

УДК 551.21+551.24

© 1990 г.

В. В. ПОНОМАРЕВА, О. А. БРАЙЦЕВА

**ВУЛКАНИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ ДЛЯ РАЙОНА
КРОНОЦКОЕ ОЗЕРО — УЗОН — ДОЛИНА ГЕЙЗЕРОВ**

В статье, имеющей прежде всего методический характер, на основе детальных геолого-тефрохронологических исследований, реконструкции режима активности вулканов Крашенинникова и Кихпинич и зон шлаковых конусов района Кроноцкое озеро — Узон — Долина Гейзеров за последние 10 тыс. лет, выявленного характера и особенностей присущих им извержений дается долгосрочный прогноз деятельности этих вулканов. Рассматривается прошлая и будущая вулканическая опасность для района исследований, связанная как с близко расположенными, так и с удаленными вулканами.

VOLCANIC HAZARD FOR THE AREA OF KRONOTSKII LAKE — UZON — THE VALLEY OF GEYSERS, by P o n o m a r e v a V. V. and B r a i t s e v a O. A. Detailed geological and tephrochronological studies, reconstruction of activity regime of Krasheninnikov and Kikhpinich volcanoes, zones of scoriaeous cones in the area of Kronotskii Lake—Uzon — the Valley of Geysers during the last ten thousand years made it possible to bring to light the character and the features of its eruptions. Based on these studies the paper offers a long-term forecast of the activity of the above volcanoes. The paper also analyses the past and the future of volcanic hazard for the area under study, related both to near and distant volcanoes.

(Received February 9, 1988)

Institute of Volcanology, Far East Division, USSR Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatskii, 683006, USSR.

Территория к югу от Кроноцкого озера является частью Кроноцкого государственного заповедника. Здесь расположены уникальные природные объекты: Долина Гейзеров, кальдера Узон, березовые и лиственничные леса с богатым животным миром, реки и озера, где нерестятся редкие породы рыб. В структурном плане этот район входит в состав Восточного вулканического пояса, в его пределах расположены действующие вулканы Крашенинникова и Кихпинич, а также шлаковые конусы и маары, образующие зону многовыходного вулканизма СВ простираения (рис. 1). На периферии района находятся вулканы Кроноцкий и Тауншиц. Сведения об исторических извержениях вулканов отсутствуют, но свежие лавовые потоки и незаросшие шлаковые поля свидетельствуют о сравнительно недавней вулканической активности.

Геолого-тефрохронологические работы с широким применением радиоуглеродного датирования (^{14}C), проводившиеся в 1980—1987 гг., позволили восстановить режим активности вулканов Крашенинникова и Кихпинич, начиная с момента их возникновения, датировать маары и шлаковые конусы, а также выявить и датировать пеплы удаленных вулканов, выпавшие на исследованную территорию за последние 10 тыс. лет [2—4, 13]. Эти данные дают возможность выяснить, какова была прошлая вулканическая опасность и с чем именно она была связана. Оценка будущей опасности, как было показано в [12, 19], основана на анализе закономерностей вулканических проявлений и выявлении тенденции в динамике активности вулканов. Представляется целесообразным вначале рассмотреть голоценовые вулканические проявления района, затем остановиться на прошлой вулканической опасности и, наконец, дать заключение о будущей вулканической опасности.

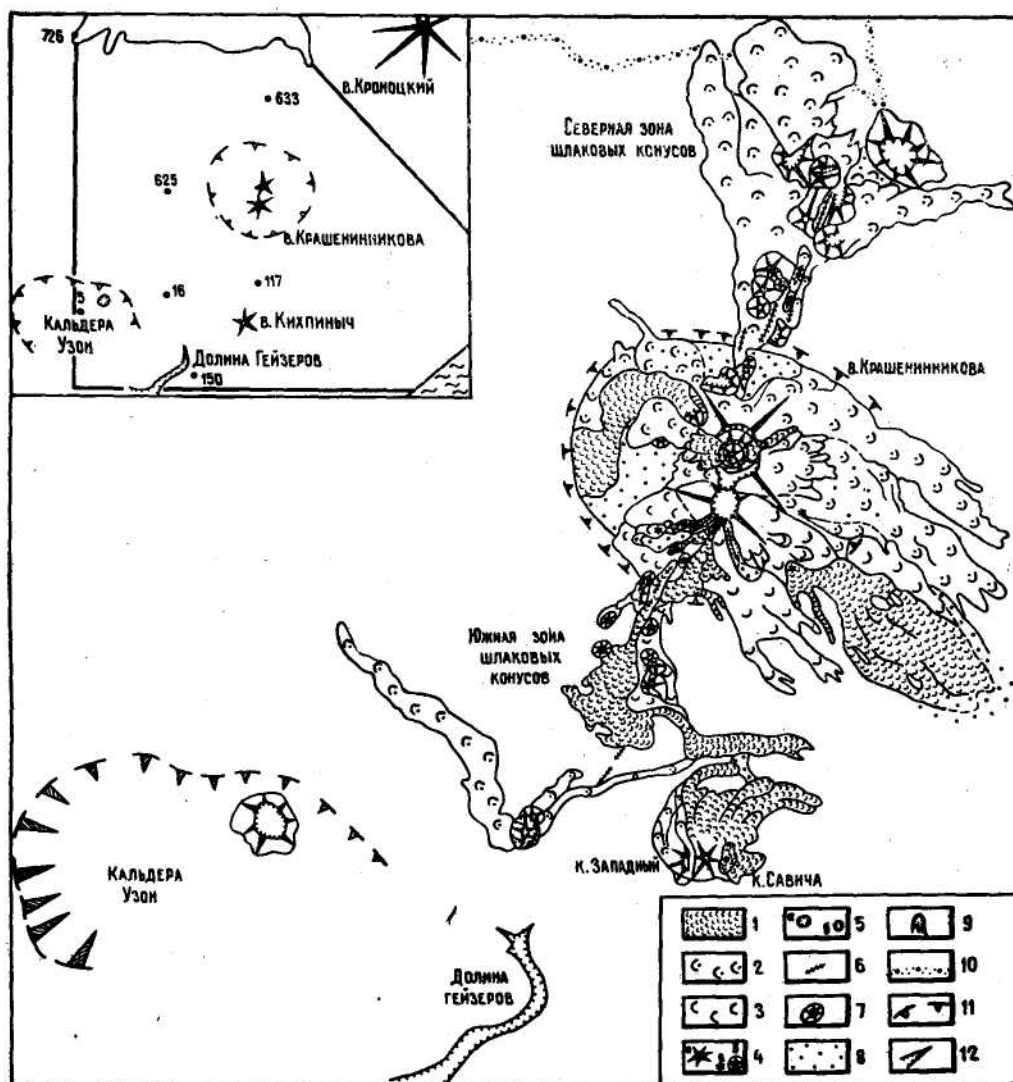


Рис. 1. Голоценовые вулканические образования района исследований. 1—3 — лавовые потоки, излившиеся в интервалах: 1—1400 лет назад — настоящее время, 2—7300—2000 лет назад, 3—11 000—6500 ^{14}C лет назад; 4 — вулканические аппараты: а — стратовулканы, б — шлаковые конусы и маары, в — бокки; 5 — кратеры: а — стратовулканов и мааров, б — шлаковых конусов; 6 — цепочки взрывных воронок; 7 — «тюдья»; 8 — пролювиальные, обвальнo-осыпные и эоловые отложения; 9 — обвальные цирки; 10 — озерные отложения Кроноцкого озера; 11 — уступ борта позднелейстоценовых кальдер; 12 — Долина Гейзеров. На врезке показаны границы района исследований и положение разрезов тефры, вынесенных на рис. 3 (см. ниже)

Голоценовый вулканизм района исследований

Все центры голоценового вулканизма района приурочены к узкой (в среднем около 4 км) ослабленной зоне СВ простирания [15]. С севера на юг — это северная зона шлаковых конусов, внутрикальдерный вулкан Крашенинникова, южная зона шлаковых конусов (включая конус Дуга), вулкан Кихпинич и, наконец, маар оз. Дальнее в пределах кальдеры Узон (см. рис. 1).

Вулкан Крашенинникова и зоны шлаковых конусов

Режим активности. Вулкан Крашенинникова расположен в позднеплейстоценовой кальдере обрушения размером 12X9 км и образован двумя слившимися конусами. Южный конус увенчан провальным кратером диаметром 800 м и глубиной 140 м. Внешние склоны конуса деформированы* обвальными цирками. Более молодой Северный конус имеет сложное строение: в его вершинной кальдере расположен Северный средний конус, во взрывном кратере которого находится лавовый конус Паук. На склонах и у подножия вулкана залегает более десятка побочных конусов и бокк. Лавы центральных и побочных конусов занимают всю площадь кальдеры и выходят за ее пределы в южном и восточном направлениях. Вулкан отнесен к действующим (потенциально активным) из-за свежих лавовых потоков [6, 8] и слабой фумарольной активности [16].

Породы вулкана Крашенинникова более дифференцированы (полный ряд от базальтов до дацитов), чем породы зон шлаковых конусов (преимущественно андезитобазальты, редко базальты и андезиты), однако и на самом вулкане преобладают базальт-андезитобазальтовые разности. Все вулканы принадлежат к умеренно-калиевой толеитовой серии по [18] и могут быть связаны между собой с помощью механизма кристаллизационной дифференциации исходной базальтовой магмы, происходившей в близповерхностных камерах [7]. Андезиты и дациты составляют около 20% объема пород вулкана.

Режим активности вулкана Крашенинникова восстановлен почти со времени его возникновения, выявлены закономерности его формирования [7, 13]. Вулкан возник на рубеже позднего плейстоцена и голоцена. Деятельность его носила циклический характер, отчетливо выраженный в эволюции вещественного состава пород, чередовании периодов активности и покоя и изменении морфологии постройки. Выявлено три цикла активности (ЮК, СВ, СС), отвечающих времени формирования трех его конусов (соответственно Южного, Северного внешнего и Северного среднего).

В течение первых двух циклов (ЮК и СВ) вулкан развивался по сходной схеме (рис. 2). К первой половине каждого 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 высоте Южного конуса, проходило 1500—1800 лет. К концу первого этапа построения каждого конуса приурочено извержение незначительных объемов андезитового материала, а также фреатомагматические и фреатические извержения. На примере Северного внешнего конуса видно, что извержения начального этапа его формирования (СВ I) следовали одно за другим с перерывами не более 200—300 лет, причем первые 1000 лет они носили преимущественно explosивно-эффузивный характер, а завершали этап чисто explosивные извержения (см. рис. 2). Перерыв, следовавший за этапами активного роста конусов (ЮК I и СВ I), составлял 700—1000 лет.

Деятельность каждого конуса возобновлялась (этапы ЮК II и СВ II) извержениями базальтового — андезитобазальтового материала, более слабыми, чем во время начальных этапов: это прорывы на склонах вулкана и умеренные и слабые explosивные извержения вершинного кратера. За ними следует перерыв в 400—500 лет, когда происходила дифференциация базальтовой расплава, а затем вспышка кислого (андезитдацитового) вулканизма длительностью 1000—1500 лет. Первые извержения этого периода активизации были эффузивными, затем следовали мощные explosивно-эффузивные извержения вершинного кратера, которые сменялись умеренными и слабыми explosивными (см.

рис. 2). Извержения происходили с перерывами не более 100—300 лет. Завершал формирование как Южного, так и Северного внешнего конусов период покоя длительностью 800—1000 лет. После этого периода (в конце деятельности Южного конуса) эруптивный канал переместился примерно на 2 км к северу вдоль ослабленной зоны, где и заложился Северный конус вулкана. После прекращения деятельности Северного внешнего конуса на нем образовалась кальдера обрушения, возникновение которой (как и крупного провального кратера Южного конуса) было реакцией на опустошение близповерхностной магматической камеры [7]. Южный и Северный внешний конусы вулкана близки по объему построек (соответственно 15,5 и 10 км³), продуктивности и режиму активности.

Северный средний конус возник в вершинной кальдере Северного внешнего конуса около 1300 лет назад¹. По режиму активности он существенно отличается от первых двух конусов и резко уступает им по объему и продуктивности [13]. Длительность его формирования (цикл СС) тем не менее соизмерима с продолжительностью начальных этапов деятельности Южного и Северного внешнего конусов (ЮК. I и СВ I) и составляет около 1000 лет. Режим активности Северного среднего конуса особенно интересен, так как именно он дает представление о современном этапе развития вулкана.

Северный средний конус унаследовал эруптивный канал Северного внешнего конуса, в связи с чем, вероятно, схема его развития усложняется по сравнению с обоими базовыми конусами. Формирование Северного среднего конуса в вершинной кальдере начиналось с излияния андезитовых — дацитовых лав, которые заполнили вершинную кальдеру и вышли на склоны внешнего конуса, а также изливались из трещины в северо-западной части кальдеры (см. рис. 1).

Около 1200 лет назад началась вторая стадия деятельности Северного среднего конуса, к началу которой приурочено излияние базальтового лавового потока из бокки в юго-восточной части кальдеры. В это же время на лавовом пьедестале, сформированном в течение первого этапа, выбросом андезитобазальтовых шлаков начинается образование существенно пирокластического конуса в вершинной кальдере. В отличие от Южного и Северного внешнего конусов, он формировался не отдельными крупными извержениями, разделенными периодами покоя, а слабой, почти непрерывной, деятельностью. Этап активного роста Северного среднего конуса длился 100—150 лет и завершился образованием взрывного кратера на его вершине. Затем (около 1100 лет назад) в деятельности вулкана наступил перерыв длительностью 400—500 лет.

Примерно 600—400 лет назад произошли последние, чисто эффузивные, извержения вулкана Крашенинникова: излияние двух андезитовых — дацитовых потоков из трещин в южной части кальдеры и образование дацитового лавового конуса Паук в кратере Северного среднего конуса.

Вулканическая деятельность в пределах зон шлаковых конусов проявлялась в целом субсинхронно с извержением пород основного состава внутри кальдеры, т. е. в первой половине этапов активизации (за исключением цикла СС). Объем вулканитов и продуктивность в зонах резко уступают внутрикальдерным. В начале голоцена (см. рис. 2) вулканическая деятельность была приурочена к южной зоне, затем, начиная с 8200 ¹⁴С лет назад, переместилась в пределы северной зоны, где продолжалась с перерывами вплоть до 3300 лет назад, когда здесь образовался конус Заметный. Тогда же возник конус Дуга — последний

¹ Для событий в интервале 11—6,5 тыс. лет назад приведен ¹⁴С возраст; в интервале 6,5 тыс. лет назад—настоящее время — календарный возраст (¹⁴С возраст с поправкой на изменение концентрации радиоуглерода в атмосфере [13]).

и самый удаленный от вулкана Крашенинникова из моногенных образований южной зоны. Последние 3300 лет деятельность в зонах шлаковых конусов не возобновлялась (за исключением цепочки воронок, берущих начало в кальдере Крашенинникова и секущих ее южный борт).

Будущая деятельность вулкана. Излияния андезитовых — дацитовых потоков на южные склоны вулкана и формирование лавового конуса Паук, являются, по-видимому, аналогом вспышек кислого вулканизма циклов ЮК и СВ и завершают собой цикл СС или отвечают извержениям небольших количеств андезитового материала в конце этапов ЮК I и СВ I и, следовательно, завершают первый этап формирования Северного среднего конуса. В обоих случаях 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 составлять 700—1000 лет, т. е. продолжаться еще не менее 300—600 лет. Кроме того, можно отметить, что подача 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 1200 лет назад. Таким образом, можно полагать, что новое поступление материала вряд ли начнется в ближайшие 800 лет.

Уменьшение продуктивности вулкана носит направленный характер [13], поэтому не следует ожидать, что продуктивность новых центров извержения превысит таковую Северного среднего конуса.

Причины, определяющие возможность прорывов магмы на поверхность в тех или иных местах кальдеры, носят поверхностный характер: это состояние (степень затвердения) вулканического канала, гидростатическое давление магмы в нем, степень залечивания проницаемых зон в породах основания вулкана магмой и пр. Поэтому трудно точно определить места будущих прорывов. Однако можно подметить определенную тенденцию в перемещении центров прошлых извержений. Так, если побочные прорывы Северного внешнего конуса располагались на его склонах, то бокки, связанные с деятельностью Северного среднего конуса, формировались в разных местах кальдеры, причем последние из них переместились в ее южную часть (см. рис. 1). Отмечается также тенденция к перемещению вулканических проявлений из северной зоны шлаковых конусов в южную. Таким образом, возобновления вулканической активности можно, вероятно, ожидать прежде всего в пределах кальдеры и южной зоны шлаковых конусов.

Характер и особенности извержений. Для вулкана Крашенинникова типичны умеренные по силе взрывные и эффузивные извержения. Ни мощных взрывов, ни пирокластических потоков за всю историю деятельности вулкана отмечено не было, несмотря на значительное распространение андезитовых пород. Заключение о характере извержения можно сделать, изучая особенности тефры (характер распространения, стратификация, пористость и пр.) и соотношение тефры и лав отдельного извержения. Для вулкана Крашенинникова в прошлом отмечены следующие виды извержений: 1) непродолжительные эффузивные извержения, почти не сопровождающиеся взрывной деятельностью, за исключением выброса отдельных бомб, разлет которых не превышает первых десятков метров; 2) взрывно-эффузивные извержения, как правило, длительные (годы, десятки лет); лавовые потоки этих извержений переслаиваются с тефрой, которая при захоронении в почвенно-пирокластическом чехле образует стратифицированные пачки из прослоев с разной крупностью материала, часто с погребенным растительным опадом; 3) взрывные извержения, среди которых можно выделить длительные (стратифицированные пачки тефры) и практически мгновенные (отдельные четкие пролои тефры). Длительные взрывно-эффузивные и взрывные извержения, как правило, начина-

ются серией эксплозий, отлагающих маломощные дробно стратифицированные прослои тефры, вслед за чем следует сильное или умеренное извержение, дающее мощные прослои более грубого материала. Интересной особенностью эффузивно-эксплозивных извержений на вулкане Крашенинникова является не совсем обычная последовательность событий: излияние лавовых потоков часто приурочено к начальным фазам извержения, тефра же выбрасывается в конце извержения и перекрывает его лавы. Короткие эксплозивные извержения и чисто эффузивные извержения происходят, по-видимому, внезапно.

Эффузивные извержения вулкана Крашенинникова часто давали лавовые потоки пониженной вязкости. Мощность таких потоков не превышает 5—10 м, скорость наступания фронта порядка 10—100 м/час². Объем лавовых потоков такого типа — от 0,01 до 0,1 км³, источниками их были как вершинные кратеры, так и бокки внутри кальдеры. Наличие среди лав пониженной вязкости не только базальтовых, но и андезитовых и дацитовых разностей является характерной особенностью вулкана Крашенинникова [14]. Более вязкие потоки с высотой фронтального уступа 10—15 м связаны преимущественно с центральными кратерами. Скорость продвижения фронтов таких потоков можно примерно оценить в 1 — 10 м/час. Максимальный объем лав одного длительного извержения достигал 1 км³. Лавы занимают всю площадь кальдеры и выходят за ее пределы в южном и восточном секторах, а также по узкой долине в северо-западном направлении. Максимальная протяженность лавового потока за пределами кальдеры—10—12 км (лавовый поток в долине р. Светлой). Во время последнего цикла деятельности вулкана, т. е. за последние 1300 лет, изливались лавовые потоки обоих типов (см. рис. 1).

Эксплозивные извержения Южного и Северного внешнего конусов чаще были умеренными и сильными (с объемом пироклаستيку 0,03—0,3 км³), чем слабыми (менее 0,01 км³). Тефра представляет собой преимущественно шлаки разной пористости. Распространена тефра, как правило, равномерно, во все стороны от вулкана (рис. 3) на максимальное расстояние до 60 км (расстояние, где ее мощность в почвенно-пирокластическом чехле около 1 см). За всю историю жизни вулкана произошел лишь один узко направленный выброс тефры из Северного конуса в северо-восточном направлении. Изопахиты тефры Южного и Северного внешнего конусов представлены в [13]. Эксплозивные извержения Северного среднего конуса были значительно слабее. Самое крупное ($\leq 0,005$ км³) из них произошло около 1200 лет назад (рис. 4).

Обвалы срывались с внешних склонов Южного и Северного конусов. Обвальные отложения не распространялись за пределы кальдеры. Отложения лахаров также приурочены в основном к кальдере и выходят из нее только в юго-восточном направлении.

В северной и южной зонах шлаковых конусов извержения носили преимущественно эксплозивно-эффузивный характер и начинались обычно с эксплозий, за которыми следовали излияния лав. Общий объем продуктов одного извержения не превышал 0,1 км³ (конус Заметный). При этом на долю пироклаستيку приходилось около 50%. Лавовые потоки зон, судя по их морфологии, были довольно жидкими. Высота их фронта — 5—10 м. Самым крупным эксплозивным извержением Северной зоны был образован маар Крокур (объем пироклаستيку около 0,15 км³).

В южной зоне несколько особняком стоит крупный шлаковый конус Дуга, лавовые потоки которого длиной более 10 км следятся по долине рек Узон и Светлая. Объем его лав — 0,06 км³, пироклаستيку — 0,04 км³.

² Здесь и далее оценка скоростей движения лавовых потоков дана по аналогии с таковыми, приведенными в [17] и других работах.

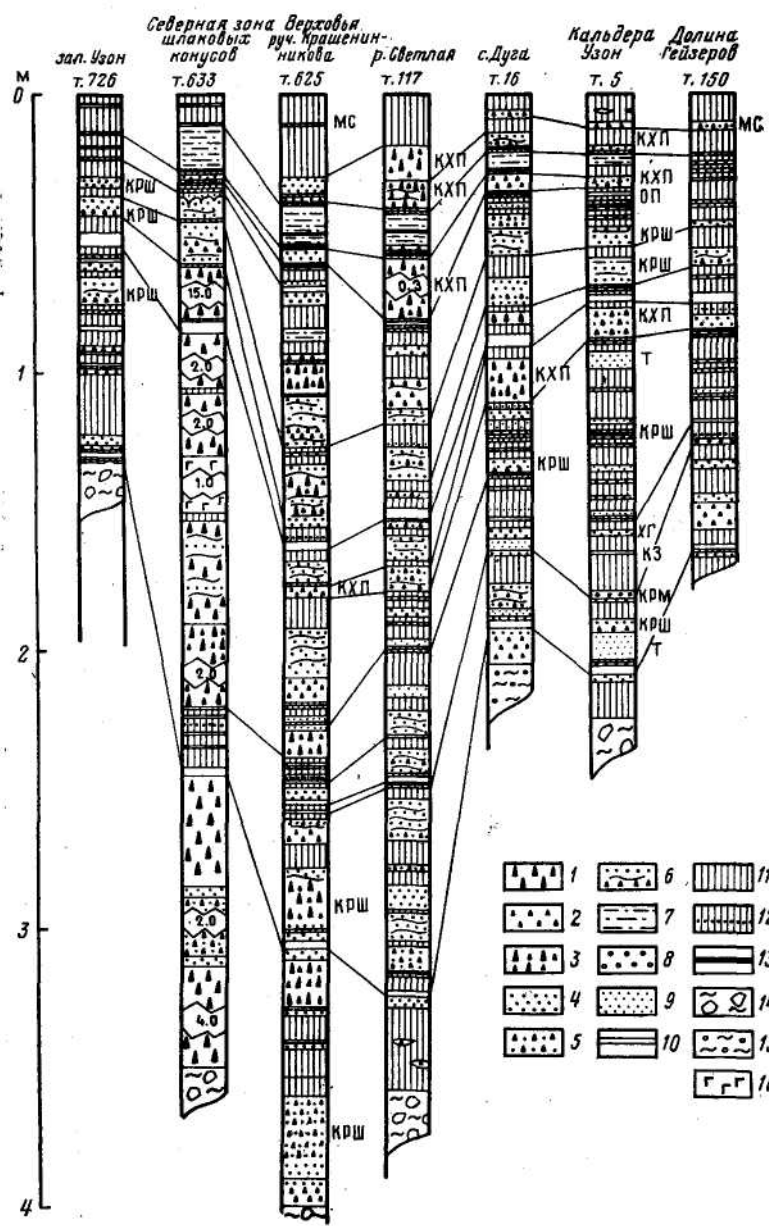


Рис. 3. Представительные разрезы голоценовой тевры на разных участках района исследований. 1—7 — тевра вулканов Крашенинникова и Кихпинич: 1 — лапилли шлага; 2 — гравий шлага; 3 — пепел влк. Крашенинникова; 4 — песок черный и темно-серый; 5 — песок с примесью гравия шлага; 6 — стратифицированные пески и гравий шлага; 7 — дробностратифицированные пески темно-серые и черные; 8—10 — тевра прочих вулканов: 8 — гравий пемзы, 9 — пески желтые, серые, светло-серые, 10 — тонкие светлые (палевые, желтые, светло-серые, белые) пеплы; 11 — супесь; 12 — супесь с прослоями вулканических песков; 13 — почва; 14 — морена; 15 — флювиогляциальные отложения; 16 — базальтовый лавовый поток. КРШ — индекс пепла вулкана Крашенинникова, КХП — вулкан Кихпинич, МС — вулкан Малый Семячик, ОП — вулкан Опала, ХГ — вулкан Хангар, КЗ — вулкан Кизимен, КРМ — кальдеры Карымская, Т — вулкан Таушищ. В разрезах цифрами указаны мощности отдельных горизонтов в метрах. Положение разрезов см. на рис. 1

Вулкан Кихпиньч

Режим активности. Действующим вулканом является Молодой Кихпиньч, образованный двумя слившимися базальтовыми стратовулканами: более древний назван конусом Западный, а более молодой — конусом Савича. Восточнее конуса Савича имеется еще один эруптивный центр — эффузивный купол Краб [4]. В кратере конуса Савича отмечаются слабые фумаролы. С конусами Западным и Савича связаны многочисленные лавовые потоки, залившие северное подножие вулкана. На южном склоне конуса Савича имеются лавовые бокки, из которых изливались самые молодые потоки.

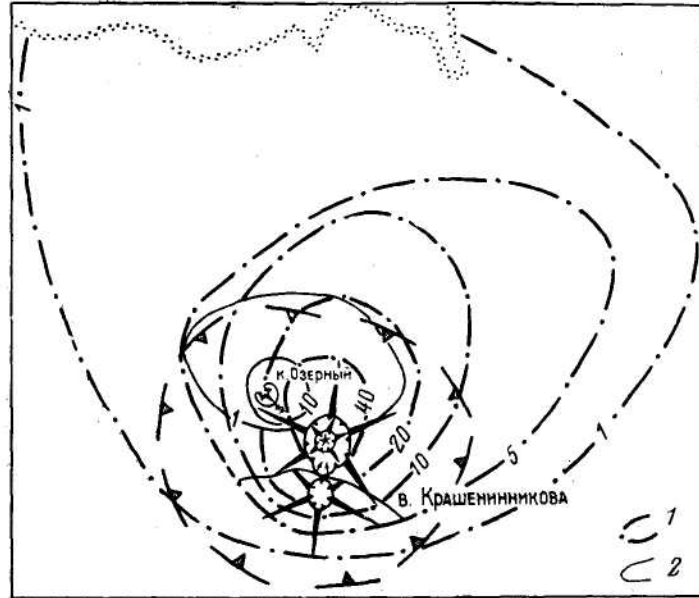


Рис. 4. Распространение тefры некоторых извержений вулкана Крашенинникова за последние 1300 лет (цикл СС). 1 — самое сильное вершинное эксплозивное извержение Северного среднего конуса, около 1200 лет назад; 2 — лобочное извержение Северного конуса (конус Озерный) около 1300 лет назад, мощность, см. Мелкими точками показаны пляжевые отложения оз. Кронецкое

Конус Западный возник около 4800 лет назад и уже через 50—100 лет завершил свою деятельность (см. рис. 2), достигнув относительной высоты порядка 300 м. Его эруптивная деятельность включала как интенсивную эксплозивную активность, так и излияния лав. Наиболее крупным было заключительное извержение с выбросом грубой тefры и излиянием многочисленных лавовых потоков. Объем продуктов вулкана составил около $0,4 \text{ км}^3$, причем большая (90%) часть вулканитов вынесена на поверхность во время заключительного извержения. Затем последовал период покоя, длившийся около 3500 лет.

Вулканическая деятельность возобновилась 1400 лет назад и началась с мощного взрыва и образования кратера размером $1,5 \times 0,6 \text{ км}$. Взрыв разрушил часть конуса Западный, а также вулкан Пик. Взрывные отложения объемом около $0,03 \text{ км}^3$, частично переотложенные лахарами, перекрыли северное подножие вулкана, увеличивая свои мощности в долинах водотоков.

За взрывом последовала напряженная вулканическая активность, в процессе которой в возникшем кратере начал расти конус Савича. Эруптивный канал вулкана сместился по отношению к каналу конуса

Западный на 500 м к востоку. Вулканическая активность проявилась, либо в виде отдельных крупных извержений, либо в виде коротких периодов активизации из серии извержений. Крупные извержения конуса Савича имели место около 1400 лет назад (фреатомагматическое, эксплозивно-эффузивное), 1000 лет назад (эксплозивное) и 600 лет назад (эксплозивно-эффузивное), причем последнее было самым сильным. Конус Савича к концу периода активизации достиг предельной высоты, аналогичной высоте конуса Западный. Свидетельство этого — появление побочных излияний лав из боков на склонах конуса. Объем вещества, вынесенный во время извержений конуса Савича, примерно вдвое превышает таковой конуса Западный (соответственно 0,82 и 0,40 км³), интенсивность выноса вещества конусом Савича больше почти в 4 раза [4].

С заключительным извержением вулкана Кихпиныч связано образование эффузивного купола Краб. Возникновение нового эруптивного центра, который сместился к востоку еще на 500 м, дало выход магме на более низком гипсометрическом уровне и, по-видимому, отделялось некоторым временным интервалом от деятельности конуса Савича. Объем лав Краба составил 0,05 м³. Извержение имело место несколько сотен лет назад.

Некоторую неуверенность вызывает датировка последних извержений конуса Савича, т. е. самого крупного эксплозивно-эффузивного извержения, и образования купола Краб. Предшествовавшее им эксплозивное извержение с учетом серии ¹⁴C дат, относится ко времени 1000 лет назад. Выше по разрезу для древесины, выросшей на тефре этого извержения, получена единственная дата 650±100 лет назад [4], в соответствии с чем перекрывающая древесину последняя тефра конуса Савича получила возрастную привязку 600 лет, а потоки Краба соответственно еще более молодую [4]. Однако в разрезе почвенно-пирокластического чехла (см. рис. 3) эта тефра залегает лишь немного выше тефры предыдущего извержения (~1000 лет назад), но существенно ниже тефры вулкана Малый Семячик, с учетом нескольких определений возраста четко датируемой 500—600 лет назад [1]. Таким образом, нельзя исключить возможность некоторого омоложения древесины. Поэтому не исключено, что последнее, самое крупное эксплозивно-эффузивное извержение конуса Савича было примерно 800 лет назад, а образование лавового купола Краб последовало около 600 лет назад.

Породы вулкана Кихпиныч представлены базальтами и андезитобазальтами низкокалийевой (толеитовой) серии по [18], отличной от умеренно-калийевой «толеитовой» серии, проявленной на вулкане Крашенинникова и в зонах шлаковых конусов.

Будущая деятельность. Прогноз будущей активности вулкана неоднозначен. Поскольку конус Савича достиг предельной высоты, то вероятнее всего, что он сейчас пребывает в состоянии покоя, завершившем крупный цикл активности. В таком случае по аналогии с предшествующим циклом, отвечающим формированию конуса Западный, можно полагать, что период покоя продлится достаточно долго (около 3000 лет), а с учетом уже истекшего времени — еще 2000—2500 лет. Возобновившаяся после этого вулканическая деятельность сможет реализоваться одним из следующих способов: 1) разрушение вершины взрывом и достраивание конуса до прежней высоты в процессе интенсивной активности с выбросами тефры и излиянием лавовых потоков из центрального кратера; 2) смещение эруптивного канала и построение нового конуса вулкана.

Однако, если верны более молодые датировки последних извержений, т. е. ~600 лет для последнего извержения конуса Савича и ~400 лет для купола Краб, нельзя полностью исключить того, что со-

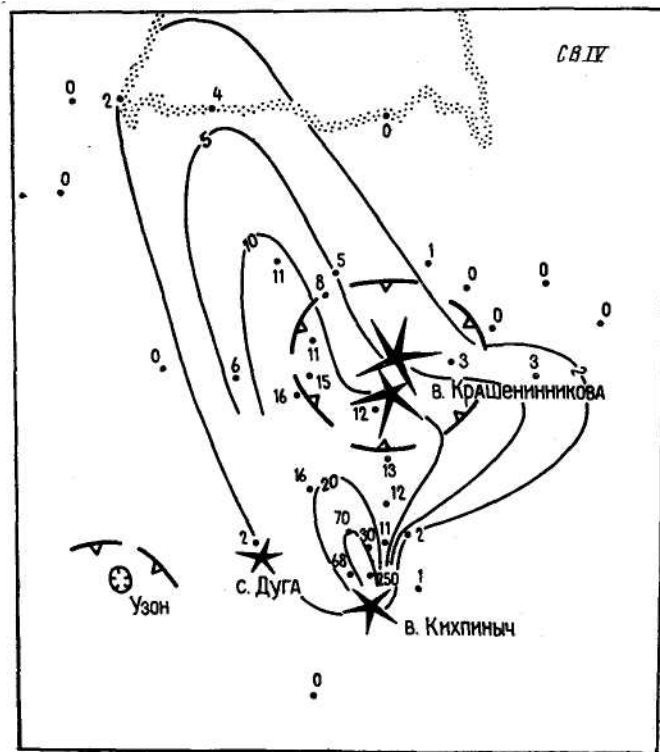


Рис. 5. Распространение тefры последнего крупнейшего эксплозивного извержения вулкана Кихпинич (конуса Савича); мощность, см

временный период представляет лишь перерыв в ходе нормальной деятельности конуса Савича, что уже имело место в прошлом (см. рис. 2). В таком случае извержение может произойти в ближайшее время и скорее всего приведет к образованию побочных прорывов на склонах вулкана, возможно, сопровождающихся эксплозивными извержениями вершинного кратера. Не исключено также разрушение вершины вулкана взрывом, а затем достраивание конуса до прежней высоты. Гораздо более вероятным нам представляется первый вариант прогноза, т. е. длительный период покоя.

Характер и особенности извержений. Среди извержений вулкана Кихпинич можно выделить эффузивные, эксплозивно-эффузивные и эксплозивные извержения. К чисто эффузивным извержениям можно, по-видимому, отнести только образование эффузивного купола Краб. Лавовые потоки этого эруптивного центра очень вязкие, высота их фронтального уступа достигает 15 м, длина потоков — всего около 4 км. Лавы вулкана Кихпинич распространены в основном к северу от него, не далее чем на 4 км, вплоть до долины р. Светлой. Это крупноглыбовые, довольно вязкие базальтовые — андезитобазальтовые потоки, мощностью около 10 м. Скорость движения таких потоков оценивается в 1—5 км/ч. Во время эксплозивно-эффузивных извержений изливание лав приурочено обычно к концу эксплозивной активности.

Среди эксплозивных извержений вулкана были как сильные, так и умеренные и слабые. Сильные извержения предварялись слабыми, но иногда происходили внезапно. Максимальный объем тefры одного извержения — $0,21 \text{ км}^3$ (последнее извержение вулкана). Пирокластика вулкана Кихпинич — это черные плотные шлаки различной крупности: от бомб до вулканического песка. Для последнего извержения были ха-

рактены также плотные и тяжелые округлые бомбы и лапилли базальтов. Тефра вулкана залегает на расстоянии до 40 км от него (расстояние, на котором мощность тефры в почвенно-пирокластическом чехле равна 1 см) при направленном выбросе (рис. 5) и на 25 км при условии равномерного распределения тефры вокруг вулкана (см. рис. 4 в [4]). В радиусе 4—5 км выпадали лапилли (у подножия вулкана —бомбы), на больших расстояниях — грубый пепел.

Лахары сходили по северному склону вулкана и опускались в долину р. Светлой на расстояние не менее 6 км.

Прошлая вулканическая опасность для района исследований

К явлениям, которые представляли опасность для людей, флоры и фауны района в последние 10 тыс. лет, относятся излияния лавовых потоков, выбросы тефры, лахары и обвалы. Голоценовые пирокластические потоки, катастрофические направленные взрывы и раскаленные лавины в районе исследований не отмечались.

Опасности, связанной с излиянием лав, подвергались следующие участки: 1) северная зона шлаковых конусов, 2) дно кальдеры вулкана Крашенинникова, южный и восточный секторы докальдерной постройки, 3) южная зона шлаковых конусов, долины рек Узон и Светлая, 4) северное подножие вулкана Кихпиныч (рис. 6). Самыми опасными были второй и четвертый из указанных участков, отличавшиеся наибольшей частотой лавовых излияний. В пределах кальдеры Узон и Долины Гейзеров голоценовых лавовых потоков не отмечено.

Лавовые потоки, спускавшиеся по южным и особенно восточным склонам докальдерной постройки вулкана Крашенинникова, имели максимальные для этого района скорости продвижения фронта (порядка 10—100 м/час) и могли наступать широким (до 3 км) фронтов (см. рис. 1).

Опасность, связанная с излиянием лавовых потоков, заключается не только в непосредственном погребении тех или иных объектов, но также в возникновении лахаров, пожаров, подпруд и перестройке речной сети. Так, лавовые потоки северной зоны шлаковых конусов неоднократно подпруживали р. Кроноцкую, что приводило к подъему (а затем, при пропилировании рекой преграды, к спуску) вод Кроноцкого озера и затоплению пониженных участков берега.

Опасность от выпадения тефры была связана в первую очередь с вулканами Крашенинникова, Кихпиныч, зонами шлаковых конусов, в меньшей степени — с расположенными рядом вулканами Кроноцкий и Тауншиц. Некоторую опасность представляли катастрофические извержения удаленных вулканов.

Оценка опасности от выпадения тефры дается на основании изучения более 400 разрезов почвенно-пирокластического чехла на территории от оз. Кроноцкого до вулкана Большой Семячик, полученных в полевые сезоны 1980—1987 гг. На рис. 3 вынесены представительные разрезы на разных участках района исследований. При оценке силы пеплопада необходимо иметь в виду, что мощности тефры, замеренные в почвенно-пирокластическом чехле, в 1,5—2 раза меньше мощности этих пеплов в свежем, уплотненном виде непосредственно после извержения [11]. Далее в тексте везде приводятся мощности уплотненной тефры.

Для выделения зон, наиболее страдавших в последние 10 тыс. лет от пеплопадов, во всех полных разрезах голоценового почвенно-пирокластического чехла была замерена мощность тефры самого сильного для данной точки пеплопада (см. рис. 3). Например, в районе конуса Дуга самая мощная тефра связана с извержением вулкана Кихпиныч (конус

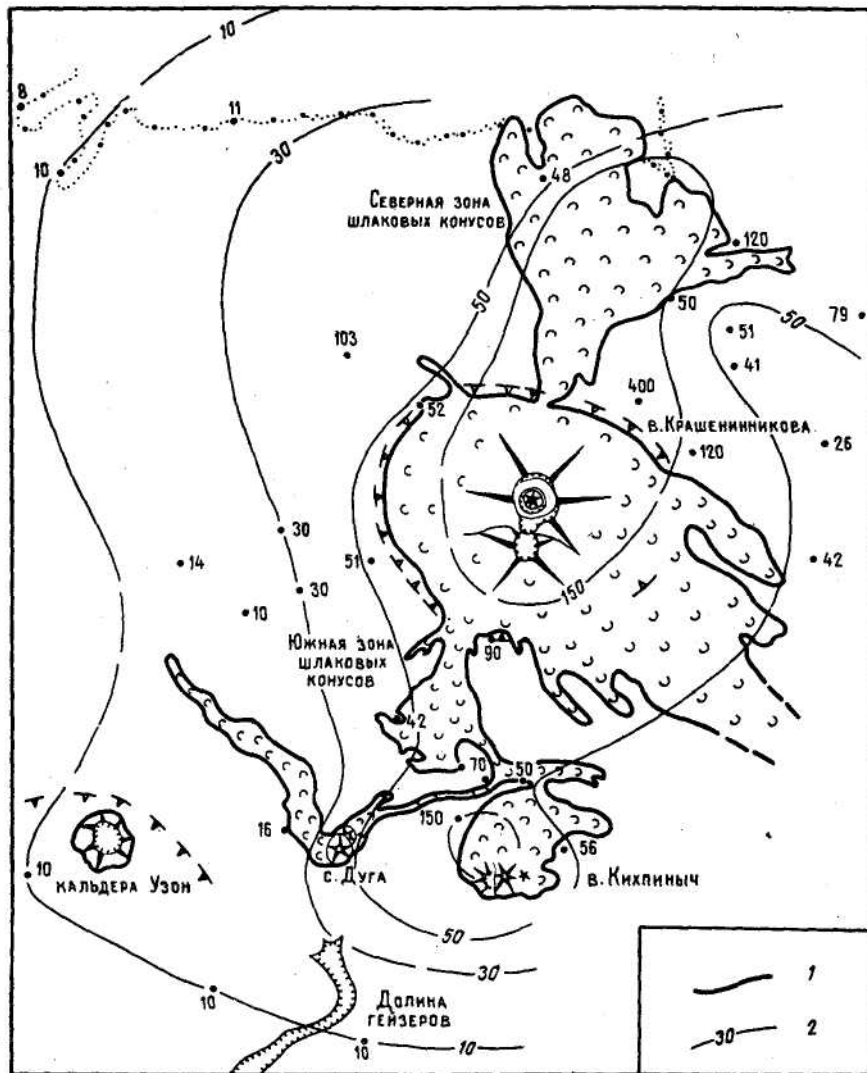


Рис. 6. Распространение лавовых потоков и изопахты максимальной мощности тефры единичного извержения за последние 10 тыс. лет. 1—границы лавовых потоков; 2—изопахиты; мощность, см

Западный, ~4800—4700 лет назад), а на севере участка самыми сильными были пеплопады при извержениях в северной зоне шлаковых конусов. Были построены изопахиты максимальной мощности тефры единичного пеплопада (см. рис. 6), которые оконтуривают наиболее опасную в прошлом зону, где мощности тефры единичного извержения за последние 10 тыс. лет превышали 50 см. Эта зона вытянута в СВ направлении, ширина ее около 15 км. На северо-востоке участка эта зона не замыкается, а продолжается к вулкану Кроноцкий, оконтуривая зону влияния шлаковых конусов его юго-западного подножия.

Мощности тефры, выпавшей во время одного извержения, превышают 1,5 м в пределах кальдеры Крашенинникова, северной зоны шлаковых конусов и вблизи вулкана Кихпинич. Мощности тефры шлаковых конусов и указанных вулканов довольно быстро уменьшаются с удалением от центров извержений: ширины зоны, где мощность тефры самого сильного за голоцен пеплопада превышала 10 см, не более 30 км (см.

рис. 6). Максимальное расстояние, на котором еще фиксируются в разрезах почвенно-пирокластического чехла пеплы вулкана Крашенинникова, достигает 60 км, вулкана Кихпиныч — 30—40 км, шлаковых конусов — до 12 км. За последние 1400 лет (т. е. за время последнего цикла формирования вулканов Крашенинникова и Кихпиныч) в районе произошло образование всего одного шлакового конуса (в кальдере), а эксплозивная активность вулкана Крашенинникова резко ослабла. Пеплы даже самого крупного за это время его извержения следятся не далее, чем на 15 км (см. рис. 4), объем их не превышает $0,05 \text{ км}^3$. Поэтому наибольшая опасность от выпадения тefры в указанное время была связана с вулканом Кихпиныч, у которого, напротив, произошли самые эксплозивные извержения. Тefра обоих вулканов представлена преимущественно грубым материалом — от бомб до грубозернистого песка.

Опасность для кальдеры Узон была также связана с образованием маара оз. Дальнее (фреатомагматическое извержение 7600—7700 лет назад), а также с паровыми взрывами, приуроченными к термальным площадкам, в результате которых образовались воронки, занятые сейчас озерами. Тefра маара следится на расстоянии не более 5 км от него, паровые взрывы давали крайне незначительное количество материала.

Воздействие тefры на природную среду носит комплексный характер: механический, термический, химический, электрический [11]. В первом случае важна прежде всего мощность выпавшей тefры и ее вес. Дополнительную нагрузку на подстилающую поверхность для нашего района можно оценить в 1800 кг/м^2 и более внутри изопахиты 150 см (см. рис. 6) и 120 кг/м^2 и менее за пределами изопахиты 10 см. Сведения о воздействии тefры на растительный покров в условиях Камчатки приведены в [5], а для крупнейших мировых извержений суммированы в работе [17]. Область механического и термического воздействия ограничена первыми километрами от центра извержения. Поражение растительного покрова и гибель животных на больших расстояниях происходит прежде всего за счет химического отравления — в результате выноса из пепловой тучи и уже отложившейся тefры воднорастворимых веществ. В связи с этим тонкие пеплы, в большей степени концентрирующие вредные вещества, могут представлять при равных мощностях большую опасность, чем грубые [17]. В то же время при мощности тefры менее 5 см она может оказывать благоприятное воздействие в качестве удобрения на некоторые виды растительности [5], а также при определенных условиях и на ряд обитателей рек и озер [9]. Так, при максимальных пеплопадах, связанных с вулканом Крашенинникова, в Кроноцкое озеро выпадало до $15 \cdot 10^6$ т пепла. Влияние его, по-видимому, было неоднозначным, так как происходило поступление в озеро и вредных и полезных для жизнедеятельности организмов веществ.

Район исследований захватывали пеплопады, связанные с извержениями вулкана Тауншиц; мощности 2—3-х горизонтов его пеплов достигали 2—3 см в кальдере Узон. Это средне- и мелкозернистые вулканические пески. Остальные извержения вулкана Тауншиц были еще слабее и существенной опасности не представляли.

С вулканом Кроноцкий с большой долей неуверенности может быть связан лишь один горизонт тefры за весь голоцен. Это среднезернистый вулканический песок, мощность которого растет на северо-востоке района, где достигает 10 см. Возраст этого пепла около 2000 лет. Тefра шлаковых конусов юго-западного подножия вулкана Кроноцкий слабо влияла только на крайний северо-восток района (2—3 извержения за голоцен).

Тefра удаленных вулканов (так называемая транзитная) связана, как правило, с катастрофическими (с объемом тefры более 1 км^3) из-

вержениями и следится на расстояние до нескольких сотен километров от эруптивного центра. Она представлена мелкозернистым вулканическим песком и тонким пеплом, мощность отдельных прослоев почти не меняется на всей изученной территории и не превышает 1—2, реже 4—5 см. Источники большинства транзитных пеплов района исследований были определены методом непосредственного прослеживания пепловых горизонтов, корреляция подтверждалась изучением вещественного состава пеплов и ^{14}C датированием [1—3]. В разрезах отмечены пеплы вулканов Кизимен (извержение ~ 7500 ^{14}C лет назад), Хангар (~ 7000 ^{14}C лет назад), Ксудач (~ 1800 — 2000 лет назад), Опала (Бараний амфитеатр, ~ 1500 лет назад), Щивелуч (~ 1300 — 1400 лет назад), Малый Семячик (~ 500 — 600 лет назад), возможно, Авача, кальдеры Карымская и др. (см. рис. 2, 3). Всего в голоценовых разрезах района насчитывается около 17 горизонтов транзитной тефры (один горизонт примерно за 600 лет), хотя они, естественно, распределены по разрезу неравномерно и в некоторые периоды (например, интервал 2000—500 лет назад), отлагаются чаще (1 за 300 лет), а в некоторые (например, в интервале 6300—2000 лет назад) реже (1 за 2200 лет). Всего же в торфянике кальдеры Узон (где условия захоронения были наилучшими) можно насчитать до 37—40 прослоев тефры, свидетельствующих о значительных (мощность свежей, неуплотненной тефры не менее 1—2 см) голоценовых пеплопадах: один пеплопад в 250—270 лет. Причем около половины горизонтов связано с близлежащими вулканами Крашенинникова, Кихпиныч, Тауншиц, а остальные — с извержениями удаленных вулканов.

Опасность, связанная с лахарами и обвалами. Лахары имели ограниченное распространение и были приурочены к кальдере Крашенинникова, юго-восточному склону докальдерной постройки, а также к долинам р. Светлой и ручьев в северной зоне шлаковых конусов. Максимальная длина (10—15 км) лахаров отмечена на юго-востоке участка.

Обвалы были приурочены к постройке вулкана Крашенинникова и не выходили за пределы кальдеры. Обвалы объемом около $(1 - 10) \cdot 10^6 \text{ м}^3$, не связанные с вулканической деятельностью, могли срываться также с внутренних стенок борта кальдеры Узон и с крутых бортов каньона Долины Гейзеров.

В целом наиболее опасными в прошлом местами были, естественно, утечки, непосредственно примыкающие к вулканическим центрам, т. е. кальдера Крашенинникова (практически в течение всего голоцена), северная зона шлаковых конусов (с начала голоцена до 3300 лет назад), южная зона шлаковых конусов (в начале голоцена и в недавнем прошлом), северное подножие вулкана Кихпиныч (4800—4700 и 1400—500 лет назад), отдельные участки кальдеры Узон, долины рек Светлая, Кроноцкая, в меньшей степени Узон. Наименее подверженными вулканическому влиянию участками были юго-западный берег оз. Кроноцкое и примыкающая к нему территория.

Будущая вулканическая опасность

Долгосрочный прогноз вулканической опасности. Как следует из анализа деятельности вулканов Крашенинникова и Кихпиныч, сейчас они находятся в состоянии длительного покоя: на вулкане Крашенинникова это скорее всего период покоя между этапами деятельности внутри цикла СС, а на вулкане Кихпиныч — между циклами его деятельности. Составив разные варианты подсчетов возможной длительности периодов покоя (по аналогии с предшествовавшими) и учитывая некоторую неуверенность в датировке последних извержений вулкана Кихпиныч, можно считать, что текущий период покоя может длиться еще от 200 до 2500 лет. Следовательно, в любом случае в течение времени, на кото-

рое реально дается долгосрочный прогноз (50—100 лет), вулканическая деятельность в пределах района исследований вряд ли возобновится. Учитывая, что начальные извержения циклов на вулкане Кихпиныч предваряли этапы на вулкане Крашенинникова, при возобновлении вулканической активности после периода покоя следует ожидать прежде всего извержений вулкана Кихпиныч.

Вулканическое районирование. Учитывая принципиальную возможность возобновления вулканической активности после определенного периода покоя, можно попробовать оценить вулканическую опасность для различных участков. Вряд ли следует ожидать в нашем районе катастрофических извержений с объемом материала более 1—2 км³, извержений с образованием пирокластических потоков, классических «направленных взрывов», поскольку вулканы Крашенинникова и Кихпиныч не давали таких извержений за последние 10 тыс. лет и не отмечена тенденция к такому изменению характера их деятельности. По-видимому, как и в прошлом, опасность будет исходить от лавовых потоков, тефры («своей» и транзитной), лахаров и обвалов, связанных и не связанных с вулканической деятельностью.

Выделены участки, на которых возможно образование новых эруптивных центров (рис. 7). Это (в порядке убывания вероятности) — северные и восточные склоны вулкана Кихпиныч, кальдера Крашенинникова, южная и северная зоны шлаковых конусов.

При выделении участков, для которых прогнозируется опасность от лавовых потоков и лахаров, учитывался рельеф местности [10]. На вулкане Кихпиныч при формировании нового конуса лавовые потоки могут двигаться в северном и восточном направлениях, распространение потоков в южном и западном направлениях будет сдерживаться постройкой горы Пик. Связанные с лавовыми потоками лахары могут пройти по долинам р. Светлой и ручьев восточного подножия вулкана. В восточном направлении возможно также площадное распространение лахаров (см. рис. 7).

Вулканическая деятельность в пределах кальдеры Крашенинникова может проявляться практически в любом ее месте. Так, при формировании Северного среднего конуса (1300—400 лет назад), наряду с деятельностью вершинного кратера, происходило образование бокк в СЗ, ЮВ и южном секторах кальдеры (см. рис. 1). Поэтому при возобновлении вулканической активности вся кальдера может представлять собой опасный участок. На рис. 7 показаны предполагаемые места выходов лавовых потоков за пределы кальдеры при условии, что мощность единичного лавового потока вулкана Крашенинникова не превышает 10—15 м. Возможны лахары почти по всем ручьям на склонах докальдерной постройки. В В—ЮВ направлениях вероятно площадное распространение лахаров. Прежде всего в южной, но не исключено, что и в северной зонах шлаковых конусов возможно образование новых эруптивных центров, излияния лав и возникновение связанных с ними лахаров (см. рис. 7).

В кальдере Узон и Долине Гейзеров возможны паровые взрывы на термальных площадках, обвалы с бортов соответственно кальдеры и каньона р. Гейзерной. Обвалы также могут быть приурочены к постройке вулкана Крашенинникова и в некоторой степени к крутым бортам кальдеры.

Наиболее сильные (с объемом тефры около 0,2 км³) эксплозивные извержения могут быть связаны с вулканом Кихпиныч. В случае равномерного распределения тефры вокруг вулкана радиус участка с мощностью тефры более 5 см составит ~8 км, а в случае направленного выброса — 27 км (см. рис. 7). Имеется в виду мощность тефры в уплотненном виде, реальная мощность свежевывавшего пепла будет в 1,5—2 раза больше. Эксплозивные извержения вулкана Крашенинникова вряд ли будут более сильными, чем таковые Северного среднего конуса, т. е.

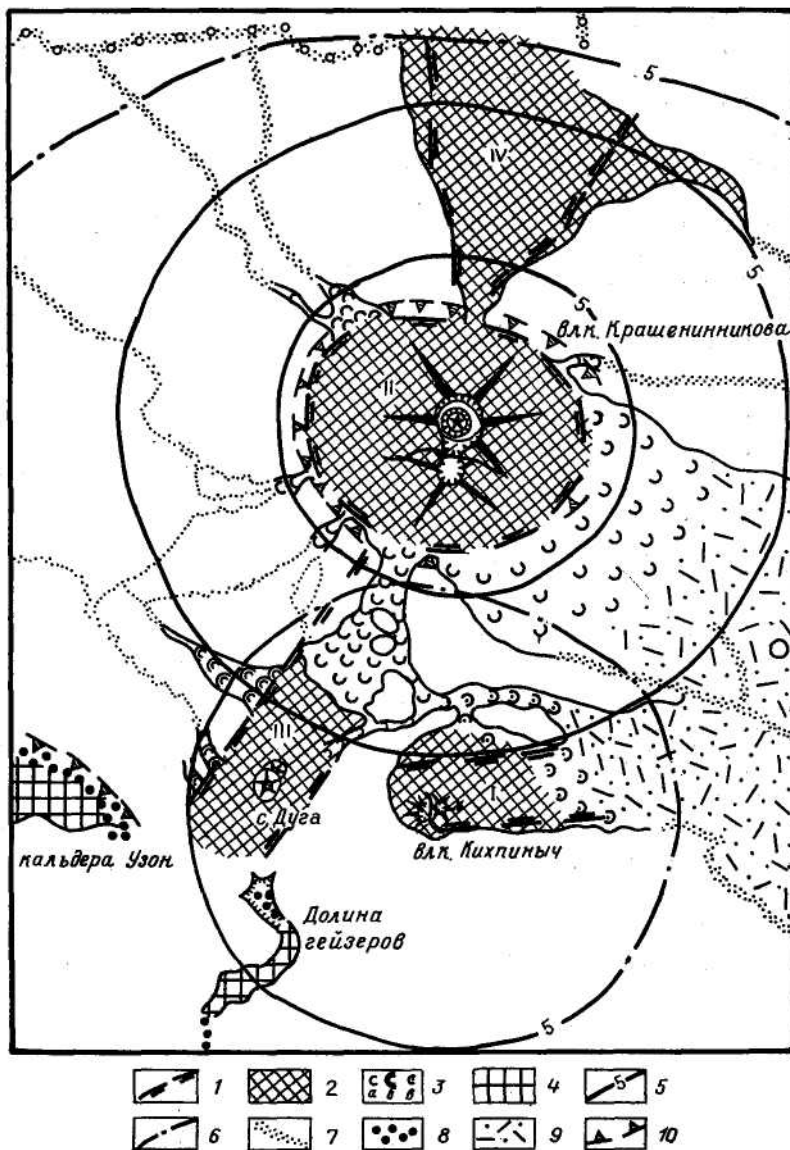


Рис. 7. Схема районирования будущей вулканической опасности. 1 — контуры зон, где возможно возникновение новых эруптивных центров (зоны пронумерованы в порядке убывания опасности): I — вулкан Кихпинич, II — кальдера Крашенинникова, III — южная зона шлаковых конусов, IV — северная зона шлаковых конусов; 2 — участки, подверженные наибольшей опасности от лавовых потоков; 3 — места возможного выхода лавовых потоков за пределы: а — кальдеры Крашенинникова, б — южной зоны шлаковых конусов, в — постройки вулкана Кихпинич; 4 — площади, где возможны паровые взрывы; 5, 6 — контуры зон максимального возможного пеллопада (ближняя к вулкану линия — при равномерном распространении тефры, дальняя — при направленном выбросе): 5 — при извержении вулкана Крашенинникова, 6 — вулкан Кихпинич; 7 — пути возможного распространения лахаров; 8 — участки возможного распространения обвальных масс; 9 — участки возможного площадного распространения лахаров; 10 — уступ борта кальдер. Остальные условные обозначения см. на рис. 1

объем тефры не превысит $0,05 \text{ км}^3$. В случае равномерного распределения вокруг вулкана радиус наиболее опасной зоны составит около 6 км, при направленном распространении — 11,5 км.

По-видимому, возможны эксплозивные извержения вулкана Тауншиц, но они не должны сильно воздействовать на рассматриваемый рай-

он, так как кратер вулкана Тауншиц открыт на запад. Мощность тефры вулкана Тауншиц на юго-западной оконечности участка не превысит 6 см и быстро будет уменьшаться при удалении на восток. Нельзя исключить возможности образования шлаковых конусов на ЮЗ подножии вулкана Кроноцкий, влияние тефры которых скажется на СВ оконечности района. Проблематичной остается и возможность извержений самого вулкана Кроноцкий. Как допускает И. В. Мелекесцев [19], для таких вулканов как Кроноцкий, Корякский и некоторых других вероятны внезапные сильные, вплоть до катастрофических, извержения, прогноз которых пока крайне затруднителен. Однако за последние 10 тыс. лет вулкан Кроноцкий почти не представлял угрозы для изученного района. Для уточнения представлений о потенциальной опасности от этого вулкана необходимы детальные работы на его северном и восточном подножиях. Мощности транзитных пеплов не должны превысить 2—3 см.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Брайцева О. А., Литасова С. #., Сулержицкий Л. Д. и др.* Радиоуглеродное датирование и палинологическое изучение почвенно-пирокластического чехла подножий вулканов Карымский и Малый Семьячи // *Вулканология и сейсмология*. 1989. № 1. С. 19—35.
2. *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. 1. Вулканическая деятельность, ее механизм, связь с геодинамикой, прогноз извержений и землетрясений. Тез. докл. VI Всесоюз. вулканол. совещ. (сентябрь 1985). Петропавловск-Камчатский, 1985. С. 12—14.
3. *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.
4. *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.
5. *Быкасов В. Е.* Шлаково-пепловый чехол извержения 1975 г. и поражение растительности Толбачинского дола // *Вулканология и сейсмология*. 1981. № 1. С. 76—78.
6. *Влодавец В. И., Пийп Б. И.* Каталог действующих вулканов Камчатки // *Бюл. вулканол. станций*. 1957. № 25. С. 5—95.
7. *Волынец О. Н., Пономарева В. В., Цюрупа А. А.* Петрологические и тефрохронологические исследования вулкана Крашенинникова на Камчатке // *Изв. АН СССР. Сер. геол.* 1989. № 7. С. 15—31.
8. *Гуценко И. И.* Извержения вулканов мира. М.: Наука, 1979. 476 с.
9. *Куренков И. И.* Воздействие вулканизма на речную фауну // *Природа*. 1957. № 12. С. 49—54.
10. *Мархинин Е. К., Сурин А. Н., Тиммербаева К. М., Токарев П. И.* Опыт вулканогеографического районирования Камчатки и Курильских островов // *Бюл. вулканол. станций*. 1962. № 32. С. 52—70.
- И. *Мелекесцев И. В.* Сильные пеплопады в г. Петропавловске-Камчатском // *Вопросы географии Камчатки*. Вып. 10. Петропавловск-Камчатский, (в печати).
12. *Мелекесцев И. В., Брайцева О. А., Пономарева В. В.* Динамика активности вулканов Мутновский и Горелый в голоцене и вулканическая опасность для прилегающих районов (по тефрохронологическим данным) // *Вулканология и сейсмология*. 1987. № 3. С. 3—18.
13. *Пономарева В. В.* Вулкан Крашенинникова: история формирования и динамика активности // *Вулканология и сейсмология*. 1987. № 5. С. 28—44.
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., Трифонов В. Г.* Новейшая тектоника и вулканизм Восточной вулканической зоны Камчатки // *Геотектоника*. 1985. № 4. С. 78—87.
16. *Штейнберг Г. С.* Об активности и строении вулкана Крашенинникова // *Бюл. вулканол. станций*. 1964. № 37. С. 16—20.
17. *Blong R. J.* *Volcanic Hazards. A sourcebook on the Effects of Eruptions.*, Sydney: Acad. Press, 1984. 170 p.
18. *Gill J. B.* *Orogenic Andesites and Plate Tectonics*. Berlin; Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1981. 289 p.
19. *Melekestev I. V., Braitseva O. A., Ponomareva V. V.* Prediction of volcanic hazards on the basis of the study of dynamics of volcanic activity, Kamchatka // *Volcanic Hazards. Assessment and Monitoring: IAVCEI Proceedings in Volcanology*. 1. Berlin; Toyko: Springer-Verlag, 1989. P. 10—35.

Институт вулканологии
ДВО АН СССР

Поступила в редакцию

9.02.198