

УДК 551.21(571.66)

## ПРОБЛЕМА ВЫЯВЛЕНИЯ И ДИАГНОСТИКИ ДЕЙСТВУЮЩИХ И ПОТЕНЦИАЛЬНО АКТИВНЫХ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ КУРИЛО-КАМЧАТСКОЙ И КОМАНДОРСКОГО ЗВЕНА АЛЕУТСКОЙ ОСТРОВНЫХ ДУГ

© 2009 г. И. В. Мелекесцев

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006*

Поступила в редакцию 11.02.2008 г.

Рассмотрена проблема выявления и диагностики действующих и потенциально активных многоактных вулканов, других потенциально активных вулканических образований (региональных зон шлаковых конусов, полей ареального вулканизма, полей концентрированного многовыходного экструзивного вулканизма, кальдер, подводных эруптивных центров в море) Курило-Камчатской островной дуги и Командорского звена Алеутской островной дуги, а также ее состояние на конец 2007 г. Выделены и проанализированы три этапа исследований действующих и потенциально активных вулканических образований этого региона: ранний (1697–1934 гг.), новый (1935–1962 гг.) и незавершенный, новейший (1963 г. – настоящее время). Дано новое, впервые научно обоснованное, определение термина “действующий вулкан”. Представлены модифицированные, по сравнению с ранее существовавшими, каталоги действующих и потенциально активных вулканических форм Камчатки и Курильских островов. Для типичных многоактных вулканов, находящихся в I (активной) и II (пассивной) стадиях развития, даны долгосрочный прогноз характера и параметров будущих извержений, связанной с ними вулканической опасности.

### ВВЕДЕНИЕ

Камчатка и Курильские острова – единственный регион в РФ, где в настоящее время имеются десятки действующих вулканов и наблюдались в историческое время описанные с разной степенью детальности сотни их извержений. История знакомства и изучения действующих камчатских и курильских вулканов охватывает чуть более 300 лет, совпадая по времени с появлением там русских казаков в XVII в. Этот временной интервал можно разделить на три этапа исследований, неодинаковых по длительности, методам, детальности, результативности, значимости, числу выявленных вулканов. Ранний – 1697–1934 гг., новый – 1935–1962 гг., новейший (продолжающийся) – 1963 г.–настоящее время. В ходе проведенных исследований в XVIII–XX вв. был получен большой объем интересных материалов по действующим вулканам обоих регионов, их изверженным продуктам, опубликованы монографии и сотни статей, посвященные различным аспектам вулканологических исследований [1, 9, 13, 18, 22, 38, 47, 70, 71, 75, 77, 78 и др.]. Однако, до конца 60-ых годов XX в. проблема будущих извержений (оценка их типов и параметров) камчатских и курильских вулканов, долгосрочного прогноза извержений и ассоциирующейся с ними вулканической опасности практически не затрагивалась из-за отсутствия фактического материала. Не существовало и научно обоснованной трактовки понятия (термина) “действующий вулкан”. И это несмотря на то, что проблема, связанная с долгосрочным про-

гнозом в данном регионе типа и параметров будущих извержений, определением их опасности для населения, хозяйственных и промышленных объектов, весьма актуальна и важна не только с научной, но и практической точек зрения, поскольку перечисленные объекты часто располагаются вблизи действующих вулканов (рис. 1). Кроме того, осваиваются приближенные к действующим вулканам новые территории. Сами же действующие вулканы часто служат сейчас главными туристическими объектами.

Необходимый материал для ответа на эти вопросы был получен лишь в результате многолетних (1965–2007 гг.) специализированных исследований (раздел 1) сотрудников Лаборатории голоценового вулканизма Института вулканологии (позднее Лаборатории динамической вулканологии Института вулканической геологии и геохимии и Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН). Методика исследований и полученные результаты изложены в [3, 7, 8, 9, 10–13, 30, 38–48, 62, 63 и др.].

Что касается Командорского звена Алеутской островной дуги, то единственный действующий там подводный вулкан Пийпа был открыт лишь в 1984 г. и изучался до 1994 г. [66, 68, 69].

Наличие значительного объема появившегося свежего материала дает сейчас возможность более всесторонне и во многом по-новому рассмотреть проблему выявления и диагностики действующих и потенциально активных вулканических образований названных регионов, уделив основное внимание



**Рис. 1.** Действующий вулкан Авачинский “над” городом (26 км к северо-западу от г. Петропавловска-Камчатского).

следующим аспектам: 1) истории изучения проблемы и ее состоянию на 2007 г.; 2) определению и научному обоснованию понятия “действующий вулкан”; 3) долгосрочному прогнозу будущих извержений; 4) оценке связанной с ними вулканической опасности.

## 1. ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ И ЕЕ СОСТОЯНИЕ НА КОНЕЦ 2007 г.

В истории изучения проблемы выявления и диагностики действующих и потенциально активных вулканических образований Курило-Камчатской области достаточно четко выделяются 3 этапа. Наиболее ранний (1697–1934 гг.) характеризуется преимущественно случайными наблюдениями за действующими вулканами и вулканическими извержениями специалистами разного профиля и разной вулканологической квалификации: от ученых – энциклопедистов (С.П. Крашенинников, Г.В. Стеллер, А. Постельс), географов и геологов (К.И. Богданович, Э. Гультен, А.П. Карпинский, С.А. Конради), краеведов (В.К. Арсеньев, П.Т. Новограбленов) до чиновников (К. Дитмар, В. Маргаритов). Второй этап (1935–1962 гг.) отличался главным образом детальным описанием происходивших тогда извержений, их продуктов, а также геологического строения вулканических сооружений преимущественно геологами и вулканологами-профессионалами (А.Н. Заварицкий, В.И. Влодавец, Б.И. Пийп, Г.С. Горшков, Е.К. Мархинин, А.А. Меняйлов и др.). Продолжающийся третий этап (1963 г. – настоящее время) продолжает в расширенном виде весь комплекс исследований предыдущего этапа, но с добавлением к нему работ по детальной реконструк-

ции эруптивной истории активных вулканов, основываясь на массовом использовании изотопных методов датирования следов и продуктов извержений. Большое внимание уделялось и уделяется долгосрочному прогнозу будущих извержений, их типа и параметров, оценке вулканической опасности.

**Ранний этап.** Впервые об извергающемся вулкане на Камчатке стало известно в Москве в 1701 г. из донесения казачьего пятидесятника Владимира Атласова, который летом 1697 г. наблюдал извержение знаменитой Ключевской сопки: “... днем идет дым, а ночью видны искры и зарево” [по 16]. Позднее, в конце 1697 г., он же от устья р. Гольгина с охотского побережья Камчатки увидел в море Алайд – один из самых активных вулканов Северных Курил в XVIII–XX вв., но в 1697 г. он находился в состоянии покоя.

Первооткрывателем действовавших вулканов Курильских островов стал предводитель отряда казаков Иван Козыревский, побывавший на Северных Курилах в 1713 г. и собравший сведения обо всех островах Курильской гряды, вплоть до о. Хоккайдо. На “чертеже” И. Козыревского показана “огнедышащая гора” на о. Харимкотан: это был извергавшийся тогда вулкан Севергина. Возможно, что в 1713 г. извергался и вулкан Черного на о. Чирпой, так как И. Козыревский сообщал о “пушечной пальбе” на этом острове [по 19].

Первыми учеными, наблюдавшими и обобщившими данные начала раннего этапа о действующих вулканах Камчатки и Курильских островов и кратко описавшими их извержения, были С.П. Крашенинников и Г.В. Стеллер – члены Российской Академии наук, участники Второй Камчатской экспедиции,

работавшие там в 1737–1741 и 1740–1744 годах соответственно. В их одноименных монографиях [35, 72] перечислены 8 активных вулканов на Камчатке (“огнедышащие” Ключевская, Авачинская и Толбачинская сопки, “дымящийся” Камбальная, Кошелевская, Жупановская сопки и вулкан Шивелуч, а также предположительно извергавшийся, по рассказам очевидцев, в начале XVIII в. вулкан Опала) и 3 – на Курилах (“огнедышащий” вулкан Севергина, предположительно извергавшийся в 1713 г., вулкан Черного и “дымящийся” вулкан Алаид).

В названных монографиях описаны и некоторые черты морфологии действующих вулканов, реже – их извержения: “востроверхой” Авачинской сопки летом 1737 г.; самого сильного за последние 300 лет извержения Ключевской сопки в сентябре 1737 г.; вулкана Плоский Толбачик и Толбачинской региональной зоны шлаковых конусов в декабре 1740 г. С.П. Крашенинников первым описал выпавший вулканический пепел последнего из перечисленных извержений. “Толбачинская гора ... загорелась она на гребне, которым с другою горой соединяется ... выкинуло из того места будто шарик огненный, которым однако весь лес по около лежащим горам выжгло. За шариком выбросило оттудо же как бы облачко, которое час от часу распространяясь, больше на низ опускалось и покрыло пеплом снег верст на 50 (~53.5 км, И.М.) во все стороны.” [35, с. 173]. Он отметил, что вулканический пепел (“сажа”) лежал поверх снега в районе современного с. Долиновка (в 120 км к ЮЗ от центра извержения) слоем толщиной в полдюйма. Короткое (не более суток) извержение Авачинского вулкана летом 1737 г. “... окончилось извержением великой тучи пеплу, которым около лежащие места на вершок (4.45 см, И.М.) покрыты были.” [35, с. 171].

Позднее самый крупный вклад в выявление действующих или недавно извергавшихся вулканов Курильских островов внес казачий сотник Иван Черный, который в 1766–1769 гг. прошел вдоль всей гряды до севера о. Итуруп: он привел сведения о 12 таких вулканах. Плавания в 1775–1785 гг. зверопромышленников Антипина и Шебалина до Южных Курил добавили к уже известным активным вулканам еще два: извергавшиеся в 1778 г. вулкан Райкоке и в 1778–1779 гг. [по 19] предположительно вулкан Кудрявый на севере о. Итуруп. На карте Курильских островов Антипина и Оглоблина, составленной, возможно [14] в 1785 г., имеется указание на существование действующего вулкана на о. Уруп.

К концу XVIII в. имелись сведения уже о 10 активных вулканах на Камчатке и 15 – на Курильских островах.

В XVIII в. при внезапном извержении вулкана Райкоке (Центральные Курилы) в 1778 г. появились и первые “вулканические” жертвы среди российских исследователей: погибли 15 человек во главе с сотником Черным (братом Ивана Черного), в честь ко-

торого был назван вулкан на о. Чирпой. Вулканической опасности от выпавшего пепла Авачинского вулкана, извергавшегося 15–16 июня 1779 г., подверглись корабли эскадры Д. Кука в Авачинском заливе (в [16] ошибочно сообщалось, что 16–17 июня 1779 г. корабли эскадры Д. Кука были в Авачинской бухте). Размер падавших на палубы кораблей лапилли базальтового шлака был до 1–2 см, а толщина слоя выпавшего пепла достигала там 2–2.5 см. Корабли находились в 40 км к ЮВ от кратера Авачинского вулкана. К XVIII в. относится и первое восхождение на действующий камчатский вулкан: в 1788 г. Д. Гауз, немецкий горный мастер на русской службе, который был членом Северо-Восточной экспедиции под командованием И.И. Билингса и Г.А. Сарычева, поднялся на вершину Ключевской сопки [71].

Следует отметить, что изучение действующих вулканов Курило-Камчатского региона в XVIII в. носило преимущественно стихийный и случайный характер, так как никто их специально не искал, а описание извержений было поверхностным: обычно указывалось время, реже – сила (слабое, сильное). Что имело место на самом вулкане, оставалось непонятным. Примерно то же самое происходило в XIX в. и в первой трети XX в. Правда, сведения о нескольких извержениях камчатских вулканов, особенно находящихся вблизи населенных пунктов, были намного полнее, чем раньше, благодаря А. Постельсу и К. фон Дитмару. Они подробно охарактеризовали главные особенности сильных извержений Авачинского вулкана в 1827 г. [64] и вулкана Молодой Шивелуч в 1854 г. [24], включая их воздействие на природную среду в окрестностях обоих вулканов. А. Постельс был также первым исследователем, который детально описал материал раскаленной грубообломочной лавины и пирокластического потока авачинского извержения 1827 г., измерил их температуру.

Интересно, что в июне 1824 г. (за три года до очень сильного извержения 1827 г.) физик Г. Ленц и минералог Э. Гофман – участники кругосветного плавания (1823–1826 гг.) на военном шлюпе “Предприятие” под руководством Котцебу – совершили впервые подъем на вершину Авачинского вулкана и никаких признаков готовящегося (оно произошло 27–29 июня 1827 г.) очень сильного извержения там не обнаружили. В неглубоком (~10 м) кратере диаметром ~100 м ими были отмечены только трещины, покрытые серой, а сколько-нибудь заметная фумарольная деятельность отсутствовала.

Первый этап русских исследований действующих вулканов Курильских островов фактически завершился в середине XIX в., поскольку в 1855 г. Южные Курилы отошли к Японии, а в 1905 г. и Северные Курилы были оккупированы японскими войсками. Поэтому итоговый список из 16 действующих вулканов Курильского региона, по состоя-

нию на конец XIX в., представил уже английский сейсмолог на японской службе Дж. Мильн [19].

Поскольку вулканическая активность в XIX в. в обоих регионах продолжала оставаться стабильно высокой, и произошли извержения на прежде молчавших вулканах, то к концу века к уже известным ранее на Камчатке действующим вулканам добавилось еще 6, а на Курильских островах – 14.

Собственно японские исследования действующих вулканов финальной части раннего этапа, который продолжался здесь до 1945 г., когда Курильские острова были возвращены Советскому Союзу, ограничивались главным образом краткими сводками об извержениях прежде известных вулканов. Исключением были лишь более подробные характеристики извержений побочного прорыва вулкана Алаид – Такетоми, возникшего в 1933–1934 гг. у восточного побережья о. Атласова и вулкана Севергина в 1933 г. на о. Харимкотан. Последнее было катастрофическим и сопровождалось впервые отмеченным “вулканическим” цунами, связанным с падением в море более 0.5 км<sup>3</sup> обвально-взрывных отложений и материала пирокластических потоков [19].

Продукты произошедших извержений раннего этапа в обоих регионах почти не изучались. На Камчатке детально исследован лишь вулканический пепел катастрофического извержения конуса Штюбеля в 1907 г., выпавший 28 марта в г. Петропавловск-Камчатский слоем толщиной 2–4 см. Приведен его химический (аналитик Б.Г. Карпов), минералогический и гранулометрический составы, исследованные будущим академиком А.П. Карпинским в 1908 г. [31]. На Курилах – это базальтовая лава и шлак побочного прорыва Такетоми 1933–1934 гг., а также андезитовая пемза извержения 1933 г. вулкана Севергина [19].

Первую “Карту вулканов Камчатки”, по результатам работ 1908–1910 гг. экспедиции Ф.П. Рябушинского, составил Н.Г. Келль. Она опубликована в 1928 г. [32]. На ней были показаны самые заметные вулканы Восточной вулканической зоны Камчатки, определены высоты и координаты их вершин, приведены фотографии вулканов. В 1932 г. вышел первый “Каталог вулканов Камчатки” П.Т. Новограбленова [55], включавший 127 форм, из которых 19 вулканов были отнесены к действующим (табл. 1). Эта карта и каталог вулканов как бы подводили итог раннего 237-летнего (1697–1934 гг.) этапа исследований вулканов Камчатки, когда они изучались эпизодически, от случая к случаю, специалистами самого разного профиля.

На Курильских островах полученные за 248 лет (1697–1945 гг.) данные об активном вулканизме были обобщены в 1946 г. академиком А.Н. Заварицким [25, 27]. Он выделил там 23 действующих вулкана и отметил 3 пункта подводных извержений.

На протяжении большей части раннего этапа исследований проблема выявления и диагностики действующих вулканов решалась очень просто: выделялись “огнедышащие горы” – активные вулканы с непосредственно наблюдавшимися извержениями и “дымящиеся горы” – вулканы с видимой издали фумарольной активностью. Естественно, что количество таких вулканов постоянно росло, пропорционально увеличению срока освоения казаками, а позднее и учеными территории Камчатки и Курильских островов, так как с течением времени активность в разной форме проявляли все новые и новые вулканы.

**Новый и новейший этапы.** Ситуация с изучением действующих вулканов кардинально изменилась после создания в 1935 г. в п. Ключи Камчатской вулканологической станции АН СССР во главе с В.И. Влодавцем, в составе которой в разные годы работали и другие известные вулканологи: Б.И. Пийп, А.А. Меняйлов, С.И. Набоко, Г.С. Горшков, Е.К. Мархинин, П.И. Токарев и многие другие, а в 1944 г. – Лаборатория вулканологии АН СССР. Организатором ее и первым руководителем стал академик А.Н. Заварицкий. Началось целенаправленное высокопрофессиональное и всестороннее исследование действующих вулканов Камчатки, а с 1946 г. – и вулканов Курильских островов, освобожденных от японской оккупации. Появились многочисленные публикации, монографии, диссертации, посвященные комплексному описанию геоморфологии, геологии, активности, вещественного состава изверженных продуктов вулканов Ключевской [60 и др.], Шивелуч [51], Безымянный [18, 20], возникших в то время побочных прорывов [52, 53]. Материалы Аэровулканологической экспедиции 1946 г. послужили основой для монографии А.Н. Заварицкого “Вулканы Камчатки” [26], “Каталога действующих вулканов СССР” [11], “Атласа вулканов СССР” [67] и позволили более реально оценить масштабы проявления активности современного вулканизма на Камчатке и Курильских островах.

Поэтому именно 1935 год – на Камчатке и 1946 год – на Курилах логично считать началом следующего – нового этапа изучения действующих вулканов, который продолжался вплоть до 1962 г. – времени образования Института вулканологии СО АН СССР. Главным объектом исследований на протяжении всего этапа были происходившие в то время извержения: их феноменология, динамика, продукты и последствия. Огромная роль отводилась непосредственным наблюдениям за ходом извержений в полевой обстановке. Слежение за вулканами осуществлялось и в периоды покоя. Подобным образом были изучены извержения вулканов Ключевской, Молодой Шивелуч, Плоский Толбачик, Безымянный, Карымский – на Камчатке; Заварицкого, Эбеко, Чикурачки, кальдеры Заварицкого – на Курильских островах. Возникшие фор-

Таблица 1. Действующие вулканы Камчатки по [15, 16, 21, 23, 55]

Новограбленов, 1932 [45]	Влодавец, Пийп, 1957 [11]	Гущенко, 1979 [16]	Влодавец, 1984 [10]	“Действующие...”, 1991 [17]
Шевелуч	Шевелуч	Шевелуч	Шевелуч (Шивелуч)	Шивелуч
Ключевской	Ключевской	Ближняя Плоская	Ближняя Плоская	Ключевской
	Безымянный	Дальняя Плоская	Дальняя Плоская	Ушковский
Толбачик	Плоский Толбачик	Ключевской	Ключевской	Безымянный
Кизимен	Кизимен	Камень	Камень	Плоский Толбачик
	Комарова	Безымянный	Безымянный	Новые Толбачинские вулканы
	Гамчен	Острый Толбачик	Плоский Толбачик	Ичинский
Кроноцкий	Кроноцкий	Плоский Толбачик	Кизимен	Кизимен
	Крашенинникова	Большая Удина	Комарова	Гамчен
Кихпиныч	Кихпиныч	Кизимен	Гамчен	Комарова
	Узон	Комарова	Кроноцкий	Кроноцкий
	Бурлящий	Гамчен	Крашенинникова	Крашенинникова
	Центральный Семячик	Кроноцкий	Кихпиныч	Кихпиныч
	Малый Семячик	Крашенинникова	Узон	Кальдера Узон и Долина Гейзеров
Карымский	Карымский	Кихпиныч	Бурлящий	Большой Семячик
Жупановский	Жупановский	Узон	Центральный Семячик	Малый Семячик
Игоревский (Зензур)	Дзензурский	Бурлящий	Малый Семячик	Карымский
Авачинский	Авачинский	Центральный Семячик	Карымский	Дзензурский
Корякский	Корякский	Малый Семячик	Жупановский	Жупановский
Мутновский	Мутновский	Карымский	Дзензурский	Корякский
Горелый	Горелый хребет	Жупановский	Авачинский	Авачинский
Опала	Опала	Дзензурский	Корякский	Опала
Штубеля	Ксудач	Авачинский	Опала	Горелый
Желтовский	Желтовский	Корякский	Горелый хребет	Мутновский
Ильина	Ильинский	Опала	Мутновский	Ксудач
Кошелева	Кошелева	Горелый хребет	Ксудач	Желтовский
	Камбальный	Мутновский	Желтовский	Ильинский
Ичинский	Ичинский	Ксудач	Ильинский	Кошелева
Σ 19	Σ 28	Желтовский	Кошелева	Камбальный
		Ильинский	Камбальный	Σ 29
		Кошелева	Ичинский	
		Камбальный	Σ 30	
		Ичинский		
		Σ 32		

Примечание. Названия вулканов и порядок их расположения, орфография – в соответствии с цитируемыми работами.

мы, продукты и последствия извержений некоторых других вулканов (Авачинский, 1938 и 1945 гг., Пик Креницина, 1952 г.) также детально исследовались [59, 61], хотя непосредственно сами эти извержения вулканологи не наблюдали. Впервые на данном этапе стал широко применяться для изучения вещественного состава изверженных пород весь известный тогда комплекс аналитических методов: петрографический, химический, спектральный, гранулометрический.

Для выявления и диагностики невидимой с земли слабой активности в кратерах вулканов и потенциально активных вулканов стали проводиться аэровулканологические наблюдения. С этой же целью были совершены подъемы на многие вулканы. В результате, к уже известным активным вулканам на Камчатке добавились, хотя некоторые и ошибочно (см. ниже), вулканы Комарова, Гамчен, Крашениникова, Узон, Бурлящий, Центральный Семячик, Малый Семячик. Весьма удачным оказался и примененный еще в 1946 г. Б.И. Пийпом к вулкану Безымянный морфологический признак (чрезвычайная свежесть его лавовых потоков) для отнесения этого вулкана к потенциально активным. Прогноз Б.И. Пийпа блестяще был подтвержден мощным извержением вулкана Безымянный, начавшимся в 1955 г. В итоге всего комплекса проведенных исследований общее количество действующих и потенциально активных вулканов на Камчатке к 1957 г. [табл. 1] достигло 28 [16]. На Курильских островах, благодаря подобным исследованиям, число таких вулканов выросло с 23 до 39, включая предполагаемый подводный вулкан у о. Матуа [16, 19].

Практически все материалы об активных вулканах Камчатки и Курильских островов, собранные во время нового этапа, уже опубликованы и проанализированы в Бюллетенях вулканологической станции (и станциях) на Камчатке и Трудах Лаборатории вулканологии АН СССР, вышедших в 1937–1962 гг., а также в других изданиях. Поэтому более детально рассматривать их в настоящей статье еще раз нет необходимости.

Следует также отметить, что на большинстве активных вулканов геолого-вулканологические исследования носили преимущественно рекогносцировочный характер, а сведения о прошлых извержениях всех вулканов оставались в целом прежними, собранными на раннем этапе, и только для исторического временного интервала, ограниченного снизу на Камчатке и Курильских островах самым концом (1697 г.) XVII в. Подробно более длительная ранняя история формирования вулканов и их эруптивной активности почти не изучалась, детальное картирование действующих вулканов не проводилось, несмотря на то, что на Камчатке и Курильских островах в 1947–1950 гг. уже была проведена сплошная аэрофотосъемка. Не предпринима-

лось попыток теоретически обосновать, какие вулканы следует считать действующими, потенциально активными или потухшими.

Многokратным “взрывным” характером роста информации о действующих вулканах, по сравнению с предыдущими этапами, ознаменовался продолжающийся, новейший (1963 г. – настоящее время), этап исследований этих образований, что объясняется целым рядом благоприятствующих факторов и причин. На 1960–1990-ые годы XX в. пришелся расцвет геологических, геоморфологических, вулканологических работ, выполненных учреждениями Министерства геологии и Академии Наук СССР, включая вновь организованные (Камчатское и Сахалинское геологические управления, Камчатскую комплексную экспедицию СОПС АН СССР, Камчатскую геолого-геофизическую обсерваторию, Институт вулканологии, Сахалинский комплексный научно-исследовательский институт СО АН СССР). В Институте вулканологии было завершено средне- и крупномасштабное геоморфолого-вулканологическое картирование участков проявления молодого вулканизма на всей территории Камчатки и на всех Курильских островах. На кораблях “Витязь” и “Крылатка” Института океанологии АН СССР и “Вулканолог” Института вулканологии были выявлены и исследованы геолого-геофизическими методами 97 подводных вулканов и гор (включая действующие вулканы) в Охотском море [1] и в проливах между островами Курильской гряды; открыт в 1984 г. громадный массив Вулканологов в Беринговом море с действующим вулканом Пийпа [66, 68, 69].

Многие виды исследований проводились в сотрудничестве с разными коллективами не только Дальнего Востока, но и других регионов, что значительно помогало в решении поставленных задач и получении результатов международного уровня или превышавших его.

На Камчатке, например, увеличилось, по сравнению с каталогом 1957 г. [16], количество вулканов, которые были отнесены к действующим: в разных работах [15, 21, 23] – от 29 до 32 (табл. 1).

К сожалению, в рамках настоящей статьи невозможно даже вкратце остановиться на различных аспектах и главнейших итогах исследования действующих вулканов Камчатки, Курильских и Командорских островов, которые изложены в сотнях публикаций, в том числе многочисленных монографиях и специализированных сборниках [14, 16, 19, 20, 21, 23, 29, 37, 39, 51, 54, 56, 60 и др.]. Поэтому придется ограничиться лишь описанием и кратким обоснованием разработанной нами новой трактовки понятия “действующий вулкан”, а также освещением проблемы будущих извержений, их типа, силы, долгосрочного прогноза, связанной с ними вулканической опасности, которая на более ранних

этапах исследований практически не затрагивалась из-за недостатка фактического материала.

Такой материал был получен только в результате многолетних (1965–2007 гг.) специализированных исследований О.А. Брайцевой, Л.И. Базановой, В.Ю. Кирьяновым, И.В. Мелекесцевым, В.В. Пономаревой. Эти исследования включали детальную реконструкцию эруптивной активности действующих вулканов Камчатки и Курильских островов либо с момента возникновения таких вулканов (рис. 2), либо за длительные (5–10 тыс. лет и более) отрезки времени, определение стадий их развития, продуктивности, разработку прецизионного тефрохронологического метода датирования вулканических событий [3, 5, 7, 10, 11, 12, 39–50, 62, 63]. Все работы были выполнены в тесном сотрудничестве [4, 8 и др.] с коллегами (Л.Д. Сулержицкий, М.М. Певзнер, Н.Е. Зарецкая) из Лаборатории изотопного датирования Геологического института АН СССР (сейчас – РАН). Это позволило использовать для прямого датирования извержений и вулканических пород изучаемых регионов, а также создания высокоточной тефрохронологической шкалы порядка 4000 радиоуглеродных ( $^{14}\text{C}$ ) дат. Для некоторых вулканов с наиболее сложной историей развития (Молодой Шивелуч, Авачинский) число  $^{14}\text{C}$  датировок достигало 100–150 у каждого [3, 40–42, 54 и др.]. Важно отметить, что подобные по количеству массивы  $^{14}\text{C}$  дат для возрастного расчленения молодых вулкаников и определения времени извержений для Курило-Камчатской области в целом и индивидуальных вулканов намного больше таковых, примененных для аналогичных целей в других странах, где тоже имеются десятки действующих вулканов (Япония, США, Новая Зеландия, Италия, Мексика, Перу).

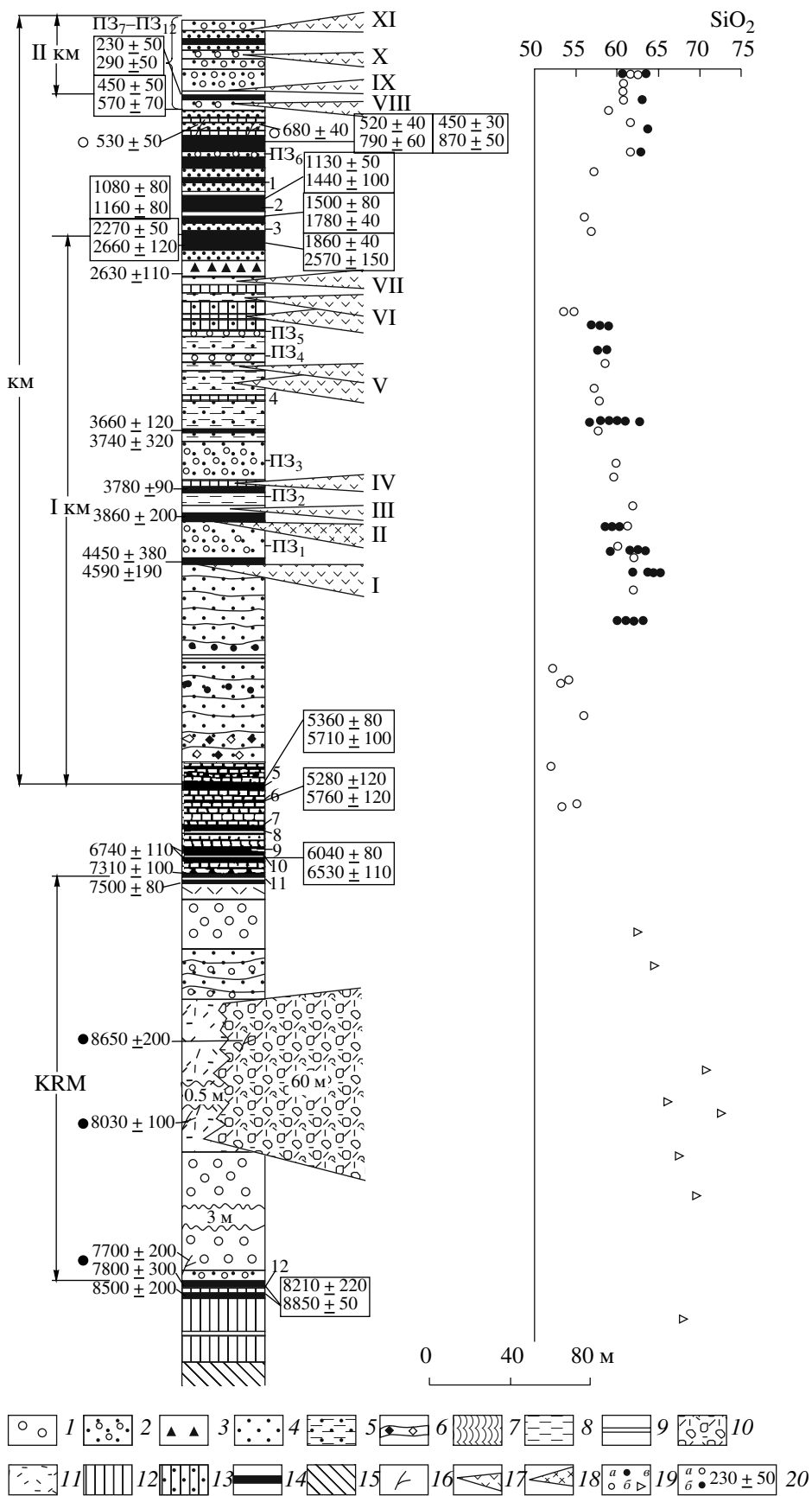
К концу 2007 г. на Камчатке с разной детальностью была изучена подавляющая часть вулканов, которые можно было считать действующими или потенциально активными. Изменился и сам принцип отнесения того или иного вулкана к действующим или потенциально активным (раздел 2). Для этого региона разработаны и нашли массовое применение методы высокоточного датирования вулканических событий, произошедших за последние 10–11 тыс. лет: непосредственно радиоуглеродный и тефрохронологический на основе радиоуглеродных дат. Был подробно исследован, насколько это оказалось возможным в конце XX в., с помощью современных методов, в том числе, с глубоководного обитаемого аппарата “Мир” (летом 1990 г.), единственный активный в Командорском звене Алеутской островной дуги вулкан Пийпа [66, 68, 69].

Гораздо хуже обстоит дело с наземными действующими и потенциально активными вулканами, островами-вулканами Курильских островов, история эруптивной активности которых, за редким исключением (вулканы Эбеко, Пик Немо, Тятя), за

длительные отрезки времени, по-прежнему, очень слабо изучена. Еще хуже обстоит дело с подводными вулканами: из 97 известных [1] подводных вулканов и гор до сих пор неясно, какие из них потухшие, а какие еще потенциально активные. Сведения об обнаружении 20 марта 1982 г. при эхолотировании с рыболовного траулера “Пограничник Змеев” гидроакустической аномалии, интерпретированной [2] как извержение подводного вулкана, не подтвердились. В результате проведенных там позднее (осень 1982 г., 1983, 1985 гг.) исследований НИС “Вулканолог” и совместных исследований (1986 г.) НИС “Вулканолог” и “Мстислав Келдыш” местонахождение аномалии ( $50^{\circ}30.8'$  с.ш.,  $155^{\circ}18.45'$  в.д.) с борта опустившегося глубоководного аппарата “Пайсис” было установлено, что последняя связана с подъемом пузырьков метана из нарушенного газгидратного слоя [17, 28]. Предполагается [17] нарушение газгидратного слоя вследствие “протапливания” его поднимающимися снизу термальными растворами.

## 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМИНА “ДЕЙСТВУЮЩИЙ ВУЛКАН”

Действующие вулканы – важнейший объект вулканологических исследований. Однако, до 1990-ых годов XX в. научно обоснованного критерия для разделения вулканов на действующие, потенциально активные и потухшие, по мнению автора статьи, не существовало, хотя это было необходимо и актуально как с теоретической, так и, особенно, с практической точек зрения – оценки вулканической опасности. Именно оценка и прогноз вулканической опасности требуют предельно четкого представления о том, является ли вулкан действующим или потенциально активным и следует ли ожидать его извержений в будущем, какого типа и силы они будут. Так, прямым следствием отсутствия научно обоснованной формулировки понятия “действующий вулкан” служит, в частности, кажущаяся неожиданность извержений на вулканах, которые молчали продолжительное время или вообще считались потухшими. Хорошо известны, например, “внезапные” катастрофические извержения Везувия 79 г. н.э. (Греция), Эль-Чичон 1982 г. (Мексика), Пинатубо 1991 г. (Филиппины), которым предшествовал период покоя 600–800 лет, и сильное извержение вулкана Унзен в 1990–1993 гг. (Япония), последовавшее за 200-летним (с 1792 г.) перерывом в его активности. Для Камчатки весьма показателен вулкан Безымянный, который перед катастрофическим извержением 1955–1956 гг. не извергался в течение около 1000 лет и лишь условно относился к действующим. В связи с чем закономерно встает вопрос, какие максимальные периоды покоя возможны в эруптивной истории вулкана, после чего он способен возобновить свою активность и считаться действующим?





Как уже отмечалось выше (раздел 1), исследования по выявлению потенциально активных камчатских и курильских вулканов, связанной с ними опасности и ее долгосрочному прогнозу были проведены И.В. Мелекесцевым, О.А. Брайцевой, В.В. Пономаревой, Л.И. Базановой. Показано, что наиболее перспективным для решения этой проблемы оказался подход, при котором вулкан следует считать действующим, основываясь на выявленных закономерностях и тенденции его эруптивной истории за длительный отрезок времени, желательнее с момента возникновения вулкана или за последние 5–10 тыс. лет его жизни. Очень удобным и надежным методом для детальной реконструкции эруптивной истории служит тефрохронологический с широким применением радиоуглеродного датирования ( $^{14}\text{C}$ ). Методика таких исследований изложена нами в многочисленных публикациях [3–5, 7–12, 39–50, 62, 63 и др.]. Изучение с ее помощью истории активности действующих вулканов Камчатки в голоцене позволило определить для них максимальные длительности периодов покоя, после которых вулканическая активность снова возобновляется и, таким образом, использовать данный критерий для отнесения вулканов к действующим.

К началу 2007 г. восстановлена с разной степенью детальности эруптивная история 19 действующих вулканов Камчатки: Молодой Шивелуч, Ключевской, Безымянный, Кизимен, Карымский, Авачинский, Горельй, Ксудач, Камбальный, Кошелевский и др. Исследованы вулканы Жупановский, Бакенинг, Вилочик, Козельский. Выделены и датированы крупнейшие ( $>0.5 \text{ км}^3$  пироклаستيку) эксплозивные извержения за последние 10000 лет. Прослой пеплов этих извержений оказались прекрасными маркирующими горизонтами и были использованы для дробного стратиграфического расчленения, датирования и региональной корреляции других типов вулканических отложений, определения возраста разнообразных вулканических форм (для последних 10 тыс. лет с точностью  $\pm 100$  лет).

На Курильских островах детальные работы по реконструкции эруптивной активности нам удалось провести [45, 48, 54] лишь на двух действующих вулканах – Эбеко (о. Парамушир) и Пик Немо (о. Онекотан), а японским исследователям [79] – на вулкане Тятя, для последней тысячи лет.

Изученные вулканы имеют различную морфологию и состав продуктов. Вулканы Ключевской, Безымянный, Карымский – обычные простые стратовулканы; Горельй, Крашенинникова, Кихпиньч, Малый Семячик – короткие вулканические хребты из нескольких сросшихся своими основаниями друг с другом конусов-стратовулканов; Авачинский – вулкан типа Сомма-Везувий; Кизимен – сложно построенный вулкан с широким развитием экструзивных куполов; Ксудач – вулканический массив, крупнейшие эксплозивные извержения на котором сопровождались кальдерообразованием. Вулканы Ключевской, Крашенинникова, Кихпиньч, Малый Семячик поставляют на поверхность преимущественно базальты и андезибазальты, Карымский и Безымянный – андезиты, Ксудач – андезиты и дациты, Авачинский – андезиты для первого этапа в начале голоцена и андезибазальты – для его Молодого конуса, во второй половине голоцена. Вулканы Эбеко и Пик Немо – андезитовые. Однако выяснилось, что длительность периодов покоя в жизни вышеперечисленных вулканов в целом не обнаруживает существенных различий в зависимости от морфологии вулканов и состава их магмы.

Если исключить относительно спокойные интервалы между извержениями внутри самих эруптивных периодов, где они измеряются обычно годами и десятками лет, а брать интервалы покоя между крупными периодами активизации, то типичными для последних можно считать длительности в сотни лет. Периоды покоя продолжительностью 700–900 лет установлены для вулканов Безымянный, Крашенинникова, Карымский. Даже для Авачинского вулкана с его весьма напряженной активностью выявлен период покоя длительностью 900 лет (устное сообщение Л.И. Базановой). Перио-

**Рис. 2.** Сводный разрез голоценовых лавово-пирокластических отложений подножия вулкана Карымский. 1 – бомбы и лапилли пемзы; 2 – лапилли пемзы с вулканическим песком; 3 – лапилли шлака с вулканическим песком; 4 – вулканические пески; 5 – вулканические пески стратифицированные; 6 – стратифицированная пирокластика начальных извержений вулкана: вулканические пески, они же с лапилли, бомбами и примесью резургентного материала; 7 – вулканические пески обожженные; 8 – вулканические пески и тонкие пеплы, стратифицированные; 9 – прослой тонких пеплов; 10 – отложения пирокластических потоков; 11 – тонкие пеплы “палящих туч” кальдерообразующего извержения; 12 – супеси; 13 – супеси с примесью вулканических песков; 14 – погребенные почвы; 15 – подстилающие докальдерные отложения; 16 – древесина и угли; 17 – андезитовые лавовые потоки; 18 – андезитовые и дацитовые лавовые потоки; 19 – фигуративные точки составов вулкаников: *a* – тефра вулкана Карымский, *b* – его лавы, *в* – пирокластика кальдерообразующего извержения (состав *a* и *в*, в пересчете на безводный остаток); 20 – радиоуглеродные даты: *a* – по древесине, *b* – по углям, остальные – по погребенным почвам (в рамках даты по щелочным вытяжкам из одного и того же образца почвы); KRM – комплекс отложений, связанных с формированием Карымской кальдеры; KM – отложения всего этапа формирования вулкана; ИКМ, ШКМ – отложения периодов активизации вулкана Карымский; XI – возрастные группы лавовых потоков; ПЗ<sub>1</sub>-ПЗ<sub>12</sub> – горизонты пемзовой тефры вулкана Карымский; ШЛ – прослой шлака вулкана Карымский; 1–12 (у правого края колонки) – горизонты транзитных пеплов (2 – вулкана Опала, 3 – вулкана Ксудач, 4, 5 – вулкана Авачинский, 10 – вулкана Хангар, 11 – вулкана Кизимен (для остальных пеплов источник не установлен).

ды покоя в 1000–2000 лет тоже нередки и случались хотя бы раз в эруптивной истории вулканов Кизимен, Малый Семячик, Карымский и вулканического массива Ксудач. Именно 1000 лет длился период покоя перед катастрофическим извержением вулкана Безымянный 1955–1956 гг. Периоды покоя длительностью 2000–3000 лет, после которых вулкан все еще сохранял возможность возобновить свою активность, имели место в истории Кизимена, Малого Семячика, Карымского и дважды в истории Ксудача. Они отмечены для вулканов Горелый, Опала, Желтовский, Ильинский и Камбальный. Периоды покоя длительностью 3000 лет установлены для вулканов Желтовский и Камбальный. На вулкане Кихпинич период покоя в 3200 лет разделял периоды активизации, отвечающие времени формирования его конусов – Западного и Савича. Самый длительный период покоя (3500 лет) зафиксирован для вулкана Дикий Гребень.

Перерывы между формированием отдельных вулканических построек, составляющих вулканические массивы и хребты, по продолжительности вполне сопоставимы с периодами покоя в эруптивной истории вулканов, имеющих простое строение. Это хорошо видно на примере вулканических хребтов Крашенинникова и Малого Семячика. Молодой конус Малого Семячика – Кайно-Семячик, отделен от предыдущего конуса, Мезо-Семячика, перерывом в активности длительностью около 1700 лет, а формирование Северного и Южного конусов массива Крашенинникова – интервалом покоя в 900 лет. Это указывает на то, что вулканические хребты Крашенинникова и Малого Семячика представляют собой каждый, в сущности, один действующий вулкан. Формирование их индивидуальных конусов – просто способ наиболее экономного продолжения вулканического процесса: вулканический конус достигает предельной для него высоты, часто давая на заключительной стадии серию побочных прорывов, обеспечивающих магме выход рядом на более низких гипсометрических уровнях. В начале нового цикла активности в условиях предельной высоты постройки происходит смещение канала вулкана по простиранию и образование нового конуса рядом с предыдущим.

Из всего вышеизложенного следует, что периоды покоя длительностью 1000–3000 лет обычны для эруптивной истории камчатских и курильских вулканов, после чего они возобновляют свою активность. Максимальный период покоя для изученных вулканов составил 3200–3500 лет. Среди них можно выделить подгруппу действующих вулканов, для которых имеются сведения об исторически документированных извержениях или фумарольных проявлениях, и подгруппу потенциально активных вулканов, для которых эти данные отсутствуют, но установлены и датированы их извержения за последние 3000–3500 лет радиоуглеродным и тефрохронологическим методами. Последние после пери-

ода относительного покоя способны возобновить свою активность. Многие из них не только потенциально активные, но и потенциально очень опасные вулканы, на которые следует обращать первоочередное внимание при освоении территории.

Учитывая вышеизложенное, определение понятия “действующий вулкан” должно быть сформулировано в следующем виде:

**Действующим следует считать не только вулканы, на которых наблюдаются и были документально зафиксированы извержения или фумарольная деятельность, но и вулканы, для которых надежно установлено и датировано изотопными или тефрохронологическими методами хотя бы одно извержение за последние 3200–3500 лет.** Последние предполагается отнести к подгруппе **потенциально активных вулканов.**

Уместно отметить, что если бы на Камчатке и Курилах исторические свидетельства охватывали такой интервал времени, как в Средиземноморье (~2500 лет), то многие выделяемые нами во вторую подгруппу вулканы и, по принятому критерию об исторически документированных извержениях, оказались бы действующими. В связи с этим представляется, что решающее значение при отнесении вулкана к действующим или потухшим должно иметь изучение его истории, как минимум, за последние тысячелетия, а в идеальном случае – с момента возникновения вулкана.

Одноактные (т.е. одноразовые) вулканические формы, естественно, из состава действующих или потенциально активных должны быть исключены просто по определению.

В соответствии с разработанными принципами и определением термина “действующий вулкан”, предлагаемый список действующих и потенциально активных вулканов, потенциально активных региональных зон шлаковых конусов, полей базальтового ареального вулканизма, узлов концентрированного многовыходного экструзивного вулканизма и кальдер Камчатки включен в табл. 2, а аналогичных образований Курильских островов – в табл. 3. В табл. 1, где совмещены действующие вулканы Камчатки из каталогов 1932–1991 гг., многоактные вулканы предлагаемого нами списка выделены жирным шрифтом. Остальные вулканы табл. 1 из списка действующих автором статьи по разным причинам [54], исключены.

В Командорском звене Алеутской островной дуги единственным действующим остается вулкан Пийпа.

### 3. БУДУЩИЕ ИЗВЕРЖЕНИЯ И ВУЛКАНИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ

Определение характера и параметров будущих извержений наземных действующих и потенциально активных многоактных вулканов центрального

**Таблица 2.** Действующие и потенциально активные вулканические образования Камчатки [по данным 40, 54]

Тип вулканического образования	Критерии выделения		
	1	2	3
Многоактные вулканы			
1. Шивелуч (Молодой Шивелуч)	+	+	+
2. Ключевская сопка	+	+	+
3. Безымянный (Новый Безымянный)	+	+	+
4. Плоский Толбачик	+	+	+
5. Ушковский (Плоская Дальняя сопка)	–	–	+
6. Кизимен	+	+	+
7. Высокий	–	+	+
8. Комарова	–	+	+
9. Гамчен	–	+	+
10. Кроноцкий	+?	–?	–
11. Крашенинникова	–	+	+
12. Кихпинич (конус Савича)	–	+	+
13. Таушиц	–	+	–
14. Малый Семячик	+	+	+
15. Карымский	+	+	+
16. Жупановский	+	+	+
17. Корякский	+	+	+
18. Авачинский (Молодой конус)	+	+	+
19. Опала	+	+	–?
20. Горелый	+	+	+
21. Мутновский	+	+	+
22. Ходутка	–	+	–
23. Ксудач (конус Штюбеля)	+	+	–?
24. Желтовский	+	+	+
25. Ильинский	+	+	–?
26. Дикий Гребень	–	+	–
27. Кошелева	+	+?	+
28. Камбальный	+	+	–
29. Хангар	–	+	–
30. Ичинский	–	+?	+
Прочие вулканические образования			
<b>А. Региональные зоны шлаковых конусов</b>			
31. Толбачинская	+	+	+
32. Плоских сопкок	–	–?	–
<b>Б. Поля ареального базальтового вулканизма</b>			
33. Толмачев Дол	–	+	–
34. Бассейн рек Средняя и Левая Авача	–	+	–
35. Север хребта Срединный (минимум 2–3 поля)	–	+	–
<b>В. Поля концентрированного многовыходного экструзивного вулканизма</b>			
36. Большой Семячик	–	+?	–?
<b>Г. Кальдеры</b>			
37. Озеро Карымское	+	+?	–?
38. Горелая	–	+	–?
39. Опала	–	+	–
40. Ксудач V	+	+	–?
41. Озеро Курильское -Ильинская	–	+	–?

Примечание. 1 – исторические документированные извержения; 2 – извержения последних 3500 лет, датированные геологическими методами; 3 – фумарольная активность за последние столетия. + наличие, – отсутствие, ? требуется проверка и уточнение; в скобках – активный вулканический аппарат.

**Таблица 3.** Действующие и потенциально активные вулканические образования Курильских островов [по 16, 19, с дополнениями автора]

Тип вулканического образования	Критерии выделения	
	1	3
Многоактные вулканы		
1. Алаид	+	+
2. Ширинки?	–	–
3. Экарма	+	+
4. Чиринкотан	+	+
5. Райкоке	+	+
6. Броутона?	–	–
7. Эбеко	+	+
8. Чикурачки	+	+
9. Татарина	+?	+
10. Карпинского	+?	+
11. Расшуа	+	+
12. Кетой	+	+
13. Пик Прево	+	+?
14. Черного	+	+
15. Сноу	+	+
16. Брат Чирпоев	+	+
17. Медвежий-Кудрявый	+	+
18. Чирип	–	+
19. Богдана Хмельницкого	+	+
20. Атсонупури	+	+
21. Тятя	+	+
22. Берутарубе	+	+
23. Севергина	+	+
24. Горящая сопка	+	+
25. Менделеева	+	+
26. Синарка	+	+
27. Ушишир	+	+
28. Иван Грозный	+	+
29. Головнина	+	+
30. Пик Фусса	+	+?
31. Пик Немо	+	+
32. Пик Креницына	+	+
33. Пик Сарычева	+	+
34. Берга	+	+
35. Трезубец	+	+
36. Колокол?	+?	+?
37. Баранского	+?	+
38. Тебенькова	–	+?
39. Стокап?	–	+?
Прочие вулканические образования		
<b>А. Кальдеры</b>		
40. Тао-Русыр	+	+
41. Заварицкого	+	+
<b>Б. Подводные центры в море</b>		
42. 1924 г.	?	+?
43. 1967 г.	+	?+

Примечание. 1 – исторические документированные извержения; 2 – фумарольная активность за последние столетия; + наличие, – отсутствие; ? требуется проверка и уточнение.

типа, а также оценка опасных явлений, связанных с этими извержениями, устанавливались на основании специализированных комплексных (тефрохронологических, геолого-геоморфологических, вулканологических) исследований [3–5, 7–12, 4–50, 62, 63, 70]. Они включали: 1) детальное геолого-геоморфологическое картирование каждого вулкана; 2) изучение на подножии вулкана почвенно-пирокластических чехлов и составление сводного разреза тефры – своеобразной летописи эксплозивной активности вулкана за сотни-тысячи лет; 3) датирование вулканических и связанных с ними событий по погребенным почвам, углям и древесине, содержащимся в почвенно-пирокластическом чехле и отложениях пирокластических потоков; 4) определение положения лавовых и пирокластических потоков вулкана, взрывных и лахаровых толщ в разрезах почвенно-пирокластических чехлов с привязкой последних к сводному разрезу, для которого имеются радиоуглеродные датировки; 5) составление сводной стратиграфической колонки, на которой представлены все эксплозивные и эффузивные продукты вулкана, служащей основой для реконструкции режима его активности. Одновременно из прослоев тефры, лавовых и пирокластических потоков отбирались образцы для аналитических исследований с целью выявления эволюции состава изверженных продуктов во времени. В заключение составлялась карта вулкана, на которой возраст вулканических образований и других интересующих объектов давался в абсолютном летоисчислении, и серия карт-палеореконов для отдельных этапов эруптивной истории вулкана. На основе карт-реконструкций и изопакит тефры оценивались объем вулканических и продуктивности [39, 41, 42] вулкана для разных периодов его жизни.

Комплекс исследований, выполненных по вышеописанной методике, дал возможность: 1) определить возраст вулкана на основе датирования пирокластических его начальных извержений, если таковая сохранялась; 2) выделять и датировать  $^{14}\text{C}$  методом крупнейшие извержения и периоды активизации вулкана; 3) датировать побочные прорывы на склонах вулкана; 4) реконструировать в итоге историю и динамику вулканической активности с привязкой к  $^{14}\text{C}$  и календарной временным шкалам.

Учитывалось также и то, что простое знание опасных событий, которые были на вулканах в прошлом, необходимо, но явно недостаточно для правильной оценки вулканической опасности. Решающее значение для прогноза будущей вулканической опасности имеет выявление закономерностей в динамике эруптивной активности и продуктивности вулканов с определением характерных особенностей того периода жизни, на котором они находятся в настоящее время. Основываясь на таких данных, можно сделать заключение относительно характера, частоты, типа и энергии извержений, которые могут произойти в ближайшее время [3, 8, 10, 40–50,

78]. При этом очевидно, что не все события и явления, случившиеся в длительной истории вулкана, с одинаковой вероятностью произойдут в ближайшем будущем. Поэтому, необходимо было установить именно те события и явления, которые характерны именно для настоящего периода жизни вулкана и только их рассматривать как потенциально опасные.

По вышеизложенной методике выполнена детальная реконструкция истории и динамики эруптивной активности большинства действующих вулканов Камчатки за последние 10 тыс. лет, с учетом современной стадии их развития [3–5, 8, 10, 11, 38–43, 46–47, 62, 70 и др.]. На Курилах таких вулканов [45, 48] – всего два (Эбеко и Пик Немо).

Стадия I (активная и прогрессивная) отвечает времени интенсивной вулканической активности, характеризуется положительным балансом вещества с его аккумуляцией на самом вулкане и, как следствие, постоянным увеличением объема постройки, ее ростом и свежим обликом. Продолжительность активной стадии у наземных многоактивных вулканов центрального типа, разных по морфологии типов и размеров, составляет от нескольких сотен до 10–12 тыс. лет [38, 39]. Стадия II (пассивная и регрессивная) отвечает периоду общего ослабления вулканической активности и характеризуется отрицательным балансом вещества на постройке: извергается и остается там материала меньше, чем удаляется в ходе ее разрушения. Вулканическая постройка перестает расти и начинает разрушаться различными денудационными процессами. Это, во-первых, Во-вторых, вулканические сооружения часто разрушаются и в ходе редких, но очень сильных извержений, весьма характерных для II стадии развития вулканов. Например, при формировании крупных эксплозивных кратеров. Кроме того, нередко такие извержения сопровождались кардинальным разрушением построек вулканов еще и гигантскими обвалами [22, 77]. Продолжительность стадии II у наземных одноактивных вулканов центрального типа обычно 10–50 тыс. лет [38, 39].

Отчетливо выраженная стадийность выявлена у хорошо изученной [12, 54] Толбачинской региональной зоны шлаковых конусов, для которой сравнительно полно реконструирована и история эруптивной активности в ее пределах с момента возникновения зоны 10–11 тыс. лет назад.

Приведенные выше данные и выявление закономерности развития детально изученных перечисленных вулканических образований могут служить, по мнению автора статьи, основанием для предварительного долгосрочного прогноза их дальнейшей активности и потенциальной опасности.

Что касается подводного вулкана Пийпа [66, 68, 69], то необходимых данных для долгосрочного прогноза особенностей его будущих извержений, их возможного воздействия на природные объекты и



**Рис. 3.** Типичные извержения вулкана Ключевской 1987 г. (I стадия развития, современный цикл активности). Фото А.Ю. Озерова.

человека явно недостаточно. Однако, некоторые соображения по этому поводу можно здесь все-таки представить.

Большинство наиболее активных действующих вулканов Камчатки находятся в стадии I. Их деятельность имеет четко выраженный циклический (точнее – ритмический) характер. Каждый цикл состоит из двух фаз: фазы интенсивной вулканической активности, который запечатлен прослоями тефры, лавами и пирокластическими потоками, и фазы покоя или существенного ослабления этой активности с формированием погребенных почв, иногда включающих редкие прослой тефры. Изучение циклического режима вулкана за длительный (тысячи лет) отрезок времени позволяет определить фазу цикла, на которой находится вулкан в настоящее время (независимо от того, извергается он или нет в данный момент). Знание длительности таких фаз в предшествующих циклах и представление о продуктивности [39] вулкана на разных стадиях жизни позволяет предсказать его поведение в ближайшем будущем, определить временную приуроченность и возможные параметры будущих извержений.

### 3.1. ВУЛКАНЫ В ПЕРИОДЕ АКТИВНОСТИ СОВРЕМЕННОГО ЦИКЛА

К вулканам в периоде активности современного цикла относятся Ключевской, Безымянный, Карымский, Малый Семячик, Молодой Шивелуч, Плоский Толбачик, Горелый, Ильинский, Молодой конус вулкана Авачинский [3, 10, 11, 29, 33, 41, 42, 43

и др.]. Из-за недостатка места здесь будут рассмотрены особенности (долгосрочный прогноз) будущих извержений и связанной с ними вулканической опасности лишь для 3-х из них: вулканов Ключевской, Безымянный, Молодой конус вулкана Авачинский. Выбор объясняется, прежде всего, тем, что названные вулканы либо расположены поблизости от крупных населенных пунктов и хозяйственных сооружений, либо служат наиболее посещаемыми объектами. Попадающий в эту категорию очень опасный вулкан Молодой Шивелуч (он находится в 45 км к ССВ от пос. Ключи, а по его подножию проходит автодорога Ключи-Усть-Камчатск), исключен из-за того, что ему посвящены недавние (2003, 2004 гг.) публикации [46, 47], где подобные вопросы детально разобраны.

**Вулкан Ключевской** (рис. 3) – самый активный, мощный и крупный вулкан на Камчатке (объем его изверженных продуктов 250–300 км<sup>3</sup>, вес 600 × 10<sup>9</sup> т, высота в 1986 г. была более 4800 м над уровнем моря). Вулкан начал формироваться примерно 7000 календарных лет назад (около 6000 <sup>14</sup>С л.н.) [39, 54] на абсолютной высоте 1600–1700 м на СВ склоне вулкана Камень. Его исторические извержения известны с 1697 года [60]. Вулканические продукты представлены базальтами и андезитобазальтами. Около 4000 календарных лет назад конус вулкана, по-видимому, достиг своего максимального морфологического объема и высоты, поскольку именно тогда на его склонах и у подножия начались извержения побочных конусов. С того времени произошло более 100 побочных прорывов, 26 из которых возникли в 1932–1990 гг. [74, 75].

В жизни вулкана не было существенного ослабления или прекращения активности, отмечаются только периоды ее усиления или некоторого ослабления. Преобладали слабые или умеренные по силе извержения (с объемом продуктов  $10^6$ – $10^7$  м<sup>3</sup>). Сильные и очень сильные извержения с объемом продуктов  $10^8$ – $10^9$  м<sup>3</sup> происходили сравнительно редко, самое свежее – 1 октября 1994 г.

Ключевской отличается от других вулканов Камчатки максимальной продуктивностью [39], которая относительно постоянна как для длительных (тысячи и сотни лет), так и коротких (десятки лет) временных интервалов. Она колеблется между  $5 \times 10^7$  и  $9 \times 10^7$  т/г., а в 1926–86 гг. составляла  $6.3 \times 10^7$  т/г.

Высокая частота извержений и малые колебания продуктивности указывают на то, что Ключевской вулкан находится в начале или середине I (активной) стадии. Следовательно, в ближайшем будущем характер активности вулкана вряд ли существенно изменится. Извержения из его вершинного кратера и побочных прорывов могут поставлять продукты общим объемом по 0.001–0.5 км<sup>3</sup>.

Опасность от Ключевского вулкана будет связана с лавовыми потоками, выпадением тефры, лахарами, вулканическими и вулкано-сейсмо-тектоническими обвалами. Выпадение тефры может оказывать негативное влияние на природу, население и хозяйственные объекты на расстоянии до 15–20 км от эруптивного центра, мощность ее может изменяться от 1–2 см у дальней границы до 100–150 см в районе вершинного кратера или у подножия конусов побочных прорывов. Лавовые потоки терминальных извержений могут распространяться на расстояние до 15 км от вершинного кратера. Максимальная возможная длина лавовых потоков побочных извержений составит 10–12 км. Не исключены также крупные вулкано-сейсмо-тектонические обрушения при сильных извержениях. Один из таких обвалов произошел в январе 1945 г., когда вблизи вершины вулкана возникла обширная лоткообразная структура – шарра, а еще более молодой обвал случился в 1983 г. [22, 77]. В этом отношении наиболее опасна привершинная часть северо-западного сектора вулкана. Значительную опасность представляют лахары, которые со скоростью до 30–40 км/ч распространяются по долинам временных водотоков (“сухих рек”) на расстояние 20–30 км, в зависимости от силы извержения и положения эруптивного центра. Причиной возникновения лахаров могут служить изливающиеся на склоны вулкана лавовые потоки, шлаковые пирокластические потоки, обвалы.

**Вулкан Безымянный** (рис. 4) стал широко известен после его катастрофического извержения 30 марта 1956 г. и в настоящее время находится в фазе активизации современного цикла активности, который начался в 1955 году после почти 1000-летнего периода покоя [5, 9, 11]. Поскольку длительность предыдущих периодов активизации составля-

ла сотни лет, можно полагать, что длительность современного периода будет примерно такой же. По аналогии с предшествующими периодами, допустить, что вулкан находится сейчас в середине современного цикла активизации. Катастрофическое извержение типа извержения 1956 г. вряд ли произойдет в ближайшие 100–200 лет, поскольку такие извержения имели место, главным образом, после более длительных периодов покоя. Деятельность вулкана в ближайшее десятилетие будет связана с ростом и преобразованием сложного многоактного купола, начавшего формироваться в кратере сразу [18, 20] после катастрофического события 30 марта 1956 гг. Однако, после серии извержений 1980–1990 гг. сложный экструзивный купол фактически по своей морфологии превратился в вулкан с хорошо выраженным вершинным кратером, который сейчас можно назвать Новый Безымянный, хотя его вулканическая деятельность вряд ли претерпит существенные изменения. Она по-прежнему будет характеризоваться слабой и умеренной, реже – сильной кратковременной эксплозивной активностью с частичным разрушением вулкана формированием пирокластических потоков с объемом пирокластики от 0.001 до 0.01 км<sup>3</sup> и лавовых потоков. Общий объем материала одного извержения вряд ли превысит 0.02–0.05 км<sup>3</sup>, пирокластические и лавовые потоки могут распространяться на расстояние 5–15 и 0.2–2 км от кратера, соответственно, объем тефры будет порядка 0.01–0.03 км<sup>3</sup>. Наиболее опасной зоной, как и раньше, останутся восточный склон и подножие вулкана в радиусе 10–15 км, так как кратер открыт именно в этом направлении. Эта же зона будет отличаться высокой опасностью, связанной с обрушением пород нового вулкана и возникновением обломочных лавин, в том числе, раскаленных. Следует отметить, что данный в 1987 г. прогноз автора статьи полностью подтвердился последующим ходом эруптивной активности вулкана. В течение 1987–2006 гг. произошли 16 извержений, которые по типу и параметрам соответствовали предсказанным.

**Молодой конус вулкана Авачинский** (абс. высота 2741 м). Для него долгосрочный прогноз [3, 41, 42] активности и оценка опасности давались на основании характера извержений 1737–1991 гг. и результатов детальной реконструкции истории эруптивной деятельности с момента возникновения самого конуса – примерно 3800 календарных (3500 <sup>14</sup>C л.н.) лет назад [3, 54].

В результате извержения 1991 г. жерло вулкана оказалось закупоренным слоистой лавовой “пробкой” толщиной до 170 м, общим весом 20 млн. т, что сделало невозможным прямое извержение новой магмы через вершинный кратер без разрушений этой “пробки”. Поэтому прогнозируется [42] минимум два варианта развития дальнейших событий. По первому варианту (без поступления с глубины новой магмы в течение длительного времени) лаво-



**Рис. 4.** Формирующийся (1980 г.) вулкан Новый Безымянный в кратере катастрофического извержения 1956 г. вулкана Безымянный. Перспективное аэрофото В.Н. Двигало.

вая “пробка” станет постепенно разрушаться фреатическими взрывами, как в октябре 2001 г. с прогрессирующим уменьшением ее толщины вплоть до вскрытия погребенного жерла на дне кратера. Затем последует умеренное эксплозивно-эффузивное извержение типа 1991 г. По второму варианту, подъем свежей магмы вызовет деформацию вершинной части Молодого кратера, обвал и сильный взрыв в ЮЮЗ или ЮЗ его секторах с последующим излиянием лавы из вновь образованного открытого кратера. Объем взорванной и обвалившейся постройки будет варьировать от 0.01–0.02 до 0.1–0.2 км<sup>3</sup>. Главная опасность станет исходить от горячей ударной взрывной волны, обвально-взрывных отложений и катастрофических, протяженных (>20 км) лахаров, в меньшей степени – от лавовых потоков, которые, вероятнее всего, не выйдут далеко за пределы постройки вулкана. Виды и характер вулканической опасности от будущих извержений Авачинского

вулкана для городов Петропавловск-Камчатский и Елизово, их окрестностей отображены на специализированной карте, цветной вариант которой опубликован в [54].

### 3.2. ВУЛКАНЫ В ПЕРИОДЕ ОТНОСИТЕЛЬНО ПОКОЯ СОВРЕМЕННОГО ЭРУПТИВНОГО ЦИКЛА

Вулканы Кизимен, Крашенинникова, Кихпинич тоже находятся в I активной стадии развития, но в настоящее время у них продолжается период относительного покоя современного эруптивного цикла. Прогноз будущей активности у каждого из этих вулканов различен, но детальная реконструкция их истории развития позволяет предполагать, что период покоя для одних вулканов будет продолжаться длительное время (сотни лет), а для других, напро-



**Рис. 5.** Вулкан Кизимен с хорошо заметным вершинным экструзивным куполом (I стадия развития, период относительного покоя современного эруптивного цикла). Перспективное аэрофото В.Н. Двигало.

тив, можно допускать возможность сильного извержения в ближайшем будущем.

**Вулкан Кизимен** сейчас (рис. 5) проявляет лишь фумарольную активность [34, 57]. По морфологии, параметрам, геологическому строению, изверженным породам он сходен с вулканом Сент-Хеленс (США) до его знаменитого катастрофического извержения 18 мая 1980 г. Абсолютная высота вулкана 2376 м, объем изверженных продуктов – 20 км<sup>3</sup>, он начал формироваться 12–11 тыс. (<sup>14</sup>C) л.н. и был создан в течение четырех циклов [50]. Самый молодой (IV) из них охватывает интервал от 3000 лет назад до настоящего времени и характеризуется резким изменением типа эруптивной активности (от преимущественно эксплозивной к существенно эффузивной), состава изверженных пород (от дацитов к андезитам и андезибазальтам) и увеличением продуктивности. Цикл открылся сильным (объем пироклаستيку 0.7–1 км<sup>3</sup>) эксплозивным извержением, при котором образовались последние пока в истории вулкана пирокластические потоки, а среди дацитовой пемзовой пироклаستيку в отложениях потоков впервые появились фрагменты андезибазальтового материала. Дальнейшая деятельность вулкана связана с формированием двух выросших друг за другом экструзивных куполов. В первой половине цикла происходили довольно частые слабые и умеренные эксплозивные извержения, дополнившиеся во второй его половине излияниями андезитовых и андезибазальтовых лавовых потоков и фреатическими извержениями. В последние столетия вулкан обнаруживал только фумарольную активность, иногда с редкими слабыми эксплозивными извержениями, как в 1927–1928 гг. [57]. Длитель-

ность незавершенного цикла IV около 3000 лет, что близко к максимальной длительности (3400 лет) циклов на предыдущем этапе жизни вулкана. Это позволяет предполагать, что в недалеком будущем возможно начало нового цикла в деятельности вулкана.

В настоящее время вулкан представляет собой сложную конусовидную постройку с крупным лавовым куполом в вершинной части (рис. 5), объем которого превышает 0.5 км<sup>3</sup>. Мощные струи фумарольных газов [34] выходят в основании агломератовой мантии купола. Измененные породы, указывающие на места прежней фумарольной деятельности, ясно видны у подножия купола и в других местах. Представляются вероятными два варианта прогноза будущей активности вулкана. Исходя из последовательного уменьшения продуктивности в течение текущего цикла, можно заключить, что в течение ближайших десятилетий вулкан, скорее всего, останется в прежнем состоянии фумарольной активности с редкими слабыми эксплозивными извержениями – первый вариант. Вместе с тем, при прогнозе активности вулкана Кизимен необходимо учитывать особенности его постройки (наличие на вершине тяжелого экструзивного купола объемом >0.5 км<sup>3</sup>) и то, что он находится в зоне повышенной коровой сейсмической активности, когда подъем свежей порции магмы, возможный в начале следующего цикла, или сильное тектоническое землетрясение могут спровоцировать грандиозный обвал постройки вулкана. Тогда события станут разворачиваться по второму варианту: подъем магмы и ее внедрение в районе активных фумарол с деформацией привершинной части вулкана; катастрофиче-

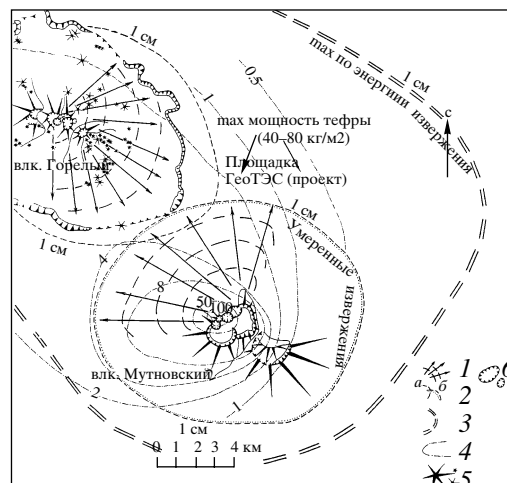


ское обрушение купола в западном направлении; направленный взрыв и извержение ювенильной пирокластики из нового циркообразного кратера. Может иметь место и другой вариант – гигантский обвал, спровоцированный мощным тектоническим землетрясением, который будет сопровождаться извержением, сходным по характеру с вышеописанным. В любом случае, произойдет извержение, сходное по типу [50] с извержением вулкана Сент-Хеленс в 1980 г.

**Вулкан Крашенинникова и Кихпиньч** находятся в состоянии длительного покоя, который продолжается примерно 500 лет [13, 62]. На вулкане Крашенинникова, это, скорее всего, период покоя между этапами деятельности внутри последнего цикла его активности, а на вулкане Кихпиньч – между крупными циклами активности. По аналогии с предшествовавшими периодами покоя в истории этих вулканов предполагается [11, 36], что современный период покоя продлится для вулкана Крашенинникова еще сотни лет (возможно, 800 лет), а для вулкана Кихпиньч – первые тысячи лет (возможно, порядка 2500 лет). Однако, прогноз для вулкана Кихпиньч неоднозначен. Не исключено, что его современный период покоя – не крупный цикл активности, а лишь перерыв в ходе нормальной деятельности конуса Савича, где интервал между извержениями составляет от 200 до 400 лет. В таком случае, можно ожидать извержения вулкана Кихпиньч в ближайшем будущем [13].

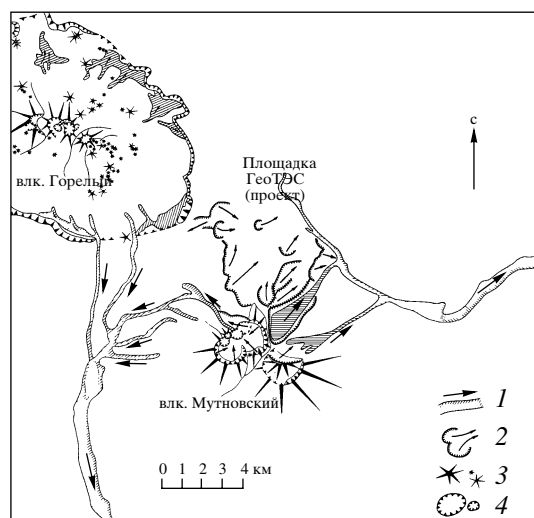
### 3.3. ВУЛКАНЫ В СТАДИИ СЛАБОЙ АКТИВНОСТИ И РАЗРУШЕНИЯ ПОСТРОЙКИ (СТАДИЯ II)

В отличие от вулканов, находящихся в активной стадии развития, активность вулканов в стадии II (пассивной, регрессивной) проявляется менее закономерно. Периоды покоя для них часто оказываются очень продолжительными и несопоставимыми с длительностью периодов активизации, причем, последние могут включать только одно извержение разной силы или короткую серию извержений. На II стадии развития на Камчатке находятся вулканы Мутновский, Корякский, Кроноцкий, Жупановский, Опала, Желтовский, Кошелевский, Камбальный и др. Тефрохронологические исследования показали, что все они были еще весьма активны, т.е. находились в I стадии развития, в начале и первой половине голоцена, а затем перешли в стадию II и стали интенсивно разрушаться денудационными процессами. Для многих из них известны исторические извержения. Все перечисленные вулканы возникли в позднем плейстоцене и начали интенсивно извергаться 40–50 тыс. л.н. [38, 39, 54]. Эбеко и Пик Немо на Курилах – тоже типичные представители вулканов II стадии развития, но у первого продолжается период активности современного цикла, у второго – период относительного покоя [45, 48].



**Рис. 6.** Оценка вулканической опасности для района Мутновской ГеоТЭС от извержений вулканов Мутновский и Горелый: 1 – вероятные секторы направленных вулканических взрывов; 2 – 1-см изопахита тефры при сильных извержениях; (а – Вулкан Горелый, б – вулкан Мутновский); 3 – 1-см изопахита тефры извержения вулкана Мутновский 1848–1854 гг.; 5 – конусы вулканических построек разного размера; 6 – кальдера Горелая и крупнейшие кратеры.

**Вулкан Мутновский** (абс. высота 2324 м) представляет в этой группе особый интерес, поскольку рядом с ним построены 2 геотермальные электростанции. Первый раз долгосрочный прогноз (впоследствии дополненный) будущей активности вулкана и оценка вулканической опасности (рис. 6, 7) от его извержений были сделаны в 1985 г. [43], до



**Рис. 7.** Будущая опасность для района Мутновской ГеоТЭС от лахаров и вулканосеймотектонических обвалов: 1 – лахары и вероятные пути (стрелки) их движения; 2 – стенки обвальных цирков, стрелками показаны направления движения обвальных масс. Остальные услов. обозн. см. на рис. 6.



**Рис. 8.** Действующий вулкан Корякский (II стадия развития, период относительного покоя) “над” городом: 30 км от г. Петропавловска-Камчатского. Фото А.В. Сокоренко.

начала строительства ГеоТЭС. Допускались три вида активности.

1. Неопределенно долго (десятки лет) вулкан может находиться в современном состоянии, когда его энергия постоянно разряжается за счет интенсивного выноса тепла паром и термальной водой.

2. Могут происходить с разной частотой и силой фреатические извержения, энергия которых станет определяться прочностью вышележащей кровли и длительностью закупорки. Как показало изучение последствий прошлых извержений, большинство их не представляет серьезной опасности для участков, удаленных дальше 3–5 км от кратера, поскольку объем выброшенного материала вряд ли превысит 10 млн. м<sup>3</sup>. Исключение составят лишь направленные фреатические взрывы, при которых обломочный материал выбрасывается наклонно к горизонту и компактно отлагается в узком (30°–90°) секторе. Наиболее опасные зоны в этом отношении – северо-западное подножие вулкана, где кромка кратера ниже, чем в других местах.

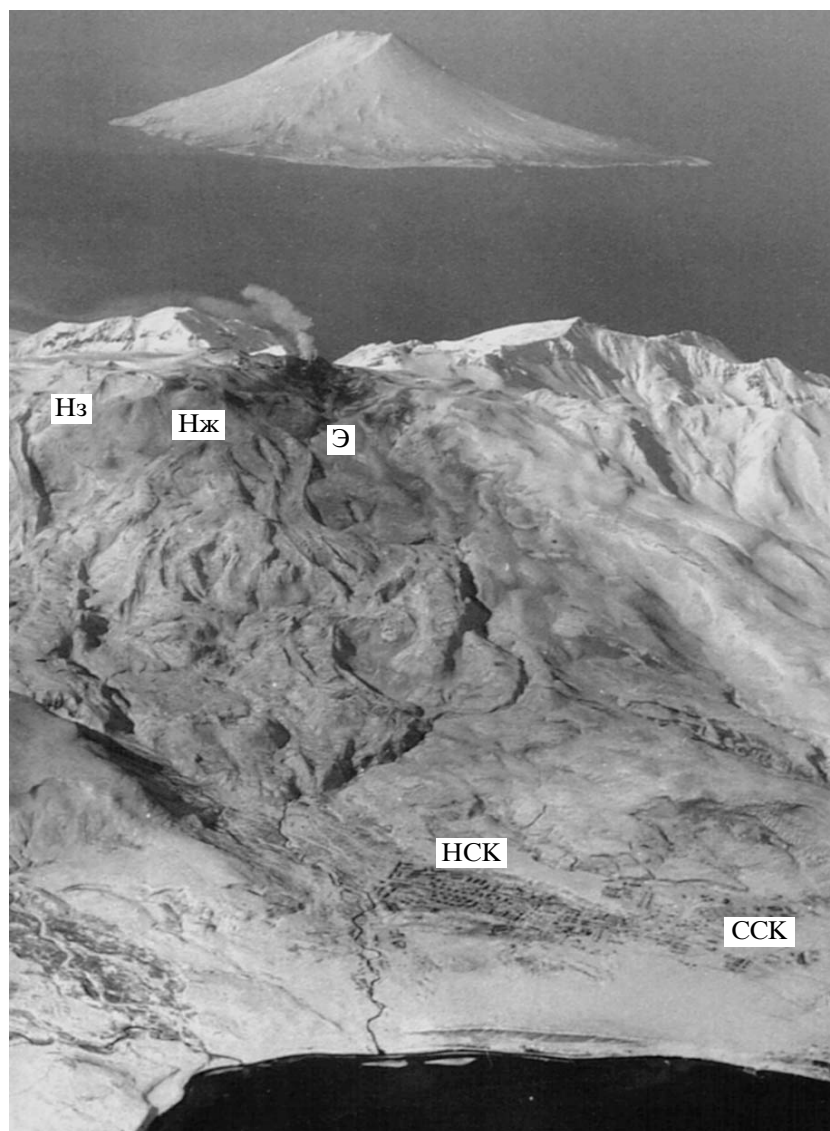
3. Нельзя полностью исключить и вероятность извержения средней силы с выносом ювенильной пирокластики. По своим параметрам оно будет, по видимому, близко к извержению XVII–XVIII вв. и 1848–1854 гг., с общим объемом выброшенных продуктов 20–50 млн. м<sup>3</sup>.

Каждое извержение может вызвать лахары, связанные с таянием снега и льда, секторные обрушения и обвалы, которые многократно происходили во время прошлых извержений (рис. 6).

За прошедшие 20 лет после прогноза 1985 г. полностью оправдались два его пункта: продолжался постоянный интенсивный вынос тепла фумаролами и гидротермами, а в марте 2000 г. случился фреатический взрыв (серия взрывов?), и возник новый 200-метровый кратер, быстро заполнившийся водой.

Следует отметить, что в связи с массовым бурением в районе вулкана Мутновский на термальную воду и пуском двух геотермальных станций, которые потребляют огромный объем пароводяной смеси (в пересчете на воду – более 8 млн. т), которая закачивается не вся и не там, откуда была извлечена, то здесь возможны как “наведенная” сейсмичность, так и “наведенные” извержения вулкана Мутновский и рядом расположенного вулкана Горелый. Для сравнения: 8 млн.т/год – двойная продуктивность “среднего” вулкана [39], правда, не воды, а магмы. За время же разведки термального месторождения и эксплуатации ГеоТЭС извлечено из недр этого участка порядка 60–70 млн. м<sup>3</sup> воды.

**Вулкан Корякский** (рис. 8) оставался активным и во второй половине голоцена: извержение с излиянием лавы имело место около 2800 лет назад, и с тех пор он находится в периоде относительного покоя. Слабое фреатическое извержение случилось там только в 1957 г. [71]. В будущем (ближайшие десятки-сотни лет) для вулкана Корякский возможны два типа извержений. Наиболее вероятно фреатическое извержение на уже образовавшейся трещине в СЗ секторе склона конуса вулкана, в его привершинной части. Не исключено и другое местоположение эруптивного центра: например, в западном,



**Рис. 9.** Вулканы группы Эбеко и г. Северо-Курильск (о. Парамушир). Вулканы: Э – Эбеко с поднимающимся парогазовым облаком, Нж – Нежданный, Нз – Незаметный. Города: НСК – Новый Северо-Курильск, ССК – Старый Северо-Курильск. На заднем плане, за проливом – о. Атласова с действующим вулканом Алаид. На переднем плане хорошо виден свежесвыпавший пепел вулкана Эбеко на заснеженной поверхности. Фото В.Н. Двигало.

наиболее молодом, вершинном кратере. Менее вероятно очередное побочное извержение с изливанием лавового потока в южном или юго-восточном секторах конуса вулкана. Оно, несомненно, должно сопровождаться вулканическим землетрясением и сравнительно легко может быть предсказано при обязательном сейсмическом мониторинге вулкана.

**Вулкан Эбеко** (абс. высота 1138 м) как бы “нависает” (рис. 9) над г. Северо-Курильск, располагаясь на 1000 м выше города и всего в 4–5 км от него. Он привлек пристальное внимание вулканологов в конце 1980-х годов в связи с угрозой вулканической опасности от его извержений для строящегося нового Северо-Курильска взамен старого, уничтожен-

ного катастрофическим цунами 4 ноября 1952 г. Не проведя вулканологической экспертизы, город стали строить на конусах выноса рек Кузьминки и Матросская. Потом, в результате проведенных исследований (И.В. Мелекесцев, В.Н. Двигало, В.Ю. Кирьянов, А.В. Курбатов, И.А. Несмачный) выяснилось, что главная роль в геологическом строении конусов принадлежит лахаровым и селевым отложениям, а пачки этих отложений разделены лишь маломощными горизонтами погребенных почв, указывающими на кратковременность интервалов между прохождением катастрофических лахаров и селей. Поскольку длина рек Матросская и Кузьминка от истоков до вершин их конусов выноса

7–8 км, а перепад высот более 1000 м, то лахары могли достигать района нового города максимум через 20–30 мин после своего образования.

Проведенная реконструкция истории эруптивной активности вулкана Эбеко [48] с момента его возникновения – 2.5 тыс. л.н. до настоящего времени показала, что для г. Северо-Курильска и его ближайших окрестностей были характерны следующие виды опасности от извержений этого вулкана: 1) излияний лавовых потоков; 2) выпадения тефры; 3) проходивших эруптивных туч; 4) лахаров. В полном объеме перечисленные виды опасности были свойственны лишь для начального этапа формирования вулкана Эбеко 2.5–2 тыс. л.н. Позднее, после прекращения лавовых излияний, опасность от лавовых потоков перестала существовать.

С начала нашей эры характер эруптивной деятельности вулкана Эбеко не претерпел сколько-нибудь существенных изменений: происходили только эксплозивные фреатические и условно фреатомагматические извержения. Менялись лишь частота и сила извержений. Поэтому логично допустить, что в ближайшие 100–200 лет при предполагаемом механизме питания вулкана и современной геодинамической обстановке тип и параметры извержений вулкана Эбеко будут такими, как и раньше. Следовательно, останутся прежними и главные типы (пункты 2–4) вулканической опасности.

Что касается опасности от прохождения над районом города эруптивных туч и выпадения тефры, имевшей место почти при всех извержениях, то она будет невелика и кардинально не скажется на населении и хозяйственной деятельности. Дело в том, что при господствующих на Парамушире сильных ветрах длительное существование высоко концентрации вулканических газов в атмосфере над городом мало вероятно. Поэтому для защиты людей от воздействия вулканических газов даже в кульминационные фазы извержений достаточно индивидуальных средств защиты (марлевые повязки, противогазы).

Прогнозируемая толщина свежевывающего слоя вулканического пепла в г. Северо-Курильске и его окрестностях не превысит 1–5 см (10–60 кг/м<sup>2</sup>) при сильных извержениях вулкана Эбеко, а максимальный размер обломков – 1–3 см. То же относится к тефре и удаленных вулканов (Алаид, Чикурачки, Пик Фусса и др.). Поскольку выпадающий пепел загрязняет открытый бассейн, откуда в город поступает питьевая вода, необходима защита (перекрытие) бассейна от попадания в него пепла. Дорогостоящей специальной защиты прочих хозяйственных сооружений и жилых зданий от выпадающей тефры не требуется.

Наибольшая угроза для г. Северо-Курильска от будущих извержений вулкана Эбеко, несомненно, станет исходить от связанных с ним лахаров, так как установлено, что общий вулканогенно-пролюви-

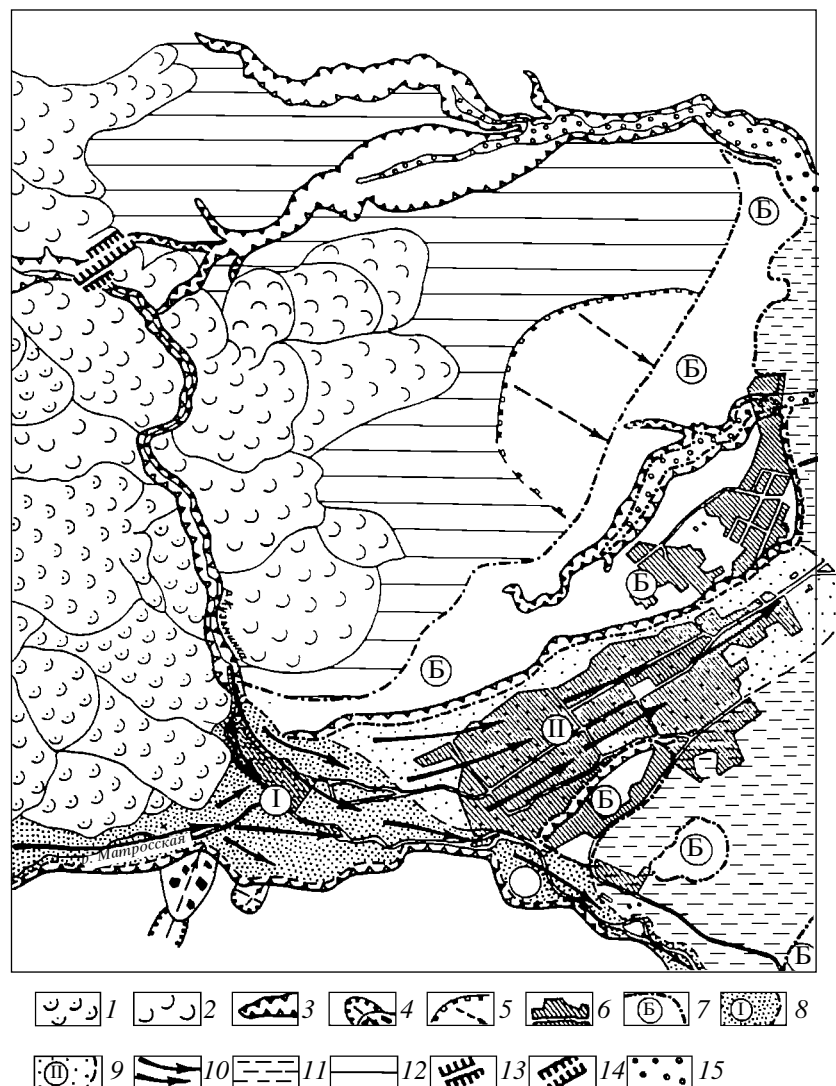
альный конус выноса рек Кузьминка и Матросская образован, по большей части, толщами лахаровых и селевых отложений. Для последних 4.5–5 тыс. лет выявлены следы минимум 5–6 мощных лахаров и селей, следовавших друг за другом с интервалом в несколько сотен лет. Лахары ассоциировались с сильными извержениями вулкана Эбеко, а сели – с крупными сейсмотектоническими обвалами в бассейнах рек Кузьминки и Матросской.

Опыт изучения современных лахаров на действующих вулканах разных стран мира показал, что в условиях, характерных для места теперешнего расположения г. Северо-Курильска (расстояние от кратера вулкана Эбеко 7–8 км, перепад высот более 1000 м), возникший лахар может достичь города через 20–30 мин после начала сильного извержения. Эффективной прямой защиты хозяйственных и жилых построек от воздействия лахаров пока не существует из-за огромной величины нагрузки (порядка 100–200 т/м<sup>2</sup>, по измерениям японских вулканологов на вулкане Сакурдзима, о. Кюсю) при прохождении лахаров.

Предпосылками для возникновения лахаров в результате извержений вулкана Эбеко являются: обилие рыхлых глинистых, измененных газами и гидротермами пород в долинах рек Кузьминка и Матросская, а также большие запасы снега и льда в окрестностях вулкана почти в любое время года, но особенно в конце зимы- начале весны. Например, было установлено, что 22 февраля 1990 г. в бассейне р. Кузьминка площадью 4.3 км<sup>2</sup> средняя толщина снежного покрова равнялась 4.8 м (при максимальной до 22.6 м в долине реки), а объем снега достигал 21 млн. м<sup>3</sup> с запасом воды 10–12 млн. м<sup>3</sup>. Поэтому даже при частичном таянии подобной снежно-ледяной массы в ходе извержения вулкана здесь мог образоваться мощный лахар объемом в несколько миллионов кубометров.

Проведенное специальное картирование территории с использованием данных новейшей аэрофотосъемки и составленных В.Н. Двигало крупномасштабных топокарт показало [48], что наиболее опасны здесь участок вблизи слияния рек Матросской и Кузьминки, где фактически и располагается главная часть г. Северо-Курильска, а также полоса вдоль речной долины по течению вплоть до берега моря (рис. 10). Менее опасна в отношении лахаров территория бывшего старого города, уничтоженного цунами в ноябре 1952 г. На карте (рис. 10) выделены также безопасные участки. Это – возвышенности, поднимающиеся над поверхностью конусов выноса в самом городе и слабо наклонные площадки абразионно-аккумулятивных морских террас с относительной высотой над руслами водотоков более 10–15 м. Важно, что те и другие безопасны в отношении цунами.

В подобной ситуации безопасность существования г. Северо-Курильска гарантировать нельзя, так



**Рис. 10.** Карта вулканической опасности для г. Северо-Курильск и его окрестностей: 1 – лавовые потоки группы вулкана Эбеко; 2 – позднелейстоцен – голоценовые лавовые потоки других вулканов; 3 – бровки эрозионных уступов долин рек и ручьев; 4, 5 – сеймотектонические обвалы (4 – голоценовые, 5 – позднелейстоценовые); 6 – застроенные участки; 7 – возвышенности и средневисотные морские террасы, безопасные в отношении лихаров; 8, 9 – участки, подверженные воздействию лихаров (8 – наиболее опасные, 9 – менее опасные); 10 – вероятные пути движения лихаров; 11 – заболоченные лагуны; 12 – высокие морские террасы; 13 – место предполагаемой плотины в долине р. Кузьминка; 14 – место предполагаемой выемки для стока вод р. Кузьминка; 15 – аккумулятивные террасы в долинах рек и ручьев.

как вполне вероятно, что при ближайшем сильном извержении (типа извержения 1934–1935 гг.) многие хозяйственные и жилые постройки могут быть уничтожены лахаром. Особенно те, которые расположены в верхних частях конусов выноса. Если основываться на выявленных закономерностях эруптивной активности вулкана Эбеко, такое извержение возможно произойдет в течение следующих 30–50 лет (до 2030–2050 гг.). В связи с чем предполагается, либо переместить все хозяйственные и жилые объекты из наиболее опасной зоны в безопасные

места, либо прекратить доступ лахару в район новой части г. Северо-Курильска. При принятии второго варианта необходимо осуществлять следующие мероприятия:

1. Соорудить в среднем течении р. Кузьминка выше г. Северо-Курильск мощную каменно-земляную плотину.
2. Направленными взрывами создать выемку для переброса стока р. Кузьминка в верхья расположенной рядом долины р. Городская, проходящей через разрушенный цунами старый город. Условия рельефа позволяют, чтобы грунт, вы-

брошенный взрывами, пошел на образование плотины в долине р. Кузьминка. Наиболее рациональное расположение выемки показано на рис. 10. Ее длина должна составить 350 м, глубина – около 45 м, ширина по бровке – 74 м, по дну – 25 м. Нет необходимости производить выемку всего объема грунтов: достаточно образовать канал с небольшим первичным уклоном в сторону долины р. Городская, предоставив дальнейшую работу по формированию окончательного профиля канала эрозии. В таком случае первоначальный объем перемещенных пород может быть уменьшен в 1.5–2 раза.

**Вулкан Пик Немо** (абс. высота 1019 м) на севере о. Онекотан расположен в кальдере обрушения Немо III, возникшей  $24500 \pm 740$   $^{14}\text{C}$  л.н. [45]. Слагающие его породы – андезиты. Основой для детальной реконструкции эруптивной активности вулкана за последние 10 тыс. лет, определения типа и параметров его будущих извержений, оценки связанной с ними опасности послужили специальные исследования И.В. Мелекесцева, О.А. Брайцевой, В.Ю. Кирьянова, проведенные в 1987–1990 гг. Был составлен сводный разрез пород вулкана, включающий тефру всех его сильных и умеренных извержений, а также лавовые потоки, обеспеченный 15 радиоуглеродными датами. Определена продуктивность вулкана на разных этапах его формирования, включая заключительный (3.8–1.2 тыс.  $^{14}\text{C}$  л.н.), который отличался редкими (через 1200–1400 лет) эксплозивными и эксплозивно-эффузивными извержениями. Последние 600 лет на вулкане происходил рост экструзивного купола, сопровождавшийся слабыми фреатическими извержениями (самые молодые – в XVIII в. и в 1906 г.).

Предполагается, что наиболее вероятный характер будущих извержений вулкана Пик Немо – эксплозивный. Высока вероятность извержения типа направленно взрыва (по терминологии Г.С. Горшкова). По мощности извержения могут быть умеренными (с суммарным объемом выброшенного материала 10–100 млн. м<sup>3</sup>) или сильными (>100 млн. м<sup>3</sup>). В случае направленного взрыва его ось будет ориентирована в восточном или восток-северо-восточном направлении.

Следует отметить, что прогноз будущей активности многоактных вулканов, находящихся во II (пассивной, регрессивной) стадии развития, весьма затруднителен, поскольку их извержения в течение последних тысячелетий были редки и нерегулярны. На каждом (или почти каждом) из них может произойти сильное, вплоть до катастрофического, извержение, но прогнозировать такие извержения и связанную с ними опасность чрезвычайно трудно или просто невозможно. Пока единственный реальный способ предсказать подобные извержения – по-

стоянный сейсмический мониторинг, так как новая активизация магматических очагов после обычного долгого перерыва деятельности у вулканов во II стадии развития должна обязательно сопровождаться повышенной сейсмичностью.

#### 3.4. БУДУЩИЕ ИЗВЕРЖЕНИЯ ПРОЧИХ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ

В эту группу включены: две региональные зоны шлаковых конусов – Толбачинская (ТРЗШК) и Плоских сопков, два поля ареального вулканизма – Толмачев дол и бассейн рек Средняя и Левая Авача, поле концентрированного многовыходного экструзивного вулканизма Большой Семячик, кальдеры Озеро Карымское, Горелая, Опала, Ксудач V, Озеро Курильское – Ильинская – на Камчатке, Тао-Русь и Заварицкого – на Курильских островах, подводные вулканы и центры подводных извержений. Здесь будут рассмотрены предполагаемые будущие извержения и ассоциирующаяся с ними вулканическая опасность применительно к двум объектам – наиболее часто посещаемому туристами ТРЗШК и подводному вулкану Пийпа.

Толбачинская региональная зона шлаковых конусов длиной около 70 км отнесена к потенциально активным вулканическим образованиям на основе детальных исследований, проведенных там в 1975–1983 гг. [12]. Она возникла в начале голоцена и продолжает оставаться весьма активной вплоть до современной эпохи: наиболее позднее многоцентровое Большое трещинное Толбачинское извержение (БТТИ) произошло здесь в 1975–1976 гг. [6]. В ходе этого извержения 17 сентября 1976 г. на вершине вулкана Плоский Толбачик сформировалась кальдера гавайского типа размером 1604 × 1180 и объемом 0.347 км<sup>3</sup> [6]. Ее появление там, по предположению автора статьи – реакция на отток магмы из постройки и из-под постройки вулкана Плоский Толбачик, приведшего к возникновению Северного и Южного прорывов. Аналогичные БТТИ 1975–1976 гг. многоцентровые прорывы происходили, по нашим данным [1, 39, 54], и раньше – 1500 л.н. и в 1740 г. на протяжении второго этапа активизации Толбачинской региональной зоны шлаковых конусов, случившегося 1900–2000 л.н. Наиболее вероятны они и в будущем. Предполагается, что подготовка такого многоцентрового извержения будет проходить по сценарию, предварявшему подготовку БТТИ 1975–1976 гг. в интервале от 1740 до 1974 г. Возможно, что полного повторения произошедших извержений подобного типа не будет. Однако, главные особенности этапа подготовки, скорее всего, в общем виде повторятся. Вулкан Плоский Толбачик по-прежнему останется тем местом, где станет происходить подъем магмы с глубины и ее накопление

в вулканической постройке и под ней. В возникшей кальдере начнутся через некоторое время извержения, сходные по типу и силе с теми, которые предвзяли БТТИ 1975–1976 гг. После 1740 г. они наблюдались [21] на вершине Плоского Толбачика с 1769 по 1970 г. Показателем близости сильного извержения в региональной зоне может служить появление на дне кальдеры вулкана Плоский Толбачик лавового озера, как это было, например, в 1964 г. [14], в 1965, 1966, 1969, 1970 годах: личное сообщение Т.П. Кирсановой и [33]. Тогда лавовое озеро находилось в глубоком колодце на дне более старой кальдеры. Возможен и промежуточный двухцентровый вариант – комбинация из двух извержений, как в 1939 – 1941 гг. [58]: сильное вершинное извержение с излиянием лавы на дно кальдеры (оно происходило 25–27 сентября 1939 г.) в сочетании с побочным прорывом 1941 г. Однако, в любом случае, подготовка будущего сильного извержения начнется с извержения в кальдере 1976 г., которое может произойти в ближайшие десятилетия (до 2020–2030 гг.).

**Подводный вулкан Пийпа**, с точки зрения долгосрочного прогноза типа и параметров будущих его извержений и оценки связанной с ними вулканической опасности, изучен пока явно недостаточно. По имеющимся материалам [66, 68, 69] нельзя восстановить ни историю эруптивной активности вулкана, ни определить стадию его развития. Современная активность вулкана проявлена и изучена на его северной (минимальные отметки глубин куполов, приуроченных к кратеру, 375 и 345 м) и Южной (минимальная отметка глубины – 460 м) вершинах. В первом случае наблюдались [38, 39] флюидные “факелы” из 4-х гидротермальных ангидритовых жерл (труб) высотой до 1.5 м и диаметром до 0.4 м. Рассчитанная, с учетом предполагаемого в составе флюида водяного пара, температура флюида предположительно составляет на выходе 250–360°C. Все флюидные “факелы” сосредоточены в интервале глубин 380–400 м. На Южной вершине температура термальных вод оценена в 50–70°C. Они обнаружены преимущественно выше изобаты 650 м.

В окрестностях вулкана Пийпа и на его склонах в извлеченных колонках донных морских осадков выявлены горизонты вулканических пеплов как местных (самого вулкана), так и транзитных [68, 69]. Ни один из них точно не датирован. Предполагается лишь [69], что самый верхний горизонт тефры вулкана Пийпа отложен в течение последних сот лет.

По составу породы (пемза и лавы), драгированные с постройки вулкана Пийпа, и тефры отвечают андезитам и дацитам с SiO<sub>2</sub> 61.12–67.22% [68, 69].

Приведенные данные позволяют утверждать только, что вулкан Пийпа несомненно будет еще извергаться, но как и когда – пока непонятно. Рав-

новероятен весь спектр извержений по силе (со слабых до катастрофических) и типу (экструзивный, эффузивный, эксплозивный), если судить по морфологии вулкана, слагающим его породам, строению активного кратера и глубине воды над ним. Естественно, что максимальная опасность станет исходить от катастрофических эксплозивных извержений, для которых 300–400-метровый слой воды над активным кратером не может служить серьезным препятствием при массовом выбросе пирокластики. Мощные взрывы и падение в воду огромных объемов резургентного и ювенильного материала обязательно приведут к возникновению сильного цунами, способного достичь побережья Камчатки и Командорских островов. Опасность будет представлять и выпавшая тефра. Могут возникнуть плавающие поля пемзы. Подводные эксплозивные и эффузивные извержения, особенно слабые, могут пройти вообще незамеченными.

Не исключен и вариант трансформации подводного вулкана в подводно-надводный остров-вулкан, если постройка вулкана Пийпа еще не достигла своей предельной морфологической емкости и высоты. В качестве примера можно привести сложенный андезитами остров-вулкан Богослов, появившийся над уровнем Берингова моря на несколько лет раньше 1768 г. [21] на восточной оконечности Алеутской островной дуги и извергавшийся потом в 1796, 1804, 1806, 1883, 1906, 1909, 1913?, 1926, 1931 и 1951? годах [21, 80]. Он был открыт в 1768 г. во время исследований Российской экспедиции 1766–1771 гг. под командованием капитанов П.К. Креницына и М.Д. Левашова.

## ВЫВОДЫ

1. Для долгосрочного прогноза извержений и вулканической опасности решающее значение имеет реконструкция динамики активности и продуктивности вулкана за длительный отрезок его существования, включающий, как минимум, несколько тысячелетий. Основываясь на этих данных, может быть дан долгосрочный прогноз активности с определением типа и параметров извержений, которые могут произойти именно на данном этапе жизни вулкана.

2. Реконструкция динамики активности вулкана производится на основе тефрохронологических и специальных геолого-вулканологических исследований с использованием <sup>14</sup>C датирования. Устанавливаются закономерности циклического режима вулкана с выделением периодов активизации и периодов покоя. Знание длительности таких периодов для прошлых циклов и продуктивности вулкана на разных стадиях его развития позволяет определить приблизительное время и параметры будущих извержений.

3. Выделены группы вулканов, находящиеся в стадии I (высокая и умеренная активность и рост вулканической постройки) и стадии II (низкая вулканическая активность и начинающееся разрушение постройки). Значительная часть действующих вулканов Камчатки относится к стадии I. Вулканы Ключевской, Безымянный, Карымский, Малый Семячик и Ксудач находятся в первом периоде активизации современного цикла.

Вулканы Ключевской и Карымский сохранят настоящий характер извержений на ближайшие несколько сотен лет. Для вулкана Безымянный на период 100–200 лет будут характерны извержения, типичные для него после 1956 г. и связанные с формированием купола Новый и вулкана Новый Безымянный. Вулканы Малый Семячик и Ксудач могут дать сильные извержения в ближайшем будущем.

Вулканы Крашенинникова, Кихпиньч и Кизимен находятся в периоде относительного покоя современного цикла. Для вулкана Крашенинникова этот период продлится несколько сотен лет, а для вулкана Кихпиньч прогноз неоднозначен: это могут быть первые тысячи лет или, напротив, извержение может произойти в ближайшее время. Для вулкана Кизимен ожидается катастрофическое извержение в ближайшие 50–100 лет. Сильное извержение в ближайшем будущем можно ожидать и для вулкана Ксудач.

4. Предсказание будущей активности для вулканов на стадии II затруднительно. В некоторых случаях, как для вулкана Мутновский, прогноз может быть сделан с достаточной степенью вероятности. В других случаях, когда извержения вулкана немногочисленны и нерегулярны, такой прогноз становится неопределенным или невозможным.

5. Реконструкция эруптивной истории действующих вулканов Камчатки позволила установить, что в их деятельности нередки длительные периоды покоя в 1000–3000 лет, после чего вулкан может восстановить свою активность и оставаться действующим. Максимальный зафиксированный нами перерыв составил 3500 лет. Поэтому предлагается считать действующими те вулканы Камчатки, для которых надежно установлено и датировано хотя бы одно извержение за последние 3000–3500 лет. Тефрохронологические исследования с радиоуглеродным датированием подтвердили правильность отнесения к действующим вулканов Крашенинникова и Кихпиньч, хотя для них и не было свидетельств об извержениях в историческое время. Среди действующих вулканов нами предлагается выделить подгруппу активных вулканов, для которых известны исторически документированные извержения или наличие фумарольной активности, и подгруппу потенциально активных вулканов, для которых таких сведений не имеется, но установле-

ны геологическими методами и датированы их извержения в последние 3500 лет.

Во вторую подгруппу действующих вулканов следует включить считающиеся потухшими и не числящиеся в каталогах вулканы Тауншиц, Ходутка, Дикий Гребень, Хангар.

Статья подготовлена при многолетней финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 06-05-65037).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдейко Г.П., Антонов А.Ю., Вольнец О.Н. и др. Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги. М.: Наука, 1992. 528 с.
2. Авдейко Г.П., Гавриленко Г.М., Черткова Л.В. "Вулканолог" исследует подводный факел // Природа. 1986. № 7. С. 80–87.
3. Базанова Л.И., Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Пузанков М.Ю. Потенциальная опасность от извержений Авачинского вулкана // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. Петропавловск-Камчатский, 2001. С. 390–407.
4. Базанова Л.И., Певзнер М.М. Хангар – еще один действующий вулкан на Камчатке // Докл. РАН. 2001. Т. 377. № 6. С. 800–802.
5. Богоявленская Г.Е., Брайцева О.А., Мелекесцев И.В. и др. Вулкан Безымянный // Действующие вулканы Камчатки. Т. 1. М.: Наука, 1991. С. 168–194.
6. Большое трещинное Толбачинское извержение. Камчатка. 1975–1976 г.г. М. Наука, 637 с.
7. Брайцева О.А., Егорова И.А., Несмачный И.А. и др. Тефрохронологические исследования как метод изучения закономерностей циклического развития вулкана // Бюл. вулканол. станций. 1978. № 54. С. 41–53.
8. Брайцева О.А., Егорова И.А., Сулержицкий Л.Д., Несмачный И.А. Вулкан Малый Семячик // Вулканический центр: строение, динамика, вещество (Карымская структура). М.: Наука, 1980. С. 199–325.
9. Брайцева О.А., Кирьянов В.Ю. О прошлой активности вулкана Безымянный по данным тефрохронологических исследований // Вулканология и сейсмология. 1982. № 6. С. 44–55.
10. Брайцева О.А., Мелекесцев И.В. Вулкан Карымский: история формирования, динамика активности и долгосрочный прогноз // Вулканология и сейсмология. 1989. № 2. С. 14–31.
11. Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Богоявленская Г.Е., Максимов А.П. Вулкан Безымянный: история формирования и динамика активности // Вулканология и сейсмология. 1990. № 2. С. 3–32.
12. Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Флеров Г.Б. и др. Голоценовый вулканизм Толбачинской региональной зоны шлаковых конусов // Большое трещинное Толбачинское извержение. Камчатка. 1975–1976 г.г. М.: Наука, 1984. С. 177–223.
13. Брайцева О.А., Флоренский И.В., Пономарева В.В., Литасова С.Н. История активности вулка-



- на Кихпинич в голоцене // Вулканология и сейсмология. 1985. № 6. С. 3–19.
14. *Влодавец В.И.* Ключевская группа вулканов // Тр. Камч. вулканол. станции. 1940. Вып. 1. 124 с.
  15. *Влодавец В.И.* Справочник по вулканологии. М.: Наука, 1984. 339 с.
  16. *Влодавец В.И., Пийп Б.И., Горшков Г.С.* Каталог действующих вулканов СССР // Бюл. вулканол. станции. 1957. № 25. 180 с.
  17. *Гавриленко Г.М.* Подводная вулканическая и гидротермальная деятельность как источник металлов в железо-марганцевых образованиях островных дуг. Владивосток: Дальнаука, 1997. 164 с.
  18. *Горшков Г.С.* Извержение сопки Безымянной в 1956 г. (предварительное сообщение) // Бюл. вулканол. станций. 1957. № 26. С. 19–72.
  19. *Горшков Г.С.* Вулканизм Курильской островной дуги. М.: Наука, 1967. 270 с.
  20. *Горшков Г.С., Богоявленская Г.Е.* Вулкан Безымянный и особенности его последнего извержения. М.: Наука, 1965. 171 с.
  21. *Гущенко И.И.* Извержения вулканов Мира. Каталог. М.: Наука, 1979. 474 с.
  22. *Двигало В.Н., Мелекесцев И.В.* Крупные современные обвалы на конусе вулкана Ключевской (по результатам последствий событий 1944–1945 гг.) // Вулканология и сейсмология. 2000. № 1. С. 3–18.
  23. Действующие вулканы Камчатки. М.: Наука, 1991. Т. 1. 298 с., Т. 2. 416 с.
  24. *Дитмар К.* Поездка и пребывание в Камчатке в 1851–1855 гг. СПб., 1901. Ч. 1. 756 с.
  25. *Заварицкий А.Н.* Вулканическая зона Курильских островов // Вестник АН СССР. 1946. № 1. С. 41–48.
  26. *Заварицкий А.Н.* Вулканы Камчатки // Тр. Лаб. вулканологии АН СССР. 1955. Вып. 10. С. 1–152.
  27. *Заварицкий А.Н., Горшков Г.С.* Вулканическая дуга Курильских островов // Академик А.Н. Заварицкий. Избранные труды. Т. IV. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 691–700.
  28. *Зоненшайн Л.П., Мурдмаа И.О., Баранов Б.В. и др.* Подводный газовый источник в Охотском море к западу от о-ва Парамушир // Океанология. 1927. Т. 27. Вып. 5. С. 795–800.
  29. *Иванов Б.В.* Извержение Карымского вулкана в 1962–1965 гг. и вулканы Карымской группы. М.: Наука, 1970. 136 с.
  30. Камчатка, Курильские и Командорские острова // Под. ред. Лучицкого И.В. М.: Наука, 1974. 440 с.
  31. *Карпинский А.П.* Заметки о вулканическом пепле, выпавшем 15–16 марта 1907 г. в Петропавловске (на Камчатке) // Изв. Акад. наук. VI. Сер. II. 1908. № 5. С. 15–18.
  32. *Келль Н.Г.* Карга вулканов Камчатки. Камчатская экспедиция Ф.П. Рябушинского, 1908–1910 гг. Геол. отдел. Изд. Тихоокеан. Ком. АН СССР и Гос. Русск. Геогр. об-ва. Л.: 1987. Т. 27. 76 с.
  33. *Кирсанов И.В., Пономарев Г.П.* Извержение вулкана Плоский Толбачик и некоторые особенности его продуктов // Бюл. Вулканол. Станций. 1974. № 50. С. 53–63.
  34. *Кирсанова Т.П., Вергасова Л.П., Юрова Л.М. и др.* Фумарольная активности вулканов Шивелуч и Кизимен в 1970–1980 гг. // Вулканология и сейсмология. 1983. № 3. С. 33–42.
  35. *Крашенинников С.П.* Описание земли Камчатки (по первому изданию СПб., 1755). Т. 1. Петропавловск-Камчатский: Камшат, 1994. 438 с.
  36. *Маргаритов В.* Камчатка и ее обитатели // Записки Приамурского Имп. Русск. Геогр. об-ва. Т. V. Вып. 1. Хабаровск, 1899. 141 с.
  37. *Мархинин Е.К.* Роль вулканизма в формировании земной коры. М.: Наука, 1967. 256 с.
  38. *Мелекесцев И.В.* Типы и возраст действующих вулканов Курило-Камчатской зоны // Бюл. вулканол. станций. 1973. № 49. С. 17–23.
  39. *Мелекесцев И.В.* Вулканизм и рельефообразование. М.: Наука, 1980. 212 с.
  40. *Мелекесцев И.В.* Действующие и потенциально активные вулканы Курило-Камчатской островной дуги в начале XXI в.: этапы исследований, определение термина “действующий вулкан”, будущие извержения и вулканическая опасность // Вестник КРАУНЦ. Серия Науки о Земле. 2006. Вып. 7. № 1. С. 15–35.
  41. *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 будущего извержения. Ч. I. 1737–1909 гг. // Вулканология и сейсмология. 1993. № 6. С. 13–27.
  42. *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 будущего извержения. Ч. II. 1926–1991 гг. // Вулканология и сейсмология. 1994. № 2. С. 3–22.
  43. *Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Пономарева В.В.* Динамика активности вулканов Мутновский и Горелый в голоцене и вулканическая опасность для прилегающих районов (по тефрохронологическим данным) // Вулканология и сейсмология. 1987. № 3. С. 3–18.
  44. *Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Пономарева В.В.* Новый подход к понятию определения “действующий вулкан” // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. Петропавловск-Камчатский, 2001. С. 191–203.
  45. *Мелекесцев И.В., Вольнец О.Н., Антонов А.Ю.* Кальдера Немо III (о. Онекотан, Северные Курилы): строение, <sup>14</sup>C возраст, динамика кальдерообразующего извержения, эволюция ювенильных продуктов // Вулканология и сейсмология. 1997. № 1. С. 32–51.
  46. *Мелекесцев И.В., Двигало В.Н., Кирсанова Т.П. и др.* 300 лет жизни камчатских вулканов: Молодой Шивелуч (анализ динамики и последствий эруптивной активности в XVII–XX вв.) Ч. I. 1650–1964 гг. // Вулканология и сейсмология. 2003. № 5. С. 3–19.
  47. *Мелекесцев И.В., Двигало В.Н., Кирсанова Т.П. и др.* 300 лет жизни камчатских вулканов: Моло-

- дой Шивелуч (анализ динамики и последствий эруптивной активности в XVII–XX вв.) Часть II // Вулканология и сейсмология. 2004. № 1. С. 5–24.
48. Мелекесцев И.В., Двигало В.Н., Кирьянов В.Ю. и др. Вулкан Эбеко (Курильские острова): история эруптивной активности и будущая вулканическая опасность. Ч. I, Ч. II // Вулканология и сейсмология. 1993. № 3. С. 69–81; там же 1993. № 4. С. 24–42.
  49. Мелекесцев И.В., Краевая Т.С., Брайцева О.А. Рельеф и отложения молодых вулканических районов Камчатки. М.: Наука, 1970. 104 с.
  50. Мелекесцев И.В., Пономарева В.В., Вольнец О.Н. Вулкан Кизимен (Камчатка) – будущий Сент-Хеленс? // Вулканология и сейсмология. 1992. № 4. С. 3–32.
  51. Меньшиков А.А. Вулкан Шивелуч, его геологическое строение, состав и извержения // Тр. Лабор. вулканологии. 1955. Вып. 9. 264 с.
  52. Набоко С.И. Извержение Билукая, побочного кратера Ключевского вулкана в 1938 г. // Тр. Лабор. вулканологии и Камчатской вулканол. станции. 1947. Вып. 5. 134 с.
  53. Набоко С.И. Новый побочный кратер, прорвавшийся 23 октября 1946 г. // Бюл. вулканол. станции. 1949. № 16. С. 12–15.
  54. Новейший и современный вулканизм на территории России // Отв. ред. Н.П. Лаверов. М.: Наука, 2005. 604 с.
  55. Новограбленов П.Т. Каталог вулканов Камчатки Изв. Гос. Геогр. об-ва. 1926. Т. 58. Вып. 2. С. 79–92.
  56. Огородов Н.В., Кожемяка Н.Н., Вадеевская А.А., Огородова А.С. Вулканы и четвертичный вулканизм Срединного хребта Камчатки. М.: Наука, 1972. 192 с.
  57. Пийп Б.И. Вулкан Кизимен // Бюл. вулканол. станций на Камчатке. 1946. № 13. С. 22–32.
  58. Пийп Б.И. Новый побочный кратер вулкана Плоский Толбачик // Бюл. вулканол. станций на Камчатке. 1946. № 13. С. 10–21.
  59. Пийп Б.И. О раскаленных агломератовых потоках Авачи и о типе извержений этого вулкана // Бюл. вулканол. станций. 1946. № 12. С. 18–28.
  60. Пийп Б.И. Ключевская сопка и ее извержения в 1944–1945 гг. и в прошлом // Тр. Лаб. вулканологии. 1956. Вып. 11. 308 с.
  61. Пийп Б.И., Святловский А.Е. Извержение Пика Креницына в 1952 г. // Бюл. вулканол. станции. 1954. № 20. С. 64–68.
  62. Пономарева В.В. Вулкан Крашенинникова: история формирования и динамика активности // Вулканология и сейсмология. 1987. № 5. С. 28–44.
  63. Пономарева В.В., Брайцева О.А. Вулканическая опасность для района Кроноцкое озеро–Узон–Долина гейзеров // Вулканология и сейсмология. 1990. № 1. С. 27–42.
  64. Постельс А. Путешествие вокруг света, совершенное по повелению Государя Императора Николая I на военном шлюпе “Сенявине” в 1826, 1827, 1828 и 1829 годах Флота Капитаном Федором Литке. Часть III. СПб., 1836. 274 с.
  65. Путешествие вокруг света, совершенное по повелению Государя Императора Александра I на военном шлюпе “Предприятии” в 1823, 1824, 1825 и 1826 годах под начальством Флота Капитан-лейтенанта Котцебу. СПб. 1828. 200 с.
  66. Сагалевич А.М., Торохов П.В., Галкин С.В. и др. Гидротермальные проявления подводного вулкана Пийпа (Берингово море) // Изв. РАН. Сер. геол. 1992. № 9. С. 104–114.
  67. Святловский А.Е. Атлас вулканов СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 175 с.
  68. Селиверстов Н.И. Строение дна прикамчатских акваторий и геодинамика зоны сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. М.: Научный мир, 1998. 164 с.
  69. Селиверстов Н.И., Гавриленко Г.М., Кирьянов В.Ю. О признаках современной активности подводного вулкана Пийпа // Вулканология и сейсмология. 1989. № 6. С. 3–18.
  70. Селянгин О.Б., Пономарева В.В. Строение и развитие Гореловского вулканического центра, Южная Камчатка // Вулканология и сейсмология. 1999. № 2. С. 3–24.
  71. Сирин А.Н., Тимербаева К.М. Извержение Корякского вулкана в 1956–1957 гг. // Бюл. вулканол. станций. 1959. № 28. С. 3–20.
  72. Стеллер Г.В. Описание земли Камчатки (по первому изданию: Франкфурт, Лейпциг, 1744. Нем.). Петропавловск-Камчатский: СЭТО-СТ, 1999. 288 с.
  73. Федорченко В.И., Абдурахманов А.И., Родионова Р.И. Вулканизм Курильской островной дуги. Геология и петрогенезис. М.: Наука, 1989. 239 с.
  74. Хренов А.П., Двигало В.Н., Кирсанов И.Т. и др. Вулкан Ключевской // Действующие вулканы Камчатки. 1991. Т. 1. М.: Наука. С. 106–145.
  75. Хренов А.П., Маханова Т.М., Богатииков О.А., Платэ А.Н. Результаты аэрокосмических исследований вулканов Камчатки (Ключевская группа вулканов) // Вулканология и сейсмология. 2002. № 2. С. 3–20.
  76. Эрлих Э.Н. Восхождение на вулкан Ичинский // Бюл. вулканол. станций. 1958. № 27. С. 51–55.
  77. Melekestsev I.V. Large Modern Collaps on the Active Volcanoes of Kamchatka: Causes and Mechanism of Formation // Landslides from Massive Rock Slope Failure. Series IV: Earth and Environmental Sciences. V. 49. Springer. The Netherlands. 2006. P. 431–444.
  78. Melekestsev I.V., Braitseva O.A., Ponomareva V.V. Prediction of Volcanic Hazards on the Basis of the Study of dynamics of Volcanic Activity, Kamchatka // Volcanic Hazards Assessment and Monitoring: Iavcei Proceedings in Volcanology I. Berlin – Tokyo. Springer-Verlag. 1989. P. 10–35.
  79. Nakagawa M., Ishizuka Y., Kudo T. et al. Tyatya Volcano south western Kuril Arc: Recent eruptive activity inferred from widespread tephra // Island Arc. 2002. V. 11. P. 236–254.
  80. Wood Ch.A., Kienle J. (1990). Volcanoes of North America United States and Canada. Cambridge University Press. Cambridge. 347 p.

## **The Identification and Diagnostics of Active and Potentially Active Volcanic Structures in the Kuril-Kamchatka Island Arc and the Commander Is. Link of the Aleutian Arc**

**I. V. Melekestsev**

*Institute of Volcanology and Seismology, Far East Division, Russian Academy of Sciences,  
Petropavlovsk-Kamchatskii, 683006, Russia*

We consider the identification and diagnostics of active and potentially active volcanic structures (regional cinder cone zones, areal volcanic fields, fields of concentrated multivalent extrusive volcanism, calderas, underwater eruptive centers in the sea) in the Kuril-Kamchatka island arc and in the Commander Is. link of the Aleutian island arc, as well as the condition of this region as of late 2007. We have identified and examined three phases in the research of active and potentially active volcanic structures in the region: the early (1697–1934), the new (1935–1962), and the most recent, still in progress (1963 until today). We provide a new definition of the term “active volcano”, scientifically validated for the first time here. We present modified (compared with those available until now) catalogs of active and potentially active volcanic forms in Kamchatka and the Kuril Islands. For typical multiphase volcanoes now in phase I (the active) and II (the passive) of their evolution, we provide a long-term forecast of the character and parameters of future eruptions and the associated volcanic hazard.