

УДК 551.21

ПРОГНОЗ ИЗВЕРЖЕНИЙ ВУЛКАНОВ НА КАМЧАТКЕ (ОСНОВНЫЕ ИТОГИ 1955-2012 ГГ.). ЧАСТЬ I

В.В. ИВАНОВ,

с.н.с., к.г.-м.н.

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН
(Россия, 68306, г. Петропавловск-Камчатский,
бульвар Пийпа, 9)

E-mail: victor@kscnet.ru

Представлены методы мониторинга и методики прогнозирования извержений вулканов на Камчатке, работа экспертных советов. В первой части статьи дана сводка успешных прогнозов за последние 57 лет (с 1955 по 2012 гг.). Подробно изложены обстоятельства, связанные с наиболее важными прогнозами. За эти годы Камчатской вулканологической станцией, Институтами вулканологии, вулканической геологии и геохимии, вулканологии и сейсмологии Дальневосточного отделения Российской академии наук было выдано 29 успешных прогнозов, в том числе среднесрочные прогнозы пароксизмальных извержений вулканов Безымянного и Шивелуча, эффективные краткосрочные прогнозы извержений Плоского Толбачика, Ключевского, Карымского и Шивелуча. Около двух десятков успешных прогнозов было выдано Камчатским филиалом Геофизической службы Российской академии наук.

Ключевые слова: вулканическое извержение, вулканическая опасность, прогноз извержений, вулканическое землетрясение

Вулканизм является широко распространенным на Земле природным процессом. На суше насчитывается примерно 550 действующих и 950 потенциально активных многоактных вулканов, а также значительное количество активных полей одноактного вулканизма. Количество молодых вулканов морского дна точно неизвестно, но есть оценки, что их более миллиона [1]. Общеизвестна созидательная роль вулканизма [2]. С другой стороны, сильные извержения могут представлять опасность для близлежащего населения и инфраструктуры. Массовые выбросы вулканических аэрозолей и газов в атмосферу оказывают влияние на климат; воздействию вулканов в той или иной степени подвержено около 25% населения планеты [3]. Протяженные пепловые шлейфы сильных эксплозивных извержений опасны для двигателей воздушных судов [4]. Эффективными мерами, уменьшающими ущерб от извержений, являются детальное вулканическое районирование (выделение опасных зон) и краткосрочный прогноз места, времени, энергии и опасности извержений [5-10]. Крайне важны условия безопасности при проведении исследований, о чем свидетельствует трагическая гибель группы вулканологов на вулкане Галерас в 1991 г. [11].

Прогнозирование вулканических извержений — серьезная научная и техническая проблема, пока являющаяся нерешенной [10,12-14]. Понимание природы сейсмичности невозможно без понимания природы вулканизма.

На Камчатке широко проявлен как базальтовый, так и кислый вулканизм, а также происходят извержения с промежуточным составом продуктов [15,16]. Здесь выявлено около 7100 вулканических образований с возрастом от 2-2,5 млн лет до современных, различной степени сохранности: многоактных вулканов, шлаковых конусов, кальдер, кратеров и т.д. [5, с. 115]. Согласно новым уточненным данным, на Камчатке насчитывается 20 действующих и 14 потенциально активных многоактных вулканов, а также 10 современных и голоценовых прочих вулканических образований (региональных зон шлаковых конусов, полей ареального базальтового вулканизма, полей концентрированного многовыходного экструзивного вулканизма и кальдер) [5,17], включая три крупнейших магматических центра планеты (Шивелуч, Ключевской и Плоский Толбачик) с расходом вулканических продуктов от 20 до 60 млн т в год [18-20]. В XX веке на полуострове произошло четыре больших (катастрофических) извержения вулканов с объемами изверженных продуктов ($1 < V < 10 \text{ км}^3$): Ксудаца в 1907 г., Безымянного в 1956 г., Шивелуча в 1964 г., Большого трещинного Толбачинско-го извержения в 1975-1976 гг. (БТТИ), а также несколько десятков умеренных ($0,1 < V < 1 \text{ км}^3$) и более слабых ($V < 0,1 \text{ км}^3$) извержений [16].

Все большие и многие умеренные извержения на Камчатке включали сильные или пароксизмальные взрывные

фазы, во время которых образовывались протяженные пепловые шлейфы, сильные пеплопады, пирокластические и грязевые потоки [21-29] (рис. 1).



Рис. 1. Пепловое облако во время сильной взрывной фазы извержения вулкана Безымянный 9 мая 2006 г. Абсолютная высота облака достигала 15 км. Справа внизу — вулкан Ключевской (4850 м над у.м.). Вид из пос. Ключи. Фото Ю.В. Демянчука

Общая площадь опасных вулканических зон на Камчатке оценивается примерно в 18 тыс.км² [30], что составляет 6,8% от площади Камчатского полуострова, равной 270 км². Наиболее опасные зоны, как правило, расположены в безлюдных или малонаселенных районах полуострова. Однако на Камчатке имеется ряд факторов, значительно увеличивающих площадь зон вулканической опасности. Во-первых, выпадения токсичного вулканического пепла при эксплозивных извержениях захватывают значительные территории. Во-вторых, наличие снежного покрова на склонах вулканов в течение большей части года значительно увеличивает вероятность образования протяженных грязевых потоков при отложении горячих пирокластических, лавовых потоков. В-третьих, в последние десятилетия значительно увеличился вулканический риск для авиации от пепловых облаков извержений вулканов Камчатки в связи с глобализацией и увеличением объема авиоперевозок грузов и пассажиров из Юго-Восточной Азии в Америку, проходящих через Камчатку и прилегающие акватории [31-33]. По данным П.И. Токарева, на Камчатке угрозу представляют, главным образом, следующие извержения и вулканы:

1) все катастрофические извержения вулканов на территории Камчатки;

2) умеренные и небольшие извержения вулканов Авачинской группы, Авачинский, Корякский (г. Елизово, г. Петропавловск-Камчатский, Елизовский аэропорт); Северной группы, Шивелуч, Ключевской, Безымянный, Толбачик (пос. Ключи, Козыревск, Майское, военные полигоны); вулканов района Мутновской ГЕОТЭС, Горелый и Мутновский; вулканов Южной Камчатки района Паужетской ГЕОТЭС, вулканы Камбальный и Кошелева.

Для снижения вулканического риска и развития международной научной кооперации на Камчатке

используются визуальные, сейсмологические, газогидрохимические, геодеформационные, геоморфологические, акустические, электромагнитные, а также фото- и видео методы, как наземные, так и аэрокосмические [34-36].

Регулярные вулканологические наблюдения на полуострове начались после организации Камчатской вулканологической станции (1935 г.) в пос. Ключи Камчатской области. Сейсмологические наблюдения начались в 1915 г., регулярные на вулканах Ключевской группы (по инициативе Б.И. Пуйна) — с 1946 г., детальные региональные — с 1961 г. [37-39]. С 1976 г. ведётся радиотелеметрическая передача сейсмологических данных, а с 1996 г. их цифровое накопление и обработка в реальном масштабе времени [36,40,41].

Успехи в прогнозировании вулканических извержений зависят в значительной степени от наличия надежных методик краткосрочного прогнозирования времени начала извержений андезитовых вулканов и побочных кратеров базальтовых вулканов [6,7], долгосрочного прогноза времени и масштаба извержений на основании учета влияния космических факторов и неравномерности вращения Земли (космофизический метод), а также среднесрочного прогноза на основании появления групп землетрясений в верхней мантии [42-44]. Ряд методик газогидрохимического прогноза был разработан И.А. Меньшиковым и Л.П. Никитиной [45,46]. В.А. Широковым (1985) также была разработана методика прогноза побочных извержений Ключевского вулкана, основанная на комплексном применении долго-, средне- и краткосрочных предвестников. Анализ многочисленных пометок в научных журналах из архива П.И. Токарева показывает, что кроме основных сейсмологических данных для прогноза извержения какого либо вулкана им тщательно анализировались и использовались все имеющиеся сведения о вулкане, характере его предыдущей и текущей активности, морфологии центрального кратера и т.д.

С 1978 г. координация прогнозных работ на вулканах Камчатки осуществляется Советом по прогнозу землетрясений и извержений вулканов ИВ ДВО РАН, где проводится обсуждение, систематизация прогнозных заключений и выдача официальных прогнозов. Регулярная еженедельная работа совета началась в 1985 г. С 1994 г. — это Общий совет ИВ ДВО РАН и Камчатской опытно-методической сейсмологической партии (КОМСП) ГС РАН по прогнозу землетрясений и извержений вулканов [47]. В связи с переименованием институтов в настоящее время он называется Совет по прогнозу Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (ИВиС ДВО РАН) и Камчатского филиала ГС РАН (КФ ГС РАН). Экспертная оценка состояния и развития сейсмической и вулканической активности на Камчатке с февраля 2006 г. проводится также Камчатским филиалом Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений, сейсмической опасности и риска. С

1998 по 2005 гг. эти функции выполняло Камчатское отделение Федерального центра прогнозирования землетрясений [48]. С 1993 г. оценкой текущей ситуации на вулканах Камчатки и выдачей прогнозов извержений и их опасности для авиapolетов занимается группа КВЕРТ [31,49].

Краткий обзор результатов по успешным прогнозам извержений вулканов Камчатки за 1972-2002 гг. был дан в работе [5, разд. 5.5].

В настоящей статье приводится анализ состояния работ по прогнозу вулканических извержений на Камчатке, охвачен длительный временной интервал с 1956 по 2012 гг., что позволило включить успешные прогнозы гигантских извержений вулканов Безымянного 1956 г., Шивелуча в 1964 г. и ряда умеренных извержений Безымянного вулкана в 2000-2012 гг., и приводится подробная таблица всех известных успешных прогнозов за последние 57 лет, а также детальное описание связанных с ними малоизвестных и, на взгляд автора, весьма поучительных обстоятельств. Во второй части статьи впервые даются примеры «пропусков цели», «ложных тревог», анализируются причины сравнительно низкой эффективности прогнозирования и намечаются возможные пути ее повышения.

В статье не представлены прогнозы извержений, которые были сделаны сотрудниками КОМСП (КФ) ГС РАН. С момента образования в 1994 г. группой его экспертов было сделано около двух десятков успешных прогнозов. На основании предложенного С.Л. Сенюковым алгоритма прогноза по роям слабых вулканических землетрясений и термоаномалиям по спутниковым данным, был выдан ряд успешных прогнозов времени начала сильных взрывных фаз извержений вулкана Безымянный [50]. Были сделаны успешные прогнозы развития вершинных извержений андезибазальтового Ключевского вулкана, которые были основаны на выявленном соотношении между извержениями вулканов Ключевской и Безымянный, а также прогнозы времени начала извержения андезитового вулкана Кизимен в 2010-2013 гг. Подробные сведения об этих прогнозах можно найти в работе [50].

УСПЕШНЫЕ ПРОГНОЗЫ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ИЗВЕРЖЕНИЙ НА КАМЧАТКЕ (1956-2012 гг.)

Автором анализировались краткосрочные (с заблаговременностью до 1 мес.) и среднесрочные (с заблаговременностью от 1 мес. до 1 года) успешные прогнозы вулканических извержений, как имеющие наибольшее практическое значение. Вулканическое районирование и долгосрочные прогнозы на основании геологических методов не рассматривались; данные по ним можно найти в книге [5, разд. 2.6 и 2.8]. Под началом извержения обычно понималось регулярное поступление на дневную поверхность жидких, пластичных или твердых раскаленных магматических продуктов, безотносительно вне или внутри кратеров вулканов. Фумарольная активность не считалась извержением. Под газовыми

гидротермальными извержениями вулканов Эбеко, Горелого и Мутновского понималось поступление в атмосферу значительных количеств вулканических газов. Под термином «прогноз» понималось сообщение, в котором, как минимум, указывался конечный интервал времени начала ожидаемого извержения, его сильной взрывной фазы или оценка продолжительности извержения. Условно к прогнозам относились также сообщения с открытой датой, которые выдавались тогда, когда наблюдались явные предвестники готовящегося вулканического события, но время его начала оценить было невозможно из-за отсутствия данных о предвестниках предыдущих извержений подобного типа. Кроме временных интервалов, в прогнозных заключениях могли указываться другие прогнозируемые параметры, например, максимальные ожидаемые высоты подъема, длины пепловых шлейфов, степень вулканической опасности и т.д. Прогнозы подразделялись на прогнозы начала извержений и прогнозы развития идущих извержений [5, разд. 5.5]. Рассматривались только те прогнозы, которые документально подтверждались записками руководству научных учреждений, прогнозными заключениями в советы по прогнозу или в группу КВЕРТ, научными отчетами, статьями, опубликованными до начала извержений. В исключительных случаях, в качестве подтверждений принимались недокументированные сообщения руководству институтов или органам местной исполнительной власти, если на их основе были приняты решения о заблаговременных выездах экспедиций на готовящиеся извержения или объявлен режим повышенной готовности (подтверждение прогноза «по факту»). Авторами прогноза (экспертами) считались исследователи, подавшие прогнозное сообщение, безотносительно, куда оно подавалось. Успешными считались прогнозы, которые оправдались, как минимум, по времени. В таблице представлены сведения о 29 известных успешных прогнозах, выданных камчатскими вулканологами с 1955 по 2012 гг.

Среднесрочные прогнозы делались газогидрохимическим, аэротепловым, космофизическим и сейсмологическим методами, а также на основании анализа временной группировки извержений [51-53,56,57,61-63]. Все краткосрочные прогнозы начала извержений были сделаны сейсмологическим методом [23,28,55,59]. Ряд успешных прогнозов развития извержений вулкана Безымянный (его сильных взрывных фаз) был сделан на основе морфологических изменений активного лавового купола, появления автоэксплозивных лавин на нём и моделирования деформационно-экструзивного процесса [24], а также по появлению термоаномалий и вулканических землетрясений, которые сопровождали начальные экструзивные фазы извержений [64]. Сейсмологический метод в настоящее время можно считать основным методом мониторинга и прогноза на Камчатке [13,65,66].

Успешные официальные прогнозы вулканических извержений (1955-2012 гг.)

Дата прогноза	Прогнозная оценка (на период времени)	Сила, характер ожидаемого извержения	Методы прогноза	Оправдываемость прогноза	
				Дата начала извержения	Сила, характер извержения
Вулкан Шивелуч					
Эксперт: <i>Токарев П.И.</i> (средне- и долгосрочный прогноз) [53]					
VII. 1964	В ближайшие годы, возможно и 1964 г.	Межпароксизмальное	Сейсмологический; повторяемость извержений	12.XI.1964	Пароксизмальное, $V \sim 1,5 \text{ км}^3$
Оправдался через 2,5 мес. по времени начала; ошибка в масштабе извержения					
Эксперты: <i>Меняйлов И.А., Никитина Л.П.</i> (средне- и долгосрочный прогноз) ¹					
XII. 1992	1993-1995 гг.	Межпароксизмальное	Геохимический	IV.1993	Межпароксизмальное
Оправдался через 4 мес. по времени начала и масштабу					
Группа экспертов: <i>Гарбузова В.Т., Жданова Е.Ю., Кирсанов И.Т., Разина А.А., Слезин Ю.Б., Широков В.А.</i> (прогноз развития извержения) ² [54]					
8.IV и 14.IV.1993	В ближайшее время (с открытой датой)	Сильное взрывное, опасный радиус 15 км	Сейсмологический	7-8.IV — экстремальная фаза, 22.IV.1993 — главная взрывная фаза	Умеренное взрывно-взрывное
Оправдался через две недели и по масштабу извержения					
Эксперт: <i>Иванов В.В.</i> (краткосрочные прогнозы начала извержения и его главной взрывной фазы) [23, 55]					
23.IV.2001	В течение первых недель	Умеренное взрывно-взрывное (пепловые шлейфы $H \leq 20 \text{ км}$, $L \leq 2000 \text{ км}$)	Сейсмологический, с учётом данных по аналогичному извержению 1993 г.	30.IV — экстремальная фаза, 19-22.V.2001 — главная взрывная фаза	Умеренное взрывно-взрывное (шлейфы $H_{\max} = 20 \text{ км}$, $L_{\max} = 1000 \text{ км}$)
19.V. 2001 в 10 ч камчатского времени	В течение текущих суток	Сильная взрывная фаза, подобная 22.IV.1993	Сейсмологический	19.V. 2001 в 17 ч 30 мин камчатского времени	Сильная взрывная фаза
Оправдались по времени начала взрывной и гл. взрывной фаз, масштабу и характеру извержения					
Вулкан Ключевской					
Эксперт: <i>Широков В.А.</i> (средне- и долгосрочный прогноз) [56]					
X.1973	1974-1975 гг.	Побочное или вершинное	Космофизический (19-летний земной прилив)	23.VIII.1974	Побочное им. IV ВВС
Оправдался через 10 мес. по времени начала извержения					
Эксперты: <i>Кирсанов И.Т., Пономарев Г.П., Штейнберг Г.С.</i> (средне- и долгосрочный прогноз) [57]					
V-VIII.1973	1974-1975 гг.	а) вершинное; б) побочное в Ю-В секторе на $H = 2-2,4 \text{ км}$ над у.м.	Ритмика извержений; закономерное расположение побочных кратеров	23.VIII.1974	Побочное им. IV ВВС
Оправдался через 1 год по времени начала; ошибка по месту прорыва					
Эксперты: <i>Токарев П.И., Горельчик В.И., Гарбузова В.Т.</i> (краткосрочный прогноз) [54, 58]					
4.III.1983	0-5 сут	Побочное на С-В склоне, $V = 0,05 \text{ км}^3$, длительностью 2 мес.	Сейсмологический, морфологический (состояние верш. кратера)	8.III.1983	Побочное на С-В склоне, $V = 0,02 \text{ км}^3$, длительность 3,3 мес.
Оправдался через 4 дня по времени начала и месту прорыва					

Продолжение табл.

Дата прогноза	Прогнозная оценка (на период времени)	Сила, характер ожидаемого извержения	Методы прогноза	Оправдываемость прогноза	
				Дата начала извержения	Сила, характер извержения
Эксперт Двигалю В.Н. (прогноз развития извержения)³					
17.IX.1994	С открытой датой	Усиление вершинного извержения до пароксизмального	Аэровизуальный	1.X.1994	Пароксизмальная фаза извержения
Оправдался по характеру извержения					
Вулкан Безымянный					
Эксперт Горшков Г.С. (среднесрочный прогноз развития извержения) [22]					
I-II.1956	В течение ближайших месяцев	Сильный взрыв, опасная зона р. Хапицы	Сейсмологический, с учетом опыта подобных извержений в мире	30.III.1956	Пароксизмальная фаза, V ~3 км ³
Оправдался через 1 мес. по времени начала, характеру извержения и опасности					
Эксперт Токарев П.И. (краткосрочные прогнозы развития извержения) [38]					
26.X.1959	В течение недели	«Взрывное извержение»	Сейсмологический	30.X.1959	Сильная взрывная фаза
8.IV.1960	В течение недели	«Взрывное извержение»	Сейсмологический	13-14.IV.1960	Сильная взрывная фаза
Оправдались через 5 дней по времени начала и характеру извержения					
Эксперт Малышев А.И. (краткосрочный прогноз) [21, 24]					
XII.1984	С открытой датой	Сильное экструживно-эксплозивное	Морфологический, с учетом опыта предыдущих извержений	12.VI.1985 и 15.X.1985	Сильное экструживно-эксплозивно-эффузивное (V = 0,05 км ³)
24.VI.1985	«В ближайшие дни»	Сильная эксплозивная фаза	Появление автоэксплозивных лавин	29.VI.1985	Сильная эксплозивная фаза
9.XII.1986	21.XII.1986	Эксплозивная фаза	Модель деформационно-экструживного процесса	17-18.XII.1986	Слабая эксплозивная фаза, затем излияние ЛП
Первый прогноз через 5 дней оправдался по времени начала, прогнозы оправдались по характеру извержения					
Эксперт Гирина О.А. (краткосрочные прогнозы развития извержений)⁴					
27.VII. и 3.VIII.2001	27.VII-10.VIII.2001	Эксплозивная фаза (H = 5-10 км)	Сейсмологический и спутниковый (термоаномалии)	6.VIII.2001	Эксплозивная фаза, пепловый шлейф (H ~ 10 км)
10.V.2007	«Извержение возможно в любое время» (с открытой датой)	Эксплозивная фаза (H = 10 км)	То же	11.V.2007	Эксплозивная фаза, пепловый шлейф (H = 4 км)
20 и 24.V.2010	21.V-10.VI.2010	Эксплозивная фаза	То же	31.V.2010	Эксплозивная фаза, пепловый шлейф (H = 8-10 км)
8.III.2012 (02:02 UTC)	В течение 24 ч	Эксплозивная фаза (H = 13 км)	То же	8.III.2012, 21:27 UTC	Пепловый шлейф (H = 8 км)
Оправдались через 1-9 дней по времени начала, силе и характеру извержения					

Дата прогноза	Прогнозная оценка (на период времени)	Сила, характер ожидаемого извержения	Методы прогноза	Оправдываемость прогноза	
				Дата начала извержения	Сила, характер извержения
Толбачинский дол					
Эксперт <i>Токарев П.И.</i> (краткосрочный прогноз) [59, 60]					
30.VI.1975	В течение 5 сут	Извержение центрального кратера или побочного прорыва			
2.VII.1975	В течение одной недели	Побочное извержение, с указанием его места	Сейсмологический	6.VII.1975	Северный прорыв БТТИ
Успешно оправдался через 4 суток по времени начала и месту; ошибка по масштабу извержения					
Эксперт <i>Федотов С.А.</i> (краткосрочный прогноз развития извержения) [60]					
2.VIII.1975 (16 ч 30 мин, камчатского времени)	В ближайшее время	Усиление активности I-го конуса Северного прорыва БТТИ	На основании образования нового эруптивного центра в основании I-го конуса	2.VIII.1975 (~23 ч камчатского времени)	Сильная взрывная активность из Северной бочки I-го конуса БТТИ
Оправдался по времени начала и характеру извержения					
Эксперты: <i>Степанов В.В., Гарбузова В.Т.</i> (краткосрочный прогноз развития извержения) [60]					
16.VIII.1975	В течение первых суток	Новый прорыв на идущем извержении	Сейсмологический	17.VIII.1975	III-й конус Северного прорыва БТТИ
Оправдался через 1.5 дня по времени начала и месту извержения					
Вулкан Карымский					
Эксперт <i>Чирков А.М.</i> (средне- и долгосрочный прогноз) [61]					
IV.1970	В ближайшие годы	Извержение	Содержание Rn^{222}	10.V.1970	Умеренное эксплозивно-эффузивное
Оправдался через 1 мес. по времени начала					
Эксперты: <i>Двигало В.Н., Дубровская И.К.</i> (долгосрочный прогноз) ⁵					
X.1993	В ближайшие годы	Извержение	Аэрометод (термоаномалии и новые фумаролы в центре активного кратера)	2.I.1996	Умеренное эксплозивно-эффузивное извержение
Оправдался через 2 года и 3 мес. по времени начала					
Эксперт <i>Сторчеус А.В.</i> (среднесрочный прогноз) [55, 62]					
7.IV.1995 13.IV.1995 (еженедельно продолжался вплоть до начала извержения)	В первые недели	Сильное извержение Карымского (шлейф $H \leq 10$ км, $L \leq 1000$ км, пирокластические потоки)	Сейсмологический, анализ прединтерпретации	2.I.1996	Умеренное эксплозивно-эффузивное извержение Карымского; и моногенное извержение в озере
Как продолженный прогноз оправдался по времени начала, характеру извержения Карымского вулкана; одновременно начавшееся извержение в Карымском озере не прогнозировалось					
Эксперт <i>Федотов С.А.</i> (краткосрочный прогноз) [28]					
1.I.1996 (~22 ч камчатского времени)	В ближайшие часы и первые дни	Извержение Карымского, пароксизмальное или сильное эксплозивное	Сейсмологический	«В ночь с 1 на 2 января 1996 г.» (А.Г. Коваленков)	То же
Оправдался через 2-5 ч по времени начала; одновременно начавшееся извержение в Карымском озере не прогнозировалось					

Продолжение табл.

Дата прогноза	Прогнозная оценка (на период времени)	Сила, характер ожидаемого извержения	Методы прогноза	Оправдываемость прогноза	
				Дата начала извержения	Сила, характер извержения
Вулкан Горелый					
Эксперт <i>Гавриленко Г.М.</i> (среднесрочный прогноз) [52]					
XI.2009	В течение одного года	Извержение в центральном активном кратере, подобное извержению 1980-х гг.	Гидрохимический, гидродинамический (уровень озера), спутниковый	VI.2010	Газовое извержение в центральном активном кратере
Оправдался через 7 мес. по времени начала, месту и характеру извержения					
Вулкан Мутновский					
Эксперт <i>Гавриленко Г.М.</i> (среднесрочный прогноз) [51]					
X.2006	В течение полугода	Фреатическое извержение в Активной воронке, подобное извержениям в 2000 и 2003 гг.	Гидрохимический	IV.2007	Фреатическое извержение в Активной воронке
Оправдался через 6 мес. по времени начала, месту и характеру извержения					
Вулкан Эбеко (о. Парамушир, Курильские острова)					
Эксперт <i>Меняйлов И.А.</i> [63]					
XII.1984	С открытой датой	Фреатическое извержение	Геохимический, геотермальный	X.1987	Фреатическое извержение в Сев. кратере и СВ fumarольном поле
Оправдался по характеру извержения					

Примечание: 1 — Отчёт ИВ ДВО РАН по ГНТП №16 «Безопасность населения и народно-хозяйственных объектов» за 1992 г., с. 21; 2 — Бюллетень камчатского полигона по прогнозу за 1993 г., № 2, с. 80-81; 3 — Устн. сообщ. зам. дир. *Г.А. Карлова*; 4 — сообщения группы КВЕРТ от 2001, 2007, 2010 и 2012 гг., соответственно (<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van>); 5 — Отчет ИВ ДВО РАН по ГНТП № 18 «Глобальные изменения природной среды...» за 1993 г., разд. 1.2.1.4 «Дистанционные наблюдения за состоянием вулканов», с. 30.

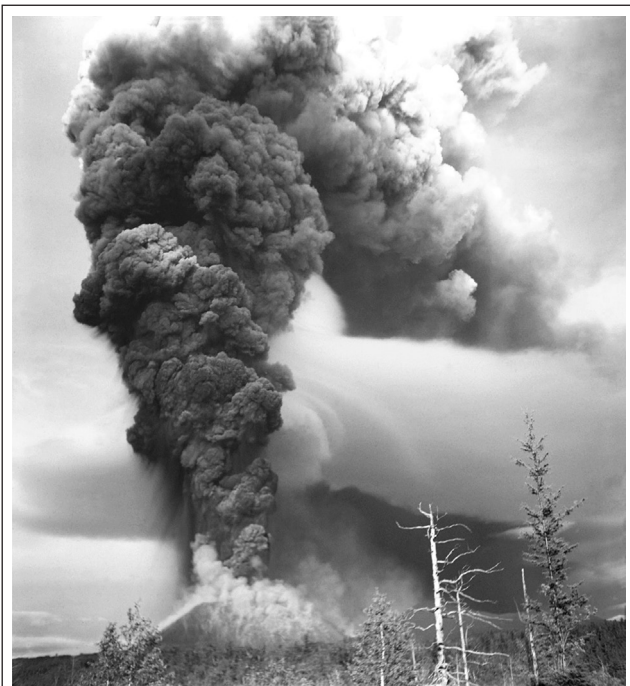


Рис. 2. Извержение конуса Северного прорыва Большого трещинного Толбачинского извержения 23 июля 1975 г. Успешно предсказано *П.И. Токаревым*. Фото *Н.П. Смелова*

Из 16 прогнозов начала извержений было 9 среднесрочных, краткосрочных — 4 и с открытой датой — 3. Из 13 прогнозов развития извержений был один среднесрочный, 11 краткосрочных и один с открытой датой. Достижением можно считать среднесрочные прогнозы пароксизмальных фаз извержений вулканов Безымянного 30 марта 1956 г. и Шивелуча в 1964 г. [22,53] (см. таблицу). Выдающийся результат — успешный краткосрочный прогноз *П.И. Токарева* времени начала и места БТТИ в 1975-1976 гг., опубликованный в областной газете за неделю до начала извержения [59] (рис. 2).

Приведём описание некоторых представленных в таблице успешных прогнозов и связанных с ними предвестников, которые, по мнению автора, представляют значительный интерес, но недостаточно освещены в научной литературе.

Извержение Безымянного вулкана началось в 1955 г. и сопровождалось мощным роем вулканических землетрясений. В начале 1956 г., несмотря на снижение активности извержения, *Г.С. Горшков* предвидел высокую вероятность сильного взрыва, о чем им было письменно сообщено руководству Усть-Камчатского района Камчатской области. Пароксизмальный взрыв произошел 30 марта 1956 г.



Рис. 3. Облако извержения вулкана Безымянный (его пароксизмальной фазы 30 марта 1956 г.). Высота облака достигала 35-38 км. В левом нижнем углу просматриваются скромные по сравнению с высотой облака постройки вулканов Ключевской, Камень и Безымянный. Вид из окрестностей пос. Козыревск ($\Delta = 45$ км). Фото И.В. Ерова, любезно предоставлено В.А. Шамшиным

(рис. 3). Сила извержения соответствует вулканическому эксплозивному индексу $VEI = 4-5$ и относится к классу «катастрофических» [67]. К сожалению, документальных свидетельств этого прогноза не сохранилось, и автор полагается на данные, приведенные в книге, опубликованной через несколько лет после извержения [22].

В 1964 г. на основании майского роя вулканических землетрясений на Шивелуче, *П.И. Токарев* в своей статье указывал на ожидаемое извержение вулкана «в ближайшие годы, возможно и в 1964 году» [53]. Номер со статьей был подписан к печати 20.11.1964 г., т.е. уже после извержения, однако, он был сдан в набор 1.09.1964 г., т.е. за полтора месяца до извержения, которое началось 12.11.1964 г. [26]. Это неопровержимо доказывает факт средне- и долгосрочного предупреждения о близком извержении вулкана, который был сделан *П.И. Токаревым* за несколько месяцев до извержения.

Умеренные экструзивно-эксплозивные извержения Шивелуча в 1993-1994 гг. и в 2001 г. также были успешно предсказаны, поскольку предварялись изменениями в составе вулканических газов и роями вулканических землетрясений.

В результате многолетнего геохимического мониторинга вулканических газов вулкана Шивелуч *И.А. Меняйлов* и *Л.П. Никитина* предвидели извержение этого вулкана в 1993-1995 гг. (Отчёт ИВ ДВО РАН по ГНТП № 16. Декабрь 1992 г. С. 21). Этот средне- и долгосрочный прогноз успешно реализовался в апреле 1993 г.

Группой экспертов Института вулканической геологии и геохимии (ИВГиГ) ДВО РАН (рук. *В.А. Широкоев*) 8 апреля 1993 г. был дан прогноз сильной эксплозивной фазы этого извержения Шивелуча (время здесь и далее камчатское = UTC + 12 ч). Прогноз основывался на факте резкого с 7 на 8 апреля 1993 г. свечения на его лавовом куполе. Это означало начало экструзивной фазы извержения, т.е. речь шла о прогнозе развития идущего извержения. Точное время эксплозивной фазы не могло быть определено из-за отсутствия данных о предвестниках аналогичных извержений этого вулкана, поэтому прогноз был дан с формулировкой «в ближайшее время». Прогноз был заблаговременно доведен до сведения комиссии по чрезвычайным ситуациям Камчатской области, администраций г. Ключи и Ключи-20 [54].

Краткосрочный прогноз времени начала умеренного извержения Шивелуча в 2001 г. базировался на анализе параметров предваряющего роя местных вулканических землетрясений, частота и энергетический класс которых с начала апреля 2001 г. быстро нарастали (рис. 4). Стрелками показаны отдельные взрывы или взрывные извержения. Появление термоаномалии 29.IV.2001 г. по спутниковым данным считалось началом экструзивного этапа извержения. Время UTC = камчатское летнее — 13 ч. Построено по данным каталога землетрясений КФ ГС РАН.

Учитывая, что большие извержения на вулкане имеют место сравнительно редко, один раз в 100-150 лет [68,69], в 2001 г. ожидалось умеренное извержение, подобное предыдущему извержению

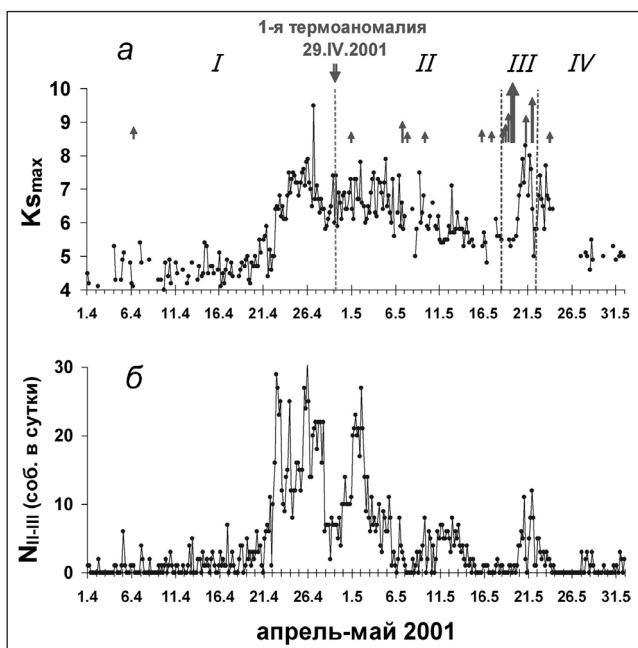


Рис. 4. Сейсмический режим вулкана Шивелуч в апреле-мае 2001 г.: максимальный энергетический класс вулканических землетрясений II-III типов (K_{smax}) (а) и их количества (NII-III) по четырехчасовым интервалам (б). Фазы: I — подготовки извержения, II — начальная экструзивная, III — главная эксплозивная, IV — умеренного экструзивно-эксплозивного извержения

1993-1994 гг. Это позволило для прогнозирования применить закономерности в поведении сейсмичности, выявленные для предыдущего извержения. Поэтому, прогнозная оценка была более точной [23]. 23 апреля 2001 г. В.В. Ивановым в Общій совет по прогнозу ИВ ДВО РАН и КОМСП ГС РАН было выдано сообщение «О возможном извержении вулкана Шивелуч по сейсмологическим данным». В сообщении давался анализ активности вулкана, краткосрочный прогноз времени начала и основных параметров будущего извержения. На основе этого заключения в начале мая 2001 г. был произведен заблаговременный выезд полевого отряда в г. Ключи для изучения извержения и дано официальное предупреждение командованию Ключевского военного гарнизона. Прогноз успешно реализовался через неделю с началом экструзивной фазы извержения [70]. Начало этой фазы было определено по появлению 29.4.2001 г. (время UTC) термоаномалии на вулкане по спутниковым данным (см. рис. 4а).

Утром 19 мая 2001 г. по Камчатской вулканостанции был объявлен режим усиленного наблюдения за вулканом Шивелуч, в связи с ожидаемой на нем сильной взрывной фазой, которая началась в этот же день в 16 ч 30 мин местного времени и продолжалась в течение примерно 6 ч (рис. 5).

Эксплозивный индекс извержения $VEI = 3-4$ [55]. Прогноз основывался на прекращении к 16 мая роя местных вулканических землетрясений (см. рис. 4) и начавшемся 18 мая 2001 г. постепенном увеличении амплитуд вулканического дрожания. Последний факт указывал на ускорение роста ак-

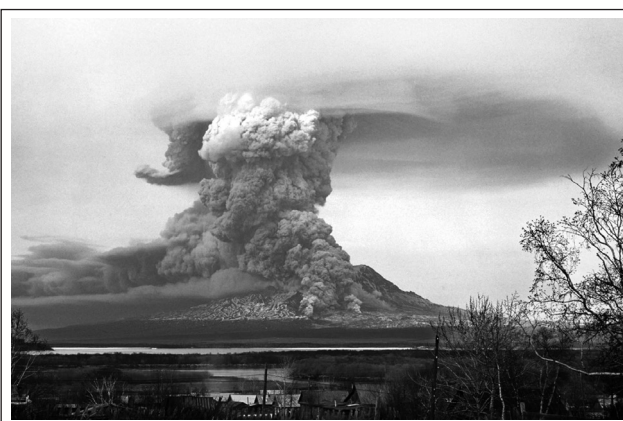


Рис. 5. Главная эксплозивная фаза извержения вулкана Шивелуч 19 мая 2001 г. Вид из г. Ключи ($\Delta = 46$ км)

тивного лавового экструзивного купола вулкана. Поведение предвестников было аналогичным случаю сильной взрывной фазы на вулкане 22 апреля 1993 г. [29]. Извержению предшествовала сравнительно длительная пауза в извержениях (7,4 года) и постепенное нарастание взрывной активности на лавовом куполе, начавшееся за несколько лет до извержения. Это позволяло предполагать, что за длительное время покоя в результате гравитационной дифференциации летучих в верхней части магматического очага вулкана образовалась так называемая «газовая шапка». Поэтому наблюдаемые с 16 мая явления были интерпретированы как предвестники, указывающие на подход к поверхности земли большой порции глубинной, более горячей, сравнительно



Рис. 6. Начальная фаза извержения Карымского вулкана 3 января 1996 г. Вид с вулкана Двор. Фото Н.П. Смелова

маловязкой и газонасыщенной магмы, способной вызвать сильное эксплозивное извержение ([23,55]. Подчеркнем, что в отличие от пароксизмального извержения 12.11.1964 г. главная эксплозивная фаза извержения 19.5.2001 г. на Шивелуче начиналась плавно и была менее мощной.

Извержение Карымского вулкана, начавшееся в 1996 г., было успешно предсказано как в долго- и среднесрочном, так и в краткосрочном варианте (рис. 6).

Вулкан Карымский находился в покое с октября 1982 г. Первые признаки его активизации были обнаружены в августе 1993 г. по результатам аэрофотосъемок в видимом и инфракрасном диапазонах, на основе которых был выдан долгосрочный прогноз возможного извержения вулкана (Отчет ИВ ДВО РАН за 1993 г. по Проекту 1.2.1 Государственной научно-технической программы России «Глобальные изменения природной среды и климата». Разд. 1.2.1.4 «Дистанционные наблюдения за состоянием вулканов», с. 30).

В среднесрочном варианте извержение Карымского вулкана было предсказано *А.В. Сторчевсом*, экспертом Общего совета ИВ ДВО РАН и КОМСП ГС РАН по прогнозу, на основании анализа особенностей 9-месячного предваряющего роя вулканических землетрясений с магнитудами $M \leq 3$. Эпицентры землетрясений происходили в кальдере, занятой Карымским озером, и частично в районе Карымского вулкана. Первые прогнозы 7 и 13 апреля 1995 г. выдавались *А.В. Сторчевсом* на первые недели — месяцы. Поскольку рой продолжался, в дальнейшем прогноз еженедельно продлевался вплоть до начала извержения 2 января 1996 г. [55,69].

В Кроноцком заливе вблизи Карымского вулканического центра 31 декабря 1995 г. произошло землетрясение с магнитудой $M = 5,8$, а 1 января 1996 г. в 18 ч в пределах самого вулканического центра начался новый, гораздо более мощный рой вулканических землетрясений. Землетрясения происходили южнее Карымского вулкана, вплоть до вулкана Жупановские Востряки, охватывая область размерами в плане 15×25 км [28]. В телефонограмме, переданной *В.В. Ящуком* в 18 ч 15 мин. в МЧС Камчатской области, было сказано: «Отмечена сейсмическая активизация Карымского. Возможно начало извержения». Сейсмическая активность быстро нарастала. В 21 ч 59 мин того же дня в Карымском центре произошло землетрясение с $M = 6,7$ по оперативным данным. Оно было самым сильным, зарегистрированным под вулканами Камчатки почти за 50 лет сейсмологических наблюдений [28]. Вечером 1 января директор ИВ ДВО РАН академик *С.А. Федотов* оперативно отслеживал ситуацию, информировал по телефону руководство комиссии по чрезвычайным ситуациям Камчатской области о развитии событий, указывал на повышенную вероятность сильного землетрясения и извержения вулкана, представляющих опасность для

г. Петропавловск-Камчатский и ставил вопрос о необходимости облета эпицентральной зоны и района Карымского вулкана. Этот краткосрочный прогноз успешно реализовался через несколько часов (по данным *А.Г. Коваленкова* извержение Карымского началось в ночь с 1 на 2 января 1996 г.). Облет района был совершен во второй половине дня 2 января 1996 г. после обнаружения пепловых облаков, идущих в Карымском районе извержений (по данным Производственно-диспетчерская служба Елизовского аэропорта, сообщение *В.Н. Плоцкого*). Учёные ИВ ДВО РАН и КОМСП ГС РАН смогли увидеть редкое природное явление — одновременное извержение из двух центров: вершинное Карымского вулкана и подводное в Карымском озере. Извержение в озере было кратковременным и происходило 2-3 января 1996 г. Ситуация развивалась настолько стремительно, что счёт шел на часы и минуты. Это объясняет отсутствие каких-либо документальных подтверждений краткосрочного прогноза, и мы полагаемся на сведения, приведенные в работе [28]. Вылет вертолета МЧС в новогодний день на вулкан, очевидно, может служить подтверждением большой работы по его подготовке, которую проводил *С.А. Федотов* накануне извержения вечером 1 января. Это подтверждает «по факту» сделанный им краткосрочный прогноз извержения Карымского вулкана.

Аналогичное подтверждение «по факту» имел успешный прогноз возможной сильной эксплозивной фазы на Ключевском вулкане, который был сделан *В.Н. Двигало* по аэровизуальным данным, полученным 17 сентября 1994 г. во время облета вулкана на самолете. На основании устного прогнозного заключения, переданного в этот же день руководству ИВ ДВО РАН, в конце сентября этого же года был произведен заблаговременный вылет полевого отряда в г. Ключи для изучения извержения. Пароксизмальная фаза извержения произошла 1 октября 1994 г. Сила извержения соответствовала вулканическому эксплозивному индексу $VEI = 3-4$ [25].

Важными видами прогнозов являются заключения о малой вероятности вулканического извержения, несмотря на наблюдаемые предвестники. В марте-апреле 1983 г. в районе потухших вулканов Асачинской группы развивался рой землетрясений, по развитию похожий на рои землетрясений, предваряющие побочные извержения вулканов. Последние извержения вулканов этой группы были ~1,5-2,0 тыс. лет назад и не исключалась вероятность их извержения в будущем. Судя по достаточной энергии землетрясений (магнитуда M до 4,0), длительному интервалу покоя, извержение могло быть большим или катастрофическим. *П.И. Токарев* оперативно отслеживал ситуацию и на основании характера землетрясений и глубины их очагов сделал заключение, что эти события связаны с интрузиями магмы на глубине и не предвещают извержения [27].

Заметим, что успешный прогноз описанных выше извержений полигенных андезитовых вулканов был обязан наличию явно выраженных предвестников, в первую очередь сейсмологических. Наличие предвещающих извержение вулканических землетрясений свидетельствует о разрушении горных пород, окружающих питающие каналы вулканов под действием значительных избыточных напряжений от заполняющих их магм. Это однозначно указывает, что первые порции магм, поднимавшихся перед указанными извержениями, имели очень большую вязкость.

Извержение Безымянного вулкана в 1955-1956 гг. произошло после почти тысячелетнего периода покоя [22]. Извержения Шивелуча в 1964 г., в 1993-1994 гг., в 2001 г., Карымского в 1996 г. произошли после сравнительно длительных (6-29) летних интервалов покоя. За это время вязкая магма в питающих каналах вулканов, вероятно, охладилась, дегазировала и отвердела, образовав т.н. «лавовые пробки». Подъем новых порций магмы происходил в условиях закрытых систем, порождая значительные избыточные напряжения и землетрясения. Здесь закрытость системы понимается по отношению к магме, но не по отношению к отделяющимся от нее летучим, которые могут диффундировать по образующимся в «лавовых пробках» трещинам и выделяться в атмосферу.

Продолжение следует

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Siebert L., Simkin T., Kimberly P. Volcanoes of the World. 3-d edition. Smithsonian Institution, University of California press. W., D.C.: 2010. — 551 p.
2. Cas Ray A.F. Volcanoes and the geological cycle // Volcanoes and the environment. Cambridge University Press, Cambridge, 2005. — P. 121-151.
3. Baxter P. Human impacts of volcanoes // Volcanoes and the environment. (Ed. by J Marti' and G.G.J. Ernst). Cambridge University Press, Cambridge, 2005. — P. 273-303.
4. Miller T.P., Casadevall T.J. Volcanic ash hazards to aviation // Encyclopedia of Volcanoes. Ed. by H. Sigurdsson. Academic Press, 1999. San Diego. — P. 915-930.
5. Новейший и современный вулканизм на территории России. Гл. 2 / Отв. ред. Н.П. Лаверов. ИФЗ РАН. — М.: Наука, 2005. — 604 с.
6. Токарев П.И. К методике прогноза извержений вулканов Камчатки по сейсмологическим данным // Бюлл. вулканологических станций. — 1977. — № 53. — С. 38-45.
7. Токарев П.И. Долгосрочный прогноз извержений вулканов // Вулканология и сейсмология. — 1979. — № 3. — С. 77-90.
8. Blong R.J. Volcanic hazards and risk management // Encyclopedia of volcanoes. Ed. by H. Sigurdsson. Academic press. 1999. — P. 1215-1228.
9. McNutt S.R. Seismic monitoring of volcanoes: A review of the state-of-the-art and recent trends // Monitoring and Mitigation of Volcanic Hazards // Ed. by Scarpa, R., R. Tilling, Chapter 3, Springer-Verlag. Berlin, 1996. — P. 99-146.
10. Sparks R.S.J. Forecasting volcanic eruptions // Earth and Planetary Science Letters. — 2003. — V. 210. — P. 1-15.
11. Кораль-Гомес К., Меняйлова И.И. Вулкан Галерас (Колумбия). Извержение 14 января 1993 г. // Вулканология и сейсмология. — 1993. — № 5. — С. 3-14.
12. Tilling R.I. Volcanic hazards and their mitigation: Progress and problems // Reviews of Geophysics. — May 1989. — V. 27, Issue 2. — P. 237-269.
13. Tokarev P.I. The prediction of large explosions of andesitic volcanoes // Journal of geodynamics. — 1985. — V. 3. — P. 219-244.
14. Zobin V.M., Jimenez Z. Some regularity in the process of re-awakening of andesite and dacite volcanoes: specific features of the 1982 El Chichón volcano, México reactivation // Journal of volcanology and geothermal research. — 2008. — V. 175. — P. 482-487.
15. Влодавец В.И., Пуйн Б.И. Каталог действующих вулканов Камчатки // Бюлл. вулканологических станций. — 1957. — № 25. — С. 5-95.
16. Действующие вулканы Камчатки. Т. 1 и 2. Под ред. С.А. Федотова и Ю.П. Масуренкова. — М.: Наука, 1991. — Т. 1. — 302 с.; Т. 2. — 415 с.
17. Мелекесцев И.В. Действующие и потенциально активные вулканы Курило-Камчатской островной дуги в начале XXI в.: этапы исследований, определение термина «действующий вулкан», будущие извержения и вулканическая опасность // Вестник КРАУНЦ. — 2006. — № 2, Вып. 7. — С. 15-35.
18. Мелекесцев И.В., Хренов А.П., Кожьямяка Н.Н. Тектоническое положение и общий очерк вулканов Северной группы и Срединного хребта. Действующие вулканы Камчатки. Т. 1. — М.: Наука, 1991. — С. 74-78.
19. Хренов А.П., Двигалов В.Н., Кирсанов И.Т. и др. Вулкан Ключевской. Действующие вулканы Камчатки. Т. 1. — М.: Наука, 1991. — С. 106-145.
20. Хренов А.П., Богатиков О.А., Лексин А.Б., Маханова Т.М. Огнедышащий край России — М.: Изд-во ИГЕМ РАН, 2013. — 211 с.
21. Алидибиров М.А., Богоявленская Г.Е., Кирсанов И.Т. и др. Извержение вулкана Безымянный в 1985 г. // Вулканология и сейсмология. — 1988. — № 6. — С. 3-17.
22. Горшков Г.С., Богоявленская Г.Е. Вулкан Безымянный и особенности его последнего извержения 1955-1963 гг. — М.: Наука, 1965. — 172 с.
23. Иванов В.В. Прогноз большого экструзивного извержения вулкана Шивелуч (Камчатка) и его мощной взрывной фазы в апреле-мае 2001 г. // Материалы II-го Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии 9-12 сентября 2003 г. — Екатеринбург, 2003. — С. 925-931.
24. Малышев А.И. Жизнь вулкана. — Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УРО РАН, 2000. — 261 с.
25. Озеров А.Ю., Карпов Г.А., Дроздин В.А. и др. Динамика извержения Ключевского вулкана 7 сентября – 2 октября 1994 г. (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. — 1996. — № 5. — С. 3-16.
26. 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.
27. Токарев П.И. Асачинский рой землетрясений и его природа (Камчатка, март-апрель, 1983) // Вулканология и сейсмология. — 1984. — № 3. — С. 3-13.
28. Федотов С.А. Пробуждение // Поиск. — 20-26 января 1996. — № 3-4 (349-350). — С. 15.
29. Хубуня С.А., Жарионов Н.А., Муравьев Я.Д., Иванов В.В. и др. Извержение вулкана Шивелуч в 1993 г. // Вулканология и сейсмология. — 1995. — № 1. — С. 3-19.
30. Мархинин Е.К., Сирин А.Н., Тиммербаева К.М., Токарев П.И. Опыт вулcano-географического районирования Камчатки и Курильских островов // Бюлл. вулканол. ст. — 1962. — № 32. — С. 52-70.
31. Гирина О.А., Гордеев Е.И. Проект KVERT — снижение вулканической опасности для авиации при эксплозивных извержениях вулканов Камчатки и Северных Курил // Вестник ДВО РАН. — 2007. — № 2. — С. 100-109.
32. Кирьянов В.Ю. Вулканические пеплы Камчатки как источник потенциальной опасности для пассажирских

авиалиний // Вулканология и сейсмология. — 1992. — № 3. — С. 16-36.

33. Monitoring of Volcanoes in the North Pacific: Observations from Space. Dean K., Dehn J. (eds). Springer — Praxis Press. — 2013. — 500 p. ISBN 978-3-540-24125-6.

34. Дрознин В.А., Дубровская И.К. Тепловизионные исследования вулканов Камчатки в 2008-2009 гг. // Тезисы 2-й региональной научно-технической конференции «Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России», Петропавловск-Камчатский, 11-17 октября. 2009. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2010. — С. 38-42.

35. Фирстов П.П. Вулканические акустические сигналы диапазона 0.5-10 Гц в атмосфере и их связь с взрывным процессом. — Петропавловск-Камчатский: Камчатский государственный педагогический университет, 2003. — 90 с.

36. Чебров В.Н., Дрознин Д.В., Дрознина С.Я. и др. Развитие системы комплексного инструментального мониторинга вулканов Дальневосточного региона // Сейсмические приборы. — 2012. — Т. 48, № 4. — С. 40-54.

37. Горельчик В.И. К истории развития сейсмологических исследований на вулканах Камчатки // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. — Петропавловск-Камчатский: ИВГиГ ДВО РАН, 2001. — С. 341-351.

38. Токарев П.И. Извержения и сейсмический режим вулканов Ключевской группы. — М.: Наука, 1966. — 118 с.

39. Федотов С.А. К 25-летию детальных сейсмологических исследований на Камчатке и Командорских островах, XI.1961 - X.1986: История, развитие и задачи // Вулканология и сейсмология. — 1987. — № 6. — С. 3-10.

40. Гаврилов В.А., Чебров В.Н., Малкин А.П., Ящук В.В. Петропавловская радиотелеметрическая сеть сбора сейсмометрической информации: опыт эксплуатации и перспективы развития // Сейсмичность, сейсмический прогноз и сейсмостойкое строительство на Дальнем Востоке. — 1981. — С. 62-63.

41. Гордеев Е.И., Чебров В.Н., Федотов С.А. Детальные сейсмологические исследования на Камчатке в 1961-2011 гг., основные результаты // Вулканология и сейсмология. — 2013. — № 1. — С. 3-17.

42. Широков В.А. Влияние 19-летнего лунного прилива на возникновение больших камчатских извержений и землетрясений и их долгосрочный прогноз // Геологические и геофизические данные о Большом трещинном Толбачинском извержении 1975-1976 гг. — М.: Наука, 1978. — С. 164-170.

43. Широков В.А. Связь извержений вулканов Камчатки с землетрясениями верхней мантии // Бюлл. вулканологических станций. — 1978. — № 54. — С. 3-8.

44. Широков В.А., Серафимова Ю.К. Прогноз сильных извержений вулканов Тихоокеанского тектонического пояса на ближайшие 20 лет на основе применения метода фазовых траекторий // Вестник КРАУНЦ. — 2008. — № 2, Вып. 12. — С. 154-163.

45. Меняйлов И.А., Никитина Л.П. О поведении серы и хлора в фумарольных газах перед усилением активности вулканов // Вулканизм и геохимия его продуктов. — М.: Наука, 1967. — С. 72-81.

46. Меняйлов И.А. Зависимость состава вулканических газов от состояния вулканической активности и геохимический прогноз извержений // Бюллетень вулканологических станций. — 1976. — № 52. — С. 42-48.

47. Федотов С.А. К 30-летию Совета Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН и Камчатского ГС РАН по прогнозу землетрясений и извержений вулканов // Вулканология и сейсмология — 2008. — № 6. — С. 78-80.

48. Чебров В.Н., Салтыков В.А., Серафимова Ю.К. Десять лет деятельности Камчатского филиала РЭС по прогнозу землетрясений: достижения, проблемы, перспективы // Материалы IV Всероссийского симпозиума по вул-

канологии и палеовулканологии 22-27 сентября 2009 г. — Петропавловск-Камчатский, 2009. — С. 677-680.

49. Кирьянов В.Ю., Чубарова О.С., Сеньюков С.Л. и др. Группа по обеспечению безопасности полетов от вулканических пеплов (КВЕРТ): 8 лет деятельности // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. — Петропавловск-Камчатский: ИВГиГ ДВО РАН, 2001. — С. 408-423.

50. Сеньюков С.Л. Прогноз извержений вулканов Ключевской и Безымянный на Камчатке. LAP Lambert Academic Publishing, 2013. — 144 с.

51. Гавриленко Г.М., Мельников Д.В., Зеленский М.Е., Тавиньо Л. Многолетний гидрохимический мониторинг вулкана Мутновский (Камчатка) и фреатическое извержение вулкана в апреле 2007 г. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. — 2007. — № 1, Вып. 9. — С. 127-132.

52. Гавриленко Г.М., Мельников Д.В., Овсянников А.А. Современное состояние термального озера в активном кратере вулкана Горелый (Камчатка) // Материалы Всероссийской научной конференции к 100-летию Камчатской экспедиции Русского географического общества 1908-1910 гг. 23-27 сентября 2008 г. — Петропавловск-Камчатский, 2009. — С. 86-95.

53. Токарев П.И. Рой землетрясений вулкана Шивелуч в мае 1964 г. // Бюлл. вулканологических станций. — 1964. — № 38. — С. 41-44.

54. Горельчик В.И., Гарбузова В.Т., Дрознин Д.В. и др. Вулкан Шивелуч: Глубинное строение и прогноз извержения по данным детальной сейсмичности 1962-1994 гг. // Вулканология и сейсмология. — 1995. — № 4-5. — С. 54-75.

55. Иванов В.В. Прогнозы крупных извержений вулканов на Камчатке и их оправдываемость // Вестник ДВО РАН. — 2003. — № 5. — С. 97-108.

56. Широков В.А. Космос и вулканы // Человек и стихия, ежегодник. — Л.: Гидрометеиздат, 1973. — С. 26-28.

57. Кирсанов И.Т., Пономарев Г.П., Штейнберг Г.С. Некоторые закономерности извержений Ключевского вулкана // Бюлл. вулканологических станций. — 1973. — № 49. — С. 93-98.

58. Токарев П.И. Прогноз побочного извержения вулкана Ключевского в марте 1983 г. // Вулканология и сейсмология. — 1983. — № 5. — С. 3-8.

59. Токарев П.И. Предсказание места и времени начала большого Толбачинского извержения в июле 1975 г. // ДАН СССР. — 1976. — Т. 229, № 2. — С. 439-442.

60. Токарев П.И., Федотов С.А., Степанов В.В. Прогноз начала и развития извержения // Большое трещинное Толбачинское извержение. Камчатка, 1975-1975. Отв. ред. С.А. Федотов. — М.: Наука, 1984. — С. 373-388.

61. Чирков А.М. О содержании Rn²²² в гидротермах Камчатки // ДАН СССР. — 1971. — Т. 199, № 1. — С. 202-203.

62. Сторчевус А.В. Рой длиннопериодных вулканических землетрясений, предвещающих извержение Карымского вулкана в 1996 г. // Материалы ежегодной конференции, посвященной Дню вулканолога 28-31 марта 2007 г. — Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2007. — С. 75-82.

63. Menyailov I.A., Nikitina L.P., Shapar V.N. Results of geochemical monitoring of the activity of Ebeko volcano (Kurile Islands) used for eruption prediction // Journal of geodynamics. — 1985. — V. 3. — P. 257-274.

64. Гурина О.А. О предвестнике извержений вулканов Камчатки, основанном на данных спутникового мониторинга // Вулканология и сейсмология. — 2012. — № 3. — С. 14-22.

65. Tokarev P.I. On possibility of forecasting of Bezymianny volcano eruptions according to seismic data // Bulletin of volcanology. — 1963. — V. 26. — P. 379-386.

66. Zobin V.M. Introduction to volcanic seismology. — Elsevier. Amsterdam, 2011. — 474 p.

67. Newhall C.A., Self S. The volcanic explosivity index (VEI): an estimate of the explosive magnitude for historical volcanism // JGR. — 1982. — V. 87. — P. 1231-1238.

68. Мелекесцев И.В., Двигало В.Н., Кирсанова Т.П. и др. 300 лет жизни Камчатских вулканов: Молодой Шивелуч (анализ динамики и последствий эруптивной активности в XVII-XX веках). Часть I. 1650-1964 гг. // Вулканология и сейсмология. — 2003. — № 5. — С. 3-19.

69. Мелекесцев И.В., Двигало В.Н., Кирсанова Т.П. и др. 300 лет жизни Камчатских вулканов: Молодой

Шивелуч (анализ динамики и последствий эруптивной активности в XVII-XX веках). Часть II. 1965-2000 гг. // Вулканология и сейсмология. — 2004. — № 1. — С. 5-24.

70. Федотов С.А., Двигало В.Н., Жаринов Н.А., Иванов В.В. и др. Извержение вулкана Шивелуч в мае-июле 2001 г. // Вулканология и сейсмология. — 2001. — № 6. — С. 3-15.

FORECAST OF VOLCANIC ERUPTIONS IN THE KAMCHATKA PENINSULA (MAIN RESULTS OF 1955-2012). PART I

Ivanov V.V., The Institute of Volcanology and Seismology Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia. E-mail: victor@kscnet.ru

ABSTRACT

The article touches upon the issue of methods of monitoring and techniques used for forecasting volcanic eruptions in the Kamchatka Peninsula, the work of expert councils. The list of approved forecasts in the past 57 years (from 1955 to 2012) is given in the first part of the article. The circumstances of the most important forecasts are particularized. Over the years, the Kamchatka Volcano Observatory, the Institute of Volcanology, Volcanic Geology and Geochemistry and the Institute of Volcanology and Seismology of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences have given 29 approved forecasts. Among them the medium-term forecasts of paroxysmal eruptions of Bezymianny volcano and Sheveluch volcano, the outstanding short-term forecasts of the eruptions of Plosky Tolbachik volcano, Klyuchevskoy volcano, Karymsky volcano and Sheveluch volcano. The Kamchatka branch of the Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences gave about twenty successful forecasts.

Keywords: volcanic eruption, volcanic hazard, volcanic eruptions forecast, volcanic earthquake.

REFERENCES

1. Siebert L., Simkin T., Kimberly P. *Volcanoes of the World. 3-d ed.* Smithsonian Institution, University of California press. W., D.C.: 2010. 551 p.
2. Cas Ray A.F. *Volcanoes and the geological cycle. Volcanoes and the environment.* Cambridge University Press, Cambridge, 2005, pp. 121-151.
3. Baxter P. *Human impacts of volcanoes. Volcanoes and the environment.* Ed. by J Martí and G.G.J. Ernst. Cambridge University Press, Cambridge, 2005. P. 273-303.
4. Miller T.P., Casadevall T.J. *Volcanic ash hazards to aviation. Encyclopedia of Volcanoes.* Ed. by H. Sigurdsson. Academic Press, 1999. San Diego, pp. 915-930.
5. *Noveyshiyy i sovremennyy vulkanizm na territorii Rossii.* [Innovative and modern volcanism in Russia]. Part 2. Ed. by N.P. Laverov. Moscow, Nauka Publ., 2005. 604 p.
6. Tokarev P.I. *Byull. vulkanologicheskikh stantsiy* [Bull. Volcano stations]. 1977, no. 53, pp. 38-45.
7. Tokarev P.I. *Dolgosrochnyy Vulkanologiya i seysmologiya.* 1979, no. 3, pp. 77-90.
8. Blong R. J. *Encyclopedia of volcanoes.* Ed. by H. Sigurdsson. Academic press Publ., 1999, pp. 1215-1228.
9. McNutt S.R. *Monitoring and Mitigation of Volcanic Hazards.* Ed. by Scarpa, R.R. Tilling, Chapter 3, Springer-Verlag. Berlin, 1996. Pp. 99-146.
10. Sparks R.S.J. *Earth and Planetary Science Letters.* 2003. V. 210. Pp. 1-15.
11. Koral'-Gomes K., Menyaylova I.I. *Vulkan Galeras (Kolumbiya). Vulkanologiya i seysmologiya.* 1993, no. 5, pp. 3-14.
12. Tilling R.I. *Reviews of Geophysics.* May 1989, vol. 27, issue 2, pp. 237-269.
13. Tokarev P.I. *Journal of geodynamics.* 1985. Vol. 3, pp. 219-244.
14. Zobin V.M., Jiménez Z. *Journal of volcanology and geothermal research.* 2008. Vol. 175. Pp. 482-487.
15. Vlodavets V.I., Piyp B.I. *Byull. vulkanologicheskikh stantsiy* [Bull. Volcano stations]. 1957, no. 25, pp. 5-95.
16. *Deystvuyushchiye vulkany Kamchatki.* Ed. by S.A. Fedotov, Yu.P. Masurenkov. Moscow, Nauka Publ., 1991. vol. 1. 302 p.; vol. 2. 415 p.
17. Melekestev I.V. *Vestnik KRAUNTS.* 2006, no. 2, issue 7, pp. 15-35.
18. Melekestev I.V., Khrenov A.P., Kozhyamyaka N.N. *Deystvuyushchiye vulkany Kamchatki.* [Active volcanoes of Kamchatka], Moscow, Nauka Publ., 1991, vol. 1, pp. 74-78.
19. Khrenov A.P., Dvigalo V.N., Kirsanov and etc. *Deystvuyushchiye vulkany Kamchatki.* [Active volcanoes of Kamchatka], Moscow, Nauka Publ., 1991, vol. 1, pp. 106-145.
20. Khrenov A.P., Bogatikov O.A., Leksin A.B., Makhanova T. M. *Ognedyshashchiy kray Rossii* [Fire-breathing region of Russia]. Moscow, IGEM RAN Publ., 2013, 211 p.
21. Alidibirov M.A., Bogoyavlenskaya G.Ye., Kirsanov I.T. and etc. *Vulkanologiya i seysmologiya.* 1988, no. 6, pp. 3-17. (in Russ.).
22. Gorshkov G.S., Bogoyavlenskaya G.Ye. *Vulkan Bezymyanny i osobennosti yego poslednego izverzheniya 1955-1963 gg.* [Bezymyannyi and especially its last eruption 1955-1963 biennium] Moscow, Nauka Publ., 1965, 172 p.
23. Ivanov V.V. *Prognoz bol'shogo ekstruzivnogo izverzheniya vulkana Shiveluch (Kamchatka) i yego moshchnoy vzryvnoy fazy v aprele-maye 2001 g. Materialy II-go Vserossiyskogo simpoziuma po vulkanologii i paleovulkanologii* [Prediction large extrusive volcanic eruption Sheveluch (Kamchatka) and its powerful explosive phase in April-May 2001. Proceedings of II-th All-Russian Symposium on Volcanology and paleovolcanology] Yekaterinburg, 2003, pp. 925-931.
24. Malyshev A.I. *Zhizn' vulkana* [Life volcano]. Yekaterinburg, Institut geologii i geokhimii URO RAN Publ., 2000. 261 p.
25. Ozerov A.YU., Karpov G.A., Droznin V.A. and etc. *Vulkanologiya i seysmologiya.* 1996, no. 5, pp. 3-16. (In Russ.).
26. Tokarev P.I. *Izvestiya AN SSSR. Ser. Fizika Zemli.* 1967, no. 9, pp. 11-22. (In Russ.).
27. Tokarev P.I. *Vulkanologiya i seysmologiya.* 1984, no. 3, pp. 3-13. (In Russ.).
28. Fedotov S.A. *Poisk.* 1996, no. 3-4 (349-350), pp. 15. (In Russ.).
29. Khubunaya S.A., Zhariovnov N.A., Murav'yev YA.D., Ivanov V.V. and etc. *Vulkanologiya i seysmologiya.* 1995, no. 1, pp. 3-19. (In Russ.).
30. Markhinin Ye.K., Sirin A.N., Timerbayeva K.M., Tokarev P.I. *Byul. vulkanol. st.* [Bull. Volcano stations] 1962, no. 32, pp. 52-70. (In Russ.).

31. Girina O.A., Gordeyev Ye.I. *Vestnik DVO RAN*. 2007, no. 2, pp. 100-109. (In Russ.).
32. Kir'yanov V. YU. *Vulkanologiya i seismologiya*. 1992, no. 3, pp. 16-36.
33. *Monitoring of Volcanoes in the North Pacific: Observations from Space*. Ed. by Dean K., Dehn J. Springer, Praxis Press, 2013, 500 p.
34. Droznin V. A., Dubrovskaya I. K. *Teplovizionnyye issledovaniya vulkanov Kamchatki v 2008-2009 gg. Tezisy 2-y regional'noy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Problemy kompleksnogo geofizicheskogo monitoringa Dal'nego Vostoka Rossii»* [Thermal study volcanoes of Kamchatka in 2008-2009. Abstracts of the 2nd regional scientific-technical conference «Problems of complex geophysical monitoring of the Far East of Russia»], October 11-17.2009. Petropavlovsk-Kamchatsky, GS RAN Publ., 2010, pp. 38-42.
35. Firstov P.P. *Vulkanicheskiye akusticheskiye signaly diapazona 0,5-10 Gts v atmosfere i ikh svyaz' s eksplozivnym protsessom* [Volcanic acoustic signals range 0.5-10 Hz in the atmosphere and their relation to the explosive process]. Petropavlovsk-Kamchatsky, Kamchatka State Pedagogical University Publ., 2003. 90 p.
36. Chebrov V.N., Droznin D.V., Droznina S.YA. and etc.. *Seismicheskiye pribory*. 2012, vol. 48, no. 4, pp.40-54. (In Russ.).
37. Gorel'chik V.I. *Geodinamika i vulkanizm Kurilo-Kamchatskoy ostrovoduzhnoy sistemy*. Petropavlovsk-Kamchatsky, IVGiG DVO RAN Publ., 2001, pp. 341-351. (n Russ.).
38. Tokarev P.I. *Izverzheniya i seismicheskiy rezhim vulkanov Klyuchevskoy gruppy* [Eruptions of volcanoes and seismic regime Klyuchevskoy group.]. Moscow, Nauka Publ., 1966. 118 p.
39. Fedotov S.A. *Vulkanologiya i seismologiya*. 1987, no. 6, pp. 3-10. (In Russ.).
40. Gavrilov V.A., Chebrov V.N., Malkin A.P., Yashchuk V.V. *Seismichnost', seismicheskiy prognoz i seismostoykoye stroitel'stvo na Dal'nem Vostoke* [Seismicity, earthquake prediction and earthquake engineering in the Far East]. 1981, pp. 62-63.
41. Gordeyev Ye.I., Chebrov V.N., Fedotov S.A. *Vulkanologiya i seismologiya*, 2013, no. 1, pp. 3-17. (In Russ.).
42. Shirokov V.A. *Geologicheskiye i geofizicheskiye dannyye o Bol'shom treshchinnom Tolbachinskom izverzhenii 1975-1976 gg.* [Geological and geophysical data on the Great Tolbachik Fissure Eruption 1975-1976], Moscow, Nauka Publ., 1978, pp. 164-170.
43. Shirokov V.A. *Svyaz' izverzheniy vulkanov Kamchatki s zemletryasenyami verkhney mantii // Byull. vulkanologicheskikh stantsiy*. 1978. № 54. S. 3-8.
44. Shirokov V.A., Serafimova YU.K. *Vestnik KRAUNTS*. 2008, no. 2, issue 12, pp. 154-163. (in Russ).
45. Menyaylov I.A., Nikitina L.P. *Vulkanizm i geokhimiya yego produktov* [Volcanism and geochemistry of its products]. Moscow, Nauka Publ., 1967, pp. 72-81.
46. Menyaylov I.A. *Byulleten' vulkanologicheskikh stantsiy* [Bulletin volcano eruptions stations]. 1976, no. 52, pp. 42-48.
47. Fedotov S.A. *Vulkanologiya i seismologiya*, 2008, no. 6, pp. 78-80. (In Russ.).
48. Chebrov V.N., Saltykov V.A., Serafimova YU.K. *Desyat' let deyatel'nosti Kamchatskogo filiala RES po prognozu zemletryaseny: dostizheniya, problemy, perspektivy. Materialy IV Vserossiyskogo simpoziuma po vulkanologii i paleovulkanologii* [Ten years of the Kamchatka Branch of RES on earthquake prediction: achievements, problems and prospects. Materials of IV All-Russian Symposium on Volcanology and paleovolcanology. 22-27 September 2009] Petropavlovsk-Kamchatsky, 2009, pp. 677-680.
49. Kir'yanov V.YU., Chubarova O.S., Senyukov S.L. and etc. *Geodinamika i vulkanizm Kurilo-Kamchatskoy ostrovoduzhnoy sistemy*. Petropavlovsk-Kamchatskiy, IVGiG DVO RAN Publ., 2001, pp. 408-423.
50. Senyukov S.L. *Prognoz izverzheniy vulkanov Klyuchevskoy i Bezymyannyy na Kamchatke* [Forecast volcanoes Klyuchevskoy and Unnamed Kamchatka]. LAP Lambert Academic Publishing, 2013. 144 p.
51. Gavrilenko G.M., Mel'nikov D.V., Zelenskiy M.Ye., Tavin'o L. *Vestnik KRAUNTS. Nauki o Zemle*. 2007, no. 1, issue. 9, pp. 127-132. (In Russ.).
52. Gavrilenko G.M., Mel'nikov D.V., Ovsyannikov A.A. *Sovremennoye sostoyaniye termal'nogo ozera v aktivnom kratere vulkana Gorelyy (Kamchatka). Materialy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii k 100-letiyu Kamchatskoy ekspeditsii Russkogo geograficheskogo obshchestva 1908-1910 gg. 23-27 sentyabrya 2008 g.* [The current state of the thermal lake in the crater of an active Gorely volcano (Kamchatka) // Proceedings of the Scientific Conference for the 100 th anniversary of the Kamchatka expedition of the Russian Geographical Society 1908-1910. 23-27 September 2008], Petropavlovsk-Kamchatsky, 2009, pp. 86-95.
53. Tokarev P.I. *Byull. vulkanologicheskikh stantsiy* [Bulletin volcano eruptions stations], 1964, no. 38, pp. 41-44.
54. Gorel'chik V.I., Garbuzova V.T., Droznin D.V. and etc. *Vulkanologiya i seismologiya*. 1995, no. 4-5, pp. 54-75. (In Russ.).
55. Ivanov V.V. *Vestnik DVO RAN*. 2003, no. 5, pp. 97-108. (In Russ.).
56. Shirokov V.A. *Chelovek i stikhiya* [Man and Element]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1973. pp. 26-28.
57. Kirsanov I.T., Ponomarev G.P., Shteynberg G.S. *Byull. vulkanologicheskikh stantsiy* [Bulletin volcano eruptions stations]. 1973, no. 49, pp. 93-98.
58. Tokarev P.I. *Vulkanologiya i seismologiya*. 1983, no. 5, pp. 3-8. (In Russ.).
59. Tokarev P.I. *DAN SSSR*. 1976, vol. 229, no. 2, pp. 439-442. (In Russ.).
60. Tokarev P.I., Fedotov S.A., Stepanov V.V. *Bol'shoye treshchinnoye Tolbachinskoye izverzheniye. Kamchatka, 1975-1975* [Bolshoy Tolbachik Fissure Eruption. Kamchatka, 1975-1975]. Ed. by S.A. Fedotov. Moscow, Nauka Publ., 1984, pp. 373-388.
61. Chirkov A.M. *DAN SSSR*. 1971, vol. 199, no. 1, pp. 202-203. (In Russ.).
62. Storcheus A.V. *Roy dlinnoperiodnykh vulkanicheskikh zemletryaseny, predvaryavshikh izverzheniye Karymskogo vulkana v 1996 g. Materialy yezhegodnoy konferentsii, posvyashchennoy Dnyu vulkanologa 28-31 marta 2007 g.* [Roy long-volcanic earthquakes that preceded the eruption of a volcano in Karymskii 1996. Proceedings of the annual conference dedicated to the Day of volcanologist 28-31 March 2007]. Petropavlovsk-Kamchatsky, IViS DVO RAN Publ., 2007. pp. 75-82.
63. Menyaylov I.A., Nikitina L.P., Shapar V.N. *Journal of geodynamics*. 1985. Vol. 3. pp. 257-274.
64. Girina O.A. *Vulkanologiya i seismologiya*. 2012, no. 3, pp. 14-22. (In Russ.).
65. Tokarev P.I. *Bulletin of volcanology*. 1963. Vol. 26. Pp. 379-386.
66. Zobin V.M. *Introduction to volcanic seismology*. Elsevier. Amsterdam. 2011. 474 p.
67. Newhall C.A., Self S. *JGR*. 1982, Vol. 87, pp. 1231-1238.
68. Melekestsev I.V., Dvigalo V.N., Kirsanova T.P. and etc. *Vulkanologiya i seismologiya*. 2003, no. 5, pp. 3-19. (In Russ.).
69. Melekestsev I.V., Dvigalo V.N., Kirsanova T.P. and etc. *Vulkanologiya i seismologiya*. 2004. № 1. S. 5-24. (In Russ.).
70. Fedotov S.A., Dvigalo V.N., Zharinov N.A., Ivanov V.V. and etc. *Vulkanologiya i seismologiya*. 2001, no.6, pp. 3-15. (In Russ.).