

ПОНОМАРЕВА В. В.**ВУЛКАН КРАШЕНИННИКОВА: ИСТОРИЯ ФОРМИРОВАНИЯ
И ДИНАМИКА АКТИВНОСТИ**

Исследования вулкана Крашенинникова — одно из звеньев ведущихся в настоящее время региональных работ по изучению голоценового вулканизма Камчатки [2—4, 8 и др.]. Все эти работы проводятся по единой методике [6], включающей: 1) детальное геологическое картирование с дешифрированием крупномасштабных аэрофотоснимков и составление схемы вулканических образований района; 2) тефрохронологические исследования — изучение разрезов почвенно-пирокластического чехла подножия вулкана и составление сводного разреза его тефры, а затем датирование лавовых и/или пирокластических потоков путем увязки перекрывающих их почвенно-пирокластических чехлов со сводным разрезом; 3) радиоуглеродное датирование погребенных почв и органических остатков в тефре; 4) составление общей стратиграфической колонки, которая включает все эксплозивные и эффузивные продукты вулкана и является основой для восстановления режима его активности. В процессе работ проводится детальный отбор образцов лав и тефры вулкана, что позволяет проследить эволюцию вещественного состава его пород.

Вулкан Крашенинникова расположен в кальдере, приуроченной к региональной ослабленной зоне северо-восточного простирания, к которой тяготеют все четвертичные кальдеры Восточного вулканического пояса [16]. К северу и югу от кальдеры эта зона трассируется цепочками шла-ковых конусов. Кальдера наложена на сложный вулканический узел, образованный постройками разного возраста и состава. Пемзы кальдерообразующих извержений перекрывают более древние вулканиды чехлом мощностью до 50 м. Современный диаметр кальдеры около 9 км, уступ ее борта хорошо выражен в северной и западной своей части, достигая высоты 400 м. Восточный — юго-восточный борт кальдеры почти повсеместно перекрыт молодыми вулканидами.

Расположенный в кальдере, в. Крашенинникова образован двумя слившимися конусами; ось постройки вытянута в северо-восточном направлении в соответствии с общим простиранием региональной ослабленной зоны. Южный конус выше Северного: его абсолютная высота 1857 м, относительная — около 850 м (Северного соответственно 1760 и 760 м). Южный конус увенчан провальным кратером диаметром 800 м, глубиной около 140 м. Внешние склоны конуса нарушены обвальными цирками, у юго-западного его подножия расположено несколько шлаковых конусов. Более молодой Северный конус имеет сложное телескопическое строение: его вершина срезана кальдерой обрушения диаметром около 2 км, в ней расположен Северный средний конус, во взрывном кратере которого находится лавовый конус Паук (см. рис. 1). Побочные прорывы Северного конуса располагаются как на его склонах, так и в южной части кальдеры. Исторических сведений об извержениях вулкана нет, но он отнесен к действующим (потенциально действующим) вследствие наличия свежих лавовых потоков [9, И] и слабой фумарольной деятельности [17].

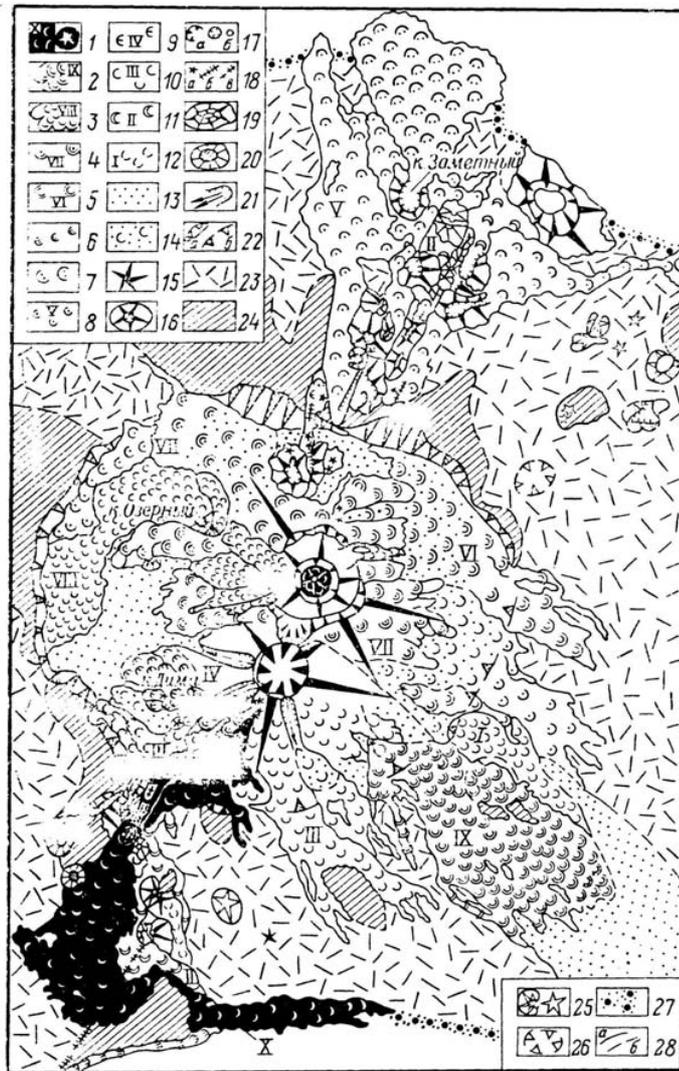


Рис. 1. Схема вулканических образований района в Крашенинникова. Лавовые потоки времени формирования Северного среднего конуса (цикл СС): 1 — андезитовые — дацитовые потоки Южный и Молодой и лавовый конус Паук (400—600 л. н.); 2 — базальтовый поток Юго-Восточный (~1200 л. н.); 3 — андезитовые — дацитовые потоки р. Озерный и Северного среднего конуса (1300 л. н.). Лавовые потоки времени формирования Северного внешнего конуса (цикл СВ): 4 — андезитовые — дацитовые потоки (2600 л. н.); 5 — андезитовые потоки (~3000 л. н.); 6 — андезитовый поток с. Дуга (~3300 л. н.); 7 — андезитобазальтовый поток к. Заметный (~3300 л. н.); 8 — базальтовые — андезитобазальтовые потоки Северного внешнего конуса и северной зоны шлаковых конусов (7100—5400 л. н.). Лавовые потоки времени формирования Южного конуса (цикл ЮК): 9 — базальтовые потоки к. Дима (~7800 ^{14}C л. н.); 10 — андезитовые — дацитовые потоки (~7900—8000 ^{14}C л. н.); 11 — базальтовые — андезитобазальтовые потоки Южного конуса (начало этапа ЮК II) и северной зоны шлаковых конусов (8500—8000 ^{14}C л. н.); 12 — андезитовые потоки (~9200 ^{14}C л. н.), 13 — вулканогенно-пролювиальные, обвальнo-осыпные и эоловые отложения; 14 — лавовые потоки, перекрытые вулканогенно-пролювиальными, обвальнo-осыпными и эоловыми отложениями; 15 — конусы стратовулканов; 16 — голоценовые шлаковые конусы; 17 — кратеры: а — вулканов, б — шлаковых конусов; 18 — бокки (а) и цепочки воронок, не выраженные в масштабе (б, в); 19 — голоценовый маар; 20 — конусы типа тьюя; 21 — стенки обвальнo-осыпных цирков; 22 — уступ кальдеры: а — хорошо выраженный в рельефе, б — перекрытый молодыми вулканитами; 23 — пемзы кальдерообразующих извержений (Q_3^3); 24 — породы докальдерной постройки (Q_1-Q_3); 25 — верхнеплейстоценовые шлаковые конусы; 26 — верхнеплейстоценовые маары; 27 — аллювиальные и озерные отложения; 28 — границы: а — установленные, б — предполагаемые. I—X — возрастные комплексы лавовых потоков

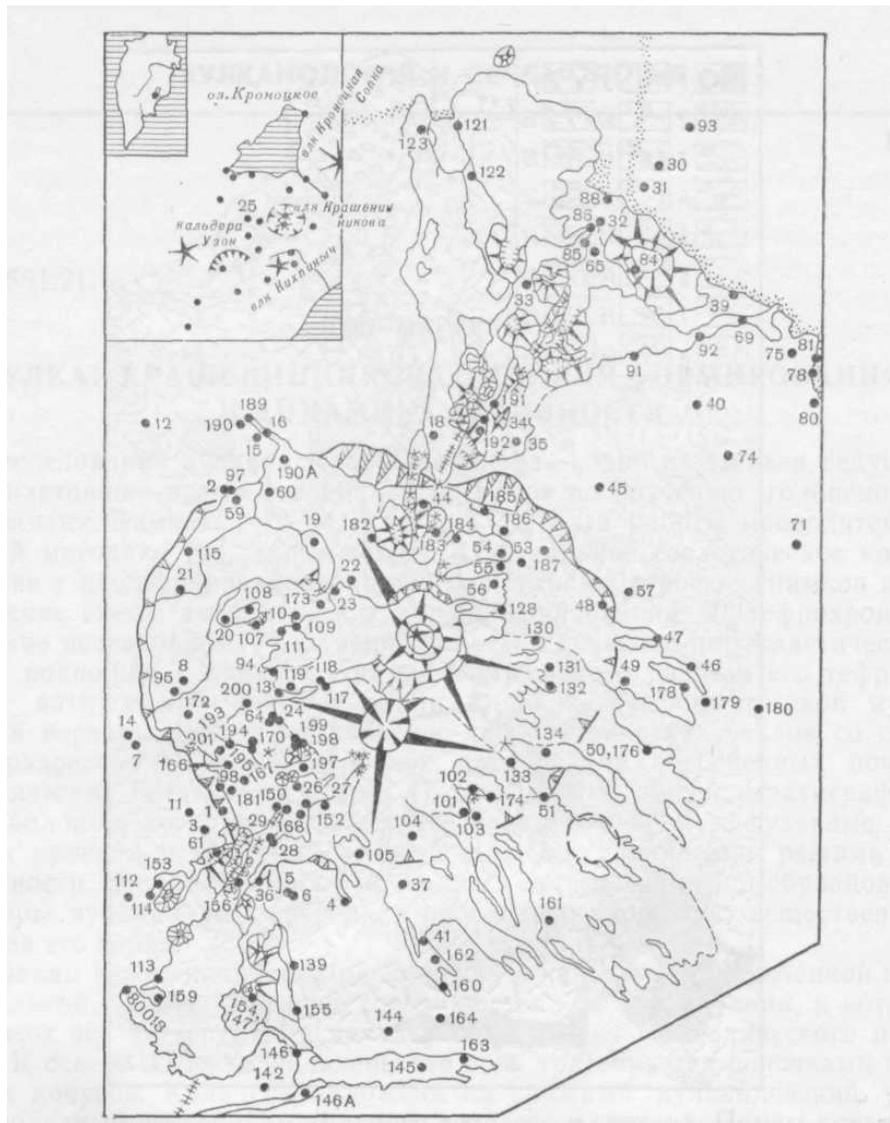


Рис. 2. Схема местоположения разрезов тефры и точек отбора образцов лавы. Истинные номера точек образуются путем прибавления к показанным на схеме числа 600, т. е. т. 11 = т. 611, т. 105 = т. 705 и т. д. На врезке показаны точки, где изучалась тефра дальнего разноса

В районе работ было изучено 40 полных (залегающих на морене) и более 60 частных (на лавах и пролювии) разрезов почвенно-пирокластического чехла. Разрезы брались как у подножия вулкана, так и на территории от Кроноцкого озера до Большого Семячика (рис. 2), что дало возможность изучить пеплы по простиранию. Степень сохранности почвенно-пирокластического чехла в районе довольно хорошая, мощность его по борту кальдеры достигает 6 м, он отвечает, как правило, последним 9000 лет. Более древние чехлы (9—11 тыс. лет) сохранились лишь в отдельных местах вследствие плохих условий захоронения в конце второй фазы позднеплейстоценового оледенения. Лучшие чехлы, отвечающие всему голоцену и сохранившие наиболее полный набор пеплов в Крашенинникова, описаны в т. 625, 602, 790, 691, 780, 759, а также по долине р. Светлая (см. рис. 2).

Плохо сохранился почвенно-пирокластический чехол лишь в юго-восточном районе подножия вулкана: в узком секторе его вообще нет, здесь широко развиты эоловые процессы. Материал, выносимый ветром

и водными потоками, начинает отлагаться в 5 км от борта кальдеры, где отмечены поля эоловых песков (см. рис. 1). В западном и северном направлениях от этого сектора появляются прекрасно выраженные чехлы, но они отвечают лишь последним 2000 лет, хотя залегают на пемзе или докальдерных лавах. Видимо, в связи с последним похолоданием (около 2000 лет назад (л.н.)) [12] почвенно-пирокластические чехлы в юго-восточном, пониженном секторе были уничтожены, причем плохие условия захоронения до сих пор сохранились на части территории.

Тефра в. Крашенинникова представляет собой преимущественно ювенильные темно-серые шлаки различной крупности, пористости и состава. Они образуют горизонты трех типов: 1) отдельные четкие прослой, каждый из которых отвечает сильному и короткому извержению, иногда одному выбросу; 2) стратифицированные пачки шлаков различной крупности, которые отвечают продолжительным (месяцы, годы) извержениям или серии сближенных во времени извержений; 3) пачки дробно стратифицированных вулканических песков, свидетельствующие о продолжительных (десятки и сотни лет) периодах вулканической активности, во время которых происходят частые слабые извержения. Более всего для в. Крашенинникова характерны прослой тефры второго типа, реже отмечается тефра первого типа, а пеплы третьего типа встречены в разрезе лишь один раз и отвечают времени формирования Северного среднего конуса. Для в. Крашенинникова сильными мы будем называть эксплозивные извержения, поставляющие более 0,1 км³ тефры¹, умеренными — извержения, поставляющие 0,01—0,1 км³, слабыми — менее 0,01 км³ тефры.

Кроме пеплов в. Крашенинникова в чехлах района присутствует тефра четырех крупных извержений в. Кихпинич, а в южной части района тефра умеренных и слабых его извержений [8]. Это темно-серые, очень плотные базальтовые шлаки размерности от лапилли до мелкозернистого песка. В современной почве на юго-востоке района отмечается маломощный (1—2 см) прослой легкого сыпучего темно-серого шлака размерности мелко- и среднезернистого песка, связанного с мощным извержением в. Малый Семячик 500—600 л.н. [2]. Периодам покоя или ослабления вулканической активности в почвенно-пирокластическом чехле отвечают эоловые супеси и почвы.

На общем темно-сером фоне хорошо выделяются светлые (палевые, белые, желтые) транзитные пеплы крупнейших эксплозивных извержений Камчатки. Это пеплы вулканов Шивелуч, Опала, Хангар, Кизимен, кальдеры Карымская и др., прослеженные от вулканических источников через рассматриваемый район и датированные радиоуглеродным методом [5, 7]. Эти маркирующие прослой были использованы как возрастные реперы при расчленении вулканических конусов района. Кроме того, для в. Крашенинникова был получен еще ряд¹⁴ С дат и использованы материалы датирования для в. Кихпинич [8].

На лавовых потоках в. Крашенинникова и зон шлаковых конусов шурфами был вскрыт перекрывающий их чехол и выяснено, под каким именно горизонтом пепла залегают тот или иной поток. Таким образом, были выявлены возрастные комплексы лавовых потоков и составлена общая стратиграфическая колонка, включающая эксплозивные и эффузивные продукты вулкана. Эта колонка (рис. 3) явилась основой для восстановления режима его активности.

История формирования вулкана Крашенинникова

Докальдерная постройка представляла собой сложный вулканический узел, образованный разновозрастными ($Q_4—Q_3$) и различными по составу пород аппаратами. Массовый выброс пемз (объемом около

¹ Приводимые объем тефры не включают пирокластику, отложившуюся на конусе вулкана.

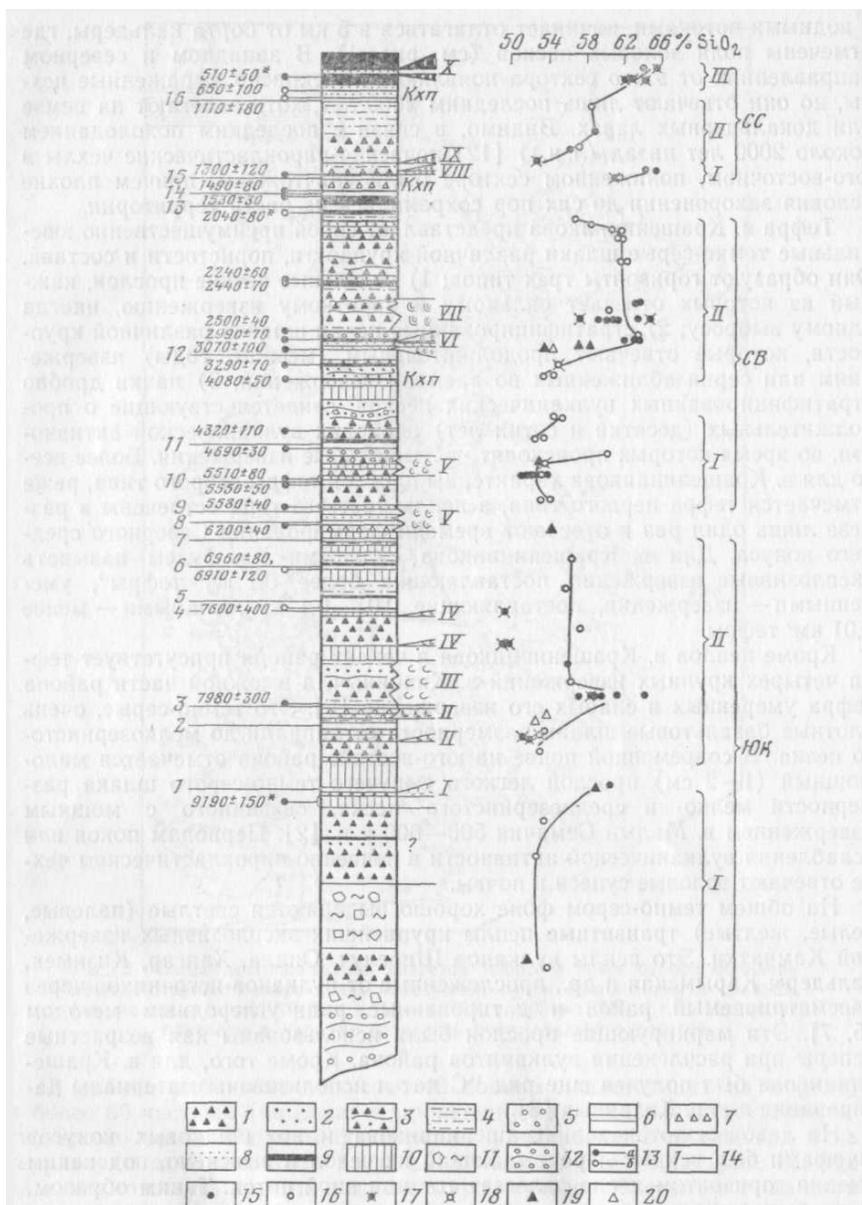


Рис. 3. Сводный разрез вулканитов в. Кашенинникова и зон шлаковых конусов. Тефра в. Крашенинникова: 1—гравий и лапилли шлака; 2— вулканические пески; 3— гравий и лапилли шлака и вулканические пески стратифицированные; 4 — вулканические пески дробностратифицированные; 5 — гравий и лапилли пемзы. Тефра других вулканов: 6 — транзитные пеплы; 7 — вулканический гравий шлака в. Кихпинич и зон шлаковых конусов; 8 — вулканические пески в Кихпинич, Малый Семячик и зон шлаковых конусов. Прочее: 9 — почва; 10— супесь; 11 — морена; 12 — пемзы кальдерообразующих извержений; 13 — радиоуглеродные даты: а — по почвам, б — по углям и древесине; 14 — номера транзитных пеплов: 1, 2, 5—8, 12, 14, 15 — тонкие белые, желтые, светло-серые пеплы (5 — в. Кизимен, 6 — в. Хангар, 14 — в. Опала, 15 — в. Шивелуч); остальные — белые, желтые, серые мелкозернистые вулканические пески. Фигуративные точки: 15 — лав в. Крашенинникова; 16 — тефры в. Крашенинникова; 17 — лав

побочных внутрикальдерных прорывов; 18 — тефры побочных внутрикальдерных прорывов; 19 — лав зон шлаковых конусов; 20 — тефры зон шлаковых конусов. I—X — возрастные комплексы лавовых потоков. Кхп — индекс тефры в. Кихшшыч. Справа — циклы и этапы формирования в. Крашенинникова (см. в тексте). ¹⁴C даты, помеченные звездочкой, получены под маркирующими горизонтами пеплов в удаленных районах и перенесены на разрез в. Крашенинникова (корреляция пеплов проведена непосредственным прослеживанием их по простирацию и подтверждена изучением их вещественного состава [5, 7]). Содержание SiO₂ показано в пересчете на безводный остаток. Суммарная мощность почвенно-пирокластического чехла разреза около 7 м, что отвечает разрезам по борту кальдеры

50 км³, включая тефру дальнего разноса,² по оценке И. В. Мелекесцева) и обрушение кальдеры произошли несколько позднее 39 тыс. л. н. [15]. Затем после длительного периода покоя, вероятнее всего около 11 тыс. л.н., т. е. еще до таяния ледников II фазы позднеплейстоценового оледенения, как в пределах кальдеры, так и на юго-западных склонах докальдерной постройки возобновился вулканизм. Об этом свидетельствует мощная пачка шлаков внутри моренных отложений (т. 647), а также конусы типа тюйя в южной зоне шлаковых конусов. Кальдера в это время, по-видимому, представляла собой ледоём. Моренные отложения незначительной мощности (первые метры) распространены по всей периферии докальдерной постройки, а в северо-западном секторе даже образуют поля холмисто-котловинного рельефа.

Первым начал формироваться *Южный конус* вулкана. Шлаки начального этапа его деятельности залегают внутри моренных отложений и сразу на них (см. рис. 3). В это же время формируется ряд конусов типа тюйя в южной зоне шлаковых конусов. По составу вулканиты начального этапа деятельности вулкана отвечают базальтам — андезито-базальтам и представляют собой пористые шлаки темно-серого цвета. Лав этих извержений не обнаружено, по-видимому, они перекрыты более молодыми образованиями.

К концу этого этапа (ЮК I) приурочены эффузивные извержения как в пределах кальдеры, так и в южной, а возможно, и в северной зонах шлаковых конусов, поставившие материал состава двупироксеновых андезитов (потоки комплекса I, см. рис. 1). В зоне это уже послеледниковые образования, но своеобразный лавовый поток, вытекающий из кальдеры на восток, возможно, изливался еще на поверхность ледника и сейчас представляет собой нагромождение крупных (первые метры), абсолютно не обработанных однородных обломков без заполнителя, которые на аэрофотоснимке однозначно «читаются» как лавовый поток. По времени формирования и по составу эти лавы близки к андезитам маара оз. Дальнее в кальдере Узон [10]. Объем пород, извергнутых в течение этапа ЮК I, определить невозможно, так как они большей частью перекрыты молодыми вулканитами.

Около 9200—9500 л.н. в деятельности вулкана наступает перерыв или, во всяком случае, период значительного ослабления активности, и на шлаках первого этапа его деятельности формируется супесь, содержащая слой транзитного пепла I (см. рис. 3). Длительность периода покоя составляла около 700—1000 лет.

Новая вспышка вулканической активности началась около 8500 л. н. (начало этапа ЮК II). В это время продолжал формироваться Южный конус вулкана, а также произошли извержения в северной зоне шлаковых конусов. Эксплозивные извержения Южного конуса были более слабыми, чем во время этапа ЮК I: лава изливалась не только из вер-

² Для событий в интервале 39—6,5 тыс. л. н. приводится радиоуглеродный возраст, рассчитанный по константе 5568 лет; для событий в интервале 6500 л. н.— настоящее время приводится абсолютный возраст (¹⁴C возраст с поправкой на изменения концентрации радиоуглерода в атмосфере [1]), а в скобках — радиоуглеродный возраст.

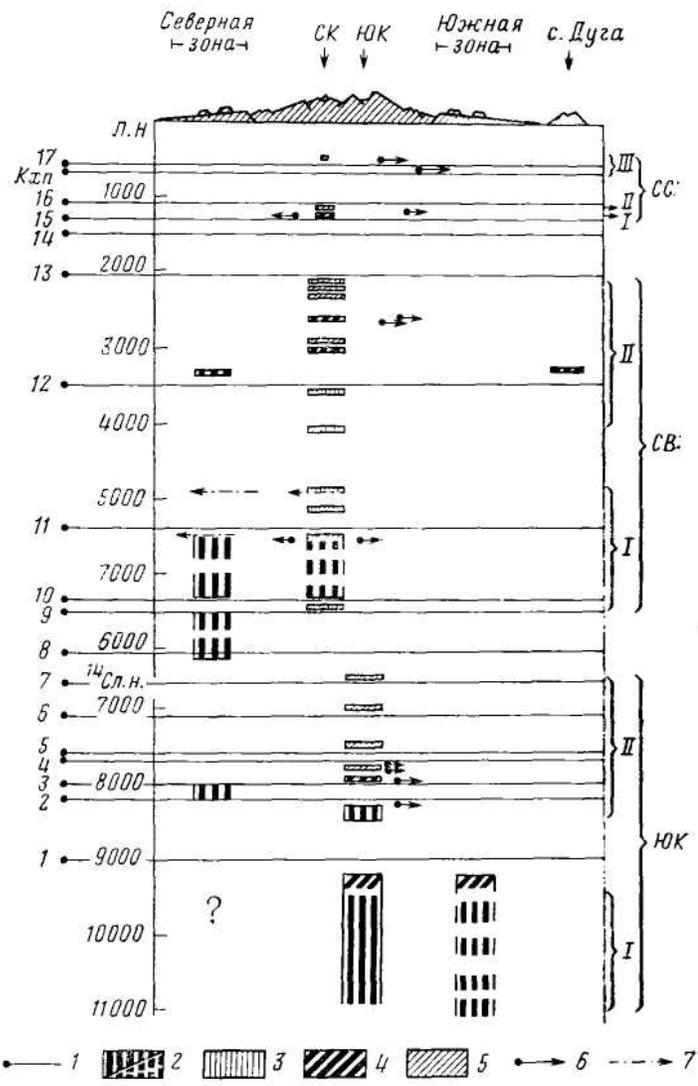


Рис. 4. Активность в Крашенинникова и зон шлаковых конусов. 1 — маркирующие прослои транзитных пеплов; 2 — периоды эффузивно-эксплозивной активности, во время которых поставлялся преимущественно базальтовый — андезитобазальтовый материал; 3 — периоды эксплозивной активности (базальты — андезитобазальты); 4 — периоды эффузивно-эксплозивной активности (андезиты — дациты), 5 — периоды эксплозивной активности (андезиты — дациты); 6 — прорывы на склонах вулкана; 7 — фреатические извержения. Остальные обозначения см. в подписи к рис. 3. 17—вулканический песок в. Малый Семячик

шинного кратера, но и из конусов на склонах вулкана. Очень жидкий лавовый поток одного из них спускается по южному склону докальдерной постройки в долину р. Светлая (комплекс II). С началом этапа ЮК II мы также связываем лавы, обнажающиеся в стенке обвального цирка на северном склоне Южного конуса и в т. 774 у его южного подножия. Таким образом, в начале этапа ЮК II (около 8500—8400 л.н.) вулканизм проявлялся субсинхронно в пределах кальдеры (Южный конус вулкана и шлаковые конусы на его юго-западном склоне) и в северной зоне. На поверхность поставлялся материал сходного базальтового — андезитобазальтового состава. Затем в деятельности Южного конуса наступил перерыв длительностью около 400 лет, а извержения в

северной зоне шлаковых конусов продолжались, а возможно, и сменили деятельность Южного конуса во времени (см. рис. 4).

Около 8000—7900 л. н. начался качественно иной период вулканической деятельности Южного конуса — вспышка кислого вулканизма, проявления которого подчинялись определенным закономерностям: 1) деятельность началась с мощного взрывно-эффузивного извержения, затем последовали все более слабые существенно взрывные извержения; 2) наиболее кислый материал (до 64,5% SiO_2) подавался в течение первого извержения, вверх по разрезу породы в целом становились более основными (см. рис. 3). На протяжении 1500 лет (8—6,5 тыс.л.н.) произошло 5—6 извержений с перерывами порядка 200—300 лет. Первое из них было длительным (годы, десятки лет) и имело взрывно-эффузивный характер, причем лавовые потоки (комплекс III), а также прорыв на юго-западном борту кальдеры приурочены к началу извержения и перекрыты практически всей его тефрой. Именно эти лавы прекрасно выражены по всей южной части кальдеры и слагают кратерный разрез Южного конуса. Началась активизация с нескольких слабых и умеренных взрывов, затем последовала кульминация: излияние лав и сильное длительное взрывное извержение, вслед за ней через незначительные промежутки времени (годы — первые десятки лет) еще ряд более слабых взрывов. Тефра этого извержения представляет собой стратифицированные шлаки, следится она на значительном (до 20 км) расстоянии от вулкана, ее объем $\sim 0,31 \text{ км}^3$.

Во время извержения значительно варьировал состав пород (от 65,5 до 56% SiO_2). Установить точную последовательность поступления пород различной основности не представляется возможным, но в то же время очевидно, что наиболее кислые лавы приурочены к началу извержения, а тефра и лавы кратерного разреза, появившиеся на заключительном этапе, более основные (см. рис. 3). Для большинства лавовых потоков описанного извержения характерна пониженная вязкость, объем лав превышает 1 км^3 .

Около 7800—7700 л. н., после перерыва порядка 200 лет, последовало еще одно сильное, на этот раз существенно взрывное извержение, выбросившее около $0,14 \text{ км}^3$ нестратифицированных андезитовых шлаков. В течение него произошло образование цепочки лавовых конусов на западном склоне Южного конуса, давших потоки пироксен-оливин-плагноклазовых умеренно-глиноземистых базальтов, необычных для этого района (комплекс IV). Излияние их происходило именно во время взрывного извержения вершинного кратера, так как лавы верхнего и нижнего конусов перекрыты мощной пачкой бомб андезитового состава, а лавы собственно конуса Дима (см. рис. 1) залегают сразу на ней. Объем лав прорыва равен $\sim 0,02 \text{ км}^3$.

Затем на протяжении примерно тысячи лет, произошло три чисто взрывных извержения умеренной силы, продукты которых представлены стратифицированными вулканическими песками. Объем выброшенной тефры последовательно уменьшался от извержения к извержению (см. рис. 5). Нижняя пачка песков залегают над пеплом в. Кизимен, следующая — над тефрой в. Хангар и последняя — над горизонтом пепла 7 (см. рис. 3, 4). В конце этапа ЮК II формируется провальный кратер Южного конуса.

На этом — около 7300 л.н. (6500 ^14C л.н.) — деятельность Южного конуса вулкана завершилась. Его постройка преобразовывалась деструктивными процессами, основную роль среди которых играли вулканотектонические обвалы, по всей вероятности, связанные с деятельностью (Северного конуса). Внешние склоны Южного конуса сильно деформированы обвальными цирками, самый крупный из которых приурочен к семерной части постройки. Обвальными отложениями перекрывают даже самые молодые лавовые потоки Южного конуса. Вулканическая

деятельность в южной зоне шлаковых конусов также прервалась, последним образованием здесь долго оставалась цепочка конусов, секущая юго-западный борт кальдеры.

Формирование *Северного конуса* вулкана началось мощным эксплозивным извержением около 6400 л. н. (5550¹⁴ С л.н.), после периода покоя ~ 900 лет (см. рис. 4). Эруптивный канал при этом сместился примерно на 2 км к северу вдоль региональной ослабленной зоны. Предварялась деятельность в кальдере по меньшей мере тремя извержениями в северной зоне шлаковых конусов, происшедшими в интерва-

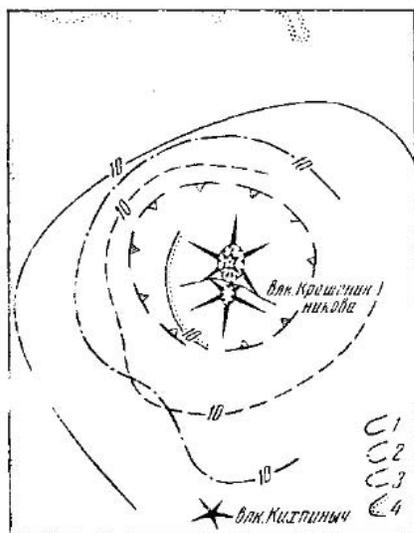


Рис. 5

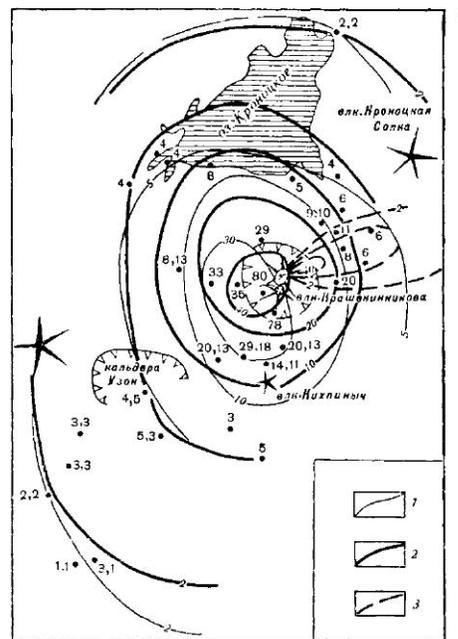


Рис. 6

Рис. 5. 10-сантиметровые изопакеты тефры Южного конуса. 1 — извержение ~7900—8000¹⁴ С л. н.; 2 — извержение ~7800¹⁴ С л. н.; 3 — извержение 7400¹⁴ С л. н.; 4 — извержение 6800 С л. н.

Рис. 6. Изопакеты тефры крупнейших эксплозивных извержений Северного внешнего конуса (мощности в см.). 1 — извержение ~2600 л. н.; 2 — извержение 2300 л. н.; 5 — извержение 3000—2900 л. н.

ле 7100—6400 л.н. (6300—5500¹⁴ С л.н.). Далее, на протяжении около 1000 лет (6400—5400 л.н.), вулканическая активность проявляется синхронно в пределах кальдеры и северной зоне, причем образуется ряд шлаковых конусов на отрезке длиной около 4 км. Прорывы расположены в северной части кальдеры, на ее борту и в южной части северной зоны. К концу этих извержений приурочены обильные лавовые излияния из Северного конуса, породы которых сейчас выступают из-под более молодых потоков в северо-западной и восточной части кальдеры (комплекс V). В постройке вулкана они обнажаются в основании разреза барранкоса на восточном его склоне (т. 729). Видимо, к этому же времени относится излияние из бокки на самой вершине Южного конуса небольшого лавового потока, затекающего в его кратер. Продукты описанных извержений представлены довольно однородными базальтами — андезитобазальтами, суммарный их объем ~7 км³.

Завершают этот этап (СВ I) несколько чисто эксплозивных извержений, в которых существенную роль играла фреатическая составляющая. Произошли они в интервале 5500—4900 л.н. (см. рис. 4). Во время пер-

вого из них происходит фреатомагматическое извержение в северной зоне шлаковых конусов, приведшее к образованию цепочек взрывных воронок. Их выбросы образуют горизонт нестратифицированного шлака, содержащий крупные обломки андезитобазальтовых лав, по составу аналогичных лавам предыдущих извержений на этом участке. Затем, практически без перерыва, происходит выброс незначительного объема андезитовой пемзы из вершинного кратера Северного конуса.

Последнее извержение этапа СВ I также носит эксплозивный характер, его тефра представлена горизонтами светлых шлаков, переслаивающихся с горизонтами темно-серых мелкозернистых песков. Отмечена примесь обломков лав и измененных пород, что позволяет предположить фреатомагматический характер извержения. К этому же времени приурочено образование маара Крокур в северной зоне конусов. Маар сформирован чисто фреатическим извержением, отложения его представлены стратифицированной толщей гравия (обломки пород и слабо обработанные, «оббитые» вулканические шлаки). В основании толщи залегают сильно уплотненные серые пески, образующие в обнажении вблизи маара плиты до 50 см в поперечнике. Маар прорывает верхнеплейстоценовые лавы, дно его занято озером.

После завершения первого этапа формирования Северного конуса (СВ I) последовал период покоя длительностью около 700 лет, которому в разрезах почвенно-пирокластического чехла отвечает супесь, содержащая в верхней части горизонт шлака в. Кихпиныч (см. рис. 3).

Этап СВ II начался около 4200 л.н. (3700 ¹⁴С л.н.), когда произошло длительное эксплозивное извержение умеренной силы из вершинного кратера Северного конуса. Затем, на протяжении 600 лет, последовало еще несколько слабых эксплозий, поставивших андезитобазальтовый материал, после чего в кальдере начался период покоя, длившийся около 400 лет (3400—3000 л.н.). В северной же зоне и на южной оконечности южной зоны около 3300 л. н. (3000 ¹⁴С л. н.) происходят субодновременные извержения: в северной зоне возникает шлаковый конус Заметный с его андезитобазальтовым лавовым потоком, спустившимся в Кроноцкое озеро (см. рис. 1), а на юге формируется сложный шлаковый конус сопки Дуга, андезитовые лавовые потоки которого следятся по долинам рек Узон и Светлая. Эти извержения знаменуют окончание деятельности в пределах северной зоны шлаковых конусов (к. Заметный — её последнее образование) и возобновление вулканических проявлений в южной части района (см. рис. 4).

Около 3000 л.н. (2800 ¹⁴С л.н.) началась мощная вспышка кислого вулканизма, связанная с Северным конусом вулкана (продолжение этапа СВ II). Этот период активизации продолжался около 1000 лет и в целом обладал удивительным сходством с проявлениями кислого вулканизма во время деятельности Южного конуса (ЮК II). В то же время между деятельностью Южного и Северного конусов отмечаются некоторые различия, кроме того, последовательность событий для Северного конуса можно восстановить более детально.

Начинается активизация с излияния жидких андезиодацитовых лавовых потоков (комплекс VI) из Северного конуса, практически не сопровождавшегося эксплозивной деятельностью. Возможно, предварял излияние потоков выброс отдельных крупных бомб, отмеченных только в разрезах на восточном склоне конуса. Подобные лавовые потоки подробно описаны в работе [14]. Потоки довольно далеко распространились в северо-восточном секторе кальдеры и вышли за ее борт. После перерыва (возможно, порядка нескольких десятков лет) произошел узко направленный на северо-северо-восток выброс светло-бежевых пемз андезиодацитового состава (рис. 6). Извержение произошло практически мгновенно, пемза не стратифицирована, объем ее оценен в 0,08 км³. Это преимущественно ювенильный материал, примесь резургентных

обломков незначительна. Ко времени описанных извержений приурочены крупные обвалы с внешних склонов Южного конуса, четко датированные в т. 704 и 796.

После перерыва около 200 лет следует длительное (месяцы) мощное эксплозивно-эффузивное извержение. Его лавы (комплекс VII) более вязкие, чем предшествовавшие, высота их фронтального уступа достигает 10 м. Излияние лавовых потоков происходило неоднократно в течение извержения, в барранкосах на восточном склоне вулкана видно, что они переслаиваются с пирокластикой. Тефра извержения — темно-серые стратифицированные андезитовые шлаки, причем началось извержение серией слабых эксплозий, отложивших тонкие прослойки вулканических песков, а затем последовала кульминационная стадия с выбросом крупных шлаков и излиянием лавовых потоков. Лавы и тефра извержения обнажаются в борту вершинной кальдеры Северного конуса. В основании разреза северной его части лежат «игнимбриты» — красные, в различной степени спекшиеся агглютинаты с фьямме и полосами черного стекла, выше — красные агглютинаты и маломощные черные очень пористые лавы. Завершилось извержение также серией слабых эксплозий. Магма находила себе и другие пути на поверхность помимо вершинного кратера: произошли излияния жидких лавовых потоков из бокк в восточной части кальдеры и на юго-западном склоне Южного конуса.

Породы этого извержения — дупироксеновые андезиты и дациты темно-серого цвета. Содержание в них SiO_2 изменяется от 56,5 до 65%, последовательность поступления вещества различного состава на поверхность установить трудно, но можно отметить, что наиболее кислые лавы излились из бокки, расположенной высоко на склоне Южного конуса, а самые основные — из бокки, расположенной на дне кальдеры в восточной ее части.

После перерыва ~200 лет, около 2300 л.н. (2200¹⁴ С л.н.), происходит новая, на этот раз чисто эксплозивная активизация Северного конуса. Деятельность начинается с длительного извержения, поставившего своеобразный материал — так называемую дробленку, т. е. обломочки темно-серых андезитов с небольшой примесью пористого шлака. Изучение обломков под микроскопом показало, что они представлены частицами однородного ювенильного вещества, находившегося перед извержением в очень вязком, но не твердом состоянии. Иными словами, эта тефра является продуктом взрывного дробления пластичной магмы. За этим извержением практически без перерыва последовали два выброса пористых грубых шлаков, внутри лапилли которых содержались частицы вышеописанной «дробленки». Состав «дробленки» и шлаков практически одинаков и отвечает андезитам. После описанного извержения активность ослабла, на протяжении 100—150 лет произошло одно умеренное и серия слабых эксплозивных извержений, поставивших все более основной материал. В это же время произошло обрушение вершины Северного конуса и образование на нем кальдеры. В обрушении был вовлечен и северный склон Южного конуса, с которого сорвался крупный обвал. С этим же событием связаны обвалы и осыпи, отложения которых широко распространены у подножия Северного конуса и занимают четкое стратиграфическое положение, налегая на тефру последнего мощного извержения Северного конуса и перекрываясь маркирующим горизонтом 13.

На этом формирование Северного внешнего конуса вулкана завершилось. Около 2000 л. н. начался период покоя, продолжавшийся около 700 лет, которому в почвенно-пирокластическом чехле отвечает почва, содержащая горизонты маркирующих пеплов 13—15 и прослойки шлаков в. Кихпиныч (рис. 3).

Вулканическая деятельность возобновилась около 1300 л.н., когда в вершинной кальдере Северного конуса началось формирование *Север-*

ного среднего конуса вулкана. Вначале произошло образование к. Озерный в северо-западной части кальдеры и излияние его жидкого андезитового потока. Чуть позже магма вышла на поверхность и в вершинной кальдере, образовав в ней лавовый купол, вязкие потоки которого (комплекс VIII) заполнили кальдеру и вышли на склоны Северного внешнего конуса. Эти лавы, слабо измененные фумарольной деятельностью, обнажаются в основании кратерного разреза Северного среднего конуса. Продукты этого этапа (СС I) по составу практически не отличаются от андезитов Северного внешнего конуса, причем наиболее кислые разности (до 65% SiO_2) связаны с вершинным кратером, а наиболее основные (~ 60% SiO_2) выходили на поверхность на более низком гипсометрическом уровне (к. Озерный). В почвенно-пирокластическом чехле этап СС I запечатлен шлаком к. Озерный, залегающим сразу на почве, и маломощными неясно стратифицированными вулканическими песками, по-видимому, связанными со слабыми эксплозивными извержениями вершинного кратера. После них в деятельности вулкана последовал перерыв в несколько десятков лет, во время которого на пеплах последних извержений начинает формироваться почва.

Около 1200 л. н. началась вторая стадия деятельности Северного среднего конуса (СС II), которая характеризуется резкой сменой состава извергаемых продуктов — с кислых андезитов на базальты и андезитобазальты. К началу ее приурочено излияние жидкого базальтового лавового потока у юго-восточного подножия Южного конуса (комплекс IX). В это же время на лавовом пьедестале, сформированном в течение этапа СС I, с выброса андезитобазальтовых шлаков начинается образование существенно пирокластического конуса в вершинной кальдере. В почвенно-пирокластическом чехле вслед за шлаками накапливаются дробно стратифицированные мелко- и среднезернистые вулканические пески, фиксирующие почти непрерывные слабые извержения вершинного кратера. Такой фон встречается впервые за всю деятельность в. Крашенинникова и говорит, во-первых, о повышении роли пирокластики среди извергаемых продуктов, а во-вторых, об изменении способа построения конуса: не за счет мощных отдельных извержений, а в процессе слабой почти непрерывной деятельности. В кратерном разрезе этапу СС II отвечают пачки пирокластики и серия крайне маломощных потоков, материал которых отвечает андезитобазальтам — андезитам. Эти потоки не вышли за пределы вершинной кальдеры. Этап СС II длился около 100—150 лет и завершился образованием взрывного кратера. Обломки пород, выброшенные взрывом, и зеленовато-коричневые лапилли шлака последнего извержения покрывают склоны конуса. На этом эксплозивная активность в. Крашенинникова окончилась (около 1100 л.н.), и в почвенно-пирокластическом чехле начала формироваться современная почва, содержащая в нижней части два горизонта тефры в. Кихпиныч, а в средней— горизонт тефры в. Малый Семячик, датируемый 500—600 лет вблизи вулкана-источника [2].

С окончанием эксплозивной деятельности в. Крашенинникова его активность не исчерпалась: произошло влияние двух лавовых потоков (комплекс X) на южные склоны вулкана и образование лавового конуса Паук в кратере Северного среднего конуса. Первое из этих образований— жидкий лавовый поток Южный — залегают на самых последних шлаках в. Кихпиныч, но шлак в. Малый Семячик его перекрывает; таким образом, этот поток образовался около 600 л. н. Лавовый поток Молодой образовался позже, около 400 л. н., по-видимому, одновременно с к. Паук. Подробно эти потоки рассмотрены в работе [14], где для них приведено несколько химических анализов. Породы их — дупироксеновые андезиты — дациты. По-видимому, этап СС III можно соотнести с «кислыми» этапами Южного и Северного конусов и полагать, что он завершил собой цикл СС, отвечающий формированию Северного среднего ко-

нуса, или же сопоставить его с извержениями незначительных объемов андезитового материала в конце этапов ЮК I и СВ I и считать, что он завершает первый этап формирования Северного среднего конуса.

Продуктивность вулкана

На рис. 7 показана интенсивность выноса вещества вулканом Крашенинникова в целом и на различных этапах его деятельности, а в таблице приведены данные по объемам построек, интенсивности вулканической аккумуляции и продуктивности вулкана. Объем Северного внешнего конуса подсчитывался на момент до образования вершинной кальдеры, т.е. в него включено все твердое вещество, вынесенное вулканом. При расчете веса вулканитов использовались следующие объемные веса: для лав базальтов — андезитобазальтов $2,3\text{--}2,4 \text{ г/см}^3$, для лав андезитов — дацитов $2,2 \text{ г/см}^3$, для пироклаستيкулы, слагающей шлаковые конусы, — $1,5 \text{ г/см}^3$; для тефры различной степени пористости — от $0,8\text{--}1$ до $1,5\text{--}1,6 \text{ г/см}^3$. Для всей постройки вулкана объемный вес принимался $2,1\text{--}2,2 \text{ г/см}^3$.

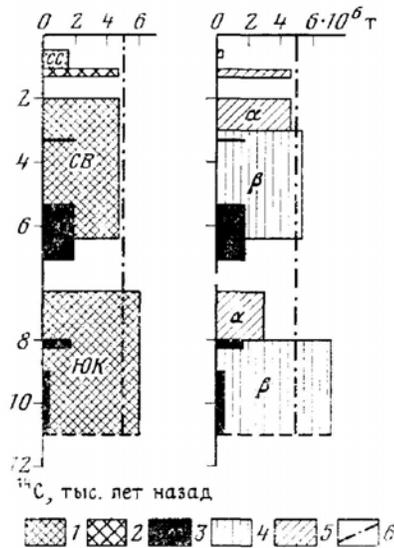


Рис. 7. Продуктивность в. Крашенинникова и зон шлаковых конусов. 1 — продуктивность конусов в. Крашенинникова (ЮК — Южный конус, СВ — Северный внешний конус, СС — Северный средний конус); 2 — продуктивность Северного среднего конуса на этапах СС I и СС II; 3 — продуктивность зон шлаковых конусов. Интенсивность выноса различных типов пород: 4 — преимущественно базальты — андезитобазальты; 5 — преимущественно андезиты — дациты. 6 — средняя продуктивность вулкана

Анализ приведенного материала показывает, что продуктивность конусов вулкана последовательно уменьшалась и составляла для Южного конуса около $6 \cdot 10^6 \text{ т/год}$, для Северного внешнего — около $5 \cdot 10^6$, а для Северного среднего — $1,4\text{--}10^6 \text{ т/год}$. Продуктивность зон шлаковых конусов невелика (от $0,3$ до $1,8\text{--}10^6 \text{ т/год}$) и сравнима с таковой Северного среднего конуса. Объем андезитов — дацитов Северного внешнего конуса, вынесенных за период $2000\text{--}3000$ л. н., оценивается в $2,6 \text{ км}^3$, т.е. составляет около 25% объема его постройки. Объем андезитов — дацитов, завершающих формирование Южного конуса (этап ЮК II), оценен в $2,4 \text{ км}^3$, что составляет около 15% объема его постройки. В целом интенсивность выноса вещества в. Крашенинникова за все время жизни составляет примерно $5 \cdot 10^6 \text{ т/год}$, что позволяет отнести его к «нормальным» вулканам [13].

Продуктивность зон шлаковых конусов сильно уступает продуктивности Толбачинской региональной зоны на любом из этапов ее деятельности [4].

Продуктивность вулкана Крашенинникова на разных этапах его деятельности

Цикл, этап	Длительность формирования, тыс. лет	Объем вулканитов, км ³	Вес вулканитов · 10 ⁹ т	Интенсивность вулканической аккумуляции, км ³ /1000 лет	Продуктивность, · 10 ⁶ т/год
СС	0,8	0,5	1,1	0,6	1,1
То же без этапа	0,2	0,44	1,0	2,2	4,8
СС III					
СВ	4,3	10,0	21,0—22,0	2,3	4,9—5,1
Андезиты этапа	1,0	2,6	4,7	2,6	4,7
СВ II					
ЮК	4,5	15,5	32,5—34,0	2,8	5,9—6,2
Андезиты этапа	1,5	2,4	4,3	1,6	2,9
ЮК II					
В. Крашенинникова в целом	~11	~26	54,6—57,2	2,4	5,0—5,2
Северная зона					
СВ I	1,5	1,5	2,7	1,0	1,8
ЮК II	0,3	0,26	0,5	0,8	1,7
Южная зона,					
ЮК II	~2	0,3	0,7	0,15	0,3

Примечание. Для зон шлаковых конусов указано, во время какого цикла деятельности в. Крашенин-

Обсуждение результатов.

Возраст вулкана. Вулкан Крашенинникова начал свою деятельность около 11 тыс. л. н. Южный его конус формировался в интервале 11 - 6,5 тыс. л. н., Северный внешний конус — в интервале 6400-2000 л. н. (5500—2000 тыс. л. н.), Северный средний конус — в интервале 1,3 — 1,1 тыс. л. н. Последние эксплозивные извержения вулкана произошли около тысячи (1,1) л. н., а излияния лав и образование лавового к. Паук в кратере Северного среднего конуса- ~ 400 л. н.

Деятельность в пределах северной зоны шлаковых конусов началась ~ 8500—8300 л. н. и продолжалась с перерывами вплоть до 3300 л. н. (3000 л. н.); последнее образование здесь — к. Заметный. Деятельность в пределах собственно южной зоны шлаковых конусов (не считая цепочек конусов, начинающихся в кальдере) протекала в интервале 11 — 9 тыс. л. н. Сопка Дуга возникла ~3300 л. н. (~3000 л. н.).

Состав продуктов. Состав пород в. Крашенинникова и зон шлаковых конусов изменяется от базальтов до дацитоз, причем андезиты — дациты составляют около 20% всех вулканитов. Потоки андезитового — дацитового состава покрывают большую часть площади кальдеры; базальтовые — андезитобазальтовые потоки внутрикальдерных излияний обнажаются, как правило, лишь по периферии кальдеры и за ее пределами. Исключение составляют базальты прорыва на западном склоне Южного конуса.

Продукты извержений в северной зоне шлаковых конусов — довольно однородные базальты — андезитобазальты, в южной зоне наряду с ними проявлены также андезиты.

Типы извержений и особенности вулканической деятельности. Для в. Крашенинникова в прошлом отмечены следующие типы извержений: 1) эффузивные извержения, практически не сопровождающиеся эксплозивной деятельностью, по-видимому, довольно короткие; 2) смешанные эксплозивно-эффузивные извержения, как правило, длительные (годы, десятки лет); 3) эксплозивные извержения, среди которых можно выделить длительные и практически мгновенные. Как базальты — андезитобазальты, так и андезиты — дациты поставлялись на поверхность любым из перечисленных способов; эксплозивно-эффузивным извержениям андезитового — дацитового материала присущ больший коэффициент эксплозивности, нежели извержениям базальтового — андезитобазальтового вещества.

Длительные эксплозивно-эффузивные и эксплозивные извержения, как правило, начинаются серией слабых эксплозий, за которыми следует сильное или умеренное извержение. Короткие эксплозивные извержения и чисто эффузивные извержения происходят, по-видимому, внезапно. Лавам большинства эффузивных извержений присуща пониженная вязкость, появление таких лав можно считать как бы предвестником эксплозивно-эффузивных извержений или эффузивных извержений лав большей вязкости, которые могут последовать в течение 100—200 лет.

Наличие среди лав пониженной вязкости андезитовых и дацитовых разностей является характерной особенностью в. Крашенинникова. Сопровождает излияние таких лав выброс отдельных бомб, разлет которых не превышает нескольких десятков метров. Источниками потоков могут быть вершинные кратеры и бокки внутри кальдеры.

Еще одна особенность в. Крашенинникова заключается в том, что в периоды усиления активности вулканические проявления внутри кальдеры носят многовыходной характер: практически одновременно происходят извержения из вершинных кратеров, а также из многочисленных бокк на склонах вулкана и у его подножия. Возможно, это связано с повышенной проникающей способностью описанных выше жидких лав.

Извержения в северной и южной зонах шлаковых конусов носили преимущественно эксплозивно-эффузивный характер и начинались, как правило, с эксплозивных проявлений, за которыми следовали излияния лав. Кроме того, в северной зоне происходили фреатомагматические и фреатическое извержения (цепочки взрывных воронок и маар Крокур).

Закономерности развития вулкана. В деятельности в. Крашенинникова можно выделить три цикла (ЮК, СВ и СС), отвечающих времени формирования трех его конусов (Южного, Северного внешнего и Северного среднего). В течение первых двух циклов (ЮК и СВ) вулкан развивается по сходной схеме. К первой половине цикла (этапы ЮК I и СВ I) приурочены извержения преимущественно основного (базальтового— андезитобазальтового) материала. Это время активного роста конусов; с момента возникновения до достижения ими высоты, близкой к современной, проходит около 1500—1800 лет. К концу первого этапа построения каждого конуса приурочено извержение небольших объемов андезитового материала. На примере Северного внешнего конуса видно, что извержения начального этапа следуют одно за другим с перерывами около 200—300 лет. Перерыв, следующий за этапом активного роста конусов, составляет около 700—1000 лет.

Деятельность каждого конуса возобновляется (этапы ЮК II и СВ II) с извержений основного материала, более слабых, чем во время первого этапа прорывы на склонах вулкана и умеренные и слабые эксплозивные извержения вершинного кратера. За ними следует перерыв около 400 лет, а затем бурная вспышка кислого (андезитового — дацитового) вулканизма длительностью около 1000—1500 лет. К началу активизации приурочены наиболее мощные эксплозивно-эффузивные извержения вершинного кратера, которые сменяются умеренными и слабыми эксплозивными. Извержения происходят с перерывами ~100—300 лет. Завершает формирование как Южного, так и Северного внешнего конусов период покоя длительностью 800—1000 лет.

После периода покоя, завершившего деятельность Южного конуса, эруптивный канал переместился примерно на 2 км к северу вдоль ослабленной зоны, где и заложился Северный конус вулкана. Во втором случае, после завершения деятельности Северного внешнего конуса и снижения его постройки вследствие образования на нем вершинной кальдеры, новый аппарат (Северный средний конус) унаследовал эруптивный канал предыдущего. Видимо, именно в связи с этим схема его развития усложняется по сравнению с предшествовавшими конусами.

Формирование Северного среднего конуса начинается с выноса андезитов — дацитов, по всей вероятности, представляющих собой остаточный, неизлившийся на поверхность расплав заключительного этапа деятельности Северного внешнего конуса. Возможно, извержение этого материала было «спровоцировано» подходящими к поверхности базальтами — андезитобазальтами, на что указывает незначительный (первые десятки лет) перерыв между этими извержениями и выносом более основного вещества во время этапа СС II.

Деятельность в пределах кальдеры обнаруживает отчетливую связь с вулканическими проявлениями на всем отрезке ослабленной зоны от Кроноцкого озера до сопки Дуга, т. е. в северной и южной зонах шлаковых конусов. Извержения основного материала в кальдере или происходят субсинхронно с деятельностью в пределах зон, или непосредственно предваряют или наследуют ее. Вынос же андезитового материала приурочен в основном к кальдере и происходит на фоне затухания деятельности в зонах, хотя отмечена тенденция к проявлению андезитового вулканизма и в южной зоне шлаковых конусов.

Изложенный материал, по-видимому, можно интерпретировать следующим образом. Подача основного материала по изученному отрезку ослабленной зоны вне кальдеры приводит к образованию шлаковых конусов, а внутри кальдеры — к формированию стратовулкана, который за 1500 лет достигает высоты, близкой к современной. При возобновлении деятельности в пределах ослабленной зоны основной материал внутри кальдеры поступает на поверхность в незначительном количестве в основном через бокки на склонах вулкана, что указывает на достижение им критической высоты, при которой вынос основного вещества через вершинный кратер затрудняется. Продолжение вулканической деятельности через вершинный кратер становится возможным только после раскисления материала. Дальнейшее же развитие вулканического процесса возможно только при снижении высоты выхода магмы на поверхность. В первом случае (Северный внешний конус) это достигается смещением подводящего канала, во втором (Северный средний конус) — наследованием канала при условии предварительного снижения старой постройки. Аналогичные закономерности установлены ранее и для других вулканов [2, 8].

Дальнейшая деятельность вулкана. Как было сказано ранее, излияния андезитовых — дацитовых потоков на южные склоны вулкана и формирование лавового конуса Паук в самом молодом его кратере (этап СС III) или являются аналогом вспышек кислого вулканизма циклов ЮК и СВ и завершают собой цикл СС, или же отвечают извержениям небольших количеств андезитового материала в конце этапов ЮК I и СВ I и в таком случае завершают первый этап формирования Северного среднего конуса. Как в том, так и в другом случае период покоя, длящийся уже около 400 лет, по аналогии с перерывами между циклами ЮК и СВ, СВ и СС и между этапами ЮК I и ЮК II, СВ I и СВ II должен составить 700—1000 лет, т. е. продлиться еще не менее 300—600 лет. Кроме того, можно отметить, что подача основного материала по ослабленной зоне происходит через интервалы не менее 2000 лет (считая от начала каждого периода активизации). Последние проявления основного вулканизма (поток Юго-Восточный) отмечены около 1300 л. н., таким образом, можно полагать, что новое поступление материала вряд ли начнется в ближайшие 700 лет.

Возобновления активности можно ожидать в пределах Северного конуса вулкана, по-видимому, еще не достигшего своей предельной высоты, а также в южной зоне шлаковых конусов, так как наблюдается тенденция к перемещению вулканических проявлений в ее пределы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арсланов Х. А. О поправках к радиоуглеродному возрасту//Геохимия, 1978. № 8. С. 1157—1164.
2. Брайцева О. А., Егорова И. А., Несмачный И. А. и др. Тефрохронологические исследования как метод изучения закономерностей циклического развития вулкана //Бюл. вулканол. ст. 1978. № 54. С. 41—53.
3. Брайцева О. А., Егорова И. А., Несмачный И. А. и др. Тефрохронологическое датирование лавовых комплексов и реконструкция истории формирования современного вулкана//Бюл. вулканол. ст. 1978. № 55. С. 41—54.
4. Брайцева О. А., Мелекесцев И. В., Пономарева В. В. и др. Тефрохронологические и геохронологические исследования Толбачинской региональной зоны шлаковых конусов//Вулканология и сейсмология. 1981. № 3. С. 14—28.
5. Брайцева О. А., Мелекесцев И. В., Кирьянов В. Ю. Маркирующие прослои тефры как индикаторы крупнейших эксплозивных извержений вулканов Камчатки в голоцене //Вулканизм и связанные с ним процессы. Вып. I. Вулканическая деятельность. ее механизм, связь с геодинамикой, прогноз извержений и землетрясений. Тез. докл. VI Всесоюз. вулканол. совещ. (сентябрь 1985 г.). Петропавловск-Камчатский. 1985 С. 12-14.
6. Брайцева О. А., Мелекесцев И. В. Тефрохронологический метод//Методическое руководство по изучению и геологической съемке четвертичных отложений. Л.: Недра. 1986.
7. Брайцева О. А., Сулержицкий Л. Д., Кирьянов В. Ю. Маркирующие прослои голоценовой тефры Восточной вулканической зоны Камчатки//Вулканология и сейсмология. 1985. № 5. С. 80—96.
8. Брайцева О. А., Флоренский И. В., Пономарева В. В., Литасова С. Н. История активности вулкана Кихпинич в голоцене//Вулканология и сейсмология. 1985. № 6. С. 3—19.
9. Влодавец В. И., Пийп Б. И. Каталог действующих вулканов Камчатки//Бюл. вулканол. ст. 1957. № 25. С. 5—95.
10. Вулканизм, гидротермальный процесс и рудообразование. М.: Недра, 1974. 265 с.
11. Гуценко И. И. Извержения вулканов мира. М.: Наука, 1979. 476 с.
12. Кирьянов В. Ю., Егорова И. А., Литасова С. Н. Вулканические пеплы на о-ве Беринга (Командорские острова)//Вулканология и сейсмология. 1986. № 6. С. 8-28
13. Поляк Б. Г., Мелекесцев И. В. Продуктивность вулканических аппаратов //Вулканология и сейсмология. 1981. № 5. С. 22—37.
14. Пономарева В. В., Цюрупа А. А. О протяженных потоках жидкой кислой лавы на вулкане Крашенинникова//Вулканология и сейсмология. 1985. № 3. С. 85—92.
15. Флоренский И. В. К вопросу о возрасте кальдер Узон и Крашенинникова //Вулканология и сейсмология. 1984. № 1. С. 102—105.
16. Флоренский И. В., Трифонов В. Г. Новейшая тектоника и вулканизм Восточной вулканической зоны Камчатки //Геотектоника. 1985. № 4. С. 78—87.
17. Штейнберг Г. С. Об активности и строении вулкана Крашенинникова//Бюл. вулканол. ст. 1964. № 37. С. 16—20.