**Сильные и катастрофические эксплозивные извержения на Камчатке за последние 10 тысяч лет**

Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Пономарева В.В., Базанова Л.И., Сулержицкий Л.Д.

Выделены 30 эксплозивных извержений на Камчатке в голоцене с объемом продуктов 0,5 км3, в том числе крупнейшие из них с объемом пирокластики 10-120 км3. Установлен возраст извержений, характер связанных с ними отложений, объем и состав изверженных продуктов, главные оси пеплопадов и ареалы распространения тефры. Датированные прослои тефры этих извержений являются возрастными реперами, которые используются для расчленения и корреляции вулканогенных и осадочных голоценовых отложений.

Интерес к сильным и катастрофическим эксплозивным извержениям определяется во многом тем, что с ними связана наибольшая вулканическая опасность. Страх перед катастрофами заставляет людей изучать характер, параметры и продукты этих извержений. Кроме того, наблюдения над современными извержениями показали, что они могут быть причиной краткосрочных изменений климата, особенно в тех случаях, когда поставляют значительное количество SO2 для вулканических аэрозолей.

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 1 |

Создание календаря крупнейших вулканических извержений мира для длительного отрезка времени и оценка их воздействия на окружающую среду - одна из актуальных задач сегодняшней вулканологии и палеогеографии. Вкладом в решение этой проблемы было выделение и изучение нами крупнейших эксплозивных извержений на Камчатке за последние 10 тыс. лет.

Эпизодические исторические свидетельства об извержениях камчатских вулканов ограничиваются всего последними тремя столетиями, более или менее систематизированные XX веком. Узнать о более ранних извержениях возможно только в процессе геологических исследований, среди которых первостепенную роль играет тефрохронологический метод. Суть метода заключается в выявлении, прослеживании и датировании прослоев тефры (вулканических пеплов), фиксирующих, как правило, наиболее сильные вулканические извержения. Они залегают в так называемом почвенно-пирокластическом чехле, представляющем собой "слоеный пирог" из чередующихся горизонтов пеплов и погребенных почв (рис.1).

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 2 |

Такой голоценовый почвенно-

пирокластический чехол представляет собой своеобразную летопись вулканической активности за последние 10 тыс. лет. Пеплы разных извержений отличаются по положению в разрезе, цвету, крупности, химическому и минеральному составу. Нами был проложен профиль протяженностью 650 км вдоль всего Камчатского полуострова от вулкана Шивелуч на севере до Курильского озера на юге (рис.2). Вдоль этого профиля (он был пройден пешком с использованием вьючных лошадей) осуществлялось прямое прослеживание пеплов от разреза к разрезу, расстояние между которыми не превышало 10-15 км. В процессе такого непосредственного полевого прослеживания можно было видеть, как тот или иной пепел увеличивал мощность и крупность по мере приближения к конкретному вулкану, а затем уменьшал их при удалении от него (рис.3) Это давало возможность установить центры извержений, с которыми были связаны определенные пепловые горизонты. Результаты прямой полевой корреляции подтверждались изучением химического и минерального состава тефры. Для горизонтов пеплов были установлены минералы-индикаторы, среди которых главную роль играли роговая обманка и биотит; присутствие или

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 3 |

отсутствие таких минералов позволяло отличать тефру отдельных извержений. Различное содержание К2О дало возможность отнести пирокластику к тому или иному геохимическому типу пород, выделенных О.Н. Волынцом [39]. Это также явилось хорошим критерием идентификации продуктов разных вулканических центров (рис.4, табл.1). Более детально тефрохронологические работы велись вблизи действующих вулканов: здесь проводилось дешифрирование аэрофотоснимков и полевые исследования с картированием центров извержений (кратеров и кальдер), пирокластических потоков и покровов; в разрезах изучались как тефра, так и отложения пирокластических волн и пирокластических потоков.

Датирование извержений осуществлялось радиоуглеродным (14С) методом по углям и древесине, захороненным в пирокластических отложениях, и по погребенным почвам - маломощным гумусированным горизонтам, залегающим между слоями тефры. Датировки по почвам, подстилающим и перекрывающим пепел, как бы зажимают его в определенный возрастной интервал. Всего для крупнейших извержений было получено более 300 дат. Причем датировки пирокластики вблизи вулкана хорошо согласовывались с датировками пеплов того же извержения, полученными на расстоянии десятков и сотен километров от источника [10, 34]. Для каждого извержения был определен его средний 14С возраст [33], а после калибровки и календарный возраст [11].

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 4 |

На Камчатке к настоящему времени установлено 30 эксплозивных извержений с объемом пирокластики 0,5 км3 (табл.1). Среди них выделяются три группы извержений: 1) кальдерообразующие, 2) субкальдерные и 3) сильные и катастрофические извержения вулканов центрального типа.

**Кальдерообразующие извержения**

На Камчатке в голоцене образовалось 5 кальдер типа Кракатау. Они представляют собой обширные впадины, достигающие несколько километров в поперечнике, которые возникли в результате обрушения кровли магматического очага после интенсивного извержения больших объемов ювенильной пирокластики. Общий объем материала кальдерообразующих извержений обычно превышал 10 км3.

Кальдера Курильское озеро-Ильинская на юге полуострова образовалась в результате крупнейшего голоценового извержения с объемом выброшенного материала 140-170 км3 [22] Оно произошло ~7700 14С л.н., или ~6500 лет до н.э. Тефра этого извержения отлагалась в широком секторе преимущественно в западном и северо-западном направлениях (рис.5). В Магадане его мощность в разрезах составляет сейчас 5 см на расстоянии 1000 км от источника. На о.Онекотан, в 300 км к юго-западу от центра извержения, мощность пепла 8-10 см. Длина пирокластических потоков превышала 40 км, они доходили на западе до берега Охотского моря, а на севере до подножия вулкана Ксудач. Связанные с пирокластическими потоками пирокластические волны распространялись на расстояние более 50 км. Первичный объем полости кальдеры достигал, вероятно, 70-80 км3. На дне заполнившего кальдеру озера появились более 10 подводных и подводно-надводных экструзивных куполов. По объему пирокластики описываемое извержение превышает извержение Кракатау 1883 года минимум в 7-8 раз, что позволяет поставить его в один ряд с крупнейшими эксплозивными извержениями земного шара не только исторического времени, но и голоцена в целом. По своему климатическому эффекту оно было, по-видимому, сравнимо с самым мощным катастрофическим извержением XIX-XX веков - извержением вулкана Тамбора в 1815 году.

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 5 |

Карымская кальдера сформировалась почти одновременно (~7900 14С л.н., ~6600 лет до н.э.) с вышеописанной [7,11]. В ней сейчас располагается Карымский вулкан. По характеру и параметрам это извержение очень сходно с извержением вулкана Кракатау 1883 г. Общий объем пирокластики кальдерообразующего извержения - 13-16 км3, размер кальдеры 5х6,5 км, объем полости кальдеры 7-8 км3. Извержение началось с выбросов ювенильной пемзовой тефры ("нижние лапилли"); основная ось пеплопада была ориентирована в ВЮВ направлении. Затем последовало образование серии пирокластических потоков, главные ветви которых прошли по рекам Крестьянская и Карымская (рис.6). Пирокластические потоки покрыли общую площадь 150 км2 и имели длину 10-15 км. Сопутствующие пирокластическим потокам "палящие тучи" отрывались от них, распространялись на расстояние более 30 км и достигали берега Тихого океана, покрывая обширные территории тонким пеплом, содержащим мелкие рассеянные угли. Вслед за извержением пирокластических потоков произошла новая серия эксплозивных выбросов, самый мощный из которых дал горизонт "верхние лапилли"; ось пеплопада прошла в ВСВ направлении. Объем отложений пирокластических потоков составил 4,5-6 км3, суммарный объем тефры - 8-10 км3. Главный сектор рассеяния пепла располагался к востоку от кальдеры и значительная его часть выпала над акваторией океана (рис.5). В разрезах на Командорских островах в 450 км от источника пепел этого извержения имеет мощность 3 см [19]. Отсутстиве в пепле КРМ роговой обманки и биотита позволяет отличать его от стратиграфически близких пеплов кальдеры Курильское озеро-Ильинская (КО), вулкана Кизимен (КЗ) и вулкана Хангар (ХГ) [33].

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 6 |

С вулканом Ксудач связано четыре кальдерообразующих извержения [23] (табл.1). С каждым из них ассоциируются мощные пирокластические отложения (рис.7). Самым сильным было последнее извержение, которое произошло ~1800 14С л.н., или в 236 г. н.э. (извержение КС1, кальдера V). Это было крупнейшее извержение нашей эры на Камчатке и второе в голоцене после извержения, связанного с кальдерой Курильское озеро-Ильинская. По характеру и параметрам оно близко к извержению Кракатау 1883 года. Общий объем пирокластики составил 18-19 км3, из них 14-15 км3 пришлось на тефру [9]. Высота эруптивной колонны во время извержения была 23 км [35]. Ось пеплопада прошла в северо-восточном направлении (рис.5), пепел выпадал над всей территорией восточной и южной Камчатки, и на удалении 900 км в пос. Оссора его мощность в торфянике составляет 1-2 см. Пепел этого извержения является одним из главных маркирующих горизонтов практически в пределах всего полуострова к северу от вулкана Ксудач [9,33]. От стратиграфически близких ему пеплов вулканов Шивелуч и Опала (ОП) он отличается низким содержанием К2О и отсутствием роговой обманки и биотита. Пирокластические потоки извержения КС1 достигали длины 20 км; их отложения заполнили все долины на склонах вулкана за исключением южного сектора, где они экранировались высокими бортами более старых кальдер. Вблизи вулкана потоки, слившись между собой, образовали обширный пирокластический покров (рис.8). Общий объем отложений пирокластических потоков составил около 4 км3. В результате извержения возникла кальдера обрушения размером 4х6,5 км с объемом полости 6,5-7 км3. Сразу после образования кальдеры в ней вырос небольшой экструзивный купол. Через короткое время (не более 100 лет) здесь начал формироваться стратовулкан конус Штюбеля. Последствия извержения КС1 (как и других кальдерообразующих извержений) для Камчатки можно оценить как экологическую катастрофу. Так, при описанном извержении Ксудача минимальная площадь уничтожения всего живого составила около 500 км2. Растительность была серьезно повреждена на площади порядка 12000 км2.

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 7 |

Формирование кальдеры IV на вулкане Ксудач связано с двумя сближенными во времени извержениями КС2 и КС3, которые произошли соответственно ~6000 14С л.н. (~ 4900 лет до н. э.) и ~6130 14С л.н. ( ~ 5050 лет до н. э.). Из этих извержений к настоящему времени лучше изучено извержение КС2. Оно началось мощными взрывами с дроблением субстрата и формированием грубообломочных брекчий [23]. Образовавшиеся затем пирокластические потоки распространялись по долинам рек северного склона, длина их достигала 10 км (они были вдвое короче, чем потоки извержения КС1), объем отложений составил около 2 км3. Ось пеплопада была направлена на северо-восток [23,33]. Тефра прослежена на расстояние около 400 км и ее мощность в разрезах в районе Кроноцкого озера составляет 1 см. Отличительной особенностью тефры КС2,наряду с низким содержанием К2О и отсутствием роговой обманки, является повсеместный андезитовый состав. Вблизи борта кальдеры бомбовая тефра этого извержения при мощностях 5-8 м спекалась с образованием игнимбритов-агглютинатов.

Во время извержения КС3, которое предшествовало вышеописанному, пирокластические потоки распространялись по р.Теплая и долинам северо-западного склона вулкана. Тефра этого извержения изучена вблизи вулкана, где она представлена дацитовыми и риолитовыми бомбами и лапилли белой шелковистой пемзы. Ось пеплопада была направлена на запад. Можно ожидать, что пепел КС3 залегает в донных осадках Охотского моря. В результате мощного выноса пирокластики во время извержений КС2 и КС3 возникла кальдера обрушения размером 5х6 км. Затем в ней сформировалась серия экструзивных дацитовых куполов, включающая экструзию Парящий Утес.

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 8 |

Самая ранняя голоценовая кальдера Ксудач - кальдера III - сформировалась в ходе извержения КС4 ~ 8800 14С л.н. (~ 7900 лет до н.э.). Ювенильный материал извержения представлен тефрой и отложениями пирокластических потоков. Ось пеплопада была направлена на юго-запад. Тефра этого извержения четко прослеживается до широты вулкана Ильинский, где она перекрывается мощными пирокластическими отложениями, связанными с формированием кальдеры Курильское озеро-Ильинская. Крупные бомбы в местах их максимального скопления вблизи центра извержения спекаются и образуют игнимбриты-агглютинаты, аналогичные таковым для извержения КС2. Пирокластические потоки отмечены в долине р.Теплая и на северо-восточном склоне вулкана. Общий объем ювенильного материала извержения составляет 1,5-2 км3. В ходе извержения происходили также мощные взрывы с разрушением субстрата и формированием грубообломочных брекчий [23]. В результате извержения КС4 сформировалась кальдера III. Ее точные границы и конфигурация не могут быть установлены из-за того, что этот участок был кардинально преобразован при формировании более молодых кальдер. Предполагаемый поперечник кальдеры 2-3 км.

**Субкальдерные извержения**

По характеру, объему продуктов (до 10-15 км3), набору фаций и составу пирокластики эти извержения очень сходны с кальдерообразующими. Однако,они ассоциируются не с кальдерами, а с крупными эксплозивными кратерами без видимых признаков обрушения. Кратеры располагаются как на вершине вулканов, так и у их подножия. Причем отмечается явное несоответствие между значительным объемом вынесенной ювенильной пирокластики и объемом образовавшегося кратера.

Крупнейшее из субкальдерных извержений произошло ~6900 14С л.н. (~ 5700 лет до н.э.) и привело к формированию вершинного кратера на вулкане Хангар. Объем пирокластики извержения ХГ сопоставим с объемом продуктов кальдерообразующих извержений и составляет 14-16 км3. С ним были связаны мощные пирокластические потоки длиной 15-20 км и пирокластические волны [20]. Распространение пирокластических потоков в целом ограничено уступом кальдеры, в которой располагается вулкан Хангар, только долина р.Правый Хейван служила магистралью, по которой они выходили за пределы кальдеры. Объем отложений пирокластических потоков составил 2-3 км3. Ось пеплопада была направлена на северо-восток (рис.9) и обширные территории на севере Камчатки оказались засыпанными тонким пеплом. В районе Ключевской группы вулканов мощность пепла составляет 5 см, вблизи вулкана Шивелуч - 4 см, к северо-западу от него, в долине р.Озерная, на расстоянии 500 км от источника - 2 см. Пепел ХГ - прекрасный маркирующий горизонт для районов Северной, Центральной и Восточной Камчатки [33], его отличительной особенностью является присутствие биотита. Общий объем тефры - 12-13 км3. В возникшем в результате извержения кратере размером 2,1х2,8 км сейчас находится озеро глубиной более 150 м. На дне кратера эксцентрично расположен экструзивный купол (купола?), вершина которого поднимается над поверхностью воды примерно на 20 м.

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 9 |

Второе крупное субкальдерное извержение произошло на вулкане Опала ~1480 14С л.н. (606 г. н.э) при образовании у его подножия кратера Бараний Амфитеатр (рис.10) размером 1,3х2 км [20]. С формированием этого сравнительно небольшого кратера был связан огромный объем пирокластики (9-10 км3), представленной почти целиком риолитовой тефрой. Главная ось пеплопада была направлена на восток (рис.9), мощность тефры на побережье океана составляет в разрезах 12-15 см. Здесь тефра погребла неолитическую стоянку, существовавшую более 1000 лет [21]. Значительная часть пепла выпала над акваторией Тихого океана. Юго-западным ветром пепловое облако было снесено на северо-восток, поэтому тонкий пепел покрыл значительную часть Восточной Камчатки, и прослежен здесь на расстояние 300 км от источника. Пепел этого извержения (ОП), наряду с пеплом КС1, служит важнейшим маркирантом для Восточной вулканической зоны Камчатки: его отличительные особенности - белый цвет, высокое содержание К2О и присутствие биотита. В результате извержения сформировался кратер Бараний амфитеатр глубиной более 200 м и предполагаемым объемом ~0,5 км3. На заключительной стадии в нем вырос экструзивный купол.

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 10 |

Извержение Бараний Амфитеатр - второе (после извержения вулкана Ксудач 236 г.) крупнейшее извержение нашей эры на Камчатке. Общий облик пирокластики, ее однородный кислый состав, общий значительный объем изверженных ювенильных продуктов - все это свидетельствует о сходстве этого извержения с кальдерообразующим. Сам же эруптивный аппарат - Бараний Амфитеатр - обычный, хотя и весьма крупный эксплозивный кратер, а не маленькая кальдера типа Кракатау из-за резкого несоответствия объема полости кратера объему изверженной магмы и отсутствия явных следов обрушения. Эти признаки делают его эталоном субкальдерного извержения [24]. Извержение Бараний Амфитеатр можно рассматривать как аналог знаменитого извержения вулкана Катмаи в 1912 году, когда из небольшого кратера Новарупта у его подножия было вынесено около 17 км3 тефры.

Извержение Ходуткинский "маар" произошло ~2800 14С л.н. (~900 лет до н.э.) у подножия вулкана Ходутка, когда образовались два кратера, более крупный из которых назван Ходуткинским "мааром" [20]. Пирокластические потоки этого извержения имели весьма скромные размеры, длина их не превышала 4 км, а общий объем отложений составил 0,04-0,05 км3. Ось пеплопада была направлена на юго-запад. Крупность тефры быстро убывала по мере удаления от центра извержения: на широте вулкана Желтовский это белый пепел с линзами серого вулканического песка, близ оз.Курильское и пос. Озерная - тонкий белый пепел. Такой же пепел мощностью 1 см обнаружен в г.Северо-Курильск на о-ве Парамушир. Тефра ХД - прекрасный маркирующий горизонт на юге Камчатки. От пеплов вулкана Ксудач ее отличает присутствие роговой обманки и более высокое содержание К2О. В результате извержения сформировались два эксплозивных кратера. Меньший, диаметром 0,6 км, остался в первичном виде. В большем, размером 0,9 км, в конце извержения вырос почти целиком заполнивший его эффузивно-экструзивный купол. Объем купола около 0,1 км3.

**Сильные и катастрофические извержения стратовулканов**

Чаще всего сильные и катастрофические извержения в голоцене происходили на двух вулканах - Авачинском, расположенном в 25-30 километрах от города Петропавловск-Камчатский, и Шивелуче - на севере полуострова, в 50 км от г.Ключи.

Вулкан Шивелуч - один из самых активных и продуктивных вулканов Камчатки [17]. В голоцене с ним было связано не менее 15 сильных извержений с объемом ювенильной пирокластики > 0,5 км3. Пеплы этих извержений покрывали большие площади в северной части полуострова, их мощность на территории г.Ключи достигает в разрезах 15 см.

Все крупнейшие извержения вулкана Шивелуч были плинианскими и поставляли материал преимущественно андезитового состава. С ними ассоциировались сильные пеплопады (бомбы и лапилли вблизи вулкана, грубый и тонкий пепел на удалении от него), пирокластические волны, а с некоторыми извержениями также пирокластические потоки. Не менее 10 извержений предварялись крупномасштабными разрушениями постройки вулкана [31,37]. Максимальная длина пирокластических потоков была 20 км, но генерированные ими лахары неоднократно доходили до р.Камчатка на юге и р.Еловка на западе, как, например, при извержении 1854 года, когда крупные камни, принесенные лахарами, взломали лед по обеим рекам [16]. До района современного г.Ключи обвалы, пирокластические потоки, пирокластические волны, лахары, связанные с извержениями вулкана Шивелуч, не доходили, однако здесь по меньшей мере пять раз за последние 2800 лет выпадали его пеплы с мощностью более 5-10 см, не говоря о более слабых пеплопадах, которые происходили значительно чаще.

Наиболее известно и хорошо изучено катастрофическое извержение Шивелуча 1964 года [3,13,16]. Извержение началось с разрушения постройки вулкана и образования гигантской обломочной лавины. Ее отложения объемом 1,5 км3 покрыли площадь около 100 км2 при мощности от нескольких метров до 50-60 м [13]. Затем начался массовый вынос ювенильной пирокластики. Высота эруптивной колонны составляла 10-15 км. Ось пеплопада была направлена на юго-восток, сильный пеплопад наблюдался в г.Усть-Камчатск, а тонкий пепел выпадал на Командорских островах. Пирокластические потоки достигали длины 18 км, общий объем их отложений 0,3-0,5 км3 [13]. Извержение было кратковременным и продолжалось не более часа. В результате образовался сдвоенный кратер размером 2,3х3,5 км.

Предыдущее сильное извержение, с которого начинается непрерывная летопись исторических извержений вулкана Шивелуч, произошло в 1854 году. Белая пемзовая тефра этого извержения плащом покрывает северные склоны вулкана, а пирокластические потоки и лахары обнаружены также на его южном и западном склонах [37]. Общий объем пирокластики близок к 1 км3.

В течение нашей эры помимо вышеуказанных исторически документированных извержений произошли еще четыре сильные извержения с выбросом не менее 1 км3 пемзовой андезитовой пирокластики - Ш1, Ш2, Ш3, Ш1450 (табл.1). Аналогичные сильные извержения имели место и ранее - Ш5 (~2550 14C л.н.), Ш2800 (~2800 14C л.н.), Шдв (~4100 14C л.н.). Пеплы всех перечисленных извержений слоем более 3 см (первоначальная мощность при отложении) отлагались на расстоянии не менее 200-300 км от вулкана.

В последние 2000 лет отмечается увеличение частоты крупных извержений. Так, извержения 1964 и 1854 года были разделены периодом ослабления активности длительностью всего 110 лет. Период относительного покоя между извержением 1854 г. и предшествовавшим ему Ш1 может быть оценен в 200 лет, а серия извержений в V-VI веках происходила с перерывами не более 50 лет.

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 11 |

С Авачинским вулканом в голоцене связано не менее семи крупных эксплозивных извержений с объемом пирокластики близким или превышающим 0,5 км3. Большинство из них приурочено к этапу активизации вулкана, когда на поверхность поставлялись продукты андезитового состава [4]. Все крупные извержения этого этапа были плинианскими. Для них были характрены сильные пеплопады, пирокластические волны, а для некоторых извержений также и пирокластические потоки. Для большинства извержений существенна фреатомагматическая составляющая, на что указывает присутствие отложений базисных пирокластических волн, плохая сортированность тефры, часто наличие аккреционных лапилли, сильное обогащение пирокластических отложений резургентным материалом. Высота эруптивных колонн во время извержений колебалась от 16-18 км до 21-28 км [4].Пирокластические потоки имели длину не более 17 км и не достигали местоположения современных населенных пунктов, однако связанные с ними лахары неоднократно пересекали территорию современного г.Елизово и находящегося здесь главного аэропорта Камчатки. Оси пеплопадов были чаще направлены на восток и северо-восток, реже - на северо-запад, в то время как южное подножие, где находятся сейчас гг.Петропавловск-Камчатский и Елизово, было подвержено пеплопадам в минимальной степени (рис.11). Вообще местоположение г.Петропавловск-Камчатский было выбрано крайне удачно: его не достигают пирокластические потоки и пирокластические волны, а возвышенность, на которой расположен город, обтекается лахарами.

Самое мощное (объем продуктов 8-10 км3) извержение Авачинского вулкана (IАв2) произошло 7150 14С л.н. (~6000 лет до н.э.). Оно открывает этап голоценовой активизации после более чем 2000-летнего периода покоя. Продукты извержения представлены тефрой. Ось пеплопада была направлена на северо-восток в сторону Командорских островов (рис.11), где мощность пепла в разрезах составляет 5-7 см.

В ходе извержений АВ4 и IАв16 происходило как выпадение тефры, так и формирование пирокластических потоков. Извержение АВ4 имело место ~5500 14С л.н. Пирокластические потоки прошли по долинам р.Желтуха и оврага Широкий на расстояние 15-16 км от вулкана, объем их отложений составил 0,2 км3. С пирокластическими потоками ассоциировались и пирокластические волны. Ось пеплопада извержения АВ4 была направлена на северо-восток. Пепел мощностью 0,5 см обнаружен в торфянике нижнего течения р.Камчатка на расстоянии 400 км от вулкана. В пределах Восточной вулканической зоны тефра извержения АВ4 и предшествовавшего ему извержения АВ5 (два желтых вулканических песка, разделенных маломощной почвой) являются прекрасными маркирующими горизонтами для средней части голоценового разреза. Их отличительные особенности - низкое содержание К2О и отсутствие роговой обманки.

Извержение IАв16 произошло ~5000 14С л.н. Во время извержения формировались мощные и протяженные пирокластические потоки, которые прошли по всем главным долинам южного подножия вулкана - Сухой Елизовской, Сухой Халактырской и Желтухи, где их отложения выделяются своей желто-охристой окраской и содержат многочисленные угли. Длина потоков составила 16-17 км, объем отложений 0,3 км3. С пирокластическими потоками были парагенетически связаны пирокластические волны. Ось пеплопада во время извержения была направлена на ВЮВ в сторону устья р.Налачева. Значительная часть пепла выпала над акваторией океана.

Продукты извержений АВ3 (~4500 14С л.н.) и АВ 2 (~4000 14С л.н.) представлены только тефрой. Ось пеплопада извержения АВ3 была направлена на восток. Пепел этого извержения мощностью 0,5 см отмечен в торфянике на Командорских островах. Тефра извержения АВ2 распространялась к западу от вулкана, где она является хорошим маркирующим горизонтом. Характерная особенность этой тефры - присутствие многочисленных ксенолитов ультрабазитов и, наряду с пемзой, шлаков основного состава.

Сильнейшее извержение начала следующего ("андезито-базальтового") этапа произошло около 3500 14С л.н., когда в вершинном кратере начал расти Молодой конус. Объем пирокластики составил ~4 км3, пирокластические потоки и пирокластические волны распространялись на расстояние 12-15 км. Главная ось пеплопада была направлена на северо-северо-восток, пепел прослежен в разрезах на протяжении 300 км от источника; он присутствует также в торфянике Командорских островов (мощность 0,5 см). Пепел АВ1 с характерным андезитобазальтовым составом является прекрасным маркирантом для Восточной вулканической зоны Камчатки [33]. Рассматриваемое извержение открыло новый этап в жизни вулкана - андезитовые пемзовые продукты его предшествующей голоценовой истории сменились темными шлаками андезитобазальтового состава. В дальнейшем Молодой конус давал частые (с интервалом от нескольких лет до десятков, реже сотен, лет) извержения, наиболее сильным из которых в историческое время было извержение 1945 г. Во время этого извержения менее чем за 7 часов было выброшено около 0,3 км3 шлаков, которые явились прекрасным подарком городу как замечательный строительный материал.

Извержение вулкана Безымянный 1955-56 гг. - одно из самых сильных и интересных извержений ХХ века [1,2,13,15 и др.]. Именно на примере этого извержения Г.С.Горшковым впервые в вулканологической науке было введено понятие "направленный взрыв" [15]. В процессе извержения произошло разрушение вершинной части вулкана с образованием обломочной лавины и катастрофический направленный взрыв, отложения которых покрыли площадь ~500 км2. На этой территории вся растительность погибла - многие деревья были сломаны и повалены, у оставшихся стоять содрана кора. Над вулканом на высоту 30-40 км поднялось эруптивное облако, а связанный с ним пеплопад прошел полосой шириной 50 км в направлении на северо-восток. Были сформированы обширные пирокластические потоки, которые, в свою очередь, вызвали мощные и протяженные грязевые потоки. Кульминационная стадия извержения продолжалась около часа. Общий объем ювенильной пирокластики превысил 1 км3, а общий объем изверженного и перемещенного материала составил 2,6-2,8 км3 [13]. В результате извержения высота вулкана уменьшилась на 200 м, а на его вершине появился кратер размером 1,5х2,8 км. Позднее в кратере начал расти экструзивный купол Новый, и наблюдения за ним в течение 40 лет позволяют нам полагать, что это не столько купол, сколько новый стратовулкан, формирующийся на наших глазах.

С вулканом Кизимен связано одно из крупнейших голоценовых извержений (КЗ), общий объем пирокластики которого составил 4-5 км3. [26]. Ось пеплопада извержения КЗ была направлена на восток (рис.11), так что значительная часть пепла выпадала над акваторией океана. Севернее вулкана Кизимен эта тефра отмечена в разрезах г.Ключи, а южнее - в торфянике района вулканического массива Большой Семячик. Она является прекрасным маркирующим горизонтом для района Ключевской группы вулканов и Восточной вулканической зоны [33]. От стратиграфически близкого пепла в.Хангар (ХГ) пепел КЗ отличается отсутствием биотита. Во время извержения формировались также обширные пирокластические потоки, объем отложений которых был 1,5-2 км3.

Два сильных эксплозивных голоценовых извержения связаны с конусом Штюбеля - стратовулканом, который возник в последней кальдере Ксудача ~1700 л.н. Извержения произошли в X веке н.э. (КШт1) и в 1907 г. (КШт3) [23]. Для них характерна лишь тефра объемом, соответственно, ~1 км3 и 1,5-2 км3. Высота эруптивной колонны для извержения КШ3 составила >15 км, а для извержения 1907 г. >22 км [35]. Вблизи конуса Штюбеля горизонты тефры обоих извержений имеют двучленное строение: нижняя часть представлена черными андезитобазальтовыми лапилли и бомбами шлака, верхняя - светлыми пемзовыми лапилли и бомбами. Ось пеплопада извержения 1907 г. была направлена преимущественно на северо-восток и выпадение пепла наблюдалось в 90o секторе от г.Охотск до п.Оссора. Пепел этого извержения служит прекрасным маркирующим горизонтом к северу от вулкана Ксудач вплоть до широты Авачинского вулкана. Тефра извержения КШ1 (~109014C л.н.) распространялась в направлении на юго-восток и хорошо диагностируется благодаря двучленному строению: темно-серый грубый пепел в основании и более мощный грубый желтый пепел в верхней части слоя. Отличительная особенность тефры конуса Штюбеля - низкое содержание К2О и отсутствие роговой обманки.

С извержением Ильинского вулкана, которое произошло ~4600 14С л.н. (~3360 лет до н.э.) связана тефра, представленная крупными пемзовыми бомбами и лапилли. Ранее [10,23] эта тефра относилась нами к вулкану Желтовский и поэтому получила индекс ЖЛТ. Однако, как отмечалось в работе [33], последующие исследования показали, что эти отложения скорее всего принадлежат вулкану Ильинский. Однако пока мы сохраняем первоначальный индекс ЖЛТ до окончательного решения вопроса о принадлежности этой тефры. Ось пеплопада прошла в северо-восточном направлении. Общий объем отложений 1,2-1,4 км3. Горизонт ЖЛТ служит важным маркирантом для Южной Камчатки в районе Курильского озера и Желтовского вулкана.

Извержение из кратера оз.Чаша вызывает особый интерес как пример крупного эксплозивного извержения с продуктами кислого состава среди поля ареального базальтового вулканизма Толмачева дола [18]. Тефра этого извержения по составу риолитовая, ее общий объем около 1 км3. Ось пеплопада была направлена на северо-восток. Ранее эта тефра (ОПтр) связывалась с вулканом Опала [33], однако дальнейшие исследования показали, что она принадлежит извержению из кратера оз.Чаша [18]. Пепел ОПтр является прекрасным маркирантом для района Мутновского и Горелого вулканов и далее к северу до широты Авачинской группы вулканов. Он легко идентифицируется по высокому содержанию К2О и присутствию биотита.

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 12 |

Датированные прослои тефры крупнейших эксплозивных извержений являются прекрасными маркерами и создают достаточно детальную стратиграфическую шкалу для голоценовых отложений Камчатки. Такие прослои можно использовать для датирования и корреляции различных вулканических (рис.12) и невулканических форм рельефа и отложений. Датирование вулканических образований (лавовых и пирокластических потоков, шлаковых конусов и др.) и вулканических отложений путем изучения перекрывающих их разрезов тефры в сочетании с радиоуглеродным датированием позволило нам определить возраст большинства действующих вулканов Камчатки [10,32] и реконструировать эруптивную историю вулканов Безымянный [8], Кизимен [26], Крашенинникова [28], Кихпиныч [12], Малый Семячик [5], Карымский [7], Авачинский [4], Ксудач [23], Мутновский [21], Горелый [30], Дикий гребень [36]. Маркирующие прослои тефры были использованы также для датирования речных и морских террас, обвалов, лахаров, цунами, разломов [21,25,27], голоценовых подвижек ледников [29,38] и первобытных стоянок [6,21].

Учитывая объемы выброшенного пирокластического материала и высоты эруптивных колонн, можно полагать, что крупнейшие голоценовые извержения вулканов Камчатки должны были оказать влияние на климат и состояние озонового слоя Земли и найти отражение в виде кислотных пиков в Гренландском ледниковом щите. Создание календаря таких извержений позволило нам предположить, какие из установленных пиков Гренландского щита могут быть связаны с камчатскими извержениями [11].

Интересно отметить, что в сравнительно коротком интервале 7500-7900 14С л.н. в Курило-Камчатской области отмечается мощная вспышка вулканической активности [11,22]. В это время почти субодновременно произошло несколько крупнейших эксплозивных извержений, связанных с формированием кальдер Курильское озеро-Ильинская, Карымская и Тао-Русыр (последняя на Курильских островах) [10,32], имели место мощные извержения вулканов Кизимен (КЗ) и Авачинский (IАв2). В это же время произошла сближенная во времени серия извержений на вулкане Шивелуч с общим объемом продуктов 2-3 км3 [22]. Несколько позднее (6900 14С) имело место мощное извержение вулкана Хангар. В работе [40] обращается внимание на вклад крупнейших извержений начала голоцена в похолодание климата этого времени. Можно полагать, что указанные камчатские извержения составили существенную часть этого вклада.

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

**Список литературы**

1. Белоусов А.Б., Белоусова М.Г. Отложения и последовательность событий извержения вулкана Безымянный 30 марта 1956 г. (Камчатка): отложения обломочной лавины // Вулканология и сейсмология. 1998. N 1. С. 25-40.

2. Белоусов А.Б., Белоусова М.Г. Отложения и последовательность событий извержения вулкана Безымянный 30 марта 1956 г. (Камчатка): отложения направленного взрыва // Вулканология и сейсмология. 2000. N 2. С. 3-17.

3. Белоусов А.Б., Белоусова М.Г. Извержение вулкана Шивелуч в 1964 г. (Камчатка) - плинианское извержение, предварявшееся крупномасштабным обрушением постройки // Вулканология и сейсмология. 1995. N 4-5. С. 116-126.

4. Брайцева О.А., Базанова Л.И., Мелекесцев И.В., Сулержицкий Л.Д. Крупнейшие голоценовые извержения вулкана Авачинский на Камчатке (этап 7250-3700 14С лет назад) // Вулканология и сейсмология. 1998. N 1. С. 3-24.

5. Брайцева О.А., Егорова И.А., Сулержицкий Л.Д., Несмачный И.А. Вулкан Малый Семячик // Вулканический центр: строение, динамика, вещество (Карымская структура). Москва.: Наука, 1980. С. 199-235.

6. Брайцева О.А., Литасова С.Н., Пономаренко А.К. Применение тефрохронологических методов для датирования опорной стоянки на Восточной Камчатке // Вулканология и сейсмология. 1983. N 5. С. 18-25 .

7. Брайцева О.А., Мелекесцев И.В. Вулкан Карымский: история формирования, динамика активности и долгосрочный прогноз // Вулканология и сейсмология. 1989. N 2. С.14-31.

8. Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Богоявленская Г.Е., Максимов А.П. Вулкан Безымянный: история формирования и динамика активности // Вулканология и сейсмология. 1990. N 2. С. 3-32.

9. Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Пономарева В.В., Кирьянов В.Ю. Последнее кальдерообразующее извержение на Камчатке (вулкан Ксудач) 1700-1800 14С лет назад // Вулканология и сейсмология. 1995. N 2. С. 30-50.

10. Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Пономарева В.В., Сулержицкий Л.Д., Литасова С.Н. Возраст действующих вулканов Курило-Камчатского региона // Вулканология и сейсмология. 1994. N 4-5. С. 5-32.

11. Брайцева О.А., Сулержицкий Л.Д., Пономарева В.В., Мелекесцев И.В. Геохронология крупнейших эксплозивных извержений Камчатки в голоцене и их отражение в Гренландском ледниковом щите // Доклады РАН. 1997. Т. 352. N 4. С. 516-518.

12. Брайцева О.А., Флоренский И.В., Пономарева В.В., Литасова С.Н. История активности вулкана Кихпиныч в голоцене // Вулканология и сейсмология. 1985. N 6. С. 3-19.

13. Богоявленская Г.Е., Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Кирьянов В.Ю., Миллер Д.С. Катастрофические извержения типа направленного взрыва на вулканах Сент-Хеленс, Безымянный и Шивелуч // Вулканология и сейсмология. 1985. N 2. С. 3-29.

14. Волынец О.Н., Пономарева В.В., Бабанский А.Д. Магнезиальные базальты андезитового вулкана Шивелуч, Камчатка. Петрология. 1997. Т. 5. N 2. С. 206-221.

15. Горшков Г.С., Богоявленская Г.Е. Вулкан Безымянный и особенности его последнего извержения. М.: Наука, 1965. 171 с.

16. Горшков Г.С., Дубик Ю.М. Направленный взрыв на вулкане Шивелуч // Вулканы и извержения. М.: Наука, 1969. С. 3-37.

17. Действующие вулканы Камчатки (отв. ред. Федотов С.А., Масуренков Ю.П.). М.: Наука, 1991. Т. 1. 302 с. Т. 2. 415 с.

18. Дирксен О.В., Пономарева В.В. Маар Чаша - источник большеобъемной риолитовой тефры ОПтр // Тезисы докладов Международной конференции по вопросам сейсмологии, вулканологии и процессам субдукции Камчатско-Алеутского региона : "Современный вулканизм Курило-Камчатской и Алеутско-Аляскинской островных дуг" . Петропавловск-Камчатский, Россия, 1-9 июля 1998 г. С. 18.

19. Кирьянов В.Ю., Егорова И.А., Литасова С.Н. Вулканические пеплы на о.Беринга (Командорские острова) от голоценовых извержений Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1986. N 6. C. 18-28.

20. Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Базанова Л.И., Пономарева В.В., Сулержицкий Л.Д. Особый тип катастрофических эксплозивных извержений - голоценовые субкальдерные извержения Хангар, Ходуткинский "маар", Бараний Амфитеатр (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 1996. N 2. С. 3-24.

21. 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. N 3. С. 3-18.

22. Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Пономарева В.В., Сулержицкий Л.Д. "Век" вулканических катастроф в раннем голоцене Курило-Камчатской области // Глобальные изменения природной среды. Новосибирск, 1998. С. 146-153.

23. Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Пономарева В.В., Сулержицкий Л.Д. Катастрофические кальдерообразующие извержения вулкана Ксудач в голоцене // Вулканология и сейсмология. 1995. N 4-5. С. 28-53.

24. Мелекесцев И.В., Кирьянов В.Ю., Фелицин С.Б. Извержение вулкана Опала около 500 г. - крупнейшее эксплозивное извержение нашей эры на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 1991. N 1. С. 21-34.

25. Мелекесцев И.В., Курбатов А.В., Певзнер М.М., Сулержицкий Л.Д. "Доисторические" цунами и сильные землетрясения на полуострове Камчатском (Камчатка) по данным тефрохронологических исследований // Вулканология и сейсмология. 1994. N 4-5. С. 5-32.

26. Мелекесцев И.В., Пономарева В.В., Волынец О.Н. Вулкан Кизимен (Камчатка) - будущий Сент-Хеленс // Вулканология и сейсмология. 1992. N 4. С. 3-32.

27. Пинегина Т.Л., Базанова Л.И., Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Сторчеус А.В., Гусяков В.К. Доисторические цунами на побережье Кроноцкого залива, Камчатка, Россия (предварительное сообщение) // Вулканология и сейсмология. 2000. N 2. С. 66-75.

28. Пономарева В.В. Вулкан Крашенинникова: история формирования и динамика активности // Вулканология и сейсмология. 1987. N 5. С. 28-44.

29. Савоскул О.С. Применение лихенометрии и тефрохронологии для датирования голоценовых ледниковых отложений Камчатки // Вулканология и сейсмология. 2000. N 5. С. 45-55.

30. Селянгин О.Б., Пономарева В.В. Строение и развитие Гореловского вулканического центра, Южная Камчатка // Вулканология и сейсмология. 1999. N 2. С. 3-24.

31. Belousov A.B., Belousova M.G., Voight B. Multiple edifice failures, debris avalanches and associated eruptions in the Holocene history of Shiveluch volcano, Kamchatka, Russia. Bulletin of Volcanology. 1999. V. 61. P. 324-342.

32. Braitseva O.A., Melekestsev I.V., Ponomareva V.V., Sulerzhitsky L.D. The ages of calderas, large explosive craters and active volcanoes in the Kuril-Kamchatka region, Russia // Bulletin of volcanology. 1995. V. 57/6. P. 383-402.

33. Braitseva O.A., Ponomareva V.V., Sulerzhitsky L.D., Melekestsev I.V., Bailey J. Holocene key-marker tephra layers in Kamchatka, Russia // Quaternary Research. 1997. V. 47 (2). P.125-139.

34. Braitseva O.A., Sulerzhitsky L.D., Litasova S.N., Melekestsev, I.V., Ponomareva V.V. Radiocarbon dating and tephrochronology in Kamchatka. Radiocarbon. 1993. 35/3. P. 463-476.

35. Bursik K.M., Melekestsev I.V., Braitseva O.A. Most recent deposits of Ksudach volcano, Kamchatka, Russia // Geophysical Research Letters. 1993. V. 20. P. 1815-1818.

36. Ponomareva V.V., Dirksen O.V., Sulerzhitsky L.D. Eruptive history of Dikiy Greben volcano - the largest Holocene extrusive edifice in Kamchatka, Russia // Abstracts of the Internatinal Workshop on Volcanoes Commemorating the 50-th Anniversary of Mt. Showa-Shinzan . 1995. P. 159.

37. Ponomareva V.V., Pevzner M.M., Melekestsev I.V. Large debris avalanches and associated eruptions in the Holocene eruptive history of Shiveluch volcano, Kamchatka, Russia // Bulletin of Volcanology. 1998. V. 59. N 7. P. 490-505.

38. Solomina O.N., Muravyev Ya.D., Bazanova L.I. Little Ice Age glaciers in Kamchatka // Annales of Glaciology. 1995. 21. P. 240-244.

39. Volynets, O.N. Geochemical types, petrology and genesis of Late Cenozoic volcanic rocks from the Kurile-Kamchatka island-arc system, International Geological Review. 1994. 36/4. P. 373-405.

40. Zielinski G.A., Mayewski P.A., Meeker L.D., Whitlow S., Twickler M.S., Morrison M., Meese D.A., Gow A.J., Alley R.B. Record of volcanism since 7000 B.C. from the GISP2 Greenland ice core and implications for the volcano-climate system. Science. 1994. V. 264. P. 948-952.