

УДК 551.21

МЕЛЕКЕСЦЕВ И. В., БРАЙЦЕВА О. А., ПОНОМАРЕВА В. В.

**ДИНАМИКА АКТИВНОСТИ ВУЛКАНОВ МУТНОВСКИЙ
И ГОРЕЛЫЙ В ГОЛОЦЕНЕ И ВУЛКАНИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ
ДЛЯ ПРИЛЕГАЮЩИХ РАЙОНОВ
(по данным тефрохронологических исследований)**

Оценка вулканической опасности всегда предполагает изучение истории активности вулкана и связанных с ней опасных событий за последние тысячелетия. Однако хотя знание простого набора опасных событий прошлого необходимо, но недостаточно для правильной оценки будущей опасности. Определяющее значение для ее прогноза имеет выяснение тенденции в динамике вулканической активности и продуктивности вулкана и установление этапа развития вулкана в настоящее время. И как следствие этого — заключение о количестве, частоте, типе и энергии извержений, которые могут произойти именно на современном этапе жизни вулкана. Важно также четко определить интервал времени, для которого дается прогноз опасности.

Изучение динамики активности вулканов Горелый и Мутновский диктовалось насущной задачей оценки вулканической опасности в связи со строительством в непосредственной близости от них ГеоТЭС (рис. 1). Оба вулкана находятся в пределах вулканического района Южной Камчатки, в 70 км к юго-юго-западу от г. Петропавловск-Камчатский.

Действующий в. Горелый (последние извержения были в 1980—1981 и 1985 гг.) — вулканический хребет длиной около 7 км, общего западно-северо-западного простирания, состоящий из слившихся между собой пяти небольших стратовулканов. Хребет располагается в крупной (около 100 км²) овальной кальдере типа Кракатау, которая возникла в верхнем плейстоцене после выброса 100—150 км³ дацитовый пирокластик. Сам вулкан сложен преимущественно базальтовыми и андезитобазальтовыми породами. Максимальная абсолютная высота вулкана 1829 м, подножие находится на отметках 900—1100 м. В привершинной части имеется большое количество кратеров разного размера и возраста, включая активный (примерно в середине хребта).

Вулкан Мутновский располагается в 12—13 км к юго-востоку от в. Горелый. У его северного подножия и размещается предполагаемая площадка строительства ГеоТЭС. Вулкан образован четырьмя слившимися между собой стратовулканами позднеплейстоценового — голоценового возраста. Все они сложены преимущественно низкокальциевыми и известково-щелочными базальтами [4]. Андезиты и андезитодациты имеются в небольшом количестве. Максимальная высота вулкана 2324 м, подножие располагается на отметках 500—1000 м. Современная активность приурочена к огромному (3X2 км) сдвоенному восьмеркообразному кратеру, осложненному внутри системой более мелких кратеров с диаметром 0,3—0,6 км.

Определение направленности эволюции вулканов возможно только на основе реконструкции динамики их активности за длительный срок. Исторические же сведения об извержениях вулканов Горелый и Мутнов-

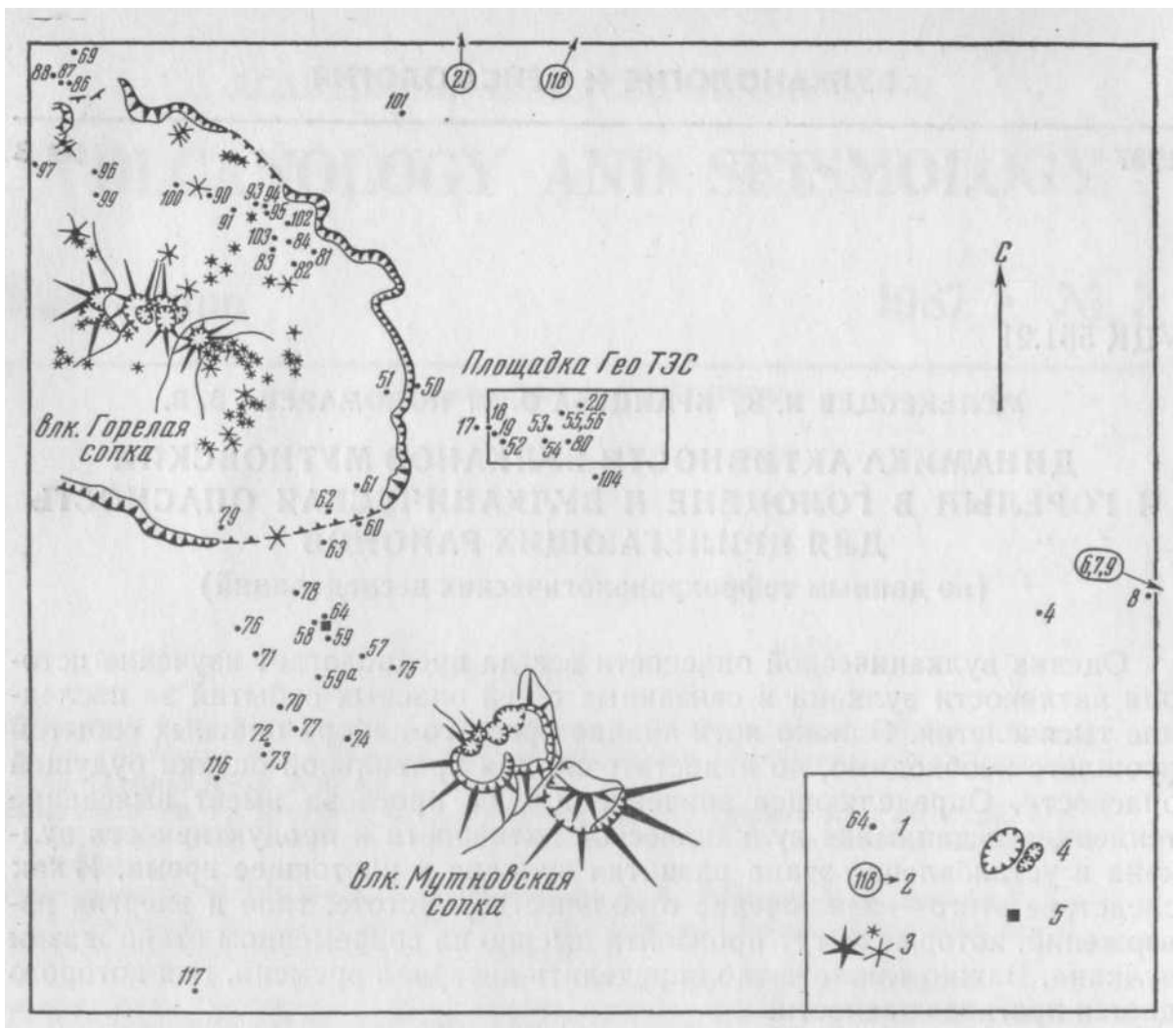


Рис. 1. Схема расположения эруптивных центров вулканов Мутновский и Горелый, разрезов почвенно-пирокластического чехла (ППЧ), площадки строительства Мутновской ГеоТЭС, 1, 2 — точки разрезов ППЧ, в кружках — точки, находящиеся за пределами схемы; 3 — конусы вулканических построек разного размера; 4 — кальдера Горелая и крупнейшие кратеры; 5 — Мутновский стационар Института вулканологии

ский охватывают лишь период с начала XIX в., поэтому для реконструкции истории их эруптивной активности использовался тефрохронологический метод с применением радиоуглеродного датирования — единственный способ достаточно надежно восстанавливать историю формирования вулканов за последние 9—10 тыс. лет.

Главным объектом исследования являлась тефра, захороненная в разрезах почвенно-пирокластического чехла подножия вулканов. Описано и использовано более 60 разрезов тефры (см. рис. 1). Для районов Дачных источников и Мутновского стационара Института вулканологии на основании этих данных составлены сводные разрезы (рис. 2), которые послужили основой для реконструкции эксплозивной активности вулканов. Одновременно проводилась возрастная привязка лавовых потоков для увязки эффузивной и эксплозивной деятельности во времени.

Главными источниками тефры были вулканы Мутновский и Горелый. Кроме того, в разрезах присутствовала «транзитная тефра», связанная с катастрофическими извержениями других вулканов Южной Камчатки. Принадлежность тефры к вулканам Мутновский или Горелый определялась по наращиванию ее мощности и укрупнению по мере приближения к соответствующему центру извержения. Кроме того, известно [4], что породы Мутновского вулкана отличаются пониженным содержанием K_2O . Как видно из рис. 2, эта особенность характерна и для андезитовой тефры в. Мутновский.

Тефра в. Горелый представлена преимущественно черными или темно-серыми вулканическими песками и шлаками. Вулканические пески

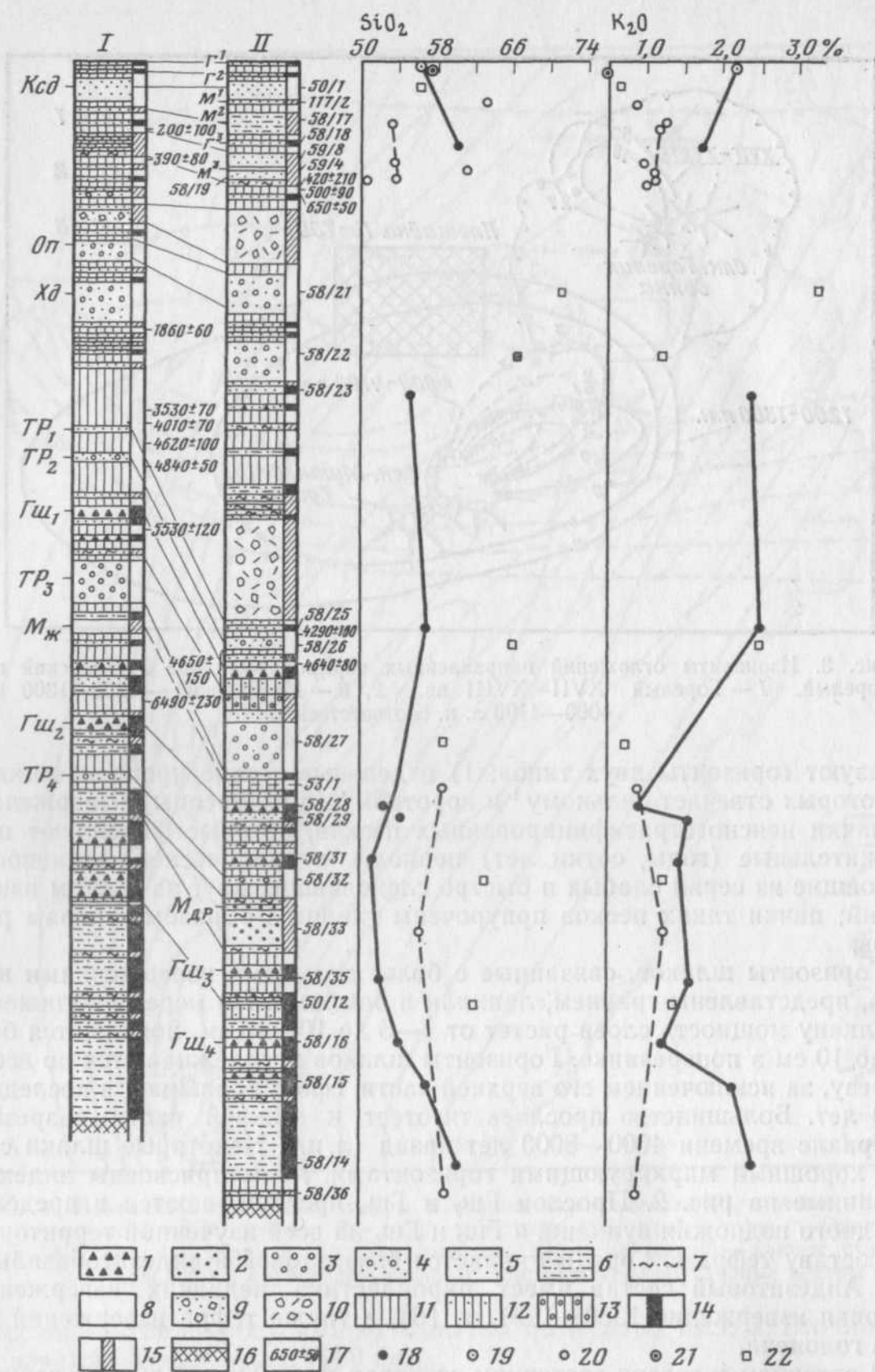


Рис. 2. Сводные разрезы почвенно-пирокластического чехла подножия в. Мутновский (I — в районе Дачных источников, II — в районе стационара Института вулканологии), 1 — вулканический гравий и лапилли шлаков; 2 — вулканический гравий и лапилли пористых андезитов; 3 — гравий и лапилли пемзы; 4 — вулканический песок и гравий; 5 — вулканический песок; 6 — вулканические пески стратифицированные; 7 — вулканические пески пылеватые; 8 — тонкий пепел; 9 — пески с обломками пород — взрывные отложения; 10 — грубообломочные взрывные отложения; 11 — супеси; 12 — супеси с вулканическим песком; 13 — супеси с пемзовым гравием и лапилли; 14 — тephра в. Горелый; 15 — тephра в. Мутновский; 16 — подстилающие чехол породы; 17 — радиоуглеродные даты (¹⁴C); 18—22 — содержание SiO₂ и K₂O в тephре: 18 — в. Горелый, 19 — в. Горелый (извержение 1980—1981 гг.), 20 — в. Мутновский, 21 — в. Мутновский (извержения 1960 г.), 22 — транзитная тephра. Индексы прослоев тephры: Ксд — в. Ксудач, 1907 г.; Оп — в. Опала, Хд — в. Ходутка; TP₁—TP₄ — транзитная тephра; M_{др}, M_ж — маркирующие прослои тephры в. Мутновский; Гш₁—Гш₄ — маркирующие прослои шлаков в. Горелый. Тephра извержений в. Горелый (Г¹—1980—1981, Г²—1929—1931, Г³—1828—1832 гг.) и в. Мутновский (M¹—1898 г. (?), M²—1848—1854 гг., M³—XVII в.). 50/1—58/36 — номера образцов тephры

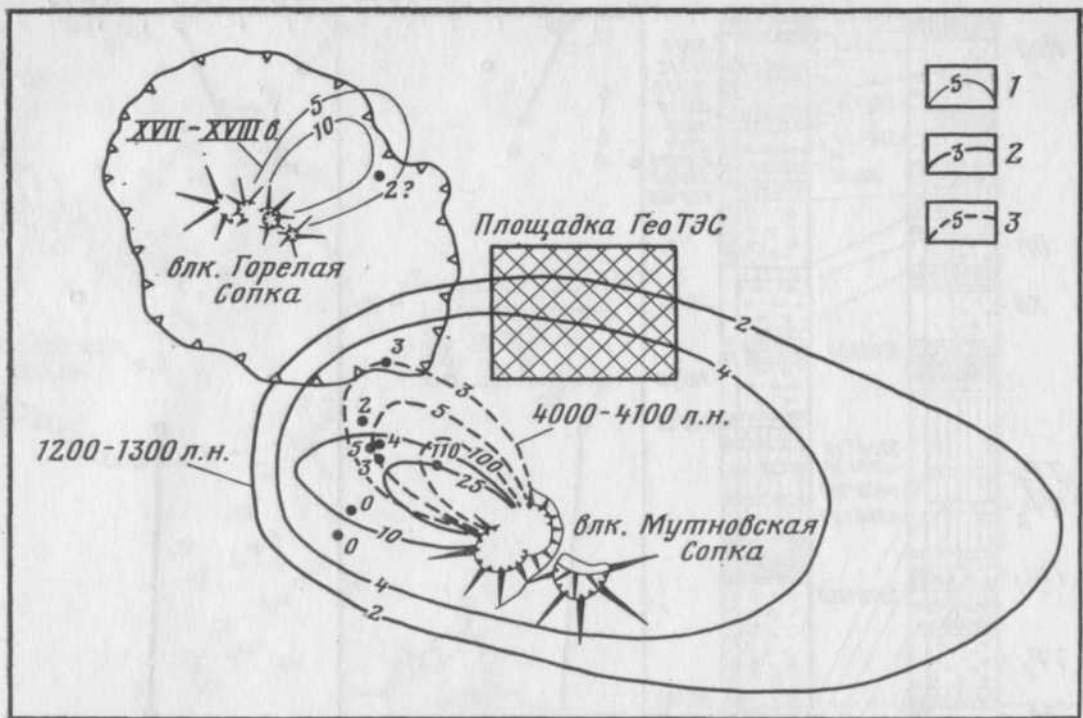


Рис. 3. Изопахиты отложений направленных взрывов вулканов Мутновский и Горелый. 1 — Горелый XVII—XVIII вв.; 2, 3 — Мутновский — 1200—1300 и 4000—4100 л. н. соответственно

образуют горизонты двух типов: 1) отдельные четкие прослой, каждый из которых отвечает сильному¹ и короткому (дни, месяцы) извержению; 2) пачки неясно стратифицированных песков, которые фиксируют продолжительные (годы, сотни лет) периоды вулканической активности, состоящие из серий слабых и быстро следовавших друг за другом извержений; пачки таких песков приурочены главным образом к низам разрезов.

Горизонты шлаков, связанные с более сильными извержениями вулкана, представлены гравием, лапилли и бомбами. По мере приближения к вулкану мощность слоев растет от 1—5 до 10—40 см, появляются бомбы до 10 см в поперечнике. Горизонты шлаков прослеживаются по всему разрезу, за исключением его верхней части, сформированной в последние 2000 лет. Большинство прослоев тяготеет к нижней части разреза в интервале времени 4000—8000 лет назад (л.н.). Некоторые шлаки служат хорошими маркирующими горизонтами, и им присвоены индексы указанные на рис. 2. Прослой Гш₁ и Гш₂ прослеживаются в пределах западного подножия вулкана, а Гш₃ и Гш₄ на всей изученной территории. По составу тефра в. Горелый является базальтовой и андезитобазальтовой. Андезитовый состав имеет пирокластика недавних извержений, включая извержение 1980—1981 гг. [6], а также тефра извержений начала голоцена.

В северном и северо-восточном секторах подножия вулкана в верхней части разрезов присутствует не менее двух горизонтов грубообломочных отложений, связанных с фреатическими направленными взрывами умеренной силы. Мощность горизонтов вблизи вулкана достигает 0,5—1 м, преобладают обломки измененных околожерловых пород, размер которых на расстоянии 3—5 км от кратера равен 10—20 см.

Тефра в. Мутновский подразделяется на несколько типов. Первый из них — мощный горизонт тефры крупного извержения вулкана, который тяготеет к нижней части разреза и представлен гравием и лапилли плот-

¹ Под слабыми в настоящей работе понимаются извержения, поставляющие порядка $n \cdot 10^6$, средними — $n \cdot 10^7$, сильными — $n \cdot 10^8$ м³ материала.

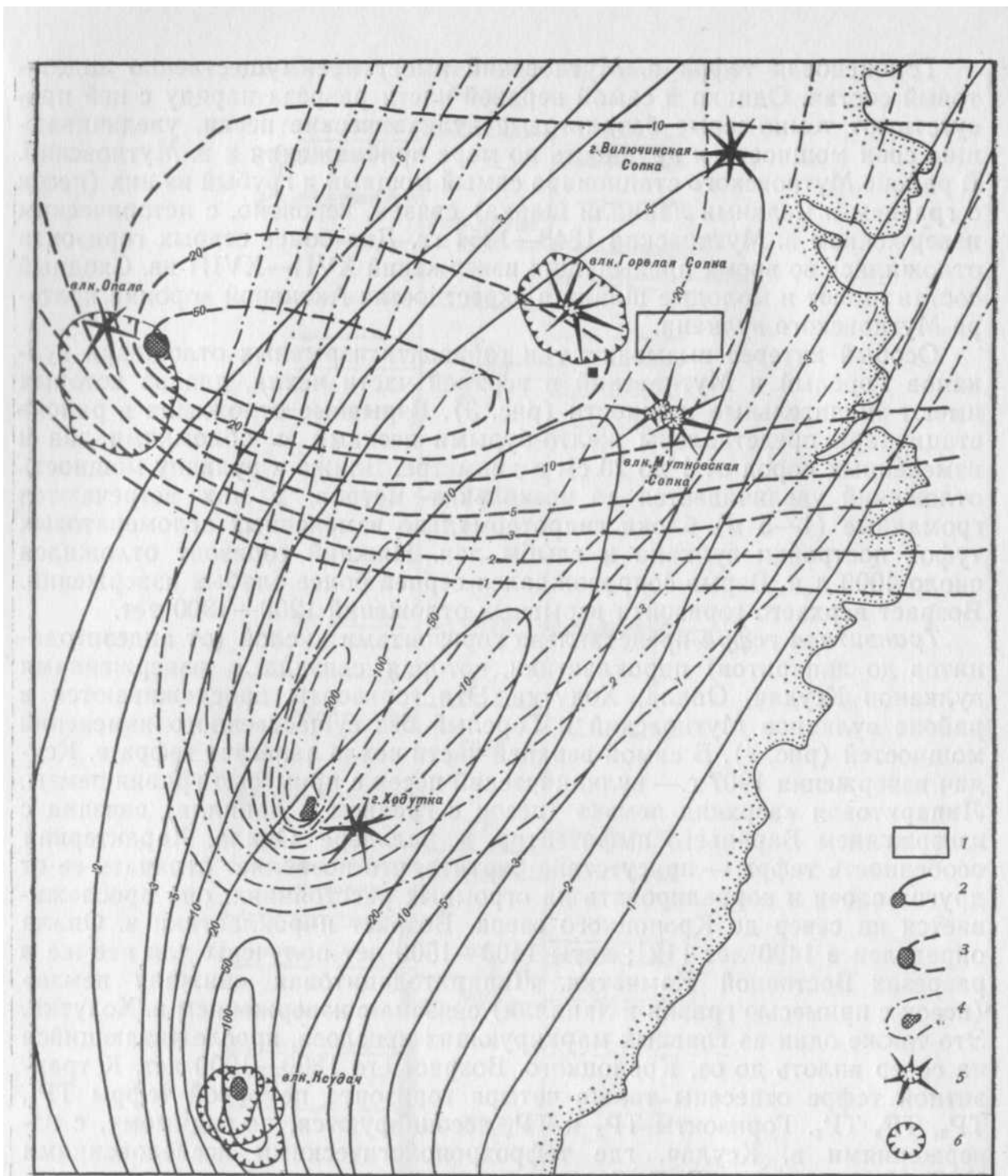


Рис. 4. Изопахиты транзитной тефры в районе строительства Мутновской ГеоТЭС. 1 — площадка ГеоТЭС, проект; 2 — тephра в. Ксудач, 1907 г.; 3 — тephра в. Опала, возраст 1450 лет; 4 — тephра в. Ходутка, возраст 1800—1900 лет; 5 — конусы вулканов; 6 — кальдеры и крупнейшие кратеры. Заштрихованы эруптивные центры

ных андезитов с прослоями желтоватых пылеватых песков. Его ориентировочный возраст около 7000 лет.

Другой тип тephры — относительно маломощные (1—3 см) прослойки пеплов, связанные с фреатическими и фреатомагматическими извержениями. Это преимущественно тонкие пеплы с включением более крупных зерен песка и гравия; материал в основном резургентный и представлен раздробленными измененными породами, что и обуславливает желтый цвет тephры. Наиболее мощный горизонт обозначен индексом $M_{ж}$, его возраст около 6000 лет; ось пеплопада имела северное направление. Местами резургентные пеплы становятся более грубыми. Так, в верхней части чехла в долине р. Мутной отмечены мощные (за счет переотложения) серо-желтые крупно- и грубозернистые вулканические пески, залегающие непосредственно под тephрой в. Ксудач (1907 г.). Эти пеплы отложились во время извержения конца XIX — начала XX в.

Голоценовая тефра в. Мутновский имеет преимущественно андезитовый состав. Однако в самой верхней части разреза наряду с ней присутствуют темно-серые базальтовые вулканические пески, увеличивающие свои мощности и крупность по мере приближения к в. Мутновский. В районе Мутновского стационара самый мощный и грубый из них (песок с гравием и мелкими лапилли шлака) связан, вероятно, с историческим извержением в. Мутновский 1848—1854 гг. Два более старых горизонта отложились во время предыдущих извержений XVII—XVIII вв. Сходный состав имеют и молодые шлаки в окрестностях Активной воронки кратера Мутновского вулкана.

Особый интерес вызывают три горизонта взрывных отложений вулканов Горелый и Мутновский в верхней части чехла, два из которых имеют значительные мощности (рис. 3). Взрывные отложения в районе стационара представлены желто-бурыми песками с обломками лав и измененных пород от 1 до 20 см в диаметре. Ближе к вулкану мощность отложений увеличивается до нескольких метров, в них встречаются громадные (1—5 м) блоки гидротермально измененных агломератовых туфов постройки вулкана и глыбы лав. Нижний горизонт отложился около 4000 л. н. Взрыв сопровождался серией более слабых извержений. Возраст верхнего горизонта взрывных отложений 1200—1300 лет.

Транзитная тефра представлена горизонтами кислой (от андезитодацитов до липаритов) пироклаستي, которая связана с извержениями вулканов Ксудач, Опала, Ходутка. Эти горизонты прослеживаются в районе вулканов Мутновский и Горелый без существенного изменения мощностей (рис. 4). В самой верхней части чехла залегает тефра в. Ксудач извержения 1907 г. — вулканический песок с примесью гравия пемзы. Липаритовая «верхняя пемза» (песок с гравием и лапилли) связана с извержением Бараньего амфитеатра в кальдере Опала. Характерная особенность тефры — присутствие биотита, что позволяет отличать ее от других слоев и коррелировать на огромных расстояниях: она прослеживается на север до Кроноцкого озера. Возраст пироклаستي в. Опала определен в 1490 лет [12]; даты 1400—1500 лет получены для нее же в разрезах Восточной Камчатки. Липаритодацитовая «нижняя пемза» (песок с примесью гравия и лапилли) связана с извержением в. Ходутка. Это также один из главных маркирующих прослоев, прослеживающийся на север вплоть до оз. Кроноцкого. Возраст его 1800—1900 лет. К транзитной тефре отнесены также четыре горизонта пемзовой тефры TR₁ TR₂, TR₃, TR₄. Горизонты TR₃ и TR₄ ассоциируются, по-видимому, с извержениями в. Ксудач, где тефрохронологическими исследованиями И. В. Мелекесцева и Л. Д. Сулержицкого установлены близкие по возрасту сильные извержения.

Реконструкция активности вулкана Горелый

В интервале времени от 9000² до 6000 л. н. деятельность вулкана отличалась напряженной эксплозивной активностью, для которой были характерны многочисленные слабые, часто следовавшие друг за другом извержения (рис. 5). Однако на общем фоне происходили извержения средней силы с выбросом базальтовых и андезитобазальтовых бомбово-лапиллиевых шлаков и грубых пеплов с объемом выброшенного материала в десятки млн. м³. В интервале от 6500 до 8000 л. н. было по крайней мере восемь таких извержений. Тефра выпадала на прилегающей территории радиусом до 15 км и площадью около 700 км². Дополнительная нагрузка от выпадения тефры составляла 100—250 кг/м² в 3—5 км от вулкана. В ходе извержений изливались также многочисленные протяженные лавовые потоки, заполнявшие кальдеру. Установлены последо-

² Возраст основания чехла принят равным 9000 лет по данным спорово-пыльцевого анализа (И. А. Егорова) и скорости накопления пироклаستي нижней части разреза.

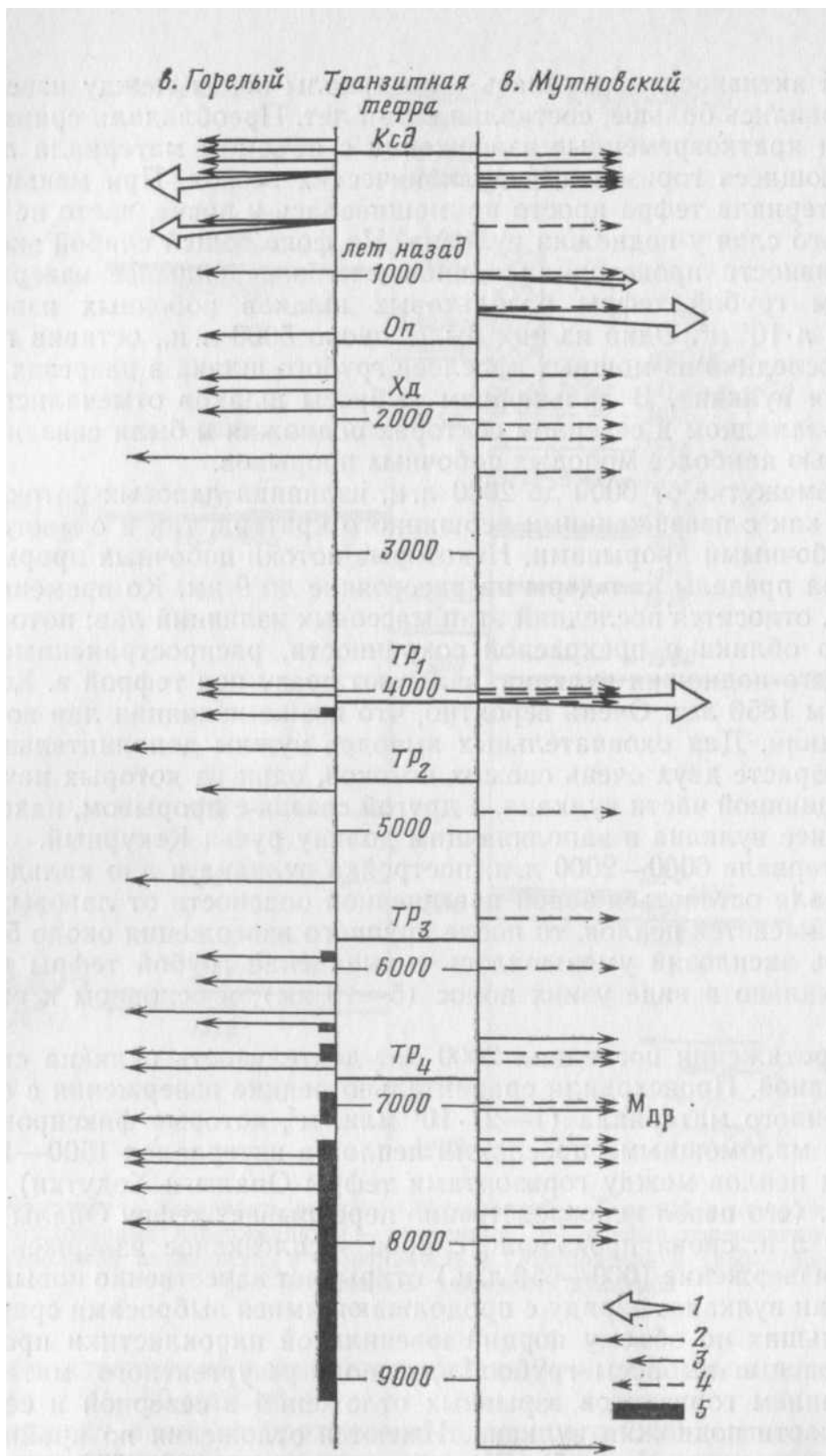


Рис. 5. Эксплозивная активность вулканов Мутновский и Горелый в голоцене. 1 — направленные взрывы, 2 — умеренные извержения ($n \cdot 10^7$ млн. м³ материала), 3 — слабые фреатомагматические извержения ($n \cdot 10^6$ млн. м³ материала), 4 — фреатические извержения, 5 — периоды постоянной слабой эксплозивной активности. В центре — извержения транзитных тефр

вательные возрастные комплексы потоков, перекрытые соответственно наиболее древними горизонтами тефры основания чехла, тефрой слоев ТР₃ и ТР₄. Постройка вулкана и дно кальдеры были местом постоянной повышенной опасности от лавовых излияний.

В интервале 6000—2000 л. н. деятельность вулкана продолжала носить эффузивно-эксплозивный характер. Однако напряженность вулка-

нической активности снижалась — интервалы покоя между извержениями становились больше, составляя сотни лет. Преобладали сравнительно редкие и кратковременные извержения с объемом материала $p-10^7$ м³, фиксирующиеся горизонтами вулканических песков. При меньших объемах материала тефра просто примешивалась к почве, часто не образуя отдельного слоя у подножия вулкана. На фоне общей слабой эксплозивной активности происходили одиночные, более сильные извержения с выбросом грубой тефры базальтовых шлаков побочных извержений объемом $p-10^7$ м³. Одно из них было около 5000 л. н., оставив горизонт Гш1 — последний из мощных прослоев грубого шлака в разрезах южного подножия вулкана. В дальнейшем выбросы шлаков отмечались только в северо-западном и северном секторах подножия и были связаны с деятельностью наиболее молодых побочных прорывов.

В промежутке от 6000 до 2000 л. н. излияния лавовых потоков были связаны как с извержениями вершинного кратера, так и с многочисленными побочными прорывами. Некоторые потоки побочных прорывов выходили за пределы кальдеры на расстояние до 9 км. Ко времени 2000—2500 л. н. относится последний этап массовых излияний лав: потоки очень молодого облика и прекрасной сохранности, распространенные в пределах всего подножия вулкана, залегают сразу под тефрой в. Ходутка с возрастом 1850 лет. Очень вероятно, что позже излияния лав вообще не происходили. Для окончательных выводов нужны дополнительные данные о возрасте двух очень свежих потоков, один из которых начинается в привершинной части вулкана, а другой связан с прорывом, находящимся западнее вулкана и заполняющим долину ручья Кекурный.

В интервале 6000—2000 л. н. постройка вулкана и дно кальдеры еще продолжали оставаться зоной повышенной опасности от лавовых излияний. Что касается пеплов, то после крупного извержения около 5000 л. н. опасность эксплозий уменьшилась — выпадение грубой тефры происходило локально в виде узких полос (5—10 км), в основном к северу от вулкана.

На протяжении последних 2000 лет деятельность вулкана свелась к эксплозивной. Происходили сравнительно редкие извержения с объемом выброшенного материала (1—2) $\cdot 10^7$ млн. м³, которые фиксировались в разрезах маломощными прослоями пеплов в интервалах 1500—1900 л. н. (прослой пеплов между горизонтами тефры Опалы и Ходутки) и около 1400 л. н. (его пепел непосредственно перекрывает тефру Опалы). Затем 900—950 л. н. снова произошло слабое эксплозивное извержение. Следующее извержение (600—650 л. н.) открывает качественно новый период в развитии вулкана: наряду с продолжающимися выбросами сравнительно небольших по объему порций ювенильной пироклаستيку происходят неоднократные выбросы грубообломочного резургентного материала с образованием горизонтов взрывных отложений в северной и северо-западной части подножия вулкана. Имеются отложения по крайней мере двух таких взрывов (рис. 5). Один был, вероятно, 600—650 л. н., второй в XVIII в., поскольку отложения взрыва прямо перекрываются тефрой исторических извержений вулканов Мутновский и Горелый.

Не исключено, что с фреатических извержений XVIII в. начался последний эруптивный цикл в. Горелый. Извержения, которые запечатлелись в разрезах горизонтами пеплов, происходят с интервалом 50—100 лет (рис. 6), т. е. несколько чаще, чем на предыдущем 1500-летнем отрезке. С учетом слабых извержений, тефра которых не образует в чехле самостоятельных прослоев, но известных по хроникам [2], частота извержений составит одно в 4—60 лет. Извержения имеют фреатический и фреатомагматический характер, продукты их представлены смесью ювенильной пироклаستيку и резургентного материала, содержащего измененные породы. Такова тефра наиболее крупных извержений исторического времени—1828—1832, 1929—1931, 1980—1981 гг. Продолжи-

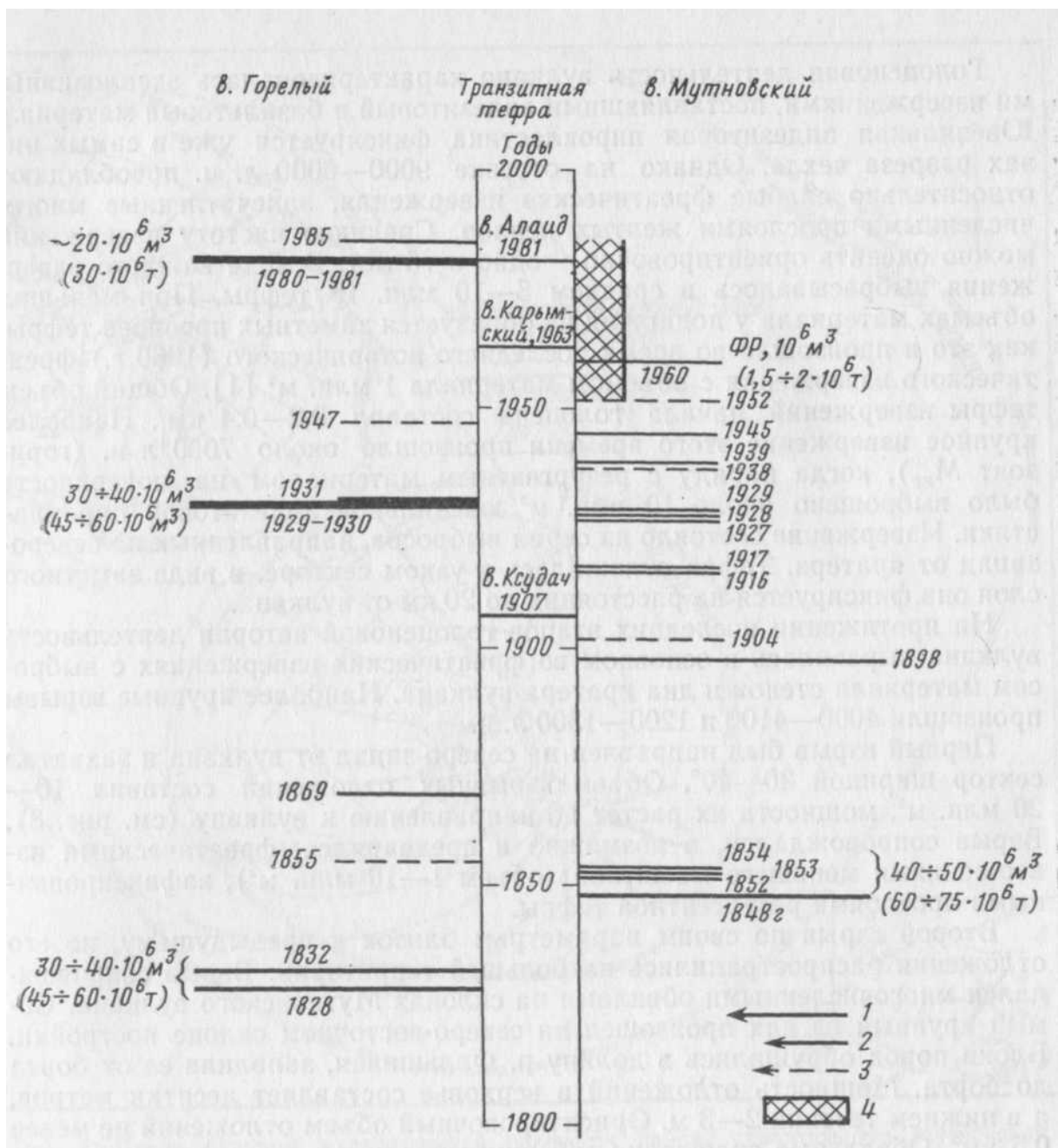


Рис. 6. Эруптивная активность вулканов Мутновский и Горелый в историческое время. 1—2—эксплозивные извержения: /—умеренные, 2—слабые извержения; 3—усиление фумарольной активности; 4—активность в. Мутновский в 1952—1985 гг. В центре — извержения удаленных вулканов

тельность извержений колеблется от 1 до 3—4 лет, объем материала не превышает 20—30 млн. м³.

Поскольку лавы на протяжении последнего 2000-летнего отрезка не изливались, вулканическая опасность определялась только эксплозивной активностью. Она была незначительна для прилегающих к вулкану территорий в связи с малой мощностью тефры. Дополнительная нагрузка на подстилающую поверхность не превышала 10—25 кг/м². Выбросы грубых шлаков и фреатические взрывы затронули только постройку вулкана и прилегающие участки дна кальдеры.

Реконструкция активности вулкана Мутновский

Постройка вулкана возникла в позднем плейстоцене и заведомо старше 9000 лет, так как лавовые потоки даже самого молодого конуса перекрываются полным голоценовым чехлом тефры. В. Мутновский был крупным центром оледенения в позднем плейстоцене, следовательно, имел значительные высоты и размеры уже около 20 тыс. л. н.

Голоценовая деятельность вулкана характеризовалась эксплозивными извержениями, поставлявшими андезитовый и базальтовый материал. Ювенильная андезитовая пирокластика фиксируется уже в самых низах разреза чехла. Однако на отрезке 9000—6000 л. н. преобладают относительно слабые фреатические извержения, запечатленные многочисленными прослоями желтых пеплов. Среднюю частоту извержений можно оценить ориентировочно — одно в 75 лет. В ходе каждого извержения выбрасывалось в среднем 5—10 млн. м³ тефры. При меньших объемах материала у подножия не образуется заметных прослоев тефры, как это и произошло во время последнего исторического (1960 г.) фреатического извержения с объемом материала 1 млн. м³ [1]. Общий объем тефры извержений начала голоцена составил 0,2—0,4 км³. Наиболее крупное извержение этого времени произошло около 7000 л.н. (горизонт М_{др}), когда наряду с резургентным материалом на поверхность было выброшено около 10 млн. м³ ювенильной андезитовой пирокластики. Извержение состояло из серии выбросов, направленных на северо-запад от кратера. Тефра отложилась в узком секторе, в виде заметного слоя она фиксируется на расстоянии до 20 км от вулкана.

На протяжении последних этапов голоценовой истории деятельность вулкана выразилась в основном во фреатических извержениях с выбросом материала стенок и дна кратера вулкана. Наиболее крупные взрывы произошли 4000—4100 и 1200—1300 л. н.

Первый взрыв был направлен на северо-запад от вулкана и захватил сектор шириной 30—40°. Объем взрывных отложений составил 10—20 млн. м³, мощность их растет по направлению к вулкану (см. рис. 3). Взрыв сопровождался, а возможно и предварялся, фреатическими извержениями меньшего масштаба (объем 1—10 млн. м³), зафиксированными прослоями резургентной тефры.

Второй взрыв по своим параметрам близок к предыдущему, но его отложения распространились на большей территории. Взрыв сопровождался многочисленными обвалами на склонах Мутновского вулкана. Самый крупный из них произошел на северо-восточном склоне постройки. Блоки пород обрушились в долину р. Фальшивая, заполнив ее от борта до борта. Мощность отложений в верховье составляет десятки метров, а в нижнем течении 2—3 м. Ориентировочный объем отложений не менее 0,5 км³. Обвальные отложения субсинхронны взрыву, так как они занимают аналогичное стратиграфическое положение, залегая на маркирующем слое тефры в. Опала. От внешнего края обвальных отложений начинался мощный лахар, дошедший до берега океана.

Многочисленные обвалы вообще очень характерны для района Мутновского вулкана. Они фиксируются на его склонах, хорошо видны в кратере вулкана, в пределах гор Скалистая и Двугорбая, на бортах долин рек Фальшивая, Жировая, Мутная. Часть из них была вызвана сотрясением постройки вулкана при фреатических извержениях, а часть имеет сейсмотектоническое происхождение, так как район находится в зоне девятибалльных землетрясений.

После второго взрыва эксплозивная деятельность вулкана стала умеренной. Происходили эпизодические извержения, разделенные интервалами в сотни лет. Как и раньше, в составе тефры преобладал резургентный материал, объем продуктов не превышал 5—10 млн. м³ за одно извержение.

В результате многочисленных извержений и сопровождающих их явлений конца верхнего плейстоцена (?)—голоцена возник и сам главный кратер Мутновского вулкана, а также осложняющие его кратеры и воронки до 0,3—0,6 км в поперечнике — результат наиболее молодых извержений этого вулкана. О многоступенчатости процесса образования главного кратера свидетельствует примерное равенство объема его полости и суммарного объема связанной с ним тефры, взрывных и лаха-

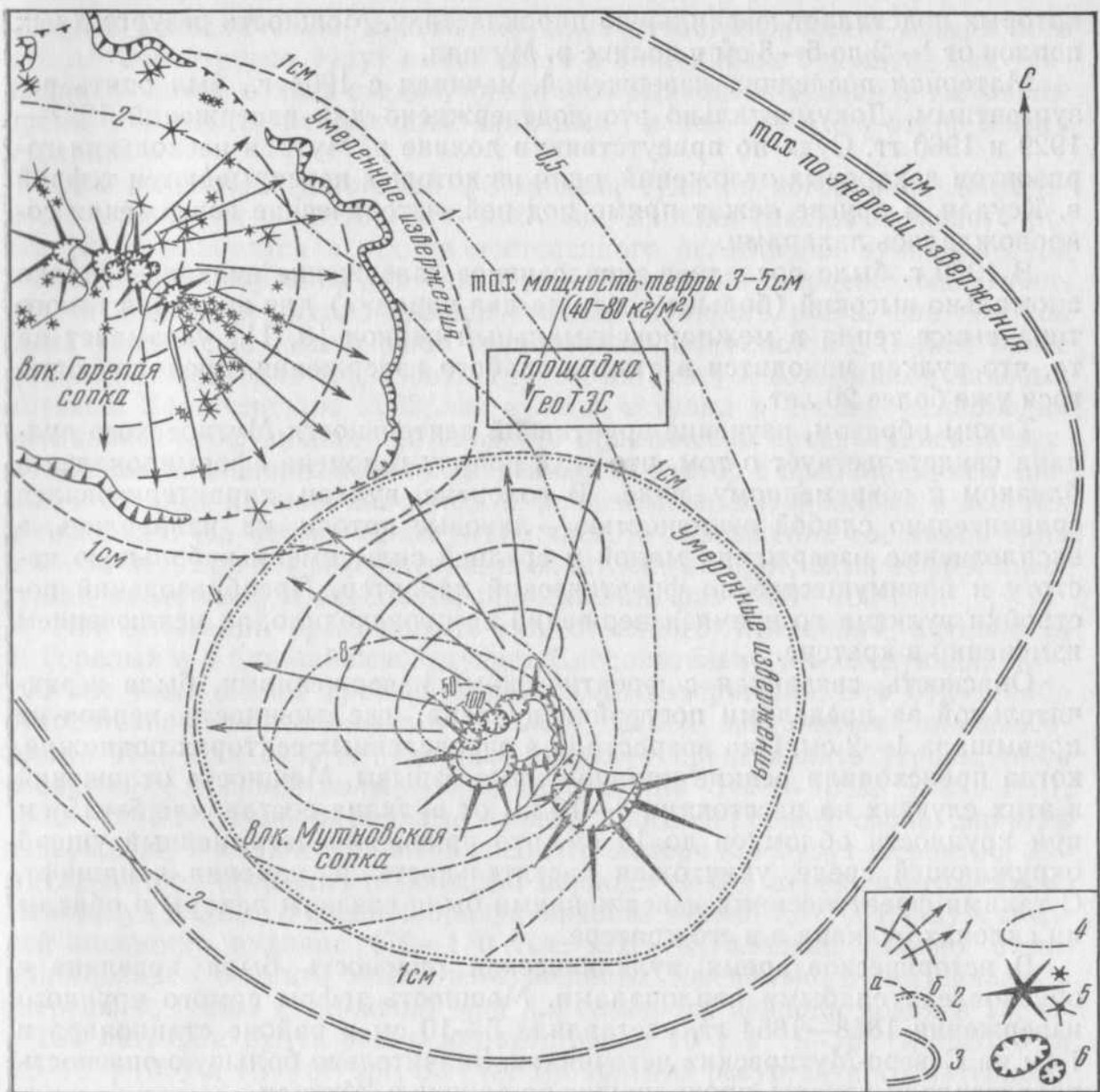


Рис. 7. Схема будущей вулканической опасности района строительства Мутновской ГеотЭС. 1—возможные секторы направленных вулканических взрывов; 2—1—см. изопакта тefры при умеренных извержениях (а—в. Горелый, б—в. Мутновский); 3—1—см. изопакта тefры при сильных извержениях; 4—изопакты тefры извержения в. Мутновский 1848—1854 гт. Остальные условные обозначения см. в подписи к рис. 1

ровых отложений. Следов же одного (или двух) катастрофических извержений, которые бы указывали на одноактность формирования главного кратера, нами не обнаружено.

Особое место в жизни вулкана занимает последний этап его эруптивной активности, начавшийся в XVII—XVIII вв. Специфика этапа — поступление на поверхность ювенильного материала, представленного известково-щелочными базальтами и андезитобазальтами. Извержения происходили в северо-восточной части главного кратера из нескольких эруптивных центров, вблизи которых формировалось некоторое подобие шлаковых конусов. Самый молодой эруптивный центр — Активная воронка, два других кратера расположены к юго-западу от нее.

За последние 200 лет произошло по меньшей мере три крупных выброса основной ювенильной пирокластикки. Извержение 1848—1854 гт. было наиболее мощным, с объемом материала 50 млн. м³. Распределение тefры показано на рис. 7. Два других, более ранних извержения были в 2—3 раза слабее. Они предварялись фреатическими взрывами, тefра

которых подстилает ювенильную пирокластику. Мощность резургентных пеплов от 1—2 до 6—8 см в долине р. Мутная.

Материал последних извержений, начиная с 1904 г., был опять резургентным. Документально это подтверждено для извержений 1927—1929 и 1960 гг. Судя по присутствию в долине р. Мутная нескольких горизонтов лахаровых отложений, одни из которых перекрываются тефрой в. Ксудач, а другие лежат прямо под ней, исторические извержения сопровождались лахарами.

В 1960 г. было последнее эксплозивное извержение вулкана. Однако аномально высокий (больше почти на два порядка) для вулканов такого типа вынос тепла в межпароксизмальный период [9, 11] указывает на то, что вулкан находится в стадии слабого извержения, продолжающегося уже более 20 лет.

Таким образом, изучение эруптивной деятельности Мутновского вулкана свидетельствует о том, что он к началу голоцена сформировался в близком к современному виде. В голоцене вулкан характеризовался сравнительно слабой активностью — лавовые потоки не изливались, а эксплозивные извержения малой и средней силы имели небольшую частоту и преимущественно фреатический характер. Преобразований постройки вулкана во время извержений не происходило, за исключением изменений в кратере.

Опасность, связанная с фреатическими извержениями, была незначительной за пределами постройки вулкана, где мощность пеплов не превышала 1—2 см. Она возрастала в определенных секторах подножия, когда происходили редкие направленные взрывы. Мощность отложений в этих случаях на расстоянии 8—10 км от вулкана составляла 5—15 см при крупности обломков до 10 см, что приносило несомненный ущерб окружающей среде, уничтожая растительность и изменяя ландшафт. С такими фреатическими извержениями были связаны лахары и обвалы на склонах вулкана и в его кратере.

В историческое время вулканическая опасность была невелика и обусловлена слабыми пеплопадами. Мощность тефры самого крупного извержения 1848—1854 гг. составляла 5—10 см в районе стационара и 1 см на Северо-Мутновских источниках. Значительно большую опасность представляли лахары, проходившие по долине р. Мутная.

Опасность от других вулканов Южной Камчатки была связана с выпадением тефры при их катастрофических извержениях. По мощности и гранулометрическому составу транзитная тефра близка или даже превышает таковую для вулканов Мутновский и Горелый, поскольку катастрофические извержения вулканов Ксудач, Опала и Ходутка намного превосходили по энергии и объему выброшенного материала (2—10 км³) самые сильные извержения Горелого и Мутновского. Дополнительная нагрузка от транзитной тефры на подстилающую поверхность в исследованном районе доходила до 250¹—300 кг/м² при максимальной мощности тефры около 25 см.

Прогноз будущей вулканической опасности для района строительства Мутновской ГеоТЭС на 50—100 лет³

Реконструкция истории активности вулканов в голоцене дала представление о характере и размерах прошлой вулканической опасности. Однако не следует полагать, что все описанные события (излияния лав,

³ Прогноз не учитывает возможности возобновления сильной эксплозивной и эффузивной деятельности вулканов в любое время, так как основывается на весьма ограниченных данных по истории их развития в плейстоцене и на упрощенной схеме стадийности развития вулканов вообще [8]. Примеры внезапного, особенно катастрофического возобновления активности вулканов после длительных периодов ослабления деятельности или покоя широко известны. *Прим. ред. Ю. П. Масуренкова*

мощные вулканические взрывы, крупные катастрофические извержения и т. д.) обязательно будут иметь место в ближайшем будущем. Как указывалось выше, важны стадия, на которой находится вулкан в настоящее время, и характер извержений, типичный именно для этого этапа жизни вулкана.

Оба вулкана, Мутновский и Горелый, судя по истории их деятельности в позднем плейстоцене — голоцене, прошли стадию активного роста [8] и находятся в стадии постепенного ослабления вулканической деятельности. Изучение деятельности в. Горелый в голоцене показывает, что он достаточно давно прошел стадию активного роста, для которой была характерна интенсивная эксплозивная активность с серией более мощных извержений (горизонты грубых шлаков) и излияниями лавовых потоков. За последние 2000 лет вулкан вступил в стадию ослабления активности: эффузивная деятельность практически прекратилась, а эксплозивная активность носила умеренный характер с преобладанием слабых и средних по силе извержений, разделенных интервалами в десятки и сотни лет. На историческом этапе частота извержений составила одно в 4—60 лет, причем извержения, запечатленные прослоями тефры и могущие представлять опасность, происходили раз в 50—100 лет.

Нет оснований предполагать существенного изменения активности в. Горелый и в ближайшем будущем. Следовательно, в последующие 50—100 лет тоже может произойти несколько извержений. Это будут либо относительно частые (через 5—10 лет) слабые извержения типа извержений 1869 или 1985 г., которые не могут представлять угрозы, либо извержения средней силы — типа извержений 1828—1832, 1929—1931, 1980—1981 г., более вероятные к концу прогнозируемого срока. Энергия извержений и количество выброшенного материала будут, вероятно, лимитироваться продолжительностью периода покоя перед извержением. Используя данные о средней продуктивности (около $1,5 \cdot 10^6$ т/год) и средней мощности вулкана (70—170 тыс. кВт) в голоцене, можно очень приблизительно оценить массу изверженного ювенильного материала и энергию будущих извержений при длительности периода покоя в 10, 50 и 100 лет. Они будут равны соответственно 10^7 т и $1,7 \cdot 10^{23}$ эрг; $5 \cdot 10^7$ и $8,5 \cdot 10^{23}$; 10^8 т и $1,7 \cdot 10^{24}$ эрг. За счет добавления резургентного материала общее количество изверженных твердых продуктов может возрасти в 1,5—2 раза, т. е. до $1,5—2 \cdot 10^7$, $7,5—10 \cdot 10^7$ и $1,5—2 \cdot 10^8$ т. Для сравнения можно указать, что во время извержения в. Горелый в 1980—1981 г., по оценкам в работе [6], было выброшено около $5,4 \cdot 10^7$ т. Проведенная нами ревизия последствий этого извержения показала, что количество твердых продуктов не превышало, вероятно $2,5—3 \cdot 10^7$ т при объеме около $0,02 \text{ км}^3$. Следовательно, это извержение, происшедшее после 50-летнего периода покоя, дало в 2—3 раза меньше материала, чем рассчитанное выше (с чем, возможно, связан продолжавшийся вынос вещества во время извержения 1985 г.).

Эксплозивное извержение в. Горелый 1980—1981 г. не представляло сколько-нибудь серьезной опасности для окружающей среды и хозяйственных построек в радиусе более 4—5 км, где суммарная мощность выпавшей тефры не превышала 1—2 см. Увеличение энергии извержения в 3—6 раз могло расширить радиус опасной зоны еще на несколько километров (см. рис. 7). Однако в этом случае на участке предполагаемого строительства Мутновской ГеоТЭС мощность выпавшей тефры вряд ли будет больше 3—5 см (нагрузка 40—80 кг/м²).

Вулкан Мутновский, как показывает рассмотрение его активности, прошел стадию роста еще в позднем плейстоцене. В голоцене излияний лав не происходило. Для вулкана была характерна эксплозивная деятельность умеренного характера с преобладанием слабых и средних по силе (преимущественно фреатических) извержений, разделенных интервалами в сотни (реже десятки) лет. В историческое время наряду с фреа-

тическими происходили извержения, поставившие ювенильный материал базальтового состава. Общая частота извержений — одно в 5—60 лет, а средние по силе извержения происходили с интервалом в 50—100 лет.

Интересно, что средняя продуктивность в Мутновский в голоцене и его мощность, определенная по теплу, вынесенному породами, очень невелика: $0,15—0,20 \cdot 10^6$ т/год и 8—10 тыс. кВт. Это во много раз меньше, чем у других активных вулканов Камчатки [8] в сходной стадии развития. Вполне возможно, что такая аномальная мощность объясняется тем, что главная часть заключенной в магматическом очаге энергии выносится водяным паром, в большом количестве выделяющемся из его огромного кратера, и водами термальных источников. Их суммарная тепловая мощность [3, 10] около 500 000 ккал/с (2,1 млн. кВт). Подобное предположение хорошо согласуется с широким развитием в кратере и на склонах вулкана гидротермально измененных пород и преимущественно фреатическим характером его голоценовых извержений.

Если допустить, что в Мутновский должен иметь такую же среднюю мощность и продуктивность, как другие активные вулканы Курило-Камчатской области, возникшие субодновременно с ним и отличающиеся сходной историей (в среднем $2—4 \cdot 10^6$ т/год и мощность 100—200 тыс. кВт [8, 9], то и в этом случае его средняя мощность оказывается в 15 раз ниже, чем реальная мощность, отмеченная за последние 20 лет. Такое несоответствие можно, как уже указывалось выше, объяснить только одним — длительным извержением вулкана, которое продолжается уже более 20 лет.

Суммируя изложенное, можно заключить, что для в. Мутновский равно вероятны три типа активности на ближайшие 50—100 лет.

Во-первых, неопределенно долго (десятки лет) может продолжаться современное состояние вулкана, при котором энергия постоянно разряжается за счет интенсивного выноса тепла паром и термальной водой. Никакой опасности для ГеоТЭС также извержение представлять не будет.

Во-вторых, могут происходить с разной частотой и силой фреатические взрывы, энергия которых будет определяться прочностью вышележащей кровли и длительностью закупорки. Как показало изучение таких извержений в прошлом, большинство из них не представляет серьезной опасности для участков, удаленных более чем на 3—5 км от кратера, поскольку объем выброшенного материала вряд ли превысит 10^7 млн. м³. Исключение в этом случае составляют только направленные фреатические взрывы, при которых обломочный материал выбрасывается наклонно к горизонту и компактно отлагается в узком (30—90°) секторе. Наиболее опасным в этом отношении является северо-западный сектор подножия в. Мутновский, где кромка кратера ниже, чем в других местах (рис.8).

В-третьих, нельзя полностью исключить и возможность извержения средней силы с выносом ювенильной пирокластики. По своим параметрам оно будет, по-видимому, близко к извержениям XVII—XVIII вв. и 1848—1854 гг., с общим объемом материала $2—5 \cdot 10^7$ м³. Мощность тефры в районе строительства станции составит 2—3 см, дополнительная нагрузка 30—50 кг/м².

Помимо деятельности вулканов Горелый и Мутновский источником серьезной вулканической опасности в голоцене, как указывалось выше, была транзитная тефра, связанная с катастрофическими извержениями других вулканов Южной Камчатки. Ответить точно на вопрос, возможны ли такие катастрофические извержения в ближайшие 50—100 лет, трудно. Однако имеющиеся данные по реконструкции активности вулканов Ксудач, Опала и Ходутка позволяют предполагать, что подобные события в это время не произойдут.

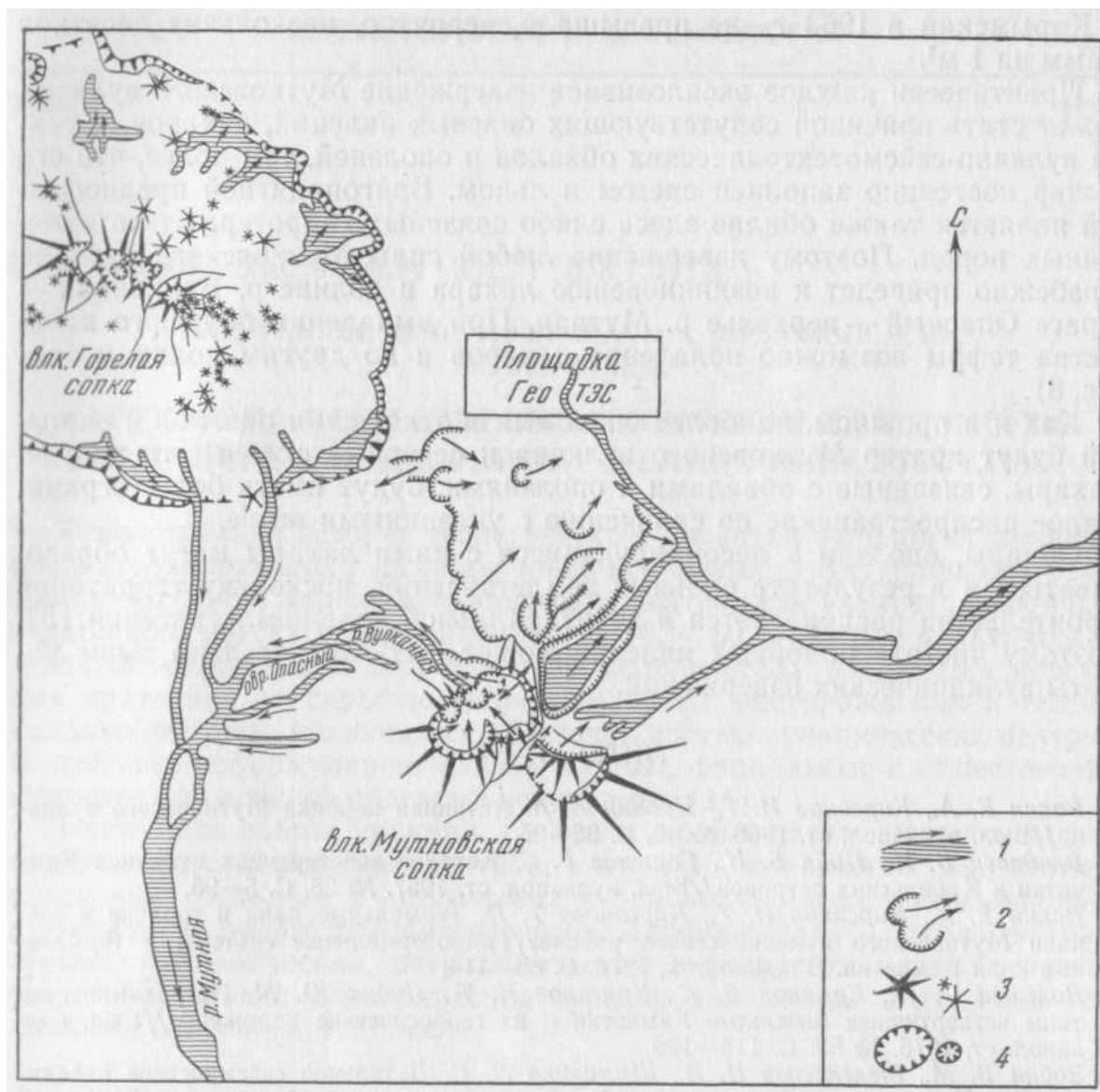


Рис. 8. Схема будущей опасности от лахаров и вулканно-сейсмотектонических обвалов. 1 — вероятные пути движения лахаров; 2 — стенки обвальных цирков, стрелками показаны направления движения обвальных масс. Остальные условные обозначения см. в подписи к рис. 1

Изучение Ксудача, проведенное И. В. Мелекесцевым и Л. Д. Сулержицким, показало, что за последние 200 лет катастрофические извержения происходили здесь через 250—1000 лет. Учитывая, что последнее извержение Ксудача было в 1907 г., вряд ли можно ожидать его катастрофического извержения в ближайшем будущем.

Последние извержения в Ходутка происходили 4000—4100 и 1800—1900 л. н. [7] с интервалом в 2700 лет. Ориентируясь на эту цифру, можно думать, что следующее извержение вулкана произойдет минимум через несколько сот лет.

Катастрофическое извержение Бараньего амфитеатра около 1450 л.н. в кальдере в. Опала было единственным за весь голоцен. Остальные извержения в. Опала по своей энергии и геологическому эффекту относились к средним и слабым. Поэтому маловероятно, что в ближайшие сто лет подобное катастрофическое извержение повторится.

Раз в несколько десятков лет участок предполагаемого строительства оказывается в зоне слабых пеплопадов, связанных с извержениями вулканов не только Южной, но и Восточной Камчатки и Курильских островов (вулканы Карымский, Алаид и др.). Опасности подобные пеплопады не представляют. Так, в апреле 1981 г. в окрестностях Мутновского вулкана выпало около 900 г/м² пепла в. Алаид; количество дацитовой тефры

в. Карымский в 1963 г., не превышало, вероятно, нескольких десятков грамм на 1 м².

Практически каждое эксплозивное извержение Мутновского вулкана может стать причиной сопутствующих опасных явлений, лахаров, а также вулcano-сейсмотектонических обвалов и оползней, тем более, что его кратер постоянно заполнен снегом и льдом. Благоприятной предпосылкой является также обилие здесь слабо связанных гидротермально измененных пород. Поэтому извержение любой силы Мутновского вулкана неизбежно приведет к возникновению лахара в долине р. Вулканная — овраге Опасный — верховье р. Мутная. При выпадении большого количества тефры возможно появление лахаров и по другим долинам (см. рис. 8).

Как и в прошлом, наиболее опасными в отношении обвалов и оползней будут кратер Мутновского вулкана и северные склоны его конуса. Лахары, связанные с обвалами и оползнями, будут иметь более ограниченное распространение по сравнению с указанными выше.

Обвалы, оползни и ассоциирующиеся с ними лахары могут образовываться и в результате сильных землетрясений, поскольку территория строительства располагается в девятибалльной зоне землетрясений [5]. Поэтому частота подобных явлений может быть значительно выше частоты вулканических извержений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вакин Е. А., Кирсанов И. Т., Пронин А. А. Активная воронка Мутновского вулкана//Бюл. вулканол. ст. 1966. № 40. С. 25—35.
2. Володавец В. И., Пийп Б. #., Горшков Г. С. Каталог действующих вулканов Камчатки и Курильских островов//Бюл. вулканол. ст. 1957. № 25. С. 5—95.
3. Вакин Е. А., Кирсанов И. Т., Кирсанова Т. П. Термальные поля и горячие источники Мутновского вулканического района//Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки. Владивосток, 1976. С. 85—114.
4. Воынец О. Н., Ермаков В. А., Кирсанов И. Т., Дубик Ю. М. Петрохимические типы четвертичных базальтов Камчатки и их геологическое положение//Бюл. вулканол. ст. 1976. № 52. С. 115—126.
5. Зобин В. М., Мелекесцев И. В., Шумилина Л. С. Детальное сейсмическое районирование Камчатки в области высокой сейсмовулканической активности//Детальное сейсмическое районирование. М.: Наука, 1980. С. 89—95.
6. Кирсанов И. Т., Озеров Ю. А. Состав продуктов и энергетический эффект извержения вулкана Горелый в 1980—1981 гг.//Вулканология и сейсмология. 1983. № 1. С. 25—43.
7. Кирсанова Т. Я., Мелекесцев И. В. О происхождении и возрасте Ходуткинских гидротерм//Вулканология и сейсмология. 1984. № 5. С. 49—60.
8. Мелекесцев Я. В. Типы и возраст действующих вулканов Курило-Камчатской зоны//Бюл. вулканол. ст. 1973. № 49. С. 17—23.
9. Мелекесцев И. В. Вулканизм и рельефообразование. М.: Наука, 1980. 212 с.
10. Поляк Б. Г. Геотермические особенности областей современного вулканизма (на примере Камчатки). М.: Наука, 1966. 180 с.
11. Поляк Б. Г., Мелекесцев И. В. Продуктивность вулканических аппаратов//Вулканология и сейсмология. 1981. № 5. С. 22—37.
12. Шеймович В. С, Патока М. Г. Опала и другие голоценовые центры эксплозивных извержений Южной Камчатки//Вулканология и сейсмология. 1979. № 5. С. 92—95.

Институт вулканологии
ДВНЦ АН СССР

Поступила в редакцию
5.XI.1985