранирования сейсмических волн под Авачинской группой вулканов. Асейсмичная зона имеет форму перевернутой капли диаметром 20-100 км и глубиной до 150 км. Ее положение в недрах соответствует положению Налачевского вулканического центра на поверхности. Поскольку подобные асейсмические зоны установлены под другими действующими вулканами (Насу, О-Шима), есть основание рассматривать их как закономерную форму аномалий в мантии, связанных с вулканизмом. Эти тела интерпретируются как всплывающие и проходящие сквозь фокальную зону астенолиты. Непосредственным следствием воздействия их на кору является ее выпячивание над астенолитом, преобразование вещества коры и его плавление.

Таким образом, наиболее характерными чертами глубинного строения Авачинской группы вулканов является наличие перегиба поверхности мел-палеогенового фундамента, сокращение мощности "гранитного" слоя, куполовидное поднятие по поверхности мантии, наличие в ней аномальной низкоскоростной линзы и асейсмичной области. Одним из следствий воздействия аномальной мантии астенолита на кору является возникновение в ней периферических магматических очагов под вулканами.

По гравиметрическим, магнитным и сейсмическим данным в пределах коры выявлена аномальная зона под Авачинским вулканом, отождествляемая с периферическим магматическим очагом. Эта зона создает крупную локальную аномалию силы тяжести, не вызывает заметной положительной магнитной аномалии и создает аномалии в распространении сейсмических волн. Интерпретация комплекса геофизических данных приводит к выводу о том, что периферический магматический очаг Авачинского вулкана располагается на границе верхнемелового фундамента и перекрывающей его

вулканогенной толщи. Глубина его залегания по сейсмическим данным - 1,5 км от уровня моря, по гравиметрическим данным центр тяжести аномальных масс залегает на глубине 4 км. Размеры очага по данным сейморазведки определяются в плоскости фундамента и оцениваются радиусом $5,2 \pm 0,9$ км. При этом наиболее "разогретая" часть очага оценивается радиусом 3,6 км. Гравиметрия дает размеры аномальной зоны при плотности пород очага $2,85-3,1 \text{ г/см}^3$ - $5,2 \times 2,6$ км. Теплофизические расчеты, выполненные С.А. Федотовым (1980), дали наиболее вероятный радиус - 2.2 км. Физические параметры вещества очага оцениваются по прохождению сейсмических волн: скорость продольных волн - 2200 м/с, вязкость пород - 10^5-10^8 пуаз.

Петрология продуктов вулканизма

Породы Авачинской группы вулканов представлены базальтами, андезито - базальтами, андезитами, андезито - дацитами и дацитами. Преобладающими являются андезито-базальты и андезиты. Наименее распространены дациты. Для каждого вулкана характерен свой преобладающий тип пород. Андезиты наиболее распространены на крайних вулканах ряда, базальты и андезито-базальты - на Авачинском вулкане. Таким образом наблюдается четкая петрографическая зональность в группе: основность вулканизма постепенно возрастает к центру группы.

Во времени также наблюдается неравномерное распределение петрографических типов пород. Наиболее ранние проявления вулканизма характеризуются, в среднем, наиболее повышенным содержанием кремнезема. На общем фоне возрастающей основности вулканитов наблюдается ритмичное изменение их состава как в целом для группы, так и для отдельных вулканов.

Минералогия вулканитов представлена в основном плагиоклазами, оливинами, пироксенами, роговой обманкой и магнетитом. Состав темноцветных минералов меняется сравнительно мало. Плагиоклазы являются более чуткими реагентами на изменение условий плавления и кристаллизации. Даже в пределах одного шлифа иногда наблюдается изменение состава плагиоклазов до 65% An. В ядрах кристаллов часто присутствуют анортиты. Их происхождение связывается с реакционным преобразованием пород субстрата при его плавлении и удалении альбитовой составляющей. Этот процесс особенно вероятен при распаде амфиболов в ходе плавления амфиболсодержащих пород. Реальность такого процесса была показана на основании изучения разных стадий плавления по включениям в вулканитах Авачи. В этой связи интерес представляют собой два типа включений: в разной степени плавленные габбро и раскристаллизованные вулканиты. Первые отнесены к реликтолитам - не полностью расплавленным породам кристаллической среды, в которой возникает периферический очаг. Вторые являются продуктами кристаллизации магмы в периферическом очаге и (или) подводящем канале. Это автолиты. Эволюция очага на прогрессивной (плавление) и регрессивной (кристаллизация) стадиях запечатлена в последовательной серии включений (табл.8). Амфиболы полностью исчезают на прогрессивной стадии. Продукты их преобразования - анортиты, ромбический пироксен, оливин. Последний тут же преобразуется в ромбический пироксен и рудный минерал.

Весьма показательно полное отсутствие признаков кристаллизационной дифференциации в авачинском периферическом очаге. Помимо приведенных данных о количественно-минералогическом составе кристаллизующихся пород, это иллюстрируется также данными по химическому составу образующихся частично раскристаллизованных полнокристаллических пород (табл. 9).

Таблица 8

Изменение минерального состава в периферическом магматическом очаге
Авачинского вулкана (объемн.%)

Состав	Плавление кристаллической среды, реликтолиты			!Вмещающий !вулканит	!Кристаллизация рес- !плава, автолиты		
	Плагиоклазы	64	57		55	32	53
Амфиболы	25	17	3	-	-	-	-
Ромбические пироксены	4	6	10	9	10	10	10
Моноклинные пироксены	2	4	2	3	3	4	6
Магнетит	4	6	2	1	3	4	5
Кварц	-	-	-	-	-	-	6
Стекло	1	10	28	55	21	14	-

Сопоставление петрографических данных по вулканитам Авачи с экспериментальными данными позволяет сделать ряд петрологических заключений об условиях их кристаллизации. Так, можно считать достоверным, что образование вкрапленников происходило на глубинах ниже 40 км. Давление воды при кристаллизации расплавов не превышало 1,5 кбар. Температура эндоконтактных раскристаллизованных зон периферического очага составляла 800-1125°С, внутренних участков очага - 930-1250°С. Состав, формирующийся в очаге интрузии, отвечает габбро-диориту с вероятной плотностью в камере не более 2,82 г/см³.

Большой петрологический интерес представляют разнообразные ксенолиты в вулканических породах Авачинской группы вулканов.

Амфиболиты, амфиболсодержащие кристаллические сланцы, мраморы и продукты их преобразования (скарны, роговики), составляющие около 10% ксенолитов, относятся нами к отторженцам кристаллического фундамента, лежащего под мел-палеогеновыми осадками. Этот субстрат мел-палеогеновой геосинклинали, магматические составляющие которого имеют черты подобия типичным океаническим базальтам: пониженное содержание окиси кремния, алюминия и калия, повышенные концентрации титана, двухвалентного железа и магния.

Большинство ксенолитов представлено перидотитами и пироксенитами. Высказаны разные точки зрения об их происхождении/ Наиболее аргументированной представляется мантийная гипотеза, рассматривающая их как остаточное вещество мантии. В оливинах и ортопироксенах этих ксенолитов содержатся гарово-жидкие включения. Давление в них при температуре 210°С достигает 7-8 кбар, что соответствует глубине 23-27 км. Как отмечалось выше, распо-

Таблица 9

Химический состав (% массы) и содержание стекла (объемн.%) в породах вулcano-плутонической серии вулкана Авача

Состав	I	2	3	4	5
Стекло	55	28	12	6	0
SiO ₂	54,20	54,52	54,56	54,68	53,26
TiO ₂	0,80	0,80	0,86	0,86	1,10
Al ₂ O ₃	19,39	17,53	18,43	18,75	18,67
Fe ₂ O ₃	2,75	3,10	4,30	2,43	3,68
FeO	4,62	5,00	3,76	5,26	5,10
MnO	0,13	0,15	0,12	0,12	0,14
MgO	4,00	4,52	4,27	3,95	4,05
CaO	9,30	9,21	8,84	8,66	9,59
Na ₂ O	3,85	3,64	3,94	3,94	3,73
K ₂ O	0,70	0,65	0,75	0,75	0,67
H ₂ O ⁻	0,10	нет	нет	0,06	0,02
H ₂ O ⁺	0,18	0,31	0,26	0,26	0,24
P ₂ O ₅	0,26	0,22	0,30	0,29	0,21
Сумма	100,28	99,65	100,30	100,01	100,46

Примечание. Аналитик Т.В. Долгова.

латающийся на этой глубине слой мантии является остаточным после удаления из него базальтового расплава. По видимому, ксенолиты перидотитов и пироксенитов могут быть отторженцами этого слоя мантии. Сравнительно невысокие для мантии скорости в них обусловлены наличием в минералах множества газовой-жидких и стекловатых включений.

Таким образом, петрологические данные совместно с геофизическими материалами позволяют создать непротиворечивую модель глубинного строения Авачинской группы вулканов. Согласно этой модели базальтовая магма верхней мантии при подъеме с глубины 30-40 км в верхние горизонты коры вызывает плавление ее пород на глубине 2-3 км и образование таким образом периферического очага. Легкоплавкие продукты плавления, смешиваясь с базальтовой магмой, смещают ее состав до андезитов и дацитов. Тугоплавкие образуют расплавы андезито-базальтового состава. Время формирования периферического очага соответствует верхнему плейстоцену - началу голоцена. В последующее время очаг заполнился более основными расплавами, возникшими от плавления более тугоплавких пород коры и поднявшимися из мантии.

ЭКСКУРСИИ

Маршрут № I. Петропавловск-Камчатский - река Сухая
Елизовская

Экскурсия начинается от Института вулканологии по дороге, пересекающей возвышенность с холмисто-увалистым рельефом, сложенную вулканогенными отложениями. В естественных обнажениях эти отложения вскрываются в обрывах северного берега Авачинской бухты. В результате исследований И.В. Мелекесцевым было сделано предположение, что возвышенность, расположенную южнее Авачинского вулкана

и занимающую площадь около 160 км², слагают отложения направленных взрывов. Мощный направленный взрыв связывали с вулканической постройкой, существовавшей на месте современной Авачи. Исследования последних лет позволили сделать иное предположение. Реконструирован центр более древней вулканической постройки, существовавший южнее Авачинского вулкана, с которой могли быть связаны взрывные отложения. Руины этой постройки сохранились у южного подножия Авачи в виде массива Монастырь. С отложениями направленного взрыва можно ознакомиться в карьере домостроительного комбината, расположенном на 12-м км Елизовского шоссе, где вскрывается типичный разрез этих отложений. По описанию Т.С.Краевой, в карьере под 1,5-метровым почвенно-пирокдастическим чехлом обнажается агломератовый туф видимой мощностью до 20 м. Материал весьма пестрый по гранулометрическому составу: наряду с частицами пелитовой, псаммитовой и псефитовой фракций, имеются угловатые или со слегка обитыми гранями глыбы диаметром до 3-4 м. Петрографический состав обломочного материала однообразный: преобладают пористые пироксеновые и роговообманковые андезиты и реже андезито-базальты и оливиновые базальты. Пелито-псаммитовая фракция имеет тот же состав. Отложения пестроокрашенные: преобладают темно-серые и фиолетово-серые цвета.

Далее по пути к подножию вулкана маршрут проходит по грунтовой дороге, проложенной по поверхности субэральных дельт сухих рек. Сухие реки являются своеобразной чертой южного склона Авачинского вулкана. Термин "сухие реки" отражает своеобразие гидрологического режима. Вода в них бывает преимущественно весной и в начале лета в период интенсивного таяния снега. В остальное время года вследствие большой водопроницаемости рых-

лых пород подножий вулканов они практически лишены воды. Отложения сухих рек образуют множество узких локальных террас, высота которых убывает вниз по течению. Помимо отложений временных водотоков долины сухих рек заполняются отложениями грязевых потоков, вызванных бурным таянием снега при извержениях, а также пирокластическими потоками.

Река Сухая Елизовская, по которой далее проходит маршрут, прорезая зону южного подножия Авачинского вулкана, вскрывает в береговых обнажениях верхнеплейстоценовую морену, отложения голоценовых пирокластических потоков и разрезы почвенно-пирокластического чехла.

В верховье реки, где кончается зона распространения лесов из каменной березы, на левом берегу обнажаются отложения голоценового пирокластического потока. Здесь пирокластический поток состоит из двух порций, представленных розово-серыми и серыми туфами андезитового состава с большим количеством резургентного материала.

На пирокластическом потоке сформировался почвенно-пирокластический чехол, отражающий эксплозивную деятельность Авачинского вулкана во время формирования современного конуса. Еще выше по течению, у самого подъема к туристической базе, в левом борту сухой реки вскрывается разрез, предположительно, взрывных отложений вулкана Авача, слегка переработанных водноледниковыми процессами. На этих отложениях сформировался более полный почвенно-пирокластический чехол, отражающий эксплозивную активность Авачинского вулкана за последние 7000 лет.

Маршрут № 2. Южные склоны Корякского вулкана

В маршруте (общей протяженностью 13 км) можно осмотреть голоценовые побочные аппараты и связанные с ними лавовые потоки Корякского вулкана.

После подъезда по вулканогенно-пролювиальной равнине и подъема по заросшим березовый лесом и стланиками лавовым потокам открывается цепочка из трех раннеголоценовых конусов, образовавшихся, по-видимому, на радиальной трещине в теле вулкана. Все три конуса сложены пористо-пузыристыми базальтами, содержащими во вкрапленниках плагиоклаз, оливин, моноклинный и ромбический пироксены, шлаками базальтов и агглютинатами.

Хорошо сохранился высокий шлаковый конус с кратером на вершине, заполненный обломками ржаво-красных шлаков. Рядом расположен лавовый конус с широким замкнутым кратером диаметром 120 м, дно его покрыто почвенно-пирокластическим чехлом.

Эти конусы огибает среднеголоценовый лавовый поток со "свежей" шлаково-глыбовой поверхностью. Отчетливо выражены боковые и поперечные им дугообразные валы течения. Сложен поток темно-зелеными, черными андезитами, содержащими во вкрапленниках плагиоклаз, ромбический и моноклинный пироксены, роговую обманку и оливин. Длина этого потока 9-9,5 км, ширина от 1 до 2 км.

Андезитовый поток вложен в рельеф, выработанный в продуктах извержений плейстоценовой стадии деятельности Корякского вулкана. Южные отроги Центрального конуса сложены серией потоков плотных темно-зеленых базальтов, содержащих во вкрапленниках плагиоклаз, оливин и авгит, а также потоками двупироксеновых андезито-базальтов. Выше, в бортах барранкосов видны отпрепарированные радиальные дайки базальтов и андезитов. Дайки базальтов, соединяясь друг с другом, образуют здесь фрагмент системы подводящих каналов. Простираение радиальных даек в целом север-северо-западное, соединяющих их даек-перемычек - север-северо-восточное меняется в пределах 10° падение крутое $60-80^\circ$, причем направление па-

дения у одной и той же дайки может меняться с восточного на западное (от 70° на запад до 60° на восток). Отдельные дайки прослеживаются вверх по склону на расстояние до 2,2 км. Мощности даек от 2-3 до 6-7 м. Вмещающими породами являются базальты с аналогичным плагиоклаз-оливин-авгитовым набором вкрапленников. В центральной части даек массивные, пористые базальты, которые ближе к контакту переходят в оплавленную (черную) хрупкую шлаковую корку мощностью до 0,3 м.

После перехода по верхнеплейстоцен-нижнеголоценовым лавам маршрут приводит к еще одному мощному андезитовому потоку среднеголоценового возраста, также излившемуся из латерального кратера на южном склоне вулкана. Длина потока 7-7,5 км, ширина до 2,0 км. Поверхность потока в верхней части слегка замыта пролювиальными отложениями.

Далее маршрут проходит вдоль восточного бокового вала этого потока к г. Медвежьей - эксцентричному лавовому конусу базальтов, находящемуся в правом борту р. Сухой Елизовской (в 5 км от Авачинского стационара).

Маршрут №3. Вулкан Авачинский

Этот маршрут требует хорошей физической подготовки и элементарных альпинистских навыков, т.к. связан с большими нагрузками в технически сложных условиях горного восхождения.

При подъеме на западные отроги соммы Авачинского вулкана от бывшего геофизического стационара можно видеть отложения лапиллей последних извержений, устилающих склон вулкана. Местами из-под них наблюдаются выходы коренных пород - андезитов и андезито-базальтов. На высоте 1700 м тропа выходит на гребень соммы. Здесь и далее обнажаются пироксеновые андезиты, оливин-пироксе-

новые андезиты-базальты, реже базальты. Среди лапиллей часто встречаются фисташково-зеленые ксенолиты перидотитов, иногда в черной рубашке реакционных амфиболов. Обычны также ксенолиты габбро, кристаллических сланцев, мраморов, известково-силикатных роговиков. Встречаются также в разной степени раскристаллизованные до полнокристаллических автолитные включения.

На высоте 2100 м расположена группа дайковых тел "Идол". Они представлены пироксеновыми андезитами. По всему гребню наблюдаются выходы андезитов, андезитобазальтов, базальтов.

Часть постройки, образующая сомму вулкана, имеет высоту до 2377 м. Она опоясывает современный конус полукругом, открытым на юго-запад в верховье рр. Ботанической, Камбальной и Сухой Халактырской. Вершина древнего конуса Авачи была сорвана взрывами в конце плейстоцена во время оледенения. Молодой конус Авачи образовался в позднем голоцене. Его возраст 3500-4000 лет.

Подъем к кратеру осуществляется от скалы Идол, имеющей отметку 2158,2 м, по северо-западному склону конуса. Высота подъема составляет 550 м, крутизна склона от 15° у основания конуса до 40° у кратера. Кратер вулкана представляет собой воронку диаметром до 350 м с почти отвесными склонами и глубиной более 200 м. На дне кратера имеются участки, разогретые до 700°C . На его внешнем склоне наблюдаются многочисленные фумаролы с температурой до 170°C . Общая мощность естественных выходов тепла в кратере Авачинского вулкана составляет около 7×10^{11} ккал/ч или $2 \cdot 10^7$ ккал/с

Скала Серный гребень, вдвинутая в кратер от его юго-западной кромки, является средоточием большого количества горячих газовых выделений. Здесь от воздействия фумарольных газов вулканические породы преобразованы особенно сильно, вследствие чего приобрели яркий

желтый, оранжевый и красный цвет. На их поверхности отлагается сера в виде копьевидных зеленовато-желтых кристаллов и зеленовато-серых натечных масс.

Южные стенки кратера сложены лавами излияния 1938 г., северные - агломератами 1945 г. Породы молодого конуса сложены главным образом базальтами и андезито-базальтами.

Молодой конус вулканами особенно его кратерная зона, представляют серьезную опасность при передвижении. Необходимо тщательно соблюдать предосторожность. Вследствие неустойчивого состояния стенок кратера приближаться к его краям не рекомендуется.

Литература

Балеста С.Т. Земная кора и магматические очаги областей современного вулканизма. - М.: Наука, 1981.-134 с.

Вулканический центр: строение, динамика, вещество.. - М.: Наука, 1980.-299 с.

Заварицкий А.Н.. Вулкан Авача на Камчатке. - М.1 Наука, 1977.

Масуренков Ю.П., Комкова Л.А. Геодинамика и рудообразование в купольно-кольцевой структуре вулканического пояса. - М.: Наука, 1978.-274 с.

Мелекесцев И.В., Краевая Т.С, Брайцева О.А. Рельеф и отложения молодых вулканических районов Камчатки. - М.: Наука, 1970.-103 с.

Федотов С.А., Балеста С.Т., Дроздин В.А. и др. О возможности использования тепла магматического очага Авачинского вулкана.-Бюл.вулканол.станций,1977,№57,с.23-37.

Федотов С.А. О входных температурах магм, образовании, размерах и эволюции магматических очагов вулканов.- Вулканология и сейсмология, 1980, № 4, с.3-29.