

Потенциальная опасность от извержений Авачинского вулкана

УДК 551.21+571.66

Л.И. Базанова, О.А. Брайцева, И.В. Мелекесцев, М.Ю. Пузанков

Опубликовано: Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. ИВГиГ ДВО РАН, Петропавловск -Камчатский, 2001 г., 428с.; УДК 551.21+552+550.34

Реконструирована история эруптивной активности Авачинского вулкана за последние 10 тыс. лет, определены возраст, частота и параметры прошлых извержений, характер и масштабы опасных вулканических явлений. Дана оценка вулканической опасности, связанной с деятельностью Молодого конуса вулкана, начавшего формироваться 3800 лет назад. Характер и параметры его извержений положены в основу составленной карты вулканической опасности для прилегающих территорий.

Определение характера и параметров будущих извержений действующих вулканов и оценка опасных явлений, связанных с этими извержениями - одна из главных задач вулканологических исследований. Особенности таких извержений и определение степени вулканической опасности от них устанавливаются на основе изучения активности вулкана и определения типа, силы и геологического эффекта его извержений. На Камчатке мы располагаем сведениями об исторически документированных извержениях в лучшем случае за последние 200-250 лет (для Авачинского вулкана - с 1737 г.). Поэтому для реконструкции эруптивной истории вулканов за длительный период, включающий несколько тысячелетий, использовались геологический и тефрохронологический методы.

В процессе комплексных вулканологических и тефрохронологических исследований определяется количество прошлых извержений вулкана, проводится картирование его лавовых и пирокластических потоков, лахаров, определяется мощность выпадавших пеплов, ареалы их распространения и главные оси пеплопадов, устанавливается возраст извержений по захороненным в пирокластике органическим остаткам и погребенным почвам. В результате всего комплекса работ воссоздается летопись эруптивной деятельности вулкана и производится реконструкция его прошлых извержений: определяется их характер, параметры и связанные с ними опасные явления.

Однако знание простого набора опасных явлений необходимо, но недостаточно для правильной оценки будущей опасности. Важнейшее значение имеет выяснение тенденций в развитии вулкана и определение этапа (стадии), на которой он находится в настоящее время. И лишь в таком случае особо значима оценка характера опасности, которая может быть связана с извержениями вулкана именно на современном этапе его жизни [23].



Рис. 1

Оценка опасности от Авачинского вулкана (рис.1) наиболее актуальна в связи с тем, что вулкан расположен всего в 24-30 км от городов Петропавловск-Камчатский и Елизово с населением более 250 тыс. человек и международного аэропорта Елизово. Еще ближе к вулкану находятся освоенные в разное время территории: сельскохозяйственные и садово-огородные угодья, дачи, горнолыжные базы, дороги, линии электропередач. В 1996 г. по рекомендации ученых Института вулканической геологии и геохимии (ИВГиГ) и Камчатской опытно-методической сейсмологической партии (КОМСП) Авачинскому вулкану был присвоен международный статус "Вулкана десятилетия". Достаточным

основанием для такого решения послужили полученные нами данные, позволяющие рассматривать этот вулкан как потенциально опасный для населения [1].

К настоящему времени реконструирована история эруптивной активности Авачинского вулкана за последние 10 тыс. лет [2,9]. В этой истории вулкана выделяется два крупных этапа. Для первого из них (8000-4000 лет назад, в дальнейшем л.н.) были характерны сильные и катастрофические эксплозивные извержения плинианского и субплинианского типов с массовыми выбросами тефры, протяженными (до 15-17 км) пирокластическими потоками и пирокластическими волнами ("палящими тучами"), сопровождавшиеся мощными лахарами. Объем продуктов крупнейших из этих извержений был $>1,0 \text{ км}^3$ [2]. Среди ювенильного материала эксплозий преобладали андезиты, представленные пемзами и пористыми пемзовидными разновидностями. Характер деятельности вулкана в это время, был сходен с таковым андезитовых вулканов Безымянный и Шивелуч, известных своими катастрофическими извержениями 1955-56 и 1964 гг.

Кардинальные изменения в деятельности Авачинского вулкана произошли около 4000 л.н., когда на поверхность стала поступать лава более основного, андезибазальтового, состава. Именно в это время начал формироваться Молодой конус вулкана (рис.1). Его деятельность уже отличалась от той, которая была на предыдущем этапе. Извержения стали более частыми и слабыми, объем продуктов большинства из них, за исключением мощнейших извержений самого начала формирования конуса (см. ниже), не превышал $0,5 \text{ км}^3$. Пирокластические потоки этих извержений были менее протяженными, связанные с ними пирокластические волны охватывали небольшие площади; более слабыми и менее площадными стали и пеплопады. Уменьшилась в целом и вулканическая опасность от Авачинского вулкана по сравнению с предшествующим, "андезитовым", этапом. Деятельность Молодого конуса оставалась достаточно однотипной на протяжении большей части его 4000-летней жизни, и у нас нет оснований полагать, что существенные изменения смогут произойти в ближайшие 200-300 лет. Поэтому составленный нами вариант карты вулканической опасности исходил из сценариев извержений, типичных именно для Молодого конуса. Оценка опасности основывалась не на принципе "все, что было в жизни вулкана, то и будет", а на представлении о том, что могут произойти только те события, которые характерны для современной стадии жизни вулкана.

Особенности извержений Молодого конуса Авачинского вулкана и связанные с ними опасные явления

Характер извержений

Особое место в жизни Молодого конуса занимают катастрофические извержения, приуроченные к началу его формирования. Два таких извержения произошли 3800 и 3500 лет назад (здесь и далее приводится календарный возраст, полученный после калибровки радиоуглеродных дат по [24]). С ними были связаны интенсивные пеплопады, формирование пирокластических потоков и пирокластических волн. Пирокластические потоки проходили по долинам сухих рек юго-западного подножия вулкана на расстояние до 14 км, мощность их отложений в настоящее время 10-15 м в 8 км от кратера. Раскаленный материал уничтожал растительность на пути движения потоков и по их периферии. Поэтому в пирокластике часто присутствуют многочисленные остатки обугленной древесины и древесные угли. Воздействие пирокластических волн сказывалось на расстоянии до 20 км от кратера. Тефра составляла главную часть продуктов обоих извержений и объем ее в сумме превысил 4 км^3 . Вблизи вулкана выпадали бомбы и лапилли с примесью грубого пепла, по мере удаления крупность материала уменьшалась. Оси пеплопадов были направлены на северо-восток и юго-восток. С рассматриваемыми извержениями были связаны наиболее мощные лахары за всю историю Молодого конуса. Лахары, сошедшие по долинам рек Сухая Елизовская и Желтуха, пересекали территорию современного Елизовского аэропорта и доходили до г.Елизово и р.Авача. В левом борту р.Мутная 1-ая (левый приток р.Пиначевская) в 5 км к северо-востоку от аэропорта видимая мощность уже сильно уплотненных отложений грязевого потока составляет сейчас около 2,0 м. Протяженность лахаров была 30-35 км.

Катастрофические извержения, имевшие место в начале формирования Молодого конуса, позднее никогда не повторялись в его истории. На протяжении последних 3500 лет для него характерны сильные ($0,1-0,5 \text{ км}^3$) эксплозивные и эффузивно-эксплозивные извержения, умеренные по силе ($0,1-0,01 \text{ км}^3$) эффузивно-эксплозивные и эксплозивные извержения и слабые ($<0,01 \text{ км}^3$), преимущественно эффузивные извержения. Сильные и умеренные извержения происходили в среднем 1 раз в 55-60 лет за все время деятельности Молодого конуса. Зафиксированная частота слабых извержений, запечатленных в разрезах прослоями пеплов, была меньше: одно в 70 лет в интервале 3500-2000 л.н. и одно в 80 лет за последние 2000 лет. Однако вряд ли они происходили реже, чем сильные и умеренные, так как часть слабых извержений просто не находила отражения в разрезах (особенно в случаях, когда извержения были эксплозивно-эффузивными и поставляли мало тефры).

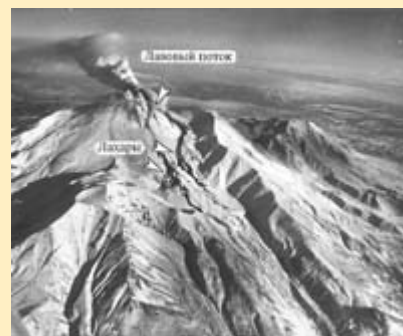


Рис. 2

Среди сильных примером эксплозивных извержений могут служить извержения 1945 и 1827 гг., а эффузивно-эксплозивных - извержение 1926 г. [13,14]. В качестве примера умеренных по силе эксплозивных и эффузивно-эксплозивных извержений, к которым относится большинство извержений Молодого конуса, можно привести наиболее хорошо изученное историческое извержение 1938 г. [14]. Характерным слабым эксплозивно-эффузивным извержением является извержение 1991 г. [5,6,14] (рис.2).

Опасные явления, связанные с извержениями Молодого конуса

Здесь будут рассмотрены явления, ассоциирующиеся с извержениями Молодого конуса, за исключением двух катастрофических извержений начала его формирования, которые, как мы полагаем, вряд ли повторятся в ближайшие сотни лет.

Опасность от лавовых потоков. Лавовые потоки при всех извержениях обычно не выходили за пределы подножия Молодого конуса. Лишь иногда, как во время извержений ~700 и ~1000 л.н., они спустились в истоки рек Сухая Халактырская и Желтуха. Их длина достигала 4-6 км.

Раскаленные лавины характерны почти для каждого извержения Молодого конуса. Они представляют собой потоки рыхлого горячего ($600-800^\circ\text{C}$) песка, глыб шлака и лав размером до 2 м (Б.И.Пийп описывал их как "раскаленные аггломератовые потоки" [19]). Как правило, раскаленные лавины не выходили за пределы конуса, "заливая его огненным покровом"[19]. Только в единичных случаях такие лавины, заполняя узкие эрозионные врезы у подножия конуса, проходили расстояние до 7 км от кратера.

Пирокластические потоки спускались за пределы Молодого конуса в верховья долин сухих рек. Наиболее протяженные потоки были связаны с извержением, имевшим место ~2900 л.н. (рис.3). Они полностью заполняли долину р.Желтуха в ее верхнем течении и верховья оврага Широкий. Фронтальные части потоков находились на расстоянии 12 км от кратера. Их отложения видимой мощностью до 15-20 м представлены черным аггломератовым туфом с обломками пористых шлакоподобных андезибазальтов и содержат обугленную древесину. Во время извержения 1827 года крупноглыбовый пирокластический поток прошел около 10 км, заполнив долину пади Лавовая (левого истока р.Сухая Халактырская) (рис.4А) вплоть до ее устья [13]. Мощность отложений потока - 5-10м, они тоже содержат многочисленные остатки обугленной древесины ольхового стланика.



Рис. 3

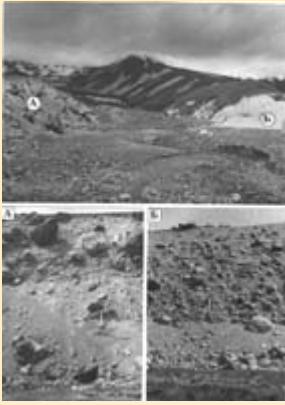


Рис. 4

Пирокластические волны были связаны с формированием мощных пирокластических потоков в ходе извержения 2900 л.н. Тогда облако горячих газов и пепла пронеслось не только по долине р.Желтуха, но, оторвавшись от пирокластического потока, распространилось и на сопредельной к западу территории в радиусе до 20 км от кратера.

Обвальнo-взрывные явления. В целом обрушения постройки и явления типа направленных взрывов не были характерны для деятельности Молодого конуса. Катастрофические события такого типа произошли на вулкане лишь около 30 тыс. л.н. [15], но в дальнейшей истории вулкана они нами не зафиксированы. Однако можно полагать, что в малом масштабе подобные явления все же имели место при извержении 1827 г. Это объясняется, по-видимому, тем, что перед извержением кратер вулкана был небольшим, а жерло закупорено застывшей лавой [13].

Неровная поверхность пирокластического потока 1827 года с холмами и продольными грядами, наличие угловатых блоков лавы размером до 5-6 м вблизи подножия конуса указывают, скорее всего, на то, что обрушение части конуса и формирование пирокластического потока происходили практически одновременно.

Пеплопады. С выпадением тефры во время сильных извержений связана максимальная площадная опасность. Пример такого рода извержений - мощное эксплозивное извержение 1945 г., когда всего за 7 часов было вынесено около 0,3 км³ тефры [14,20]. Эруптивная туча поднималась на высоту 6-7 км над кратером. Ось пеплопада была ориентирована на юго-восток (рис.5). Мощность отфры в осевой зоне составляла 45 см в 25 км от вулкана. Отложения представлены вулканическим песком, гравием и лапилли, но, по свидетельствам очевидцев, здесь падали и бомбы размером с человеческую голову, которые при ударе о землю разбивались. Настоящей экологической катастрофой обернулось извержение 1827 года. Сильный пеплопад, затронувший обширную территорию, уничтожил богатые пастбища, и многочисленные дикие животные покинули пораженные пеплом привычные места обитания [4]. Ось пеплопада прошла в юго-восточном направлении, где на расстоянии 9 км от кратера мощность тефры составляла 20-35 см, а размер обломков шлака достигал 5 см. Южная граница пеплопада проходила по северной окраине современного Петропавловска-Камчатского. Всего за последние 3500 лет насчитывается не менее 26 сильных извержений, среди них не менее 5 извержений типа 1945 года с объемом тефры порядка 0,25-0,5 км³. Сейчас в разрезах на расстоянии 25 км мощность тефры таких извержений 12-35 см (рис.6), но в свежем виде она достигала 18-50 см.

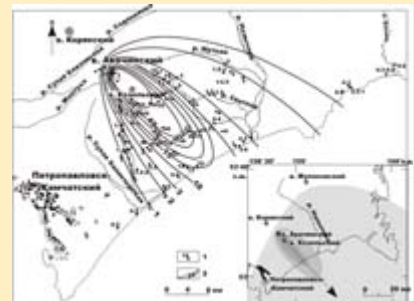


Рис. 5

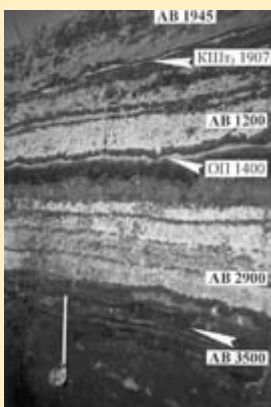


Рис. 6

Сильные пеплопады в окрестностях города отмечались и во время умеренных извержений. В 1779 г. в зону такого пеплопада попали корабли эскадры Кука в Авачинском заливе, в 45 км к югу от кратера Авачинского вулкана [3]. Ширина зоны пеплопада на океанском побережье превышала 40 км, мощность тефры в 30 км от вулкана была 3-5 см, размер бомб на расстоянии 8 км - 8 см, а лапилли в 30 км - 1-2 см. Во время доисторических (ранее 1737 г.) умеренных по силе извержений Молодого конуса мощность выпадавшего пепла в 25-30 км была 1,5-8 см, в погребенном состоянии эта тефра образует сейчас прослой мощностью 1-5 см. Обычно это вулканический песок и вулканический гравий, иногда - с примесью мелких лапилли.

Для выделения зон, в прошлом наиболее подверженных воздействию сильных пеплопадов, нами была использована методика, ранее примененная при оценке вулканической опасности для одного из районов Кроноцкого заповедника [21]. Очевидно, что в любой точке территории, подверженной пеплопадам, однажды выпадает максимальное для данного места количество пепла. В разрезах на всей площади подножия вулкана фиксировалась максимальная мощность слоя тefры, которая выпадала здесь за последние 4000 лет за одно извержение, независимо от возраста и положения этого слоя в разрезе. Полученные значения были использованы для построения изолиний максимальной мощности единичного пеплопада (рис.7). Их рисунок подчеркивает характерные особенности в распространении пепловых туч. Участки, ограниченные изопакитой 20 см, вытянуты от кратера в юго-западном, северо-восточном и юго-юго-восточном направлениях. В последнем случае такая зона максимальных мощностей тefры шириной 32 км охватывают почти всю территорию этого сектора вплоть до берега океана и прилегающие акватории. На юго-юго-западе изопакита 20 см глубоко вдается в сторону подножия вулкана, очерчивая "мертвую зону", где опасность от сильных пеплопадов в прошлом была наименьшей. Именно в этой зоне находится г.Петропавловск-Камчатский. Та же близкая картина видна и на рис. 8А, где показаны направления осей пеплопадов при сильных извержениях. При умеренных и слабых извержениях (рис.8Б и 8В) оси пеплопадов также были приурочены преимущественно к восточным румбам. Это хорошо согласуется с розой ветров для г.Петропавловск-Камчатский [7] и позволяет допускать, что за последние 4000 лет характер циркуляции воздушных масс с преобладанием западных ветров сохранился без существенных изменений.

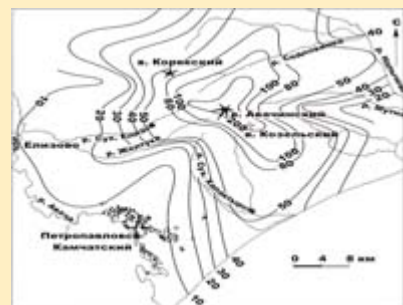


Рис. 7



Рис. 8

С ориентировкой осей пеплопадов и зонами максимальной мощности тefры хорошо согласуется и частота пеплопадов за прошедшие 4000 лет. Она резко возрастает в северо-восточном и юго-восточном секторах (рис.8Г). Так, в 9-10 км к ЮВ от вулкана на территории современного Козельского шлакового карьера пепел выпадал за это время не менее 60 раз, а в истоках рек Каменистая и Сухая Халактырская, соответственно, 46 и 43 раза. Для сравнения - в долине р.Сухая Елизовская, к ЮЗ от вулкана, за тот же период на сходном расстоянии произошли 24 пеплопада (см.рис.14). Для современной территории г.Петропавловск-Камчатский насчитывается только 11 пеплопадов от извержений Молодого конуса Авачинского

вулкана, фиксированных в разрезах слоями пеплов (рис.9А). За счет более слабых извержений, тefра которых не сохранилась в виде различных прослоев, количество пеплопадов можно увеличить примерно в 1,5 раза (рис.9Б). Максимальная мощность пепла здесь не превышала 6-7 см, а обычно была 2-3 см. Интенсивные пеплопады обходили стороной эту территорию, что, как уже указывалось выше, хорошо согласуется с розой ветров (рис.8). Выпавший пепел приносили лишь краевые части эруптивных туч. Только однажды, 2800 лет назад, ось пеплопада умеренного извержения была направлена на юго-юго-запад (рис.8Б), где теперь расположен центр города [1].

Лахары. Лавовые потоки, раскаленные лавины и пирокластические потоки растапливали снег и лед на склонах вулкана и вызывали разрушительные лахары. Лахары сопровождали многие извержения и неоднократно сходили по долинам сухих рек на расстояние до 30 км. Они всегда распространялись в пределах четко оконтуренных участков, границами которых служили борта долин сухих рек (рис.4Б) в верхнем и среднем течении и контуры пролювиальных конусов выноса в их нижнем течении. Наиболее мощные лахары были связаны с катастрофическими извержениями начала формирования Молодого конуса (см. выше). Однако и в дальнейшем они представляли собой существенную угрозу во время извержений почти всех типов. По долинам рек Сухая Халактырская, Желтуха и Сухая Елизовская за последние 2000 лет прошли, соответственно, не менее 16, 17 и 13 лахаров, отложения



Рис. 9

которых хорошо запечатлены в разрезах (рис.10). Мощность грубообломочных отложений лахаров - от первых метров до 8-10 м.



Рис. 10

Мощные лахары наблюдались и во время исторических извержений. В 1938 г. такой лахар прошел по долине р.Сухая Халактырская. В верховьях долины он двигался единым потоком, а на абсолютной высоте 400 м разделился на две ветви (рис.11). В месте разветвления скорость лахара юго-западного рукава была так велика, что он смог преодолеть здесь уступ высотой более 15 м, уничтожив росший на холмистом моренном рельефе вековой березовый лес на протяжении 7 км [16,18]. Грязевые потоки прошли тогда дальше 30 км по долинам руч. Первый и р.Половинка (продолжение сухой реки) и достигли берега океана. Видимая мощность отложений лахара в долине р.Сухая Халактырская составляет сейчас 5-6 м. В 1926 г. водный поток, насыщенный черной грязью (рис.12), дошел по р.Сухая Елизовская до

р.Авача и вызвал гибель рыбы [17]. Мощность его отложений составляет сейчас не менее 1 м в 25 км от кратера.

Подводя итоги рассмотрения опасных явлений, связанных с извержениями Молодого конуса, можно констатировать следующее.

1. Опасность от пеплопадов при любых извержениях сказывается на всей территории, прилегающей к вулкану, но она имеет разный эффект на разных участках в соответствии с направлениями осей пеплопадов.
2. Лавовые потоки и раскаленные лавины обычно ограничиваются пределами конуса вулкана, лишь иногда спускаясь к его подножию в верховья долин сухих рек.
3. Пирокластические потоки непосредственно представляют опасность в верхнем и среднем течении сухих рек, и длина их зависит от силы и характера извержения. Однако именно пирокластические потоки, наряду с лавами и раскаленными лавинами, растапливая снег и лед, порождают наиболее мощные лахары, являющиеся в освоенных районах главной причиной разрушений.
4. Угроза от "падающих туч" пирокластических волн в радиусе до 20 км от вулкана может быть только при очень сильных и катастрофических извержениях.
5. Опасность от обвально-взрывных явлений может иметь место только при некоторых извержениях в узком секторе ближайшего подножия конуса.
6. Опасность от лахаров при умеренных и сильных извержениях существует в пределах долин сухих рек и их конусов выноса на протяжении 30-35 км от вулкана, при слабых - не далее подножия вулканической постройки.



Рис. 11

Вулканическое районирование и карта вулканической опасности

О будущих извержениях вулкана

На основании выполненной нами реконструкции истории формирования Молодого конуса установлено, что на протяжении большей части его 4000-летней жизни характер эруптивной активности оставался в целом однотипным.

Исторические извержения по своим особенностям и параметрам также вполне укладываются в общую картину деятельности Молодого конуса. Можно полагать, что в ближайшие 200-300 лет характер эруптивной активности существенно не изменится, а типы, параметры извержений и связанные с ними опасные явления останутся прежними, если не произойдет кардинальной перестройки системы питания вулкана в результате каких-нибудь катастрофических событий.



Рис. 12



Рис. 13

В настоящее время вулкан находится в стадии пониженной интенсивности выноса магматического вещества, которая началась в 1945 г. [14]. Об этом свидетельствует и тот факт, что извержение 1991 г. было слабым. Однако в результате этого, пока последнего, извержения вулкана жерло его оказалось закупорено лавовой пробкой, вследствие чего следующее прогнозируемое извержение, возможно, будет реализовываться в условиях, близких к историческим извержениям 1737 и 1827 гг. [13,14]. Следует полагать, что особенности и параметры извержения будут определяться длительностью предшествующего периода покоя, количеством и свойствами поступающей магмы. При малой длительности (годы) периода покоя и небольшом объеме новой внедряющейся магмы извержение будет слабым или умеренным по количеству извергаемого ювенильного материала, хотя возможны значительные выбросы резургентной тefры в результате разрушения лавовой пробки. После продолжительного (десятки лет) периода покоя и при значительном объеме внедрившейся магмы можно ожидать сильное извержение. При обоих вариантах возможны обвалы и связанные с ними направленные взрывы, что обусловлено закупоренностью жерла. Характер и интенсивность будущего извержения зависят также от изменения содержания в магме летучего компонента, вертикальной неоднородности в очаге и др. [22]. При будущем извержении возможно и излияние лавовых потоков, выпадение тefры, формирование лахаров, а в случае сильного извержения, и пирокластических потоков.

Вероятность катастрофических извержений того типа, что имели место в начале формирования Молодого конуса, очень мала. Однако нельзя полностью исключить подобные события в случае мощной региональной инъекции магматического вещества в пределах всей Восточной вулканической зоны, которая, несомненно, проявится и в резком усилении активности Авачинского вулкана.

Карта вулканической опасности

Карта вулканической опасности составлялась в целом по методике, принятой в практике международных вулканологических исследований и является новым уточненным вариантом карты, подготовленной нами по договору с Администрацией Камчатской области в 1994 г. [11,12]. В основу таких карт обычно закладываются преимущественно качественные данные о характере и параметрах прошлых извержений вулкана и связанной с ними опасности. Однако они были дополнены нами некоторыми количественными характеристиками: оценивалась частота пеплопадов для разных территорий, определялась частота прохождения лахаров по долинам сухих рек, предполагаемая мощность пепла.

В основу легенды карты положено выделение опасных явлений и показ площадей, которые могут быть ими затронуты в процессе будущих извержений. На карте (рис.14, здесь и далее - цветная вкладка) показаны возможные зоны распространения: 1) лавовых потоков и раскаленных лавин; 2) пирокластических потоков; 3) "палящих туч" пирокластических волн; 4) лахаров; 5) обвально-взрывных отложений. Для пирокластических потоков и лахаров выделены зоны, различающиеся по степени опасности: 1) зоны опасности от лахаров при любой силе извержений; 2) зоны опасности от лахаров и пирокластических потоков только при сильных извержениях; 3) зоны опасности от

пирокластических потоков и лахаров при очень сильных и катастрофических извержениях.

Вышеперечисленные опасные зоны, которые в будущем будут подвергаться воздействию поражающих факторов вулканических процессов, отражают различия в типах и распространении опасных явлений, имеющих отчетливо выраженный локальный характер проявления. Они приурочены, в основном, к речным долинам и прилегающим к ним участкам междуречий и имеют, как правило, замкнутые, ограниченные топографией местности, границы.

Иначе сказывается воздействие такого, не менее серьезного, фактора вулканической опасности, как пеплопады. Главная их особенность - площадное, иногда тотальное, распространение на большой территории вокруг вулкана и на значительном удалении от него, где опасность от тefры дифференцирована в зависимости не только от силы извержения, но и от направления и скорости ветра, и может одинаково сказываться на участках любых локальных зон вне зависимости от их деления по степени опасности.

Поэтому информацию о степени потенциальной угрозы от пеплопадов дают изолинии мощностей тefры. На карте изображены изопахиты двух видов. Одни из них иллюстрируют возможную максимальную мощность тefры. Эти изопахиты представляют собой окружности (на карте - отрезки дуг) с центром в кратере вулкана. Радиус таких окружностей отвечает максимальному расстоянию, на котором фиксируется обозначенная мощность тefры при сильных извержениях. Например, если при извержении типа 1945 г. ось пеплопада будет направлена на г.Петропавловск, то мощность тefры на его территории окажется такой, какой она обозначена пунктирной изолинией на карте (рис.14).



Рис. 14

Изопахиты другого вида - это изолинии наиболее вероятной максимальной мощности тefры будущих извержений. Они соответствуют максимальной мощности тefры единичного пеплопада (о ней см. выше) за последние 4000 лет и показывают реальную картину распространения пеплопадов за этот длительный отрезок времени, которая хорошо согласуется с розой ветров. При наиболее вероятной мощности тefры 20 см и более опасное воздействие пеплопадов будет максимальным. В пределах этой территории установлено и наибольшее количество пеплопадов за последние 4000 лет, частота которых показана на карте (рис.14). Вероятный размер вулканических бомб составит 5 см на расстоянии 16 км от кратера, а максимальный возможный размер - 20 см. Нагрузка на подстилающую поверхность от выпавшей здесь тefры мощностью 50-60 см может достигнуть 900 кг/м². При мощности тefры менее 20 см опасность от пеплопадов будет умеренной.

Вулканическое районирование (выделение областей с разной степенью опасности) проводилось с учетом следующих факторов: 1) воздействия на прилегающие к вулкану территории извержений разной силы; 2) их вероятности и 3) анализа распределения связанных с ними зон опасности.

Выделены области, отличающиеся по степени вулканического риска (рис.14):

А - область повышенной опасности при извержениях любой силы из-за максимальной частоты извержений и наибольшей угрозы в пределах показанных зон опасности;

Б - область умеренной опасности с потенциальной угрозой от сильных извержений при меньшей частоте извержений и меньшей (по сравнению с областью А) вероятности угрозы в пределах показанных зон опасности;

В - область пониженной опасности, которая может иметь место за пределами областей А и Б лишь в случае самых редких, очень сильных и катастрофических извержений;

Г - область наименьшей вулканической опасности, где отсутствует угроза от лавовых и пирокластических потоков, "палящих туч" и лахаров, но сохраняется умеренная опасность от пеплопадов.

А. Область повышенной опасности включает зоны, в пределах которых последствия от опасных явлений будут наиболее разрушительными при извержениях любой силы - слабых, умеренных, сильных и катастрофических.

Зона опасности от лавовых и пирокластических потоков, пирокластических волн и раскаленных лавин в южном, западном и восточном секторах ограничивается склонами Молодого конуса и его ближайшего подножия (рис.14). Границы зоны, захватывающей верховья рек Сухая Елизовская, Сухая Халактырская и Желтуха, проходят на расстоянии 6 км от кратера. На севере и северо-востоке она может спускаться на внешние склоны соммы и в истоки рр. Седловинка и Мутная в радиусе до 2 км от кратера.

Зоны опасности от лахаров приурочены к долинам всех рек южного и юго-западного подножия вулкана - Сухая Халактырская, Сухая Елизовская, Желтуха, Мутная 1-ая и оврага Широкий. Независимо от силы извержения, лахары здесь могут распространяться на расстояние до 30 км от вулкана.

Лахароопасные зоны начинаются на конусе вулкана, где пути движения лахаров предопределены эрозионными врезами и на протяжении 10-17 км полностью захватывают узкие долины рек. Борты долин в пределах этих участков поднимаются над руслами на 20-100 м и служат естественными границами лахароопасных зон, ширина которых обычно 100-300 м, но иногда увеличивается до 500-600 м (устье оврага Широкий). В некоторых случаях в верховьях долин сухих рек, где скорость и мощность лахаров велики, они будут "захлестывать" на прилегающие участки междуречий (так, в верховьях р.Сухая Халактырская слой грязи лахара 1938 г. (рис.10) толщиной около 0,5 м обнаружен нами на левом борту долины на высоте 12-15 м над руслом).

Наибольшей ширины лахароопасные участки достигают на конусах выноса сухих рек (рис.14) в интервалах расстояний от кратера: 10-22 км для р.Сухая Халактырская, 12-17 км для р.Желтуха, 17-26 км для р.Сухая Елизовская. Здесь лахары будут перекрывать грязевым шлейфом верхние части конусов выноса в пределах зон шириной от 1,5 км (р.Желтуха) до 6 км (р.Сухая Халактырская).

Еще дальше вниз по течению движение лахаров будет вновь ограничиваться руслами и долинами водотоков, затрагивая и прилегающие участки их низких берегов на первые сотни метров от русел. Такие периферические участки лахароопасных зон протягиваются в юго-восточном направлении вдоль долин р.Половинка и руч.Первый до берега океана, где их ширина составляет 0,5 км. На западе-юго-западе территории границей лахароопасной зоны служит левый борт р.Мутная 1-ая вплоть до ее устья, тогда как на участки ее низкого правого берега, конусе выноса р.Сухая Елизовская, на протяжении 5-6 км распространяется угроза от грязевых потоков. К лахароопасной зоне относятся и участки левобережья р.Авача шириной до 1 км, ограниченные уступом более старой террасовидной поверхности высотой 5-12 м, на протяжении 7 км ниже устья р.Мутная 1-ая.

Наиболее лахароопасными из освоенных участков южного подножия являются район слияния рр.Мутная 1-ая и Сухая Елизовская и участок к западу и северо-западу от пос.Радыгино (площадью 2,5х2,5 км), где за последние 200 лет прошли, соответственно, 3 и 4 лахара с высотой грязевого вала, превышавшей 3 м.

В область повышенной опасности включены и лахароопасные зоны вдоль долины руч.Козельский и соседнего безымянного ручья, по которым в прошлом сходили лахары при извержениях разной силы. Ширина этих зон не превышает 1,5 км.

Опасность от *обвально-взрывных отложений и ударной волны* может быть связана с ближайшим извержением вулкана [14]. Объем взорванной и обвалившейся части конуса может варьировать в широких пределах - от 0,01-0,02 до 0,1-0,2 км³. Минимальный объем будет при удалении лавовой пробки вместе с непосредственно прилегающими фрагментами конуса, максимальный - если обрушение захватит крутосклонную часть конуса до высоты 2400-2500 м. Зона повышенной опасности от обвала и взрыва охватывает на карте сектор 70° в радиусе 9 км от кратера, ориентированный на юго-юго-запад и юго-запад. Выбор предполагаемого сектора взрыва и обвала обосновывается тем, что стенка кратера Молодого конуса здесь наиболее тонкая и разбита многочисленными радиальными и концентрическими трещинами, а слагающие ее породы

интенсивно преобразованы фумарольными газами. На максимальное расстояние обвальные отложения распространятся по долинам рек Сухая Халактырская и Желтуха, достигая мощности 10-20 м. В рамках этого сектора опасность также может исходить от ударной волны и горячей пироклаستيку направленного взрыва.

В пределах рассмотренной области повышенной опасности (области А) лавовые потоки, раскаленные лавины, обвал и направленный взрыв захватят лишь сам конус и его ближайшее подножие, где практически отсутствует хозяйственная деятельность. Эти явления опасны только для туристов и альпинистов, посещающих такие места в любое время года. Лахары же будут захватывать не только долины сухих рек, но и распространяться на территории в их нижнем течении, где располагаются дачи и садово-огородные участки. Все эти объекты могут быть уничтожены или повреждены лахарами не только при сильных, но и умеренных по силе извержениях. Особое внимание должно быть обращено на дачные кооперативы в общей дельте рр. Сухая Елизовская и Мутная 1-ая.

Область повышенной опасности (область А) запретна для хозяйственного освоения, так как является территорией максимального вулканического риска.

Б. Область умеренной опасности охватывает зоны за пределами области А, где существует угроза от пирокластических потоков и лахаров только в случае сильных извержений ([рис. 14](#)).

Зоны опасности от пирокластических потоков включают долины сухих рек Халактырская, Елизовская, Желтуха и оврага Широкий вне зон повышенной опасности на расстоянии до 10-12 км от кратера с прилегающими участками междуречий, имеющих превышения над руслом менее 10-15 м. Ширина зон опасности - 300-400 м, а на участках возможного слияния их отдельных ветвей она может достигать 1,5 км. Мощности отложений потоков при сильных извержениях составят 10-20 м на расстоянии 10-12 км от вулкана.

Зоны опасности от лахаров, которые будут представлять угрозу только в случае сильных извержений, показаны там, где они простираются за пределы зон повышенной опасности от лахаров, наращивая таким образом в ширину участки возможного опасного воздействия грязевых потоков. Максимальная ширина такой зоны к юго-западу от устья р. Половинка на побережье океана - около 8 км. В пределах опасных зон грязевые потоки могут иметь как площадное распространение, так и разделяться на отдельные рукава, используя топографические особенности местности. Из наиболее освоенных и населенных участков лахароопасные зоны захватывают пос. Радыгино и левобережье р. Мутная 1-ая в ее нижнем течении. Высота грязевого вала здесь может составлять 3-5 м.

На склонах вулканов Козельский, Корякский и массива Монастырь нами показаны участки, где существует потенциальная угроза от *лахаров и селей*, лишь опосредствовано связанных с извержениями Авачинского вулкана, как это имело место и в прошлом. Подобные явления могут возникнуть, например, в результате выпадения обильных ливневых осадков во время или вскоре после прохождения пепловой тучи над соседними с Авачинской вулканическими постройками.

В области умеренной опасности пирокластические потоки будут представлять угрозу только в пределах ближайшего подножия вулкана, где проходят туристские маршруты. В зоне хозяйственного освоения с развивающимся дачным строительством главная опасность связана с лахарами. Особую озабоченность в этом плане вызывают районы, прилегающие к долинам рек Сухая Халактырская, Сухая Елизовская и Мутная 1-ая.

Область умеренной опасности в целом непригодна для хозяйственного освоения, но может быть частично использована при определенных рекомендациях. Под рекомендациями понимаются указания, в каком наиболее безопасном месте можно расположить объект и куда следует переместить людей или технику в случае начала извержения. Хозяйственная деятельность в таких районах должна предусматривать страхование от стихийных бедствий.

В. Область пониженной опасности включает зоны вне границ зон А и Б ([рис. 14](#)). Здесь опасность будет возникать только в случае очень сильных и катастрофических извержений. Несмотря на

достаточно обширный спектр опасных явлений, угроза от них здесь будет невелика из-за низкой вероятности подобных событий в ближайшем будущем, полностью исключить которые мы, однако, не можем.

Зоны опасности от пирокластических потоков и лахаров совмещают в единых границах площади потенциального воздействия указанных опасных явлений. Как одни, так и другие, во время катастрофических извержений могут распространиться по водоразделу Желтухи и оврага Широкий на расстояние до 15-16 км от вулкана. Они могут спуститься в истоки рек на северных и северо-восточных склонах соммы, а также по долинам р. Сухая Халактырская и расположенного восточнее руч. Узкий на расстояние до 13 км от кратера. Мощность отложений пирокластических потоков составит здесь более 5-6 м. Мощность грязевых отложений будет постепенно убывать от 10-15 м вблизи основания конуса вплоть до полного выклинивания.

Опасность от "палящих туч" пирокластических волн, ассоциирующихся с пирокластическими потоками, будет сказываться на расстоянии 20 км от кратера, где мощность тонкой пирокластики будет равна 1 см.

Сектор распространения *обвально-взрывных отложений* отдельно не выделен на карте, поскольку совпадет с таковым для зоны А. До 15 км увеличится лишь расстояние, на котором эти явления будут представлять опасность.

Зона опасности только от лахаров при катастрофических извержениях захватит обширную территорию (13x10 км) на западе района, где расположен аэропорт, жилые дома и хозяйственные объекты пригородов г. Елизово. Высота фронта грязевого потока при катастрофическом извержении может достигнуть здесь 6 м и более. Участок так называемого "Бомбежного поля", представляющий собой периферическую часть конуса выноса р. Желтуха, также является лахароопасной зоной в случае очень сильного извержения.

Низкая вероятность катастрофических извержений в ближайшие 100-200 лет снижает угрозу от опасных явлений. Поэтому, несмотря на максимальные масштабы возможных негативных последствий от извержений, эти зоны отнесены нами к области пониженной опасности.

Область пониженной опасности пригодна для ограниченного хозяйственного освоения и пребывания людей. Эти ограничения касаются в основном зон опасности от пирокластических потоков и лахаров. При хозяйственном освоении этих зон необходимо, наряду со страхованием имущества, получать дополнительные рекомендации для конкретных участков при проведении более детальных вулканологических исследований.

Г. Область наименьшей вулканической опасности включает территорию, где отсутствует угроза от лавовых и пирокластических потоков, "палящих туч", лахаров и существует только опасность от пеплопадов ([рис. 14](#)).

Изопахита 10 см условно делит эту область на две зоны. В пределах одной из них можно ожидать с большой вероятностью выпадение тефры максимальной мощностью от 10 до 20 см. Максимальный размер частиц тефры составит 0,5-3 см, а нагрузка от нее - 300 кг/м². За последние 4000 лет сильные пеплопады, зафиксированные в разрезах горизонтами тефры мощностью более 0,5-1 см, происходили здесь не чаще 14 раз. За пределами изопахиты 10 см в направлении от вулкана степень воздействия пеплопадов будет постепенно снижаться. Здесь максимальный размер тефры может составить 1 см, а нагрузка от нее не должна превысить 120 кг/м².

Приведенные выше оценки касаются наиболее вероятной мощности тефры. Однако нельзя исключить, что во время сильного эксплозивного извержения ось пеплопада окажется направленной на юг. Тогда мощность тефры в рассматриваемой области может варьировать от 50 до 20 см, что отвечает на карте положению изолиний ее возможной максимальной мощности. В этом случае могут возрасти и максимальные размеры обломков тефры (до 4-9 см), и нагрузка от нее (до 400-900 кг/м²).

В отношении вулканической опасности очень удачно положение г. Петропавловск-

Камчатский, который находится как раз на территории области Г (рис.14). Сюда за последние 10 тыс. лет не доходили пирокластические потоки и связанные с ними "палящие тучи", возвышенность, на которой расположен город, обтекалась лахарами. Опасность могут представлять только пеплопады разной интенсивности. Так, при мощности выпавшей тефры 10-20 см будут уничтожены травянистый покров и посевы, 5 см пепла затруднят движение транспорта и могут вызвать повреждение коммуникаций. Механизмы и приборы очень чувствительны к абразивному и коррозионному воздействию пепла. Максимально опасны пепловые тучи для летательных аппаратов [7,8], обслуживающих внутренние и международные авиалинии, учитывая положение Елизовского аэропорта. При пеплопадах происходит резкое ухудшение видимости и может наступить полная темнота. Линии электропередач и связи выходят из строя при прохождении сильно ионизированного пеплово-газового облака. Все это вызывает психологические стрессы и панику среди людей даже в тех случаях, когда их жизни нет прямой угрозы. Поэтому население должно быть обязательно извещено об опасности от пеплопадов и элементарных правилах поведения в этом случае.

Выделенную на карте область наименьшей вулканической опасности следует осваивать в первую очередь.

Заключение

Будущее (в ближайшие 50-100 лет) извержение Авачинского вулкана несомненно произойдет, его невозможно предотвратить или остановить. При этом существует вероятность развития комплекса опасных геологических процессов и явлений, несущих угрозу для населенных пунктов и освоенных территорий, примыкающих к вулкану. Заблаговременная оценка вулканической опасности может значительно уменьшить размеры материального ущерба и исключить человеческие жертвы. Представленная нами карта вулканической опасности может быть использована при разработке и осуществлении мероприятий, направленных на уменьшение ущерба от будущих извержений Авачинского вулкана, и применяться в повседневной деятельности Администрациями Камчатской области, городов Петропавловск-Камчатский и Елизово, территориальными органами Министерства по чрезвычайным ситуациям и Гражданской обороны, природоохранительными и строительными организациями.

Авторы признательны О.В.Дирксену за помощь при подготовке графических приложений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 00-05-64299 а, грант 05-15-98611 л).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Базанова Л.И., Брайцева О.А., Иванов Б.В., Мелекесцев И.В.* Декадный вулкан Авачинский на Камчатке // Вестник ДВО РАН. 1999. N 3. С. 126-135.
2. *Брайцева О.А., Базанова Л.И., Мелекесцев И.В., Сулержицкий Л.Д.* Крупнейшие голоценовые извержения вулкана Авачинский на Камчатке (этап 7250-3700 ¹⁴С лет назад) // Вулканология и сейсмология. 1998. N 1. С. 3-24.
3. *Влодавец В.И., Пийп Б.И.* Каталог действующих вулканов Камчатки // Бюлл. вулканол. ст. 1957. N 25. С. 5-95.
4. *Дитмар К.* Поездка и пребывание на Камчатке в 1851-1855г.г. Ч.1. СПб. 1901. 756 с.
5. *Дрозин В.А., Муравьев Я.Д.* Энергетический и экологический аспекты извержения вулкана Авачинский на Камчатке (январь 1991г.) // Вулканология и сейсмология. 1994. N 3. С. 3-19.
6. *Иванов Б.В., Флеров Г.Б., Масуренков Ю.П., Кирьянов В.Ю., Мелекесцев И.В., Таран Ю.А.,*

Овсянников А.А. Динамика и состав продуктов извержения Авачинского вулкана в 1991 г. // Вулканология и сейсмология. 1995. N 4-5. С. 5-27.

7. *Кирьянов В.Ю.* Вулканические пеплы Камчатки как источник потенциальной вулканической опасности для пассажирских авиалиний // Вулканология и сейсмология. 1992. N 3. С. 16-36.
8. *Кирьянов В.Ю., Фелицын С.Б.* Вулканический пепел как природный фактор риска для авиации (по данным исследования свойств пепловых частиц) // Вулканология и сейсмология. 2000. N 5. С. 65-72.
9. *Масуренков Ю.П., Егорова И.А., Пузанков М.Ю., Балеста С.Т., Зубин М.И.* Вулкан Авачинский / Действующие вулканы Камчатки. Т. 2. М.: Наука, 1991. С. 246-273.
10. *Мелекесцев И.В.* Сильные вулканические пеплопады в районе г. Петропавловска - Камчатского // Вопросы географии Камчатки. 1990. Вып. 10. С. 101-107.
11. *Мелекесцев И.В., Базанова Л.И., Брайцева О.А., Пузанков М.Ю., Двигало В.Н.* Оценка вулканической опасности для г. Петропавловска - Камчатского / Отчет по договору с Администрацией Камчатской области. 1994. 65 с. (Фонды Администрации Камчатской области).
12. *Мелекесцев И.В., Базанова Л.И., Брайцева О.А., Пузанков М.Ю., Двигало В.Н.* Оценка вулканической опасности для г. Петропавловска - Камчатского / Научно- прикладные исследования в Камчатской области. Петропавловск - Камчатский: Изд-во ПКВМУ. 1996. Вып. 1. С. 58-63.
13. *Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Двигало В.Н., Базанова Л.И.* Исторические извержения Авачинского вулкана на Камчатке (попытка современной интерпретации и классификации для долгосрочного прогноза типов и параметров будущих извержений). Часть I (1737-1909 г.г.) // Вулканология и сейсмология. 1993. N 6. С. 13-27.
14. *Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Двигало В.Н., Базанова Л.И.* Исторические извержения Авачинского вулкана на Камчатке (попытка современной интерпретации и классификации для долгосрочного прогноза типов и параметров будущих извержений). Часть II (1926-1991 г.г.) // Вулканология и сейсмология. 1994. N 2. С. 3-23.
15. *Мелекесцев И.В., Литасова С.Н., Сулержицкий Л.Д.* О возрасте и масштабе катастрофических извержений типа направленного взрыва вулкана Авачинский (Камчатка) в позднем плейстоцене.) // Вулканология и сейсмология. 1991. N 2. С. 3-11.
16. *Меняйлов А.А.* Извержение вулкана Авача в 1938г. // Бюлл. вулканол. станции на Камчатке. 1939. N 6. С. 20-26.
17. *Новограбленов П.Т.* Извержение Авачинского вулкана в 1926 году // Изв. Русск. геогр. об-ва. 1926. Т. LVIII. Вып. 2. С. 79-92.
18. *Пийп Б.И.* Извержение вулкана Авача в 1938г. // Бюлл. вулканол. станции на Камчатке. 1941. N 10. С. 12-22.
19. *Пийп Б.И.* О раскаленных аггломератовых потоках Авачи и о типе извержений этого вулкана // Бюлл. вулканол. станции на Камчатке. 1946. N 12. С. 18-28.
20. *Пийп Б.И.* Извержение Авачинской сопки в 1945 г. // Бюлл. вулканол. станции. 1953. N 17. С. 6-23.
21. *Пономарева В.В., Брайцева О.А.* Вулканическая опасность для района Кроноцкое озеро - Узон - Долина Гейзеров // Вулканология и сейсмология. 1990. N 1. С. 27-44.
22. *Слезин Ю.Б.* Влияние свойств магмы на характер извержения (результаты численного

эксперимента) // Вулканоология и сейсмология. 1994. N4-5. С. 121-127.

23. *Melekestsev I.V., Braitseva O.A., Ponomareva V.V.* Prediction of volcanic hazards on the basis of the study of dynamics of volcanic activity in Kamchatka // Volcanic hazards assesment monitoring. IAVCEI Proceedings in volcanology. 1. Berlin-Tokyo: Springer-Verlag. 1989. P. 10-35.

24. *Stuiver M., Reimer P.J., Bard E. et al.* INTCAL98 Radiocarbon age calibration 24,000-0 cal B.P. // Radiocarbon. 1998. V. 40. P. 1041-1083.

Potential hazards from the Avachinsky volcano eruptions

Bazanova L.I., Braitseva O.A., Melekestsev I.V., Puzankov M.Yu.

History of eruptive activity of Avachinsky volcano over the last 10 mln years has been reconstructed; age, frequency and parameters of the past eruptions, character and scale of potentially hazardous volcanic phenomena have been determined. Assessment of volcanic hazard has been given associated with the activity of Molodoi cone which began its formation 38000 years ago. Specific features of its eruption are used as the basis for the map of volcanic hazard for adjacent territories.
