

**Актуальные проблемы**

УДК 551.21

**ДЕЙСТВУЮЩИЕ И ПОТЕНЦИАЛЬНО АКТИВНЫЕ ВУЛКАНЫ  
КУРИЛО-КАМЧАТСКОЙ ОСТРОВНОЙ ДУГИ В НАЧАЛЕ XXI В.:  
ЭТАПЫ ИССЛЕДОВАНИЙ, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМИНА  
«ДЕЙСТВУЮЩИЙ ВУЛКАН», БУДУЩИЕ ИЗВЕРЖЕНИЯ  
И ВУЛКАНИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ**

©2006 И.В. Мелекесцев

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

Выделены и рассмотрены три этапа исследований действующих и потенциально активных вулканов Камчатки и Курильских островов – ранний (1700-1935 гг.), новый (1935-1962 гг.) и новейший (1962 г.- настоящее время). Дано новое, впервые научно обоснованное определение термина «действующий вулкан». Представлены модифицированные каталоги действующих и потенциально активных вулканов Камчатки и Курильских островов. Для типичных вулканов, находящихся в I и II стадиях развития, даны долгосрочный прогноз характера и параметров будущих извержений, связанной с ними вулканической опасности.

Камчатка и Курильские острова – единственный регион в РФ, где имеются десятки действующих вулканов и наблюдались описанные с разной степенью детальности сотни их извержений. История изучения действующих камчатских и курильских вулканов охватывает чуть больше 300 лет, совпадая по времени с появлением там русских казаков. Этот временной интервал можно разделить на несколько неодинаковых по длительности, методам, детальности, результативности и значимости этапов исследования таких вулканов. Проблема, связанная с долгосрочным прогнозом в данном регионе типа и параметров будущих извержений, оценкой 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 на четвертой странице обложки). Кроме того, осваиваются приближенные к действующим вулканам новые территории. Сами же действующие вулканы часто служат сейчас главными туристическими объектами.

**РАННИЙ ЭТАП ИССЛЕДОВАНИЙ  
(1700-1935 гг.)**

Впервые об извергающихся вулканах на Камчатке и Курильских островах стало известно в Москве в 1701 г. из донесения казачьего пятидесятника Владимира Атласова, который в 1697 г. наблюдал извержение знаменитой Ключевской сопки на Камчатке, а с ее юго-западного побережья он же увидел «курящийся» Алаид – в XVIII-XX веках один из самых активных вулканов Северных Курил. В одноименных монографиях С.П. Крашенинникова «Описание земли Камчатки» (1755) и Г.В. Стеллера (1999, нем. издание 1774 г.) – членов Российской Академии наук, участников Второй Камчатской экспедиции 1732-1743 гг., к названным двум добавлено еще 9 активных вулканов. Из них 6 – на Камчатке («огнедышащие» Авачинская и Толбачинская сопки, «дымящиеся» Камбальная, Кошелевская, Жупановская сопки и в. Шивелуч, а также недавно (начало XVIII в., И.М.) извергавшийся в. Опала), 3 – на Курилах (Чикурачки или Эбеко на о. Парамушир, Севергина на о. Харимкотан и

предположительно в Черного на о. Чирпой) по результатам экспедиции 1713 г. казачьего сотника Ивана Козыревского. В монографиях также описаны некоторые черты морфологии действующих вулканов, реже - их извержения: «островерхой» Авачинской сопки летом 1737 г.; самого сильного за последние 300 лет извержения Ключевской сопки в сентябре 1737 г.; в. Плоский Толбачик и Толбачинской региональной зоны шлаковых конусов в декабре 1740 г. С.П. Крашенинников (1755) первым описал вулканический пепел (сажа, которая поверх снега почти на полдюйма лежала) последнего из перечисленных извержений. К концу XVIII в. имелись сведения уже о 10 активных вулканах на Камчатке и 15 – на Курильских островах.

В XVIII в. при внезапном извержении в Райкоке (Центральные Курилы) в 1778 г. появились и первые «вулканические» жертвы среди российских исследователей: погибли 15 человек во главе с сотником Иваном Черным, в честь которого был назван вулкан на о. Чирпой. Материалы экспедиции 1766-1769 гг. И. Черного явились основой самой подробной для того времени сводки о Курильских островах, включая описания многих действующих вулканов и их извержений. Вулканической опасности от выпавшего пепла Авачинского вулкана, извергавшегося 15-16 июня 1779 г., подверглись корабли эскадры Д. Кука в Авачинском заливе. Размер падавших на палубы кораблей лапилли базальтового шлака был до 1-2 см, а толщина слоя выпавшего пепла достигала 2-2.5 см. И это в 40 км 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.

Следует отметить, что изучение действующих вулканов Курило-Камчатского региона в XVIII в. носило преимущественно случайный характер, а описание извержений было поверхностным: обычно указывалось время, реже – сила (слабое, сильное). Что имело место на самом вулкане, как правило, оставалось непонятым. Примерно то же самое происходило в XIX в. и в первой трети XX в. Хотя сведения о нескольких извержениях камчатских вулканов, особенно находящихся вблизи населенных пунктов, были намного полнее, чем раньше, благодаря А. Постельсу (1836) и К. фон Дитмару (1901). Они подробно охарактеризовали главные особенности сильных извержений Авачинского вулкана в 1827 г. (Постельс, 1836) и в. Молодой Шивелуч в 1854 г. (Дитмар, 1901), 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 извержения 1827 г., измерил их температуру. Интересно, что в июне 1824 г. (за три года до извержения) физик Г. Ленц и минералог Э. Гофман – участники кругосветного плавания (1823-1826 гг.) на военном шлюпе «Предприятие» под руководством Котцебу (Путешествие, ... , 1828) – совершили впервые подъем на вершину Авачинского вулкана и никаких следов готовящегося извержения там не обнаружили. В неглубоком (~10 м) кратере диаметром ~100 м были отмечены только трещины, покрытые серой, а сколько-нибудь заметная фумарольная деятельность отсутствовала. Поскольку вулканическая активность в XIX в. в обоих регионах продолжала оставаться высокой и произошли многочисленные 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.

Изверженные продукты почти не изучались. Опубликованы только два химанализа вулканических пород: роговообманкового андезита с в. Шивелуч, выполнен Г. Абином в первой половине XIX в., и вулканического пепла извержения в. Ксудач в марте 1907 г., выпавшего в г. Петропавловск-Камчатский слоем толщиной 2-4 см. Химический состав и минералогия пепла исследованы будущим академиком А.П. Карпинским (1908).

Н.Г. Келль (1928), по результатам работ 1908-1910 гг. экспедиции Ф.П. Рябушинского, составил первую «Карту вулканов Камчатки», опубликованную лишь в 1928 г. На ней были показаны самые заметные вулканы Восточной вулканической зоны Камчатки, определены высоты их вершин и координаты, приведены фотографии вулканов. В 1932 г. вышел первый «Каталог вулканов Камчатки» П.Т. Новограбленнова (1932), включавший 127 форм, из которых 19 вулканов были отнесены им к действующим (табл. 1). Эти карта и каталог вулканов как бы подводили итог раннего 230-летнего (1700-1935 гг.) этапа исследований вулканов, когда они изучались эпизодически, от случая к случаю, специалистами самого разного профиля.

#### НОВЫЙ (1935-1962 гг.) И НОВЕЙШИЙ (1962 г.- НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ) ЭТАПЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Ситуация кардинально изменилась после создания в 1935 г. в п. Ключи Камчатской вулканологической станции АН СССР, в составе которой в разные годы работали известные вулканологи В.И. Влодавец, Б.И. Пийп, А.А. Меньяйлов, С.И. Набоко, Г.С. Горшков, Е.К. Мархи-

Таблица 1. Действующие вулканы Камчатки по (Новограбленов, 1932; Влодавец и др., 1957; Гущенко, 1979; Влодавец, 1984; Действующие ..., 1991)

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

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

нин, П.И. Токарев и многие другие, а в 1944 г. — Лаборатории вулканологии АН СССР, организатором и первым руководителем которой был академик А.Н. Заварицкий. Было начато целенаправленное высокопрофессиональное и всестороннее исследование действующих вулканов Камчатки, а с 1946 г. — и вулканов Курильских островов, освобожденных от японской оккупации. Появились многочисленные публикации и монографии, посвященные комплексному описанию геоморфологии, геологии, активности, вещественного состава изверженных продуктов вулканов Ключевского (Влодавец, 1940; Пийп, 1956 и др.), Шивелуч (Меняйлов, 1955), Безымянный (Горшков, 1957; Горшков, Богоявленская, 1965), возникших в то время побочных прорывов (Набоко, 1947). Материалы Аэровулканологической экспедиции 1946 г. послужили основой для монографии А.Н. Заварицкого (1955), «Вулканы Камчатки», «Каталога действующих вулканов СССР» (Влодавец и др., 1957; Горшков, 1957), «Атласа вулканов СССР» А.Е. Святловского (1959) и позволили реально оценить масштабы проявления активности современного вулканизма на Камчатке и Курильских островах. Количество действующих вулканов в каталоге 1957 г. на Камчатке было увеличено до 28, на Курилах — до 39 (табл. 1).

Поэтому именно 1935 г. логично считать началом следующего — нового этапа изучения действующих вулканов, который продолжался вплоть до 1962 г. — образования Института вулканологии. 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 Ключевского, Молодого Шивелуча, Плоского Толбачика, Безымянного, Карымского — на Камчатке; Заварицкого, Эбеко, Чикурачки — на Курильских островах. Возникшие формы, продукты и последствия извержений некоторых других вулканов (Авачинского в 1938 и 1945 гг., Пика Креницына в 1952 г.) также детально исследовались, хотя 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, минералогический, химический, спектральный, гранулометрический.

Однако на большинстве остальных активных вулканах исследования носили преимущественно рекогносцировочный характер, а сведения о

прошлых извержениях всех вулканов оставались прежними, собранными на раннем этапе. Подробно история формирования вулканов не изучалась, детальное картирование действующих вулканов не проводилось, несмотря на то, что на Камчатке и Курильских островах уже была проведена сплошная аэрофотосъемка.

Многokратным «взрывным» характером роста информации о действующих вулканах, по сравнению с предыдущими этапами, отличался последующий новейший этап исследований этих образований, по сравнению с предыдущими этапами, что объясняется целым рядом благоприятствующих факторов и причин. Так, на 60–90-ые годы XX в. пришелся расцвет геологических, геоморфологических, вулканологических работ, выполненных учреждениями Министерства геологии и Академии Наук СССР, включая организованные (Камчатское и Сахалинское геологические управления, Камчатскую комплексную экспедицию СОПС АН СССР, Камчатскую геолого-геофизическую обсерваторию, Институт вулканологии СО АН СССР, Сахалинский комплексный научно-исследовательский институт СО АН СССР). В Институте вулканологии было завершено средне- и крупномасштабное геоморфолого-вулканологическое картирование (Камчатка, ... , 1974; Мелекесцев и др., 1970; Мелекесцев, 1980; Огородов и др., 1972; Федорченко и др., 1989 и др.) 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 в Охотском море (Авдейко и др., 1992) и в проливах между островами Курильской гряды, открыт громадный массив Вулканологов в Беринговом море с действующим вулканом Б.И. Пийпа (Селиверстов, 1998). Многие виды исследований проводились в содружестве с разными коллективами, что значительно помогало в решении поставленных задач и получении результатов международного уровня или превышавших его.

К сожалению, в рамках настоящей статьи невозможно даже вкратце остановиться на различных аспектах и главнейших итогах исследования действующих вулканов Камчатки и Курильских островов, которые изложены в сотнях публикаций, в том числе многочисленных монографиях и специализированных сборниках (Горшков, 1967; Мархинин, 1967; Федорченко и др., 1989 и др.). Поэтому придется ограничиться лишь описанием и кратким обоснованием разработанной нами новой трактовки понятия (термина) «действующий вулкан», а также освещением проблемы будущих извержений, их долго-

срочного прогноза и связанной с ними вулканической опасности, которая на более ранних этапах исследований практически не затрагивалась из-за недостатка фактического материала.

Такой материал был получен лишь в результате многолетних (1965-2005 гг.) специализированных исследований сотрудников Лаборатории голоценового вулканизма Института вулканологии (позднее Лаборатории динамической вулканологии Института вулканической геологии и геохимии и Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН). Эти исследования включали детальную реконструкцию эруптивной активности действующих вулканов Камчатки и Курильских островов за длительные (5-10 тыс. лет и более) отрезки времени, определение стадий их развития, продуктивности, разработку прецизионного тефрохронологического метода датирования вулканических событий. Все работы были выполнены в тесном сотрудничестве с коллегами (Л.Д. Сулержицким, М.М. Певзнер, Н.Е. Зарецкой) из Лаборатории изотопного датирования Геологического института АН СССР (РАН). В связи с чем удалось 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. Важно отметить, что подобные по количеству массивы  $^{14}\text{C}$  дат для возрастного расчленения молодых вулканитов и определения времени извержения 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 (Японии, США, Новой Зеландии, Италии, Мексике, Перу).

#### НОВОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМИНА «ДЕЙСТВУЮЩИЙ ВУЛКАН»

Действующие вулканы – важнейший объект вулканологических исследований. Однако до 90-ых годов XX в. научно обоснованного критерия для деления вулканов на действующие и потухшие, по мнению автора настоящей статьи, не существовало, хотя это и было необходимо как с теоретической, так и, особенно, с практической точек зрения – оценки вулканической опасности. Именно оценка вулканической опасности требует предельно четкого представления о том, является ли вулкан действующим (потенциально активным) и следует ли ожидать его извержения в будущем. 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, катастрофические извержения Везувия 79 г. н.э., вулканов Эль-Чичон в 1982 г. (Мексика), Пинатубо в 1991 г. (Филиппины), которым предшествовал период покоя более 600 лет, и сильное извержение вулкана Унзен в 1990-1993 гг. (Япония), последовавшее за 200-летним перерывом в его активности. Для Камчатки показателен вулкан Безымянный, который перед катастрофическим извержением 1955-1956 гг. не извергался в течение 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?

Исследования по выявлению потенциально активных камчатских и курильских вулканов, связанной с ними опасности и ее долгосрочному прогнозу были проведены сотрудниками Лаборатории динамической вулканологии Института вулканической геологии и геохимии и Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН И.В. Мелекесцевым, О.А. Брайцевой, В.В. Пономаревой, Л.И. Базановой. Показано, что наиболее перспективным для решения этой проблемы является подход, при котором вулкан следует считать действующим, основываясь на его эруптивной истории за длительный отрезок времени, желательнее с момента возникновения или за последние 5-10 тыс. лет. Прекрасным методом для детальной реконструкции эруптивной истории является тефрохронология (от греческих слов тефра – пепел и хронос – время) с широким применением радиоуглеродного датирования ( $^{14}\text{C}$ ). Методика таких исследований изложена нами в многочисленных публикациях (Базанова и др., 2001; Брайцева и др., 1978; Мелекесцев и др., 1987, 1992; Мелекесцев, Брайцева и др. 1993, 1994; Мелекесцев, Двигало и др. 1993, 1994; Пономарева, Брайцева, 1990 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 (Мелекесцев и др., 2001).

К началу 2006 г. восстановлена с разной степенью детальности эруптивная история 19 действующих вулканов Камчатки: Молодого Шивелуча, Ключевского, Безымянного, Кизимена, Карымского, Авачинского, Горелого, Ксудача,

Камбального, Кошелевского и др. Исследования проведены на вулканах Жупановский, Бакенинг, Вилючик, Козельский. Были выделены и датированы также крупнейшие ( $>0.5 \text{ км}^3$ ) эксплозивные извержения за последние 10 тыс. 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).

К сожалению, на Курильских островах детальные работы по реконструкции эруптивной активности удалось провести только на двух действующих вулканах – Эбеко (о. Парамушир) и Пик Немо (о. Онекотан).

Изученные вулканы имеют различную морфологию и состав продуктов. Вулканы Ключевской, Безымянный, Карымский – обычные простые стратовулканы, Крашенинникова, Кихпинич, Малый Семячик – вулканические постройки, включающие несколько сросшихся друг с другом своими основаниями конусов-стратовулканов, Авачинский – вулкан типа Сомма-Везувий, Кизимен – вулкан с широким развитием экструзивных куполов, Ксудач – вулканический массив, крупнейшие эксплозивные извержения на котором сопровождались кальдерообразованием. Вулканы Ключевской, Крашенинникова, Кихпинич, Малый Семячик поставляют на поверхность преимущественно базальты и андезитобазальты, Карымский и Безымянный – андезиты, Ксудач – андезиты и дациты, Авачинский – андезиты для первого этапа в начале голоцена и андезитобазальты для его Молодого конуса, во второй половине голоцена. Вулканы Эбеко и Пик Немо – андезитовые.

Анализ материалов по реконструкции активности вышеперечисленных и других вулканов показал, что длительность периодов покоя в их жизни не обнаруживает существенных различий в зависимости от морфологии вулканов и состава их магмы.

Если не рассматривать интервалы между извержениями внутри самих эруптивных периодов, где они измеряются обычно годами и десятками лет, а брать интервалы покоя между периодами активизации, то типичными для них можно считать длительности в сотни лет. Так, периоды покоя продолжительностью 700-1000 лет установлены для вулканов Безымянный, Крашенинникова, Карымский. Даже для Авачинского вулкана с его весьма напряженной активностью выявлен период покоя длительностью 900 лет. Периоды 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 в 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 в. 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 в. Дикий Гребень.

Перерывы между формированием отдельных вулканических построек, составляющих вулканические массивы и хребты, по продолжительности вполне сопоставимы с периодами активизации в 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 экономичного продолжения вулканического процесса: вулканический конус достигает предельной для него высоты, часто давая на заключительной стадии серию побочных прорывов, обеспечивающих магме выход 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 извержения за последние 3000-3500

лет геологическими методами. Последние после периода 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. 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.

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

Предлагаемый список действующих и потенциально активных вулканов Камчатки приведен в табл. 2. Курильских островов – в таблице 3. В табл. 1, где совмещены действующие вулканы Камчатки из каталогов 1932-1991 гг. (Новограбленов, 1932; Влодавец и др., 1957; Гуценко, 1979; Влодавец, 1984; Действующие ..., 1991), вулканы предлагаемого нами списка выделены жирным шрифтом. Остальные вулканы из списка действующих по разным причинам (Мелекесцев и др., 2001; Новейший ..., 2005) исключены.

### БУДУЩИЕ ИЗВЕРЖЕНИЯ И ВУЛКАНИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ

Определение характера и параметров будущих извержений действующих и потенциально активных вулканов, а также оценка опасных явлений, связанных с этими извержениями, устанавливались на основании специализированных комплексных (тефрохронологических, геолого-геоморфологических, вулканологических) исследований. 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; 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 (рис. 2). 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-палеореконструкций для отдельных этапов истории вулкана. На основе карт-реконструкций и изопакит тефры оценивались объем вулканитов и продуктивность вулкана для разных периодов его жизни.

Комплекс исследований, выполненных по вышеописанной методике, дал возможность: 1) определять возраст вулкана на основе датирования пирокластике его начальных извержений; 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 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 (Базанова и др., 2001; Новейший ..., 2005). 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 (Базанова и др., 2001; Действующие ..., 1991; Мелекесцев, 1980; Мелекесцев и др., 1987, 1992, 1993, 1994;

## МЕЛЕКЕСЦЕВ

**Таблица 2.** Действующие и потенциально активные вулканические образования Камчатки

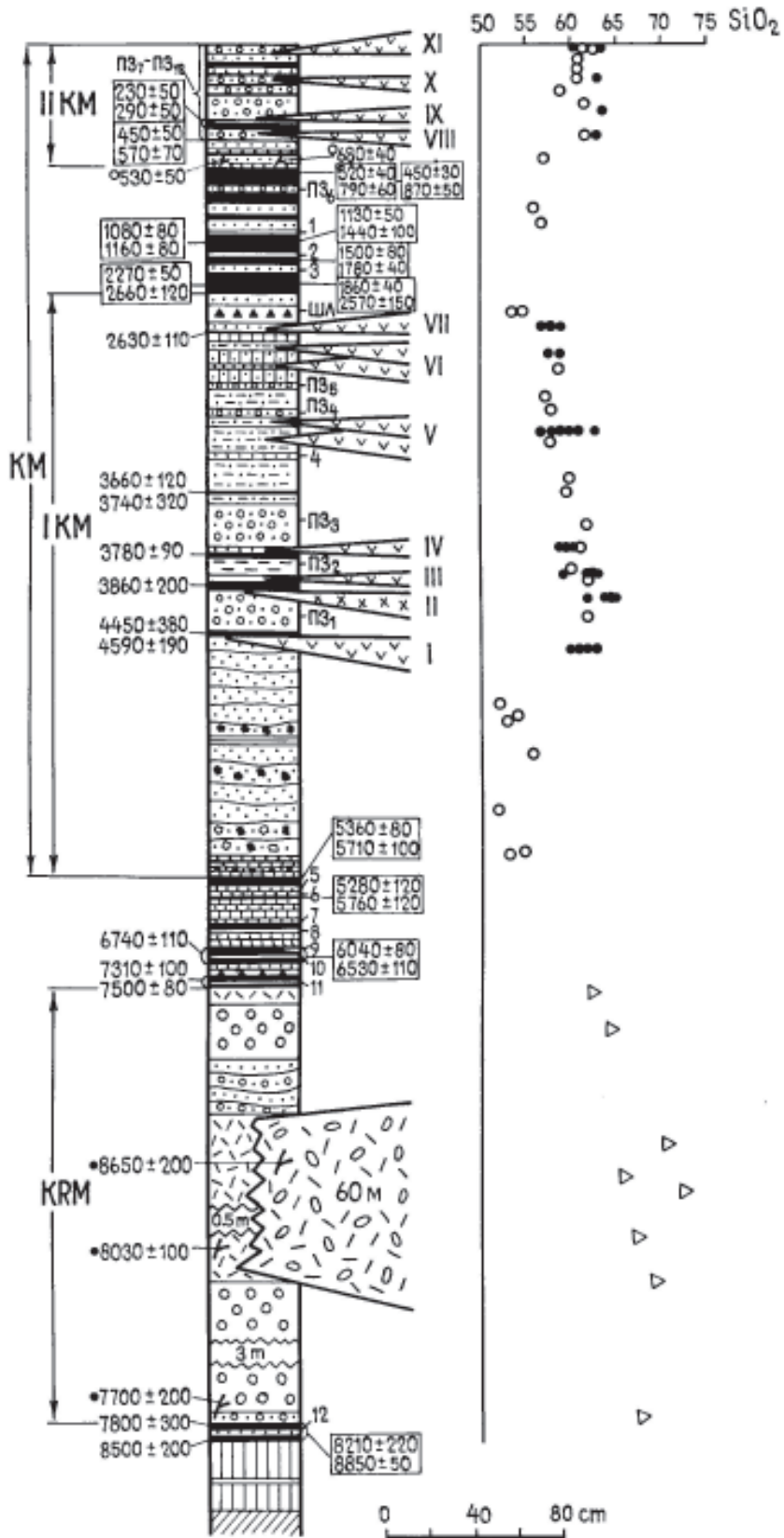
Тип вулканического образования	Критерии выделения		
	1	2	3
<b>Многоактные вулканы</b>			
1. Шивелуч (Молодой Шивелуч)	+	+	+
2. Ключевская сопка	+	+	+
3. Безымянный (в.Новый)	+	+	+
4. Плоский Толбачик	+	+	+
5. Плоская Дальняя сопка	-	-	+
6. Кизимен	+	+	+
7. Высокий	-	+	+
8. Комарова	-	+	+
9. Гамчен	-	+	+
10. Кроноцкий	+?	-?	-
11. Крашенинникова	-	+	+
12. Кихпиныч (конус Савича)	-	+	+
13. Тауншиц	-	+	-
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	-	+?	+
<b>Прочие вулканические образования</b>			
<i>А. Региональные зоны шлаковых конусов</i>			
31. Толбачинская	+	+	+
32. Плоских сопок	-	-?	-
<i>Б. Поля ареального базальтового вулканизма</i>			
33. Толмачев Дол	-	+	-
34. Бассейн рек Средней илевой Авачи	-	+	-
35. север Срединного хребта (минимум 2-3 поля)	-	+	-
<i>В. Поля концентрированного многовыходного экструзивного вулканизма</i>			
36. Большой Семячик	-	+?	-?
<i>Г. Кальдеры</i>			
37. Карымского озера	+	+?	-?
38. Горелая	-	+	-?
39. Опала	-	+	-
40. Ксудач V	+	+	-?
41. Курильского озера-Ильинская	-	+	-?

Примечания к табл. 2 и 3. 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

Тип вулканического образования	Критерии выделения	
	1	3
<b>Многоактные вулканы</b>		
1. Алаид	+	+
2. Ширинки?	-	-
3. Экарма	+	+
4. Чиринкотан	+	+
5. Райкоке	+	+
6. Броутона?	-	-
7. Пик Фусса	+	+?
8. Пик Немо	+	+
9. Пик Креницына	+	+
10. Пик Сарычева	+	+
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. Беругарубе	+	+
23. Севергина	+	+
24. Горящая сопка	+	+
25. Менделеева	+	+
26. Синарка	+	+
27. Ушишир	+	+
28. Иван Грозный	+	+
29. Головнина	+	+
30. Эбеко	+	+
31. Чикурачки	+	+
32. Татарина	+?	+
33. Карпинского	+?	+
34. Берга	+	+
35. Трезубец	+	+
36. Колокол?	+?	+?
37. Баранского	+?	+
38. Тебенькова	-	+?
39. Стокап?	-	+?
<b>Прочие вулканические образования</b>		
<i>А. Кальдеры</i>		
40. Тао-Русыр	+	+
41. Заварицкого	+	+
<i>Б. Подводные центры в море</i>		
42. 1924 г.	+?	+?
43. 1967 г.	+	?+



Новейший ..., 2005; Брайцева, Пономарева, 1990 и др.). На Курилах подобная реконструкция выполнена всего для двух вулканов (Эбеко и Пик Немо).

Стадия I отвечает времени интенсивной вулканической активности, характеризуется положительным балансом вещества с его аккумуляцией на вулкане и, как следствие, увеличением объема постройки, ее ростом и свежим обликом. Продолжительность стадии I для вулканов разных типов и размеров составляет, вероятно, от нескольких сотен лет до 10-12 тыс. лет. Стадия II отвечает периоду ослабления вулканической активности и характеризуется отрицательным балансом вещества. Вулканическая постройка перестает расти и начинает разрушаться денудационными процессами. Продолжительность стадии II обычно 10-50 тыс. лет (Мелекесцев, 1973, 1980).

Большинство наиболее активных действующих вулканов Камчатки находятся в стадии I. Их деятельность имеет четко выраженный циклический (ритмический) характер. Каждый цикл состоит из двух фаз (периодов). С одной стороны, это период интенсивной вулканической активности, который запечатлен прослоями тефры, лавами и пирокластическими потоками и, с другой стороны – период покоя или существенного ослабления активности с формированием погребенных почв, иногда включающих редкие прослой тефры. Изучение циклического режима вулкана за длительный 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 вулкана на разных стадиях его жизни позволяет предсказать его поведение в ближайшем будущем, определить временную приуроченность и возможные параметры будущих извержений.

К вулканам в периоде активности современного цикла относятся Ключевской, Безымянный, Карымский, Малый Семячик, Молодой Шивелуч, Плоский Толбачик, Горелый, Ильинский, Молодой конус Авачинского вулкана. Из-за недостатка места здесь будут рассмотрены 3 из них.

**Ключевской** (рис. 3) – самый активный, мощный и крупный вулкан на Камчатке (объем его изверженных продуктов 250-300 км<sup>3</sup>, вес ~ 600х10<sup>9</sup> т и высота в 1986 г. была более 4800 м над уровнем моря). Вулкан начал формироваться 7000 (около 6000 <sup>14</sup>C) л.н. (Мелекесцев, 1980). Его исторические извержения известны с 1697 года. Вулканические продукты представлены базальтами и андезибазальтами. Около 4000 л.н. вулкан, 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..

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 порядка 10<sup>6</sup>-10<sup>7</sup> м<sup>3</sup>). Сильные и очень сильные извержения с объемом продуктов порядка 10<sup>8</sup>-10<sup>9</sup> м<sup>3</sup> происходили сравнительно редко, самое свежее – 1 октября 1994 г.

Ключевской отличается от других вулканов Камчатки максимальной продуктивностью (Мелекесцев, 1980), которая относительно постоянна как для длительных, так и коротких интервалов. Она колеблется между ~5х10<sup>7</sup> и 9х10<sup>7</sup> т/год, а в интервале 1926-86 гг. составляла 6.3х10<sup>7</sup> т/год.

Высокая частота извержений и малые колебания продуктивности указывают на то, что Ключевской вулкан находится в начале или середине I стадии. Следовательно, в ближайшем будущем характер активности вулкана вряд ли существенно

**Рис. 2.** Сводный разрез голоценовых лавово-пирокластических отложений подножия в. 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 обохренные; 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 отложения; 16 – древесина и угли; 17 – андезитовые лавовые потоки; 18 – андезитовые и дацитовые лавовые потоки; 19 – фигуративные точки составов вулканитов: а – тефра в. Карымский, б – его лавы, в – пирокластика кальдерообразующего извержения (состав а и в в пересчете на безводный остаток); 20 – радиоуглеродные даты: а – по древесине, б – по углям, остальные – по погребенным почвам (в рамках даты по щелочным вытяжкам из одного и того же образца почвы); КРМ – комплекс отложений, связанных с формированием Карымской кальдеры; ИКМ, ПКМ – отложения периодов активизации в. Карымский; I-VIII – возрастные группы лавовых потоков; ПЗ<sub>1</sub> - ПЗ<sub>12</sub> – горизонты пемзовой тефры в. Карымский; ШЛ – прослой шлака в. Карымский; 1-12 (у правого края колонки) – горизонты транзитных пеплов (слой 2 – в. Опала, слой 3 – в. Ксудач, слой 4, 5 – в. Авачинский, слой 10 – в. Хангар, слой 11 – в. Кизимен; для остальных пеплов источник не установлен).



Рис. 3. Извергающийся вулкан Ключевской. 1987 г. Фото А.Ю. Озерова.

изменится. Извержения из центрального 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-сеймотектоническими 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 нижней границы этой зоны до 100-150 см в районе вершинного кратера или у подножия шлаковых 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 вулканосеймотектонические обрушения при сильных извержениях. Один из таких обвалов произошел в январе 1945 года, когда вблизи вершины вулкана возникла обширная лоткообразная структура — шарра. В этом отношении наиболее опасна привершинная часть северо-западного сектора вулкана. Значительную опасность представляют лахары, которые со скоростью до 30-40 км/час распространяются по долинам водотоков на расстояние 20-30 км, в зависимости от силы извержения и положения эруптивного центра.

**Вулкан Безымянный** (рис. 4) стал широко известен после его катастрофического извержения 30 марта 1956 г. и в настоящее время

находится в периоде активизации современного цикла активности, который начался в 1955 году после почти 1000-летнего периода покоя (Действующие ..., 1991). Поскольку длительность предыдущих периодов активизации составляла сотни лет, можно полагать, что современный период будет продолжаться примерно столько же. По аналогии с предшествующими периодами, допускается, что вулкан находится примерно в середине современного периода активизации. Катастрофическое извержение типа извержения 1956 г. вряд ли произойдет в ближайшие 100-200 лет, поскольку такие извержения имели место главным образом после длительных периодов покоя. Деятельность вулкана в ближайшие десятилетия будет связана с ростом купола, начавшего формироваться в кратере после катастрофического события 30 марта 1956 г. Она будет характеризоваться слабой и умеренной, реже сильной кратковременной эксплозивной активностью с частичным разрушением купола, формированием пирокластических потоков с объемом пирокластики от 0.001 до 0.01 км<sup>3</sup> и лавовых потоков на куполе. 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 км и 0.2-2 км от кратера соответственно, объем тефры будет порядка 0.01-0.03 км<sup>3</sup>. Наиболее опасной зоной по-прежнему 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,



**Рис. 4.** Вулкан Безымянный в 1980 г. (вид с северо-востока). Перспективное аэрофото В.Н. Двигало.

связанной с обрушением пород купола и возникновением обломочных лавин, в том числе, раскаленных. Следует отметить, что данный в 1987 г. прогноз автора полностью подтвердился последующим ходом эруптивной активности вулкана. В течение 1987-2006 гг. произошли 16 извержений, которые по типу и параметрам соответствовали предсказанным.

**Для Молодого конуса Авачинского вулкана** долгосрочный прогноз (Базанова и др., 2001; Мелекесцев, Брайцева и др., 1993, 1994) активности и оценка опасности были даны на основании характера извержений 1737-1991 гг. и результатов детальной реконструкции эруптивной деятельности с момента его возникновения ~3800 календарных (3500  $^{14}\text{C}$ ) лет назад.

В результате извержения 1991 г. жерло вулкана оказалось закупоренным лавовой «пробкой» толщиной до 170 м и общим весом ~20 млн. т, что сделало невозможным прямое извержение новой магмы через вершинный кратер без разрушения этой «пробки». Поэтому прогнозируется минимум два варианта развития дальнейших событий. По первому варианту (без поступления с

глубины новой магмы в течение длительного времени) лавовая «пробка» станет постепенно разрушаться фреатическими взрывами, как в октябре 2001 г., с 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 конуса, обвал и сильный взрыв в ЮЮЗ или ЮЗ его секторах и последующие излияния лавы через открытый кратер. Объем взорванной и обвалившейся части постройки будет варьировать от 0.01-0.02 до 0.1-0.2 км<sup>3</sup>. Главная опасность будет исходить от горячей ударной взрывной волны, обвальнo-взрывных отложений и лахаров, в меньшей степени – от лавовых потоков, которые вероятнее всего не выйдут далеко за пределы постройки вулкана. Виды вулканической опасности от будущих извержений Авачинского вулкана для городов Петропавловск-Камчатский и Елизово, их окрестностей отображены на специализированной карте, цветной вариант которой опубликован в (Новейший ..., 2005).

Вулканы Кизимен, Крашенинникова, Кихпинич находятся в I 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 полагать, что период покоя для одних вулканов будет продолжаться длительное время (сотни лет), а для других, напротив, можно допускать возможность сильного извержения в ближайшем будущем.

**Вулкан Кизимен** сейчас (рис. 5) проявляет лишь фумарольную активность. По морфологии,

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 фреатическими эксплозивными извержениями, как в 1927-1928 гг. Длительность незавершенного цикла уже



Рис. 5. Вулкан Кизимен с крупным вершинным экструзивным куполом. Фото В.Н. Двигало.

параметрам, геологическому строению, породам он сходен с в. Сент-Хеленс (США) до его знаменитого катастрофического извержения 18 мая 1980 г. Абсолютная высота вулкана 2376 м, объем изверженных продуктов  $\sim 26 \text{ км}^3$ , он начал формироваться 11 000-12 000  $^{14}\text{C}$  л.н. и был создан в течение четырех циклов (Мелекесцев и др., 1992). Самый молодой 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 ( $0.7-1 \text{ км}^3$ ) эксплозивным извержением, при котором образовались последние пока в истории вулкана пирокластические потоки, а среди дацитовой пемзовой пирокластике в отложениях потоков впервые появляются

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, объем которого превышает  $0.5 \text{ км}^3$ . Мощные струи фумарольных газов выходят в основании агломератовой мантии купола. Измененные породы, указывающие на места прежней фумарольной активности, 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 сос-

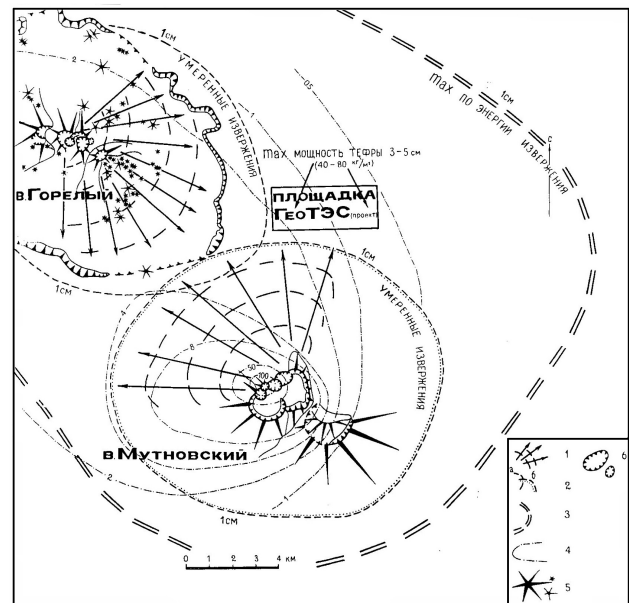
тоянии фумарольной активности с редкими слабыми эксплозивными извержениями – первый вариант. Вместе с тем, при прогнозе активности в. Кизимен необходимо учитывать особенности его постройки (наличие на вершине тяжелого экструзивного купола объемом  $>0.5 \text{ км}^3$ ) и то, что он находится в зоне повышенной 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; катастрофическое обрушение купола в западном направлении; направленный взрыв и извержение ювенильной пирокластики из нового циркообразного кратера. Может иметь место и другой подвариант – гигантский обвал, спровоцированный мощным тектоническим землетрясением, который будет сопровождаться извержением сходным по характеру с вышеописанным. В любом случае произойдет извержение, сходное по типу с извержением в. Сент-Хеленс в 1980 г. (Мелекесцев и др., 1992).

**Вулканы Крашенинникова и Кихпинич** находятся в состоянии длительного покоя, который продолжается примерно 500 лет. На в. Крашенинникова это скорее всего период покоя между этапами деятельности внутри последнего цикла его активности, а на в. Кихпинич – между крупными циклами активности. По аналогии с предшествовавшими периодами покоя, в истории этих вулканов, можно полагать, что современный период покоя продлится для в. Крашенинникова еще сотни лет (возможно, 800 лет), а для в. Кихпинич – первые тысячи лет (возможно, 2500 лет). Однако прогноз для в. Кихпинич 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 в. Кихпинич в ближайшем будущем.

В отличие от вулканов, находящихся на стадии I, активность вулканов в стадии II проявляется менее закономерно. Периоды покоя для них часто оказываются очень продолжительными и несопоставимыми с длительностью периодов активизации, причем последние могут включать только одно извержение или короткую серию извержений.

**Вулкан Мутновский** представляет в этой группе особый интерес, поскольку рядом с ним построены 2 геотермальные электростанции. Долгосрочный прогноз будущей активности

вулкана и оценка вулканической опасности от его извержений (рис. 6) были сделаны в 1985 г. до начала строительства ГеоТЭС. Допускались три вида активности (Мелекесцев и др., 1987).



**Рис. 6.** Будущая вулканическая опасность для района Мутновской ГеоТЭС от извержений вулканов Мутновского и Горелого. 1 – возможные секторы направленных вулканических взрывов; 2 – 1-см изопохита тефры при умеренных извержениях (а – в. Горелый, б – в. Мутновский); 3 – 1-см изопохита тефры при сильных извержениях; 4 – изопохиты тефры извержения в. Мутновский 1848-1854 гг.; 5 – конусы вулканических построек разного размера; 6 – кальдера Горелая и крупнейшие кратеры.

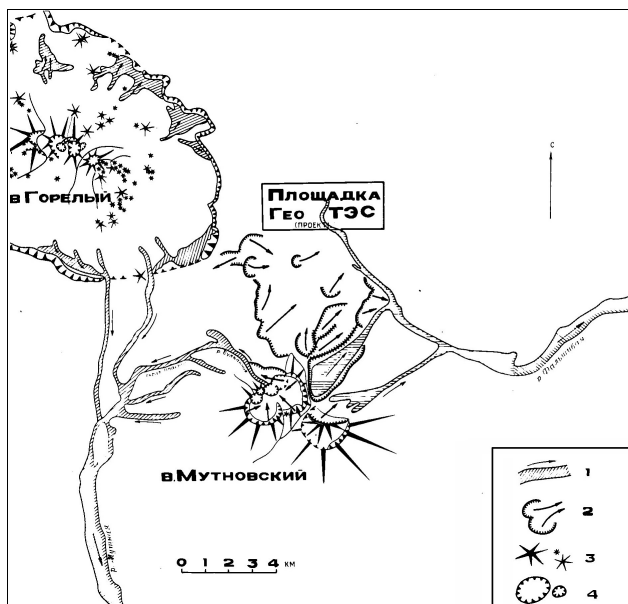
1. Неопределенно долго (десятки лет) вулкан может находиться в современном состоянии, когда энергия постоянно разряжается за счет интенсивного выноса тепла паром и термальной водой.

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 далее 3-5 км от кратера, поскольку объем выброшенного материала вряд ли превысит 10 млн.  $\text{м}^3$ . Исключение составят лишь направленные фреатические взрывы, при которых обломочный материал выбрасывается наклонно к горизонту и компактно отлагается в узком ( $30-90^\circ$ ) секторе. Наиболее опасная зона 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 пироклаستيки. По своим параметрам оно будет, по-видимому, близко к извержениям XVII-XVIII вв. и 1848-1854 гг., с общим объемом 20-50 млн. м<sup>3</sup>.

Каждое извержение может вызвать лахары, секторные обрушения и обвалы, которые происходили во время прошлых извержений (рис. 7).



**Рис. 7.** Будущая опасность для района Мутновской ГеоТЭС от лахаров и вулcano-сейсмoтeктонических обвалов. 1 – лахары и вероятные пути (стрелки) их движения; 2 – стенки обвальных цирков, стрелками показаны направления движения обвальных масс. Остальные условные обозначения см. на 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.

На стадии II на Камчатке находятся еще вулканы Корякский, Кроноцкий (рис. 8), Жупановский, Опала, Желтовский, Кошелева и др. Тефрохронологические исследования показали, что все они были еще весьма активны 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. Вулкан Корякский был активен 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 было в 1957 году.

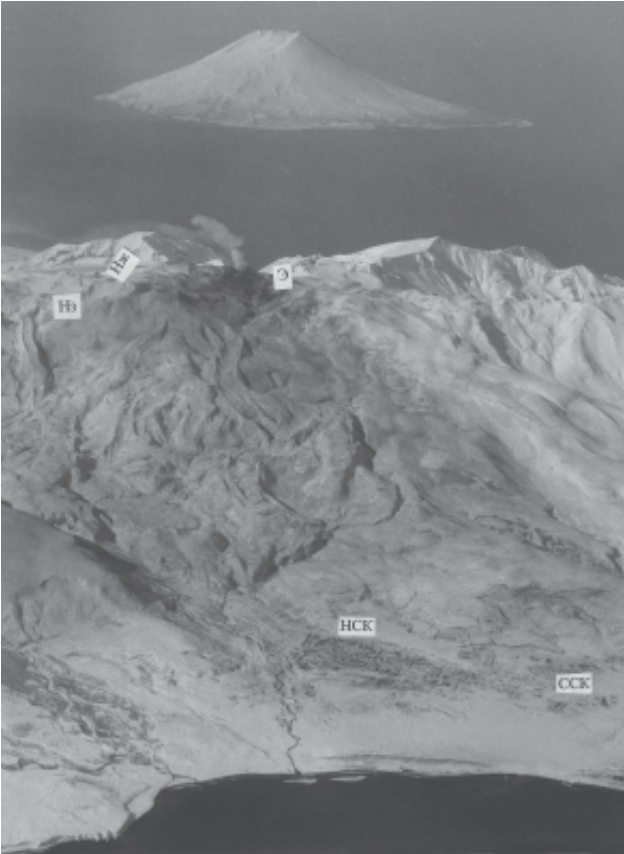
Эбеко и Пик Немо на Курилах – тоже типичные представители вулканов II стадии развития, но у первого продолжается период активности современного цикла, у второго – период относительного покоя.

**Вулкан Эбеко** как-бы «нависает» (рис. 9) над г. Северо-Курильск, располагаясь на 1000 м выше 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, уничтоженного катастрофическим цунами 4 ноября 1952 г. Не



**Рис. 8.** Вулкан Кроноцкий (II стадия развития) – «камчатский Фудзи». Фото Н.П. Смелова.





**Рис. 9.** Вулканы группы Эбеко и г. Северо-Курильск (о. Парамушир). Вулканы: Э – Эбеко с поднимающимся паро-газовым облаком, Нж – Неожиданный, Нз – Незаметный. Города: НСК – Новый Северо-Курильск, ССК – Старый Северо-Курильск. На заднем плане, за проливом - о. Атласова с действующим вулканом Алайд. На переднем плане хорошо видна заснеженная поверхность, покрытая свежесыпавшим пеплом в. Эбеко. Фото В.Н. Двигало.

проведя вулканологической экспертизы, город стали строить на конусах выноса рек Кузьминка 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 строении этих конусов принадлежит лахаровым и селевым отложениям, а пачки этих отложений разделены лишь маломощными горизонтами погребенных почв, указывающими на кратковременность интервалов между прохождением лахаров и селей. Поскольку длина рек Матросской и Кузьминки 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 (Мелекесцев, Двигало и др., 1993, 1994) 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 тefры; 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 уже не имела места.

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

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

Прогнозируемая толщина свежесыпавшего слоя вулканического пепла в Северо-Курильске и его окрестностях не превысит 1-5 см (10-60 кг/м<sup>2</sup>) при сильных извержениях в. Эбеко, а максимальный размер обломков – 1-3 см. То же относится к тefре и удаленных вулканов (Алайд, 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 тefры не требуется.

Наибольшая угроза для Северо-Курильска от будущих извержений в. Эбеко, несомненно, станет исходить от связанных с ними лахаров, так как проведенными исследованиями установлено, что общий пролювиальный 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, следо-

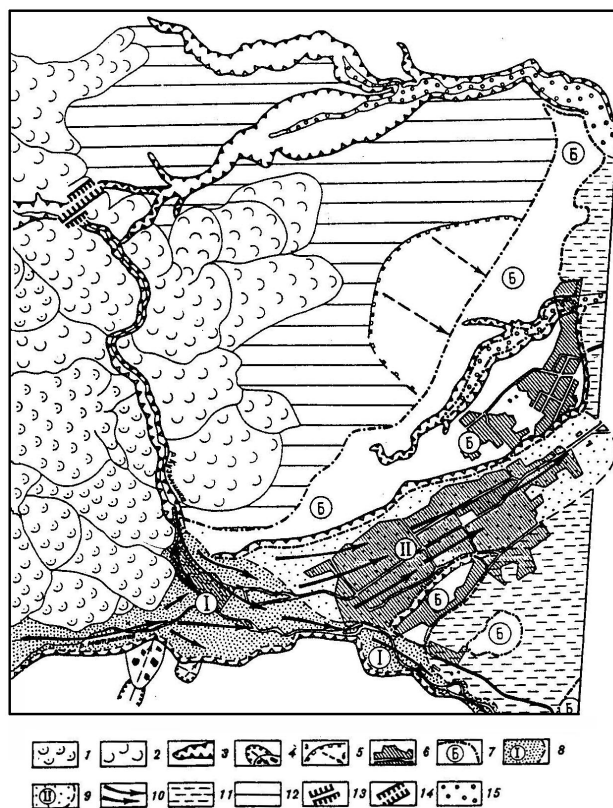
вавших друг за другом с интервалом в несколько сот лет. Лахары ассоциировались с сильными извержениями вулканов группы Эбеко, а сели — с крупными сеймотектоническими обвалами в бассейнах рек Кузьминки и Матросской.

Опыт изучения современных лахаров на действующих вулканах разных стран мира показал, что в условиях, характерных для места расположения Северо-Курильска (расстояние от кратера в. Эбеко 7-8 км, перепад высот более 1000 м), возникший лахар может достичь района 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 в. Сакурадзима, о. Кюсю) при прохождении лахаров.

Предпосылками для возникновения лахаров в результате извержений в. Эбеко являются обилие рыхлых глинистых, измененных газами и гидротермами пород в долинах рек Кузьминки и Матросской, а также большие запасы снега и льда в районе вулкана почти в любое время года, но особенно в конце зимы — начале весны. Так, например, было установлено, что 22 февраля 1990 г. в бассейне р. Кузьминки 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 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, что наиболее опасны здесь участок вблизи слияния рек Матросской и Кузьминки, где фактически и располагается главная часть 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 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 Северо-Курильска гарантировать нельзя, так как вполне вероятно, что при ближайшем сильном извержении (типа извержения 1934-1935 гг.) многие хозяйственные и жилые постройки могут быть уничтожены лахаром. Особенно те,

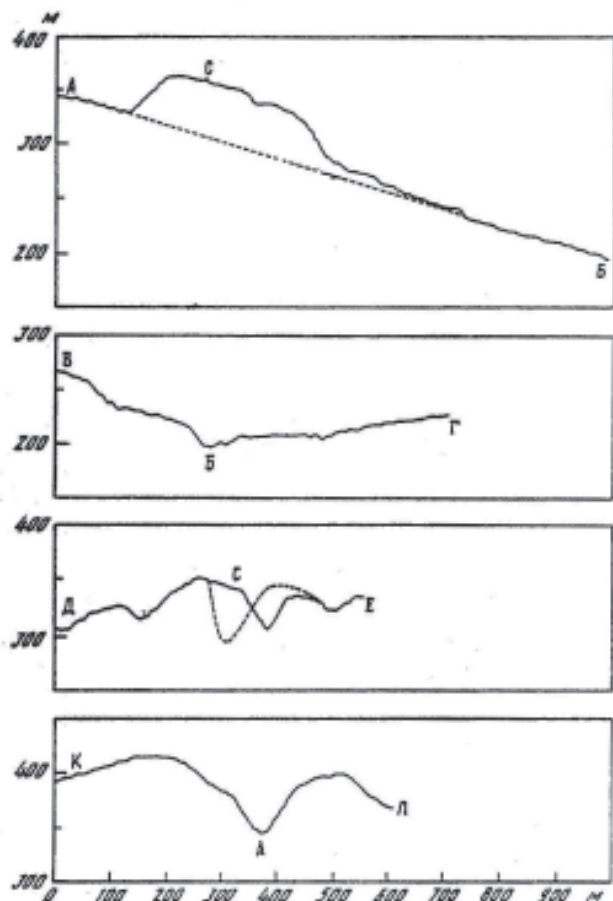


**Рис. 10.** Карта вулканической опасности для г. Северо-Курильск и его окрестностей. 1 — лавовые потоки группы вулканов Эбеко; 2 — позднеплейстоцен-голоценовые лавовые потоки других вулканов; 3 — бровки эрозионных уступов долин рек и ручьев; 4, 5 — сеймотектонические обвалы (4 — голоценовые, 5 — позднеплейстоценовые);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

которые расположены в верхних частях конусов выноса. Не исключено, если основываться на выявленных закономерностях эруптивной активности в. Эбеко, что такое извержение произойдет в течение следующих 30-50 лет.

В связи с чем мы предлагаем либо переместить все хозяйственные и жилые объекты из наиболее опасной зоны в безопасные места, либо прекратить доступ лахару в район новой части Северо-Курильска. При принятии второго варианта необходимо осуществить следующие мероприятия:

1. Соорудить в среднем течении р. Кузьминки (рис. 10) выше Северо-Курильска мощную каменно-земляную плотину.
2. Направленными взрывами создать выемку для переброса стока р. Кузьминки в верховья расположенной рядом



**Рис. 11.** Продольный (А-Б) профиль выемки. Поперечные профили долины р. Кузьминки выше по течению от предполагаемой плотины (В-Г) и в районе плотины (Д-Е), точечный пунктир – поперечный профиль выемки. Поперечный профиль (К-Л) р. Городской ниже по течению от выемки.

долины р. Городской, проходящей через разрушенный цунами старый город. Условия рельефа позволяют, чтобы грунт, выброшенный взрывами, пошел на образование плотины в долине р. Кузьминки.

Наиболее рациональное расположение выемки показано на рис. 11. Продольные и поперечные профили позволяют представить размеры выемки и оценить ориентировочный объем перемещенного грунта. Ее длина должна составить 350 м, глубина – около 45 м, ширина по бровке 75 м, по дну – 25 м.

При этом нет необходимости производить выемку всего объема грунтов. По-видимому, достаточно образовать канал с небольшим первичным уклоном в сторону долины р. Городской, предоставив дальнейшую работу по формированию окончательного профиля канала эрозии. В таком случае первоначальный объем перемещенных пород может быть уменьшен в 1.5-2 раза.

Андезитовый вулкан **Пик Немо** на севере о. Онекотан расположен в кальдере обрушения Немо III, возникшей  $24500 \pm 740$   $^{14}\text{C}$  л.н. (Меле-

кесцев и др., 1997; Новейший ..., 2005). 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 происходит рост экструзивного купола, сопровождавшийся слабыми фреатическими извержениями (самые молодые - в XVIII в. и в 1906 г.).

Предполагается, что наиболее вероятный характер будущих извержений в Пик Немо – эксплозивный. Причем высока вероятность извержения типа направленного взрыва (по терминологии Г.С. Горшкова). По мощности извержения могут быть умеренными (с суммарным объемом выброшенного материала 10-100 млн.  $\text{м}^3$ ) или сильными ( $>100$  млн.  $\text{м}^3$ ). В случае направленного взрыва его ось будет ориентирована в восточном или восток-северо-восточном направлениях.

Следует отметить, что представленные в настоящей статье результаты исследований по долгосрочному прогнозу будущих извержений действующих и потенциально опасных вулканов и ассоциирующейся с ними вулканической опасности были во многом выполнены благодаря многолетней финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований.

#### Список литературы

- Авдейко Г.П., Антонов А.Ю., Вольнец О.Н. и др.* Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги. М.: Наука, 1992. 528 с.
- 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.
- 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.
- Влодавец В.И.* Ключевская группа вулканов // Тр. Камч. вулканол. станции. 1940. Вып. 1. 124 с.

- Влодавец В.И.* Справочник по вулканологии. М.: Наука, 1984. 339 с.
- Влодавец В.И., Пийп Б.И., Горшков Г.С.* Каталог действующих вулканов СССР // Бюл. вулканол. станции. 1957. № 25. 180 с.
- Горшков Г.С.* Извержение сопки Безымянной в 1956 г. (предварительное сообщение) // Бюл. вулканол. станций. 1957. № 26. С. 19-72.
- Горшков Г.С.* Вулканизм Курильской островной дуги. М.: Наука, 1967. 270 с.
- Горшков Г.С., Богоявленская Г.Е.* Вулкан Безымянный и особенности его последнего извержения. М.: Наука, 1965. 171 с.
- Гущенко И.И.* Извержения вулканов Мира. Каталог. М.: Наука, 1979. 474 с.
- Действующие вулканы Камчатки. М.: Наука, 1991. Т. 1. 298 с., Т. 2. 416 с.
- Дитмар К.* Поездка и пребывание на Камчатке в 1851-1855 гг. СПб., 1901. Ч. I. 756 с.
- Заварицкий А.Н.* Вулканы Камчатки // Тр. Лаб. вулканологии АН СССР. 1955. Вып. 10. С. 1-152.
- Камчатка, Курильские и Командорские острова / Ред. И.В. Лучицкий. М.: Наука, 1974. 440 с.
- 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.
- Кель Н.Г.* Карта вулканов Камчатки. Камчатская экспедиция Ф.П. Рябушинского, 1908-1910 гг. Геол. отдел. Изд. Тихоокеан. Ком. АН СССР и Гос. Русск. Геогр. об-ва. Л.: 1928. 76 с.
- Крашенинников С.П.* Описание земли Камчатки (по первому изданию СПб., 1755). Т. 1. Петропавловск-Камчатский: Камшат. 1994. 438 с.
- Мархинин Е.К.* Роль вулканизма в формировании земной коры. М.: Наука, 1967. 256 с.
- Мелекесцев И.В.* Типы и возраст действующих вулканов Курило-Камчатской зоны // Бюл. вулканол. станций. 1973. № 49. С. 17-23.
- Мелекесцев И.В.* Вулканизм и рельефообразование. М.: Наука, 1980. 212 с.
- 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.
- 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.
- 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.
- Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Пономарева В.В.* Новый подход к определению понятия «действующий вулкан» // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. Петропавловск-Камчатский. 2001. С. 191-203.
- Мелекесцев И.В., Волюнец 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.
- 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.
- Мелекесцев И.В., Краевая Т.С., Брайцева О.А.* Рельеф и отложения молодых вулканических районов Камчатки. М.: Наука, 1970. 104 с.
- Мелекесцев И.В., Пономарева В.В., Волюнец О.Н.* Вулкан Кизимен (Камчатка) — будущий Сент-Хеленс? // Вулканология и сейсмология. 1992. № 4. С. 3-32.
- Меняйлов А.А.* Вулкан Шивелуч, его геологическое строение, состав и извержения // Тр. Лабор. вулканологии. 1955. Вып. 9. 264 с.
- Новейший и современный вулканизм на территории России / Отв. ред. Н.П. Лаверов. М.: Наука, 604 с.
- Новограбленов П.Т.* Каталог вулканов Камчатки // Изв. Гос. Геогр. об-ва. 1926. Т. 58. Вып. 2. С. 79-92.
- Огородов Н.В., Кожемяка Н.Н., Вадеевская А.А., Огородова А.С.* Вулканы и четвертичный вулканизм Срединного хребта Камчатки. М.: Наука, 1972. 192 с.
- Пийп Б.И.* Ключевская сопка и ее извержения в 1944-1945 гг. и в прошлом // Тр. Лаб. вулканологии. 1956. Вып. 11. 308 с.
- Пономарева В.В., Брайцева О.А.* Вулканическая опасность для района Кроноцкого озера-Узон-Долина гейзеров // Вулканология и сейсмология. 1990. № 1. С. 27-42.
- 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.
- 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.
- Святловский А.Е.* Атлас вулканов СССР. М.: Изд-во АН СССР. 1959. 175 с.

ДЕЙСТВУЮЩИЕ И ПОТЕНЦИАЛЬНО АКТИВНЫЕ ВУЛКАНЫ КУРИЛО-КАМЧАТСКОЙ ОСТРОВНОЙ ДУГИ

*Селиверстов Н.И.* Строение дна прикамчатских акваторий и геодинамика зоны сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. М.: Научный мир, 1998. 164 с.

*Стеллер Г.В.* Описание земли Камчатки (по первому изданию: Франкфурт, Лейпциг, 1744.

Нем.). Петропавловск-Камчатский: СЭТО-СТ. 1999. 288 с.

*Федорченко В.И., Абдурахманов А.И., Родионова Р.И.* Вулканизм Курильской островной дуги. Геология и петрогенезис. М.: Наука, 1989. 239 с.

**ACTIVE AND POTENTIALLY ACTIVE VOLCANOES OF THE KAMCHATKA-KURILE ISLAND ARC IN THE BEGINNING OF XXI CENTURY: STAGES OF STUDY, DEFINITION OF A TERM «ACTIVE VOLCANO», THE IMPENDING ERUPTIONS AND VOLCANIC HAZARD**

I.V. Melekestsev

*Institute of Volcanology and Seismology, FEB RAS*

Three stages of study of active and potentially active volcanoes on Kamchatka and the Kurile Islands were distinguished: the anterior stage (1700-1935), the new stage (1935-1962) and the recent stage (from 1962 till present time).

This paper provides a new, for the first time scientifically based term of «active volcano». Updated catalogues display active and potentially active volcanoes of Kamchatka and the Kurile Islands. Here we propose a long-term forecast of behavior and parameters of impending eruptions and related volcanic hazards for the typical volcanoes of the 1<sup>st</sup> and the 2<sup>nd</sup> stages of evolution.