

Ю. С. ДОБРОХОТОВ

**ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ КРАТЕРОВ НЕКОТОРЫХ
КАМЧАТСКИХ ВУЛКАНОВ***По материалам аэросъемки Камчатской экспедиции Академии Наук СССР, 1946 г.*

Опыт применения аэросъемки в различных геологических работах показал, что при помощи аэроснимков нетрудно получить данные о расположении, форме и размерах геологических сооружений, т. е. те сведения, которые характеризуют морфологию изучаемого района. Эти сведения обычно оказываются более подробными, нежели материалы наземных обследований, так как многие важные детали, зачастую ускользающие от внимания полевых работников, хорошо различимы на аэроснимках. Значительные выгоды приносит использование снимков и в наземных геологических работах. При помощи снимков нетрудно разработать подробный план полевых обследований и наметить наивыгоднейшие направления отдельных маршрутов. Наконец, применение цветной фотографии и специальных сортов фотографических эмульсий, повидимому, позволит заменить некоторую часть полевых работ камеральным геологическим дешифрированием.

Указанные достоинства аэросъемочного материала должны иметь большое значение также и для вулканологии. Здесь уместно заметить, что Н. Г. Келль, принимавший участие в работах Камчатской экспедиции Русского географического общества в 1908—1910 гг., уже тогда ясно представлял значение измерительной фотографии для вулканических исследований. Материалы проведенной им на Камчатке фотограмметрической наземной съемки во многом помогли ему при составлении известной карты Камчатских вулканов, опубликованной в 1925 г. Особенно важным представляется применение аэросъемки при изучении районов активного вулканизма. Повторные съемки отдельных действующих вулканов, а также целых вулканических областей дают возможность получить подробные количественные характеристики тех морфологических изменений, которые явились следствием извержений или других вызванных ими явлений. Важно также указать, что материалы таких съемок могут быть использованы при составлении или корректировании специальных и топографических карт.

Изложенные соображения послужили причиной тому, что при организации воздушной экспедиции на Камчатку академик А. Н. Заварицкий включил в программу ее работ аэросъемку наиболее важных камчатских вулканов. При выборе методики съемки приходилось учитывать недостаток времени, сделавший невозможным постановку каких-либо геодезических работ, даже в том минимальном объеме, который необходим для точных измерений по снимкам. В пояснение сказанному здесь представляется уместным изложить в самых общих чертах принцип стереофотограмметрических измерений.

Как показывает самое название метода, измерения размеров изучаемого объекта проводятся по двум снимкам, сфотографированным одним аппаратом, но с двух различных точек стояния. При фотографировании рас-

стояния между точками стояния, а также направления съемки выбираются такими, чтобы все точки объекта изобразились на обоих снимках. Если полученные подобным образом негативы поместить в проекционные камеры с теми же оптическими и геометрическими параметрами, которые имеет съемочный аппарат, то, наблюдая за ходом проектирующих лучей, можно поворотами камер добиться такого взаимного их положения, когда любая пара лучей, проектирующих идентичные точки негативов, будет пересекаться в пространстве. В этом случае поверхность, содержащая точки пересечения, образует фигуру, геометрически подобную сфотографированному объекту. Такая «модель» объекта имеет произвольный масштаб, зависящий от выбранного расстояния между проекционными камерами, и произвольно ориентирована в пространстве. Чтобы найти масштаб и ориентировать модель относительно горизонта, необходимо знать геодезические координаты трех точек местности, хорошо опознаваемых на снимках и не лежащих на одной прямой. Эти точки обычно называются опорными. Тогда масштаб нетрудно найти, если измерить расстояние между двумя точками модели, соответствующими двум опорным точкам на местности. Зная масштаб, а также наклон плоскости, проходящей через опорные точки, к горизонту, можно определить положение геодезической системы координат внутри модели. Если теперь совместить с осями координат измерительные шкалы, то нетрудно измерить пространственные координаты любой точки модели.

Все перечисленные здесь операции по измерению пространственных координат точек в той последовательности, как она была здесь изложена, осуществляются при помощи сложных оптических приборов. Ошибки измерений весьма невелики и для наиболее точных приборов редко превышают 1–1.5 м.

Особенно просто пространственные координаты определяются по так называемым плановым снимкам, т. е. таким, которые были получены при положении оси съемочной камеры, близком к вертикали. В этом случае сложные геометрические построения могут быть заменены сравнительно простыми вычислениями пространственных координат по измеренным на снимках плоским координатам опорных и некоторых других точек. Аналитический метод дает несколько меньшую точность, но зато более производителен и не требует применения сложных приборов.

Таким образом, определение пространственных координат по снимкам, каким бы способом оно ни проводилось, возможно лишь после того, как станут известными координаты опорных точек. Однако, как мы уже указывали, выполнение геодезических работ силами экспедиции совершенно исключалось. Рассчитывать же на использование геодезических материалов прошлых лет, при малой геодезической изученности Камчатки, также было бесполезно.

Тем не менее отсутствие опорных точек еще не означало, что аэрофотоснимки не смогут быть использованы в измерительных целях. В самом деле, уже самая возможность построения модели позволяет найти правильные геометрические соотношения между отдельными элементами объекта, а использование дополнительных данных может, до известной степени, восполнить отсутствие опорных точек. Так, например, масштаб модели, построенной по плановым снимкам, может быть найден по высоте полета. Ошибки в определении масштаба зависят от ошибок в измерении высоты и при использовании для этой цели обычных самолетных альтиметров.

¹ Вообще говоря, достаточно добиться пересечения только пяти пар идентичных лучей, тогда все остальные лучи пересекутся автоматически.

метров они лежат в пределах 2—5%. Только в очень редких случаях они достигают 10%. Так как плановые снимки в момент фотографирования

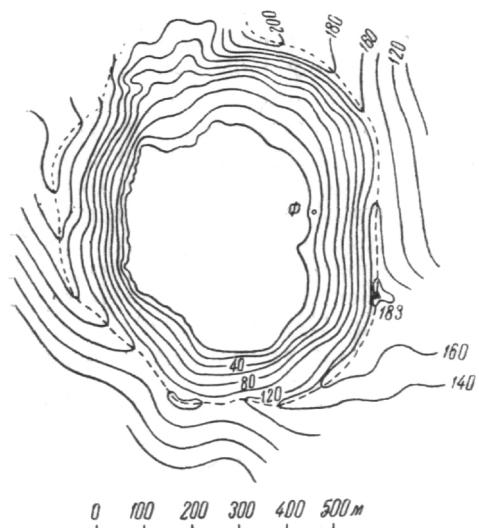


Фиг. 1. Общий вид вулкана Малый Семячик

всегда занимают положение, близкое к горизонтальному, то построенная модель оказывается уже приблизительно ориентированной. Уточнение ориентирования во многих случаях может быть выполнено по точкам, лежащим по берегам водных бассейнов или по берегам рек с малым или известным падением.

Несмотря на известную приближенность результатов подобного метода измерений, они представляют несомненный интерес, так как позволяют получить ясные и в достаточной мере объективные представления о геометрическом строении изучаемых вулканических образований. Поэтому в программу работ экспедиции была включена плановая аэросъемка наиболее важных вулканов.

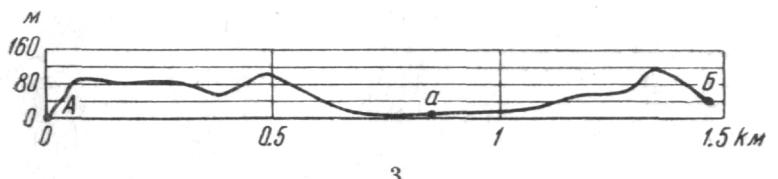
Помимо плановой съемки, программой предусматривалось выполнение перспективного фотографирования большей части вулканов, расположенных к югу от сопки Шивелуч.



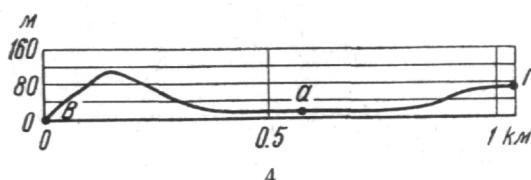
Фиг. 2. План главного кратера вулкана
Малый Семячик

Фотографирование, как показывает самое название способа, должно было выполняться аппаратом, наклоненным под малым углом к горизонту и установленным для этой цели на борту самолета. Хотя метод определения пространственных координат по перспективным снимкам принципиально ничем не отличается от рассмотренной ранее схемы, все же отсутствие опорных точек делает необходимым применение особых способов измерений, которые еще

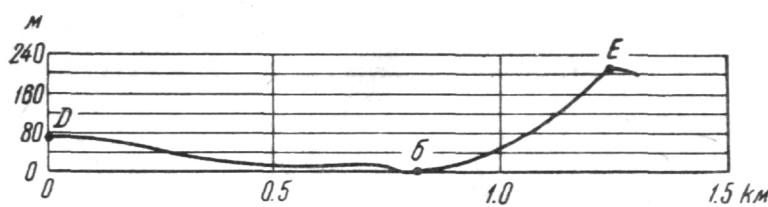
недостаточно разработаны и составляют предмет специального исследования. Поэтому предполагалось на первое время использовать перспективные снимки главным образом как иллюстративный материал, который давал бы возможность составить общее представление о морфологическом строении каждого вулкана в отдельности. В этом отношении такие снимки оказываются особенно ценными, так как при стереоскопическом их рассматривании они создают привычные для глаза представления о рельефе и обладают поэтому наибольшей наглядностью.



3



4



5

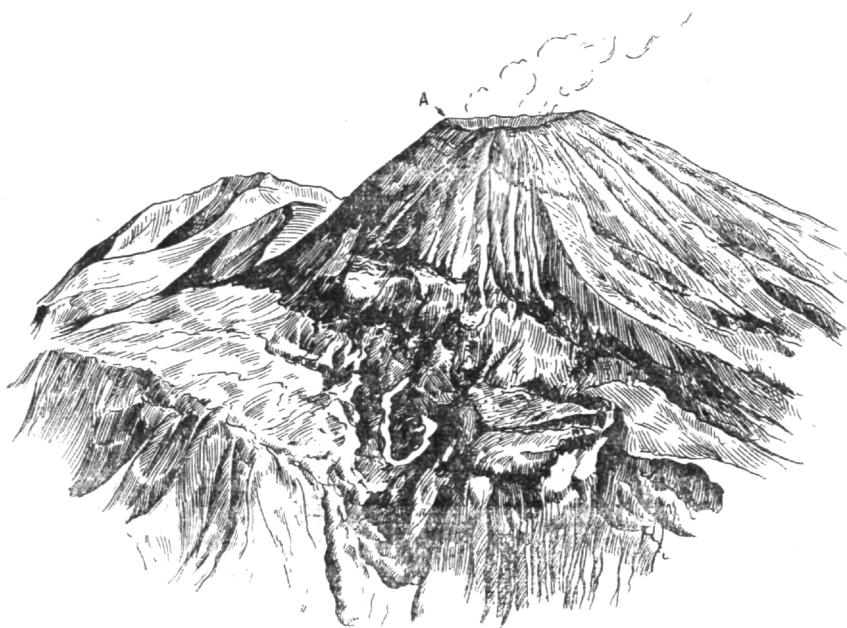


6

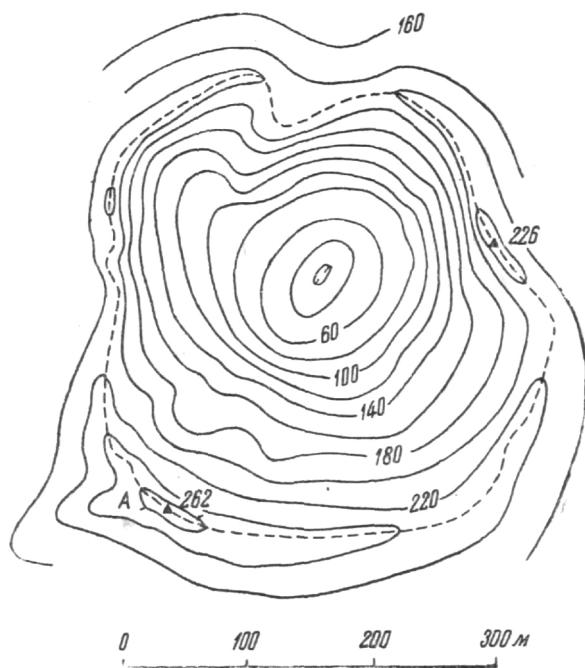
Фиг. 3, 4, 5, 6. Профили кратеров вулкана Малый Семячик

Намеченная программа была выполнена за период с 24 августа по 2 октября 1946 г. в десяти съемочных полетах общей продолжительностью около 40 летных часов. В этих полетах, помимо большого количества перспективных фотографий, удалось получить плановые снимки вулканов Авачи, Ключевского, Карымского, Большого и Малого Семячика, Крашенинникова, Ксудача и некоторых других. Несколько задержавшаяся обработка плановых снимков была начата с определения формы и размеров кратеров вулканов Малого Семячика, Авачи и Крашенинникова. Ограничение программы обработки снимками трех вулканов было сознательным, так как на их примере предполагалось разработать наиболее целесообразную методику измерений. Методику удалось разработать, и обработка фотографий других вулканов стоит на очереди.

Результаты проведенных измерений представлялись автору не лишенными некоторого интереса. Это, собственно, и послужило причиной опубликования настоящей статьи.



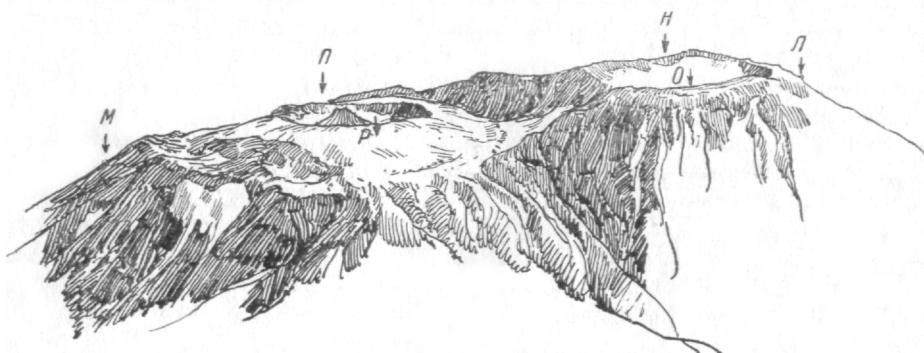
Фиг. 7. Общий вид конуса Авачинского вулкана



Фиг. 5. План кратера Авачинского вулкана

1. Вулкан Малый Семячик. На фиг. 1¹ штриховым рисунком изображен общий вид вулкана в том виде, как он был получен с высоты 4 км на цветной перспективной фотографии. Плановая съемка вулкана выполнялась дважды — 27 августа, и 15 сентября, с различных высот. По снимкам крупного масштаба был составлен план в горизонталях большого кратера вулкана с озером на дне. Масштаб построенной модели кратера определялся по высоте полета над вулканом, которая в свою очередь находилась как разность между показаниями самолетного альтиметра и высотой вулкана, показанной на карте. Ориентирование модели относительно горизонта осуществлялось по точкам, расположенным по берегу озера.

План кратера показан на фиг. 2. Высоты точек на плане даны от уровня воды в кратере, отметка которого принята для удобства равной нулю. Пунктиром отмечено положение на плане верхней кромки кратера.



Фиг. 9. Общий вид вулкана Крашенинникова

Точкой Φ на плане обозначено место активного выделения газов. Так как фотографирование вулкана проводилось приблизительно в одно и то же время дня, то на всех снимках юго-западный склон кратера оказался затененным, а поэтому его детали плохо рассматриваются. В этом месте конфигурация горизонталей может несколько отличаться от истинной. Все же нужно ожидать, что ошибки точек по высоте не должны для всего плана превышать 10—15 м.

По снимкам меньшего масштаба были построены профили второго кратера вулкана, расположенного к северо-востоку от главного кратера. Сечение кратера приблизительно в меридиональном направлении представлено на фиг. 3, а в направлении, ему перпендикулярном, — на фиг. 4. Начальные и конечные точки профилей, обозначенные соответствующими буквами, показаны также на фиг. 1. Буквой a на фиг. 3 и 4 обозначена общая точка профилей.

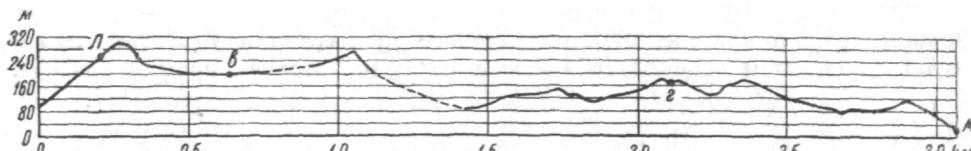
Вытянутое в широтном направлении плоское дно кратера расположено выше уровня воды в озере приблизительно на 150 м. Сравнительно пологие склоны образуют чашу трапециевидной формы с возвышающимися по всему периметру краями.

На фиг. 5 и 6 показаны сечения третьего кратера, который, по предположению В. И. Владавца, образовался раньше двух других. Дно кратера наклонено к северо-западному склону вулкана и отделено от него невысоким валом. Буквой b обозначена общая точка сечения.

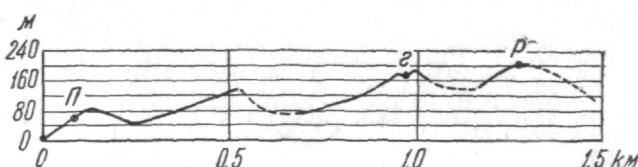
¹Фиг. 1, 7 и 9 сделаны по рисункам худ. М. Г. Платунова

Следует заметить, что если в конфигурации построенных профилей нельзя ожидать больших ошибок, то положение их относительно горизонта может быть ошибочным. Горизонтизирование профилей, как и раньше, осуществлялось по точкам, расположенным по берегу озера в главном кратере, а так как наиболее удаленные точки берега лежат на расстоянии меньшем, чем протяженность профилей, то последние могут иметь некоторый наклон к горизонту.

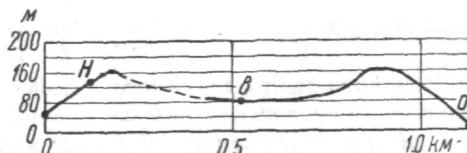
2. Вулкан Авача. Кратер вулкана фотографировался дважды — 24 августа и 11 октября. Кроме того, вулкан неоднократно фотографировался с борта самолета. Общий вид конуса Авачи, показанный на фиг. 7, зарисован с одной из таких фотографий.



10



11



12

Фиг. 10, 11, 12. Профили кратеров вулкана Крашенинникова

Полет 24 августа был не совсем удачен, так как кратер вулкана оказался заполненным дымом. 11 октября кратер был открыт, и только тонкая пелена дыма застилала небольшой участок его дна. Снимки этого залета и были использованы для измерений.

Масштаб, как и прежде, подсчитывался по измеренной высоте полета и контролировался по фотографиям кратера (полета 24 августа). Ориентирование модели относительно горизонта проводилось по углу наклона плоскости, проходящей через верхнюю кромку кратера. Этот угол, оказавшийся равным 9° , был найден по перспективным снимкам вулкана, на которых изобразилась линия горизонта.

План кратера в горизонталях с сечением через 20 м показан на фиг. 8. Так же как и на фигуре 2, пунктиром показано положение его верхней кромки. Горизонтали, проходящие по дну кратера, несколько сглажены, так как правильному их проведению мешала пелена дыма. Ошибки в высотах точек плана, повидимому, не должны превышать 15—20 м.

3. Вулкан Крашенинникова. На фиг. 9 показан общий вид вулкана с высоты 3 км. На рисунке обращает на себя внимание лавовый

конус, поднимающийся из центра северного двойного кратера вулкана. Плановая съемка вулкана производилась 15 сентября с высоты 4 км. Вследствие некоторого уклона в сторону съемочного маршрута, западный склон вулкана не был сфотографирован. Это обстоятельство заставило отказаться от составления плана, и обработка снимков была ограничена построением профилей. Следует указать, что значительные массы снега, лежавшие в обоих кратерах вулкана, сделали бы такой план не точным. Это, впрочем, относится и к построенным профилям.

На фиг. 10 показано меридиональное сечение вулкана, проходящее через центры обоих его кратеров. Часть профиля, показанная пунктиром, проходит по снегу.

Масштаб попрежнему определялся по высоте полета над вулканом. Проконтролировать положение профиля относительно горизонта не удалось, так как перспективные снимки вулкана оказались для этой цели непригодными: на одном из них не изобразилась линия горизонта, а другой был слишком мелкого масштаба. Поэтому весь профиль может быть наклонен к горизонту на небольшой угол —порядка $1-3^\circ$. Кроме того, сам профиль может оказаться несколько изогнутым, так как вследствие его большой протяженности измерения проводились по четырем последовательным парам снимков. А это, естественно, не может не привести к накапливанию ошибок при переходе от одной пары снимков к другой.

На фиг. 11 изображен поперечный профиль северного, а на фиг. 12 — южного кратера вулкана. Пунктиром справа точки p на фиг. 11 изображен западный склон вулкана, предположительно построенный по перспективному снимку. Точки пересечения продольного профиля с поперечными обозначены буквами v и g . Начальные и конечные точки всех профилей показаны на фиг. 9 и обозначены соответствующими буквами.