

УДК 551.21

СОСТОЯНИЕ ВУЛКАНОВ ШИВЕЛУЧ И КЛЮЧЕВСКОЙ В 1999 г., ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ИХ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

© 2001 г. Н. А. Жаринов, Ю. В. Демянчук

Институт вулканологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006

Поступила в редакцию 20.03.2000 г.

Для оценки состояния крупнейших активных вулканов Камчатки Шивелуч и Ключевской Камчатская вулканологическая станция в г. Ключи выполняет мониторинг этих вулканов. На основе статистических данных об извержениях в историческое время, данных непрерывных наблюдений сейсмического режима и результатов измерений деформаций склонов вулканов сделаны оценки текущего состояния вулканов Шивелуч и Ключевской. Для долгосрочного прогноза извержений вулканов применена методика В.А. Широкова, а также принята во внимание статистика извержений этих вулканов. По долгосрочному прогнозу, новый эруптивный цикл на вулкане Шивелуч может наступить в 2009–2017 гг., вулкан Ключевской с середины апреля 2000 г. по июнь 2004 г. будет находиться в активной фазе, благоприятной как для сильного вершинного извержения с объемом $> 0.05 \text{ км}^3$, так и для серии побочных прорывов с подобным объемом.

В 1999 г. вулканы Северной группы Ключевской, Шивелуч, Безымянный находились в состоянии умеренной вулканической активности. На вулкане Ключевской происходило интенсивное выделение газообразных продуктов, сопровождаемое отдельными газопепловыми взрывами. На вулканах Шивелуч и Безымянный продолжалось формирование лавовых куполов. В истекшем 1999 г. вулканы Шивелуч и Ключевской были более доступны для изучения. Периоды эруптивной деятельности двух наиболее активных вулканов Северной группы Камчатки приведены в табл. [1].

Вулкан Шивелуч – самый северный действующий вулкан Камчатки [6]. Для вулкана характерны катастрофические извержения с повторяемостью через 100–300 лет (18.02.1854 и 12.11.1964 гг.) и в промежутках между ними извержения умеренной силы в среднем через 20 лет.

Извержения умеренной силы продолжаются несколько лет. В XX столетии такие извержения происходили в 1925–1930, 1944–1950, 1980–1982 гг. Последнее такое извержение происходило в 1993–1995 гг. [5]. Обычно извержения начинаются с сильных эксплозий газообразных и твердых продуктов резургентного и ювенильного материала, иногда формируются пирокластические потоки, сопровождающиеся лахарами. В дальнейшем, в течение нескольких лет происходит выжимание экструзивных блоков с образованием лавовых куполов высотой 100–500 м и более.

После прекращения экструзивного процесса начинают преобладать процессы разрушения. Происходит проседание вершины лавового купола, наблюдаются обвальные лавины. На вершине экструзивного купола образуются взрывные и

провальные воронки диаметром от 10 до 40–50 м. На фоне фумарольной деятельности происходят отдельные газопепловые выбросы, высота которых достигает 2–5 км над вершиной лавового купола. Происходит изменение морфологии купола, наблюдаются его деформации.

В настоящее время процесс роста лавового купола в основном приостановился, хотя отмечает-

Таблица 1. Периоды активности вулканов Северной группы (Ключевской и Шивелуч) [2, 3]

Название вулкана, период его активности, годы		
	Ключевской	Шивелуч
	1852–1854	1854
	1865	–
	1877–1879	1879–1883
	1882–1883, 1890	–
	1896–1898	1896–1987
	1904	–
	1997, 1909–1911, 1913, 1915, 1922–1923	–
	1925–1926	1925–1930
	1929	–
	1931–1932	–
	1935–1939	–
	1944–1946, 1951	1944–1950
	1953–1954	–
	1958–1966	1964
	1968–1969	–
	1972–1974	–
	1978–1980	1980–1982
	1983, 1984–1987, 1988–1990	–
	1993–1994	1993–1995

ся периодическая его активизация. По-видимому, сам купол стал преградой свободного поступления экструзивного материала на поверхность. Для оценки состояния вулкана Шивелуч в 1999 г. проводились постоянные визуальные наблюдения, видеосъемки, периодические определения высоты купола тригонометрическим нивелированием. Для оперативной оценки использовались данные о сейсмическом режиме в районе вулкана. Данные визуальных наблюдений и сейсмичность в радиусе 15–20 км от вулкана показаны на рис. 1. В течение года на вулкане сохранялась умеренная фумарольная деятельность с высотой парогазовых струй от 200–500 до 1000–1500 м, иногда происходили газопепловые эксплозии. За год документально зарегистрировано пять взрывов с выбросом пепла, тогда как в 1990–1992 гг. в начале нового цикла активности фиксировалось до 40–50 эксплозий в год. Тогда эксплозии сопровождалась характерным вулканическим дрожанием продолжительностью в несколько минут и более. Выбросы происходили внезапно, без изменений сейсмической активности. Строгой связи между сейсмичностью вокруг вулкана Шивелуч и отдельными газопепловыми выбросами, происходившими в тот период деятельности вулкана, не было. Поэтому, используя только материалы наблюдений за сейсмическим режимом вблизи вулкана, прогнозировать усиление вулканической активности было невозможно.

О вероятности усиления вулканической активности было сообщено в Совет по прогнозу землетрясений и извержений вулканов ИВ и КОМСП ДВО РАН 23.09.1999 г. Этот прогноз был сделан на основе геодезических измерений высоты экструзивного купола. Было зарегистрировано увеличение высоты купола на 5–7 м, что свидетельствовало о продолжении выжимания лавы.

Дальнейшие события подтвердили наш прогноз. 3 октября охотником, находившимся вблизи вулкана, был отмечен взрыв с выбросом пепла на склон вулкана. 8 и 10 октября зарегистрированы взрывы по сейсмологическим данным. Следующие взрывы с выбросом пепла произошли 27 октября, 1 и 24 ноября. Последние три взрыва зафиксированы видеокамерой. Наиболее мощный взрыв был 24 ноября. Высота пеплового столба достигла 4.5–5.0 км над кромкой кратера. Образовался пепловый шлейф длиной 20–25 км, направленный в сторону хребта Кумроч, пос. Усть-Камчатск.

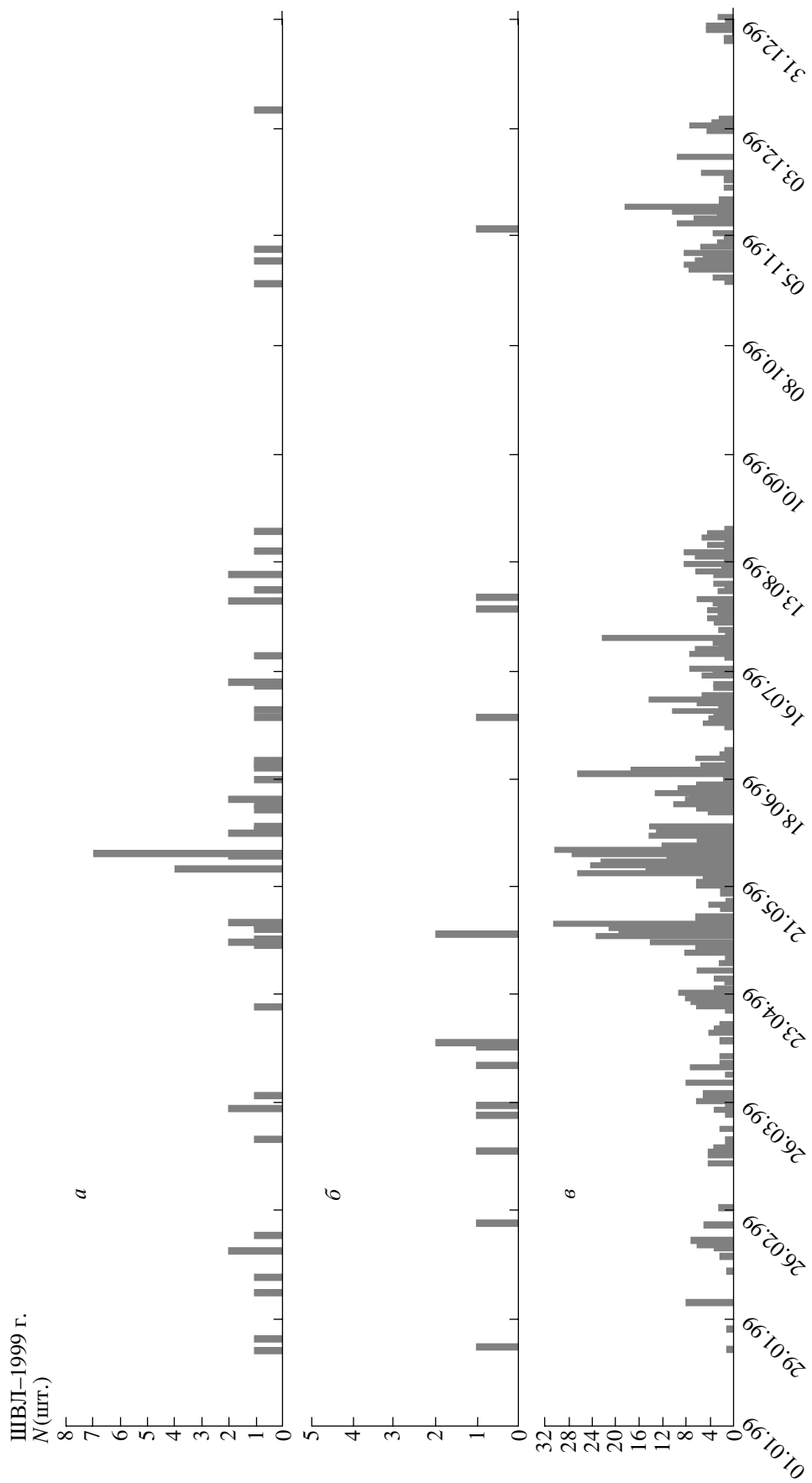
Из анализа материалов визуальных наблюдений, характера сейсмичности и определений деформаций лавового купола можно сделать вывод, что в настоящее время на вершине лавового купола происходит образование взрывных воронок. В дальнейшем, при увеличении количества взрывов, отдельные воронки будут увеличиваться, образуя единый кратер. После образования кратера

могут последовать мощные эксплозии с образованием пирокластических потоков.

Ключевской вулкан – самый продуктивный базальтовый вулкан Курило-Камчатского региона. Его расход близок к 60 млн. т в год. Деятельность вулкана проявляется в продолжительных вершинных извержениях и многочисленных побочных прорывах. После сильного вершинного извержения в 1994 г. с объемом изверженного материала до 0.026 км³, вулкан находится в состоянии умеренной фумарольной активности, сопровождаемой отдельными газопепловыми выбросами с пепловыми шлейфами до 20–30 км длиной (рис. 2). Наибольшая активность вулкана, выразившаяся в усилении парогазовой эмиссии, а также в появлении отдельных газопепловых выбросов, отмечена в мае и в конце июля. Майское усиление активности предвещалось с начала 1999 г. землетрясениями всех типов (по классификации П.И. Токарева [10]). С января наблюдались землетрясения I–II типов, а также отдельные землетрясения II–III типов с увеличением их числа к концу марта до одного десятка. С начала года нарастало общее число землетрясений IV типа (взрывных и поверхностных). Таким образом, зафиксирована миграция землетрясений с больших глубин к поверхности. 1 мая отмечен небольшой пепловый выброс (высота выброса до 500 м), 2 мая – парогазовая продувка с высотой до 3 км над кратером, 7 мая наблюдался пепловый выброс на высоту более 3 км. Следующие выбросы произошли 18 июня, 12 и 13 июля. Следует отметить, что в оценке состояния вулкана по сейсмологическим данным определяющим фактором является энергия землетрясений, а не их число.

С конца января до второй половины августа и в первой половине ноября на вулкане наблюдалось вулканическое дрожание с А/Т от 0.1 до 0.9 мкм/с. Вулканическое дрожание (ВД) в общих чертах отражает характер и интенсивность извержений. В 1999 г. наблюдался относительно низкий уровень ВД, что соответствует характеру парогазовой активности вулкана. За прошедший год видимых изменений вершинного кратера не произошло. Об этом свидетельствуют материалы видеосъемок, выполненных в течение года.

Для определения деформаций склона вулкана были выполнены повторные линейные измерения на двух радиальных профилях, ориентированных по азимутам 45° и 110°. Наблюдения на профиле 1 выполнены в апреле, а на профиле 2 – в августе 1999 г. Сравнение полученных результатов измерений с данными предыдущих лет показало, что перед извержениями происходили деформации расширения. Во время сильных извержений с объемом изверженных пород $10^{12} \leq m \leq 10^{13}$ кг величины деформаций достигли $(4-5) \times 10^{-6}$. После извержений наблюдались деформации сжатия. Измене-



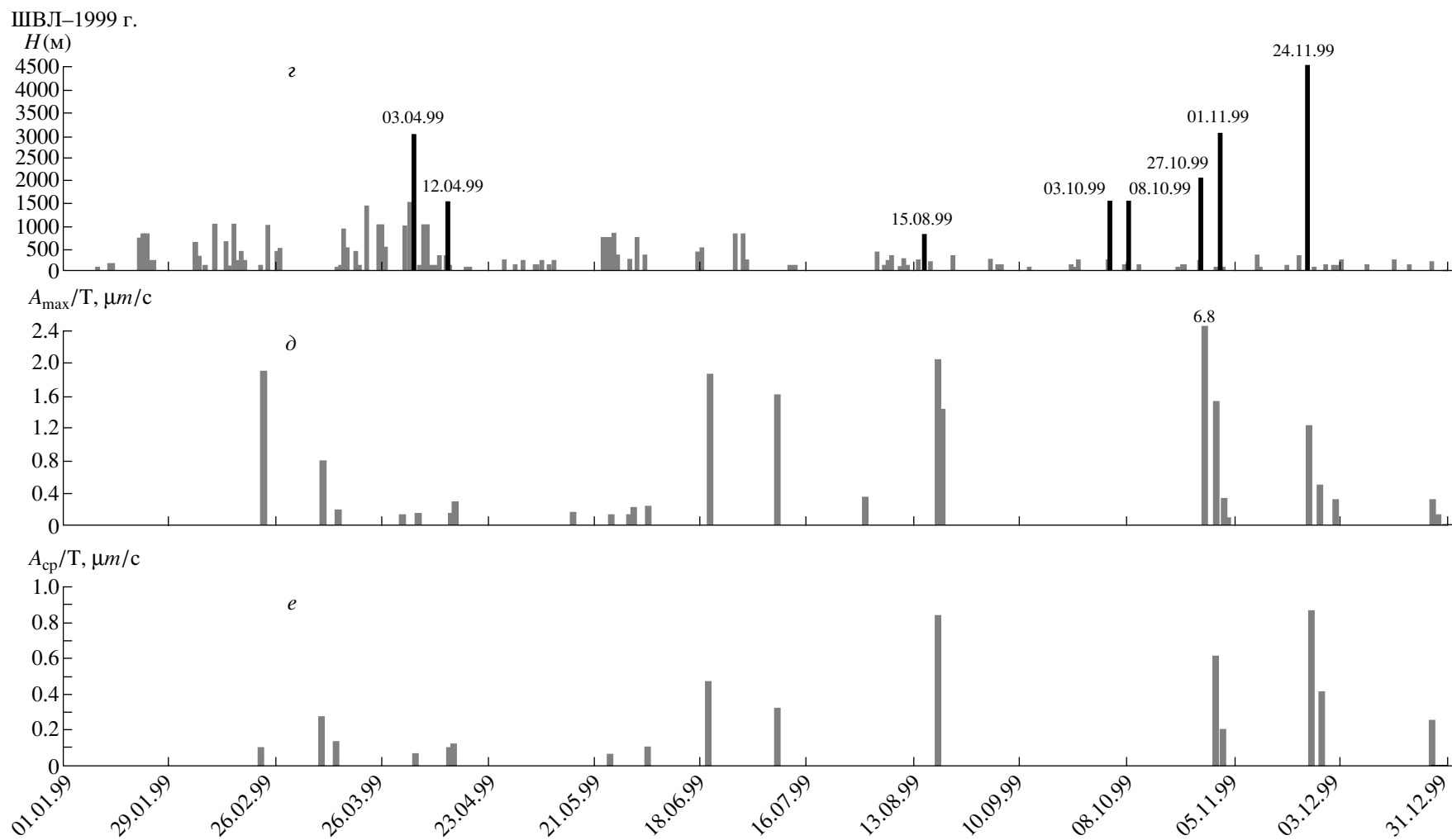
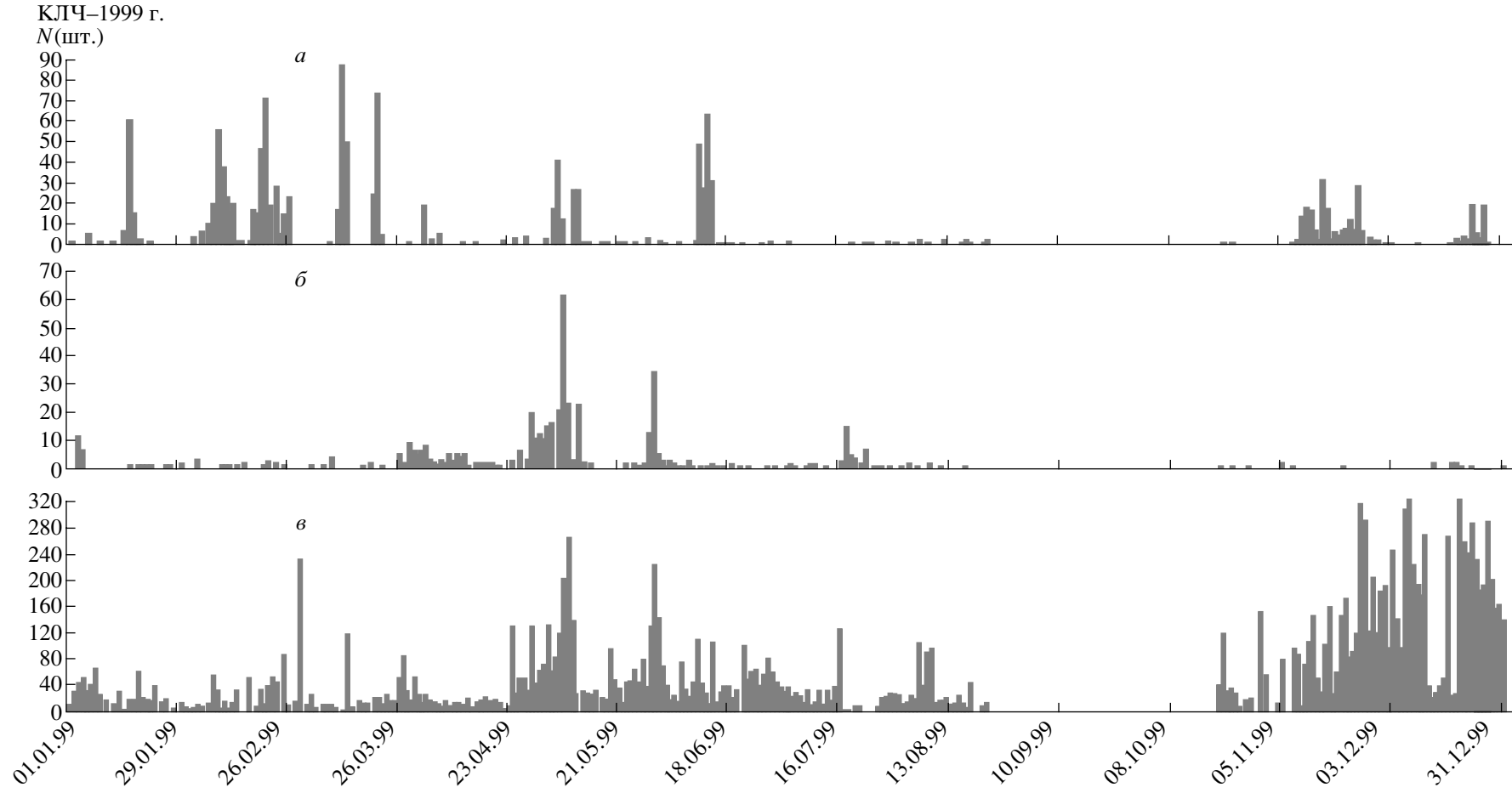


Рис. 1. Суточные характеристики сейсмической и вулканической активности вулкана Шивелуч в 1999 г.: *a* – число вулканических землетрясений I–II типа; *b* – число вулканических землетрясений II–III типа; *в* – число вулканических землетрясений IV типа; *z* – изменение высоты парогазовых (заштриховано) и газопепловых (залито и обозначена дата выброса); *д* – вулканическое дрожание A_{max}/T ($\mu m/c$); *e* – A_{cp}/T ($\mu m/c$) – среднее значение вулканического дрожания. Тип землетрясений дан по классификации П.И. Токарева. Характеристики сейсмической активности приведены по результатам оперативной обработки данных на станции “Ключи” сотрудниками Ключевского отряда КОМСП ДВО РАН.



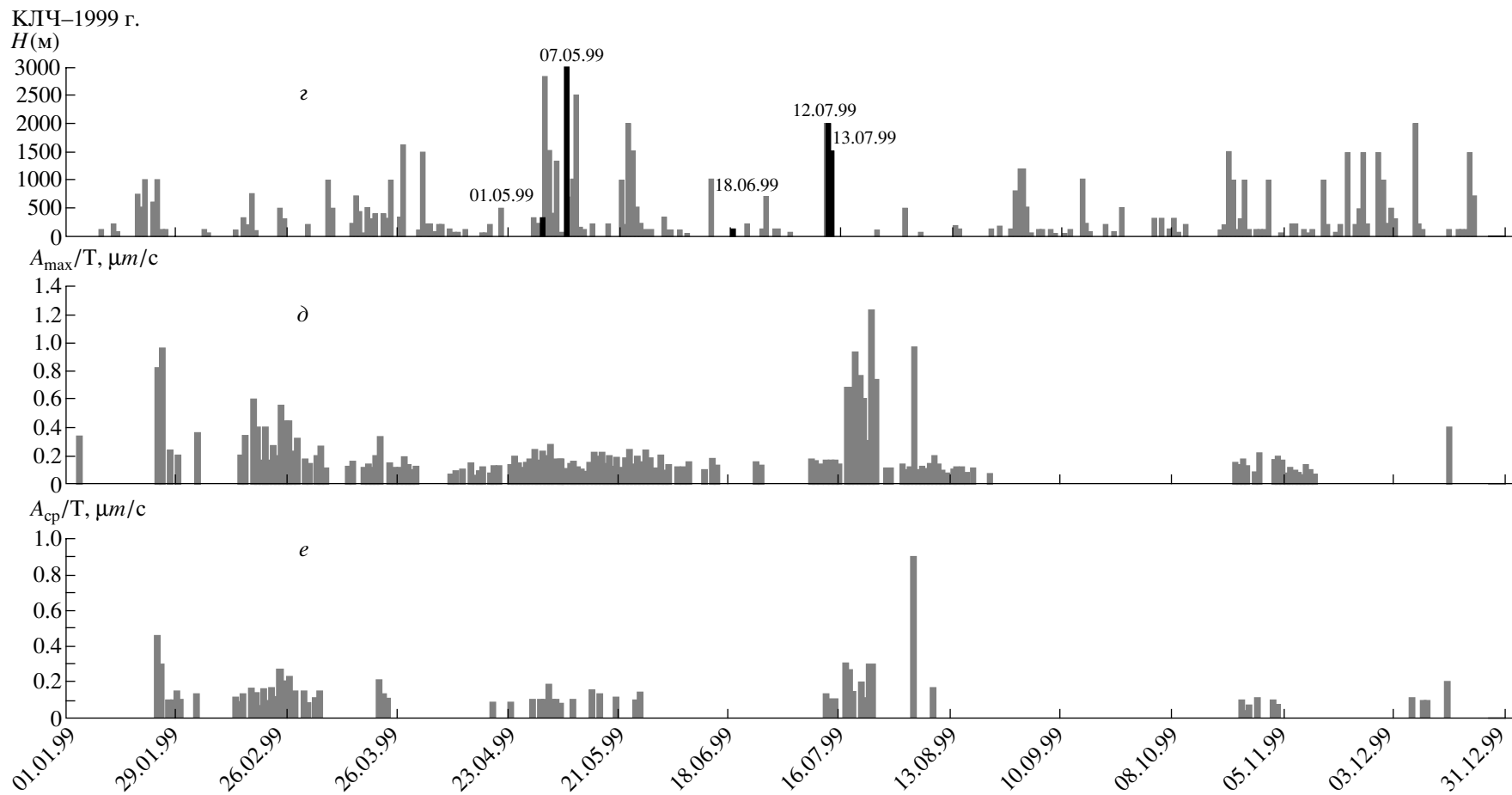


Рис. 2. Суточные характеристики сейсмической и вулканической активности Ключевского вулкана в 1999 г. Усл. обозн. см. на рис. 1.

Таблица 2. Данные о реализации долгосрочного прогноза извержений влк. Ключевской (по методике В.А. Широкова) за 1932–1999 гг. и долгосрочный прогноз его активности

Фаза	Прогнозируемый период, годы, мес.	Время извержений, годы, п – побочное, в – вершинное
А	1932.1–1935.1	1932 – группа Туйлы (п)
Б	1937.1–1939.1	1938 – Билюкай (п)
В	1941.3–1942.6	Нет извержений
Г	1944.5–1948.8	1945 (в), 1945 – Юбилейный (п) 1946 – Апахончич (п)
А	1950.7–1953.7	1951 – Былинкиной (п) 1953 – Белянкина (п)
Б	1955.7–1957.7	1956 – Вернадского и Кржижановского (п)
В	1959.9–1961.2	Нет извержений
Г	1963.1–1967.4	1966 – Пийпа (п)
А	1969.3–1972.3	1968–1969 (в)
Б	1974.3–1976.3	1974–ВВС* (п)
В	1978.5–1979.8	1978–1980 (в), 1980 (п)
Г	1981.7–1986.0	1983 – Предсказанный (п)
А	1987.9–1990.9	1987 – Предвиденный (п) 1988 – 25-летия ИВ ДВО (п) 1989 – Скуридина (п)
Б	1992.9–1994.9	1993 (в), 1994 (в)
В	1997.1–1998.4	Нет извержений
Г	2000.3–2004.6	Прогнозируемый период

* ВВС–Всесоюзное вулканологическое совещание.

ний длины линий, превышающих $(1-2) \times 10^{-6}$, в течение 1998–1999 гг. не произошло, что свидетельствует об отсутствии накопления деформаций на северо-восточном склоне вулкана.

Оценка состояния вулканов Шивелуч и Ключевской. Одной из практических задач изучения вулканов является решение проблемы прогноза их извержений. В основе долгосрочного прогноза извержений П.И. Токарев [10] использовал данные о повторяемости происшедших в историческое время извержений. Так, по его расчетам для вулкана Шивелуч, средний интервал (Т) между извержениями равен 22 годам. С учетом последних извержений (1980–1982 и 1993–1995 гг.), связанных с ростом нового лавового купола, Т близок к 20 годам.

До настоящего времени основными параметрами готовящегося извержения остаются: изменение характеристик сейсмического режима, изменение состава вулканических газов и деформации земной поверхности. Катастрофическое извержение вулкана Шивелуч 12.11.1964 г. было предсказано П.И. Токаревым за 10.5 месяцев [7, 8]. Прогноз был основан на сейсмологических данных. С 25.04 по 10.05.1964 г. вблизи вулкана было зарегистрировано 37 землетрясений 6–10 энергетического класса. Вначале отмечено медленное возрастание частоты и энергии землетрясений, затем наблюдался максимум и далее – медленное убывание этих параметров [7].

Сделанный П.И. Токаревым в 1979 г. прогноз возможности межпароксизмального извержения в 1981–1991 гг. также в целом оправдался. Извержение, связанное с ростом нового экструзивного купола, началось в конце августа 1980 г. Рост купола продолжался в 1980–1982 гг. Сейсмических предвестников перед началом извержения в 1980 г. не наблюдалось.

Новая активизация вулкана произошла в начале апреля 1993 г. Долгосрочный прогноз этого извержения был сделан И.А. Меняйловым и Л.П. Никитиной на основе геохимического мониторинга вулкана Шивелуч¹. В то же время за 2–3 года до начала извержения было отмечено усиление сейсмической активности, выразившейся в появлении землетрясений I–III типов, по Токареву [10], и вулканического дрожания (низкочастотных колебаний); также регистрировались события, связанные с формированием каменных лавин, выбросов пепла (IV тип землетрясений).

Многие исследователи указывали на возможную связь землетрясений и извержений с 19-летним лунным приливом [11], а также на связь извержений с периодичностью солнечной активности [1]. Возможно, цикл активности вулкана Шивелуч не случайно близок 19-летнему лунному приливу. Учитывая вышеизложенное, применяя методику долго-

¹ Отчет Института вулканологии ДВО РАН по ГПНБ № 16, 1992. Фонды ИВ ДВО РАН и ИФЗ РАН, Москва.

срочного прогноза активности вулканов, можно ожидать следующее межпароксизмальное извержение, связанное с формированием лавового купола, в 2009–2017 гг. При получении новых данных о деформациях лавового купола возможно уточнение предварительной оценки.

В 1979 г. П.И. Токарев предложил методику прогноза извержений Ключевского вулкана [9]. Оценка времени извержений производилась отдельно для пароксизмальных извержений центрального кратера и побочных прорывов на склоне вулкана. Позже В.А. Широков предложил методику комплексного прогноза для побочных извержений вулкана [12]. Для долгосрочного прогноза извержений В.А. Широковым выделены четыре активные фазы в 19-летнем (18.6 г.) лунном приливе, связанном с изменением склонения лунной орбиты. В табл. 2 представлены временные интервалы активных фаз, а также все извержения (побочные и вершинного кратера) Ключевского вулкана с 1932 по 1999 г. Все извержения, происшедшие за рассматриваемый период, попадают в активные фазы.

Вулканическая деятельность – единый непрерывный процесс. Если рассматривать все исторически известные извержения с 1697 г. [2, 3], то средний интервал между извержениями близок 4.4 года. При этом существует перерыв между извержениями в 25 лет (1737–1762 гг.). Возможно, некоторые извержения были пропущены вследствие малой посещаемости Камчатки в те годы. Начиная с середины апреля 2000 г., наступает новая активная фаза продолжительностью 4 года (табл. 2).

Учитывая, что последнее извержение Ключевского вулкана происходило в 1994 г., в наступающей активной фазе (2000.3–2004.6 гг.) следует ожидать сильное извержение с объемом $\geq 0.05 \text{ км}^3$. Имеющиеся данные последних десятилетий о расходе продуктов извержений Ключевского вулкана свидетельствуют о том, что расход в настоящее время близок к среднему. В последние годы основная разгрузка происходит через вершинный кратер. Объемы продуктов вершинных извержений в 1993 и 1994 гг. (0.040 и 0.026 км^3) сопоставимы с объемами извергнутого вещества при последних продолжительных побочных извержениях, происшедших в предшествующие годы: 1983 г., прорыв Предсказанный – 0.07 км^3 ; 1988–1989 гг., прорыв 25-летия ИВ – 0.034 км^3 ; 1989–1990 гг., прорыв Скуридина – 0.030 км^3 . Какое извержение (вершинное или побочное) произойдет в наступившую активную фазу, возможно, помогут определить результаты дальнейших наблюдений.

Выводы. В 1999 г. вулканы Северной группы Шивелуч и Ключевской находились в состоянии умеренной вулканической активности. Характерными событиями этого периода для вулкана Шиве-

луч была фумарольная деятельность, сопровождаемая отдельными газопепловыми выбросами. Значительных изменений в сейсмическом режиме перед выбросами не наблюдалось. Зарегистрировано изменение высоты лавового купола перед серией газопепловых выбросов. По долгосрочному прогнозу новый эруптивный цикл на вулкане Шивелуч может наступить в 2009–2017 гг.

На Ключевском вулкане наблюдалась умеренная фумарольная деятельность вершинного кратера, происходили редкие выбросы, насыщенные пеплом. По долгосрочному прогнозу с середины апреля 2000 г. по июнь 2004 г. вулкан будет находиться в активной фазе, благоприятной для извержений. В это время может произойти вершинное извержение с объемом вулканических продуктов более 0.05 км^3 или серия побочных прорывов с близким объемом изверженных продуктов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдурахманов А.И., Фирстов П.П., Широков В.А. Возможная связь вулканических извержений с одиннадцатилетней цикличностью солнечной активности // Бюл. вулканол. станций. 1976. № 52. С. 3–10.
2. Влодавец В.И. Исторический обзор эруптивной деятельности Ключевского вулкана // Тр. Лаб. вулканологии и Камчатской вулканол. станции. 1950. № 6. С. 9–22.
3. Гуценко И.И. Извержения вулканов мира. Каталог. М.: Наука, 1979. 474 с.
4. Двигало В.Н. Рост купола в кратере вулкана Шивелуч в 1980–1981 гг. по фотограмметрическим данным // Вулканология и сейсмология. 1984. № 2. С. 104–109.
5. Жаринов Н.А., Богоявленская Г.Е., Хубуная С.А., Демьянчук Ю.В. Новый эруптивный цикл вулкана Шивелуч, 1983–1993 гг. // Вулканология и сейсмология. 1995. № 1. С. 20–28.
6. Мелекесцев И.В., Волынец О.Н., Ермаков В.А. и др. Вулкан Шивелуч // Действующие вулканы Камчатки. М.: Наука, 1991. С. 84–97.
7. Токарев П.И. Рой землетрясений вулкана Шивелуч в мае 1964 г. // Бюл. вулканол. станций. 1964. С. 41–44.
8. Токарев П.И. Гигантское извержение вулкана Шивелуч 12 ноября 1964 г. и его предвестники // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 1967. № 9. С. 11–22.
9. Токарев П.И. Долгосрочный прогноз извержений вулканов // Вулканология и сейсмология. 1979. № 3. С. 77–90.
10. Токарев П.И. Вулканические землетрясения Камчатки. М.: Наука, 1981. 164 с.
11. Широков В.А. Влияние девятнадцатилетнего лунного прилива на возникновение больших Камчатских землетрясений и их долгосрочный прогноз. М.: Наука, 1976. С. 164–170.
12. Широков В.А. Некоторые вопросы методики комплексного прогноза побочных извержений вулкана Ключевского (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 1985. № 6. С. 48–58.

The State of Shiveluch and Klyuchevskoi Volcanoes in 1999, a Long-term Forecast of Their Activity

N. A. Zharinov, Yu. V. Demyanchuk

*Institute of Volcanology, Far East Division, Russian Academy of Sciences,
Petropavlovsk-Kamchatskii, 683006, Russia*

The Kamchatka Volcanological Station in the town of Klyuchi carries out geophysical monitoring of Shiveluch and Klyuchevskoi volcanoes to be able to assess the state of these major active volcanoes of Kamchatka. The present state of Shiveluch and Klyuchevskoi have been assessed based on statistical data on historical eruptions, continuous observation of seismicity, measurements of deformation on the slope of the volcanoes. The method of V.A. Shirokov was used to derive a long-term eruption forecast taking into account the eruption statistics on these volcanoes. According to this long-term forecast, the new eruptive cycle on Shiveluch may start in 2009–2017, Klyuchevskoi Volcano will be in an active phase from mid-April 2000 to June 2004, favorable both for a major summit eruption discharging more than 0.05 km^3 of ejecta and for a series of bocca eruptions discharging similar volumes.