



УДК 551.21

В. В. Иванов

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
e-mail: vivanov@kscnet.ru*

Прогноз вулканических извержений на Камчатке (роль экспертов)

В работе описывается деятельность исследователей (экспертов), которые внесли наибольший вклад в прогноз вулканических извержений на Камчатке, а также работа советов по прогнозу. Дается краткое описание разработанных ими методик и прогнозов за последние 58 лет (1955–2012 гг.), приводится список основных публикаций по прогнозной тематике. Сообщение частично включает в себя материалы стенда, подготовленного автором совместно с В. А. Широковым в 2012 г. к 50 — летию ИВиС ДВО РАН и посвященного успешным прогнозам вулканических извержений на Камчатке. Ранее подобного обобщения на Камчатке не делалось.

Введение

Вулканизм — широко распространённый природный процесс. Сильные извержения вулканов могут представлять значительную опасность для населения и инфраструктуры, особенно в густонаселённых районах, а также для авиapolётов. Воздействию вулканов, в той или иной степени, подвержено около 25% населения планеты [66, 67]. Изучение и мониторинг активного вулканического процесса, заблаговременное предупреждение о готовящемся извержении и оценка его опасности способствуют снижению вулканического риска [70]. Успешный краткосрочный прогноз позволяет учёным более детально и безопасно изучить это уникальное природное явление с самого начала, что имеет важное научное и практическое значение. Условия безопасности при проведении исследований крайне важны, о чём свидетельствует трагическая гибель группы вулканологов на вулкане Галерас в 1991 г., в составе которой был И. А. Меняйлов [24]. Несмотря на развитие в последние годы новых видов и систем наблюдения, обработки данных, изучения глубинного строения, свойств горных пород, моделирования процессов и отдельные успехи, прогнозирование вулканических извержений и сейчас — серьёзная научная и техническая проблема, пока являющаяся нерешённой [73, 67, 72, 74].

На Камчатке широко проявлен как базальтовый, так и кислый вулканизм, а также происходят извержения с промежуточным составом продуктов [2, 17]. Здесь насчитывается 29 действующих и потенциально активных полигенных вулканов, а также пять обширных современных и голоценовых шлаковых и ареальных вулканических полей [30, 27]. В том числе, три из числа крупнейших магматических центра планеты (Шивелуч, Ключевской и Плоский

Толбачик). С начала XX века в Курило-Камчатской зоне произошло четыре больших извержения с объёмами изверженных продуктов от 1 до 10 км³: Ксудача в 1907 г., Безымянного в 1956 г., Шивелуча в 1964 г. и БТТИ в 1975–1976 гг., а также несколько десятков умеренных (объёмом от 0,1 до 1 км³) и более слабых (менее 0,1 км³) извержений [17]. Все большие и многие умеренные извержения включали сильные или пароксизмальные взрывные фазы, во время которых образовывались протяжённые пепловые шлейфы, сильные пеплопады, пирокластические и грязевые потоки, представляющие значительную опасность. В последние десятилетия вулканический риск для авиации от пепловых облаков извержений вулканов Камчатки значительно увеличился [21, 22, 8]. Таким образом, Камчатку можно рассматривать как важный научный полигон для изучения активного вулканического процесса и отработки методов мониторинга и прогноза.

В 1955–2012 гг. сотрудниками Камчатской вулканологической станции, Института вулканологии, Института вулканической геологии и геохимии (ИВ и ИВГиГ ДВО РАН) был выдан ряд эффективных прогнозов [16, 38, 41, 47, 52, 18, 19, 35, 7, 32]. Вместе с тем, отмечено много «пропусков цели» и «ложных тревог». С начала инструментальных наблюдений на вулканах Камчатки (1946 г.) накоплен значительный опыт по изучению предвестников и прогнозированию извержений [31], обобщение которого будет способствовать совершенствованию методов и систем мониторинга, снижению вулканического риска на полуострове и в других вулканических районах мира.

Прогнозирование извержений вулканов представляет собой чрезвычайно сложную задачу, для решения которой пока отсутствуют надёжные мето-

дики. В настоящее время это область поисковых научно-исследовательских работ. В этом отличие прогнозов извержений, например, от прогнозов погоды. Важную роль при этом играет деятельность советов по прогнозу. С 1978 г. координация прогнозных работ на вулканах Камчатки осуществляется Советом по прогнозу землетрясений и извержений вулканов Института вулканологии Дальневосточного отделения АН СССР (ИВ ДВО АН СССР), 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 Геофизической службы РАН (КОМСП ГС РАН) по прогнозу землетрясений и извержений вулканов (председатель С. А. Федотов, заместители Н. И. Селивёрстов и А. В. Кирюхин) [51]. Экспертная оценка состояния и развития сейсмической и вулканической активности на Камчатке с февраля 2006 г. проводится также Камчатским филиалом Российского экспертного совета (руководители Е. И. Гордеев и В. Н. Чебров). До 2006 г. (с 1998 г.) эти функции выполняло Камчатское отделение Федерального центра прогнозирования землетрясений [56]. С 1993 г. оценкой текущей ситуации на вулканах Камчатки и выдачей прогнозов извержений и их опасности для авиapolетов занимается группа KVERT [8, 22].

Вместе с тем, успехи в прогнозировании зависят, в значительной степени, от наличия опытных экспертов, которые развивают методы наблюдений, анализируют предвестники, разрабатывают методики и выдают конкретные прогнозы. Не умаляя деятельности советов по прогнозу, следует констатировать, что пока каждый успешный прогноз — это результат многолетних наработок конкретного эксперта в выбранной им области, нередко, для этого требуется немалая интуиция и талант. Анализу успешных прогнозов, «пропусков цели» и «ложных тревог» на Камчатке за последние 58 лет (с 1955 по 2012 гг.) посвящена специальная статья, которая в 2013 г. сдана в печать в журнал «Вестник КРАУНЦ». В данном сообщении внимание акцентировано на человеческом факторе — роли опытных экспертов для успешного прогноза вулканических извержений, что является *целью работы*. Освещается деятельность исследователей (экспертов), которые, по нашему мнению, внесли наибольший вклад в прогноз вулканических извержений на Камчатке. Дается краткое описание разработанных ими методик и успешных прогнозов, приводится список основных публикаций по прогнозному тематике. Сообщение частично включает в себя материалы стенда, подготовленного автором совместно с В. А. Широковым в 2012 г. к 50-летию ИВиС ДВО РАН, и посвящённого успешным прогнозам вулканических извержений на Камчатке. Ранее подобного обобщения на Камчатке не делалось.

Эксперты по прогнозу вулканических извержений на Камчатке

Проблемой прогноза извержений вулканов на Камчатке в последние шесть десятилетий занималось большое число исследователей. Остановимся на экспертах, внёсших наибольший вклад в прогнозирование вулканических извержений на Камчатке в 1955–2012 гг.

Г. С. Горшковым (рис. 1) была предложена первая классификация вулканических землетрясений Камчатки, сделаны первые оценки глубины магматического очага Ключевского вулкана, изучены сейсмологические предвестники и особенности извержения вулкана Безымянного в 1955–1956 гг., дан среднесрочный прогноз его пароксизмальной фазы 30 марта 1956 г. [12–15]. 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 чём им было письменно сообщено руководству Усть-Камчатского района Камчатской области [16]. Пароксизмальный взрыв произошёл 30 марта 1956 г.

П. И. Токарев в 1955–1993 гг. являлся главным экспертом по сейсмологическим методам прогноза на Камчатской вулканостанции, затем в ИВ ДВНЦ СО РАН (ИВ ДВО РАН) (рис. 2). Он разработал детальную классификацию вулканических землетрясений Камчатки, методики краткосрочного прогноза вершинных извержений андезитовых вулканов и побочных извержений базальтовых вулканов, оценок ожидаемых масс изверженных продуктов, в июле

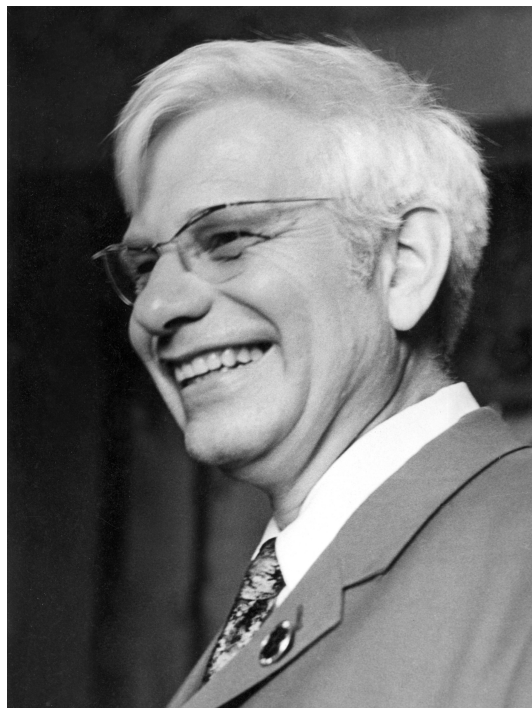


Рис. 1. Чл.-корр. АН СССР Г. С. Горшков



Рис. 2. П. И. Токарев, зав. лаб. прогноза и механизма извержений ИВ ДВО РАН.



Рис. 4. В. н. с., к. г. - м. н. И. А. Меняйлов. Его именем назван один из побочных прорывов Толбачинского извержения в 2012–2013 гг.



Рис. 3. В. н. с., к. г. - м. н. А. М. Чирков

1975 г. успешно предсказал Большое трещинное Толбачинское извержение (БТТИ) и побочное извержение Ключевского вулкана в 1983 г. [38–45, 47]. Прогноз времени начала и места БТТИ можно считать выдающимся результатом [40]. На основании развития Асачинского роя вулканических землетрясений, им было сделано заключение о маловероятности извержений вулканов Асачинской группы, которое успешно оправдалось [46]. П. И. Токаревым была создана научная школа сейсмологического про-

гноза вулканических извержений, начато создание соответствующей службы прогноза.

А. М. Чирков (рис. 3) исследовал предвестники извержений вулканов по данным изменения концентраций радона в термальных источниках. В 1971 г. он выдал успешный среднесрочный прогноз извержения Карымского вулкана [59, 60, 58]. Являлся руководителем группы «Вулкан» в Институте вулканологии, возглавлял экспедицию по изучению БТТИ в 1975–1976 гг.

И. А. Меняйлов (рис. 4) внёс неоценимый вклад в развитие газогидрохимических методов мониторинга и прогноза, особенно важных для газовых гидротермальных извержений. Им были успешно спрогнозированы извержения вулкана Эбеко в 1987 г. и Шивелуча в 1993–1994 гг. [28, 29, 68]. К сожалению, успешные работы И. А. Меняйлова были трагически прерваны в связи с его гибелью в 1993 г. во время отбора газов на вулкане Галерас в Колумбии [24].

В. И. Горельчик (рис. 5) была одним из ведущих вулканических сейсмологов. Она предложила скоростную модель земной коры в районе Ключевской группы вулканов, детально исследовала её сейсмический режим, в частности района БТТИ в связи с извержением в 1975–1976 гг., обнаружила миграцию коровых землетрясений в районе Ключевского вулкана в связи с его вершинными извержениями [10, 11]. Совместно с В. Т. Гарбузовой сделала успешный прогноз места побочного прорыва на Ключевском вулкане в 1983 г. [9].

В. В. Степанов (рис. 6) в 1971–1980 гг. руководил сейсмологической сетью Камчатской вулканологической станции. Является автором успешного крат-



Рис. 5. В.н.с., к.ф.-м. н. В. И. Горельчик (фото В. А. Подтабачного)

косрочного прогноза появления III конуса Большого трещинного Толбачинского извержения в июле 1975 г. (совместно с В. Т. Гарбузовой) [47].

А. В. Сторчеус (рис. 7) являлся одним из ведущих специалистов в области вулканической сейсмологии, акустики и механизма извержений. Им предложены оригинальные модели вулканических взрывов [33, 36]. Совместно с Г. Н. Ковалёвым и Б. И. Самойленко он изучил воздушные вулканические взрывы во время БТТИ в 1975 г. [23], разработал модель глубинного вулканического дрожания (совместно с Б. А. Трубниковым, Ю. Б. Слёзиным и Б. И. Самойленко) [48]. Им была предложена модель образования глубинных длиннопериодных вулканических землетрясений Ключевского вулкана [11]. А. В. Сторчеус дал успешный среднесрочный прогноз извержения Карымского вулкана в 1996 г. [35, 19].

Г. М. Гавриленко (рис. 8) разработал методику определения концентрации хлоридов во флюидах, поступающих в бессточные вулканические озёра, развивал газогидрохимические методы мониторинга и прогноза. Он является автором успешных среднесрочных прогнозов газовых (гидротермальных) извержений вулканов Мутновский в 2007 г. и Горельский в 2010 г. [3–6].

Академик С. А. РАН Федотов, директор ИВ ДВО РАН, является главным организатором детальных сейсмологических исследований на Камчатке, в частности на действующих вулканах. Является автором



Рис. 6. Н.с. В. В. Степанов, руководитель сейсмологической сети Камчатской вулканологической станции (фото В. А. Подтабачного)



Рис. 7. Н.с. А. В. Сторчеус (фото А. В. Сокоренко)

серии работ по изучению магматических питающих систем и механизму извержений вулканов [53]. Им была разработана методика дистанционной оценки тепловой мощности вулканических источников по высотам подъёма их струй и облаков [49]. В июле 1976 г. С. А. Федотовым был сделан краткосрочный прогноз усиления активности первого конуса Се-



Рис. 8. С.н.с., к.г.-м. н. Г. М. Гавриленко (фото В. А. Подтабачного)

верного прорыва БТТИ, который успешно оправдался [47]. В 1987 г. он создал Совет по прогнозу сильных землетрясений и извержений вулканов ИВ ДВО РАН и с этого времени является бессменным его председателем [50, 51]. 1 января 1996 г. С. А. Федотов выдал успешный краткосрочный прогноз извержения Карымского вулкана. Благодаря прогнозу, на следующий, день 2 января вулканологи смогли увидеть редкое природное явление — одновременное извержение Карымского вулкана и подводное извержение в Карымском озере [52]. Это можно рассматривать как выдающееся достижение.

А. И. Малышев выдал ряд успешных краткосрочных прогнозов извержений вулкана Безымянный по характерным изменениям морфологии его активного лавового купола, появлению автоэксплозивных лавин и модели деформационно-экструзивного процесса [1, 25, 26].

О. А. Гирина является руководителем группы KVERT по обеспечению безопасности авиapolётов от сильных пепловых вулканических извержений [8]. Она детально исследовала предвестники сильных взрывных фаз во время умеренных извержений на андезитовом вулкане Безымянный по спутниковым тепловым данным. В 2001–2012 гг. ею был выдан ряд успешных прогнозов сильных взрывных фаз на этом вулкане [7].

С. Л. Сенюков является руководителем Лаборатории исследования вулканической и сейсмической активности Камчатского филиала геофизической

службы (КФ ГС) РАН. Совместно с С. Я. Дрозниной и Т. Ю. Кожевниковой им была разработана методика выделения пепловых выбросов и оценки высоты их подъёма по сейсмологическим данным. Он предложил интересный алгоритм прогноза сильных взрывных фаз умеренных извержений вулкана Безымянный по сейсмологическим и тепловым спутниковым данным, на основе которого был выдан целый ряд успешных прогнозов. Следует также отметить выданный им с коллегами успешный прогноз начавшегося в 2009 г. извержения вулкана Кизимен и прогноз развития вершинного извержения Ключевского вулкана в 2005 г. [32].

Отдельные успешные прогнозы важны, однако гораздо большее значение имеет разработка надёжных методик прогнозирования. В. А. Широков предложил методику долгосрочного прогноза времени и масштаба извержений на основании учёта влияния космических факторов и неравномерности вращения Земли (космофизический метод), а также среднесрочного прогноза на основании появления групп землетрясений в верхней мантии [61–63]. Им разработана также методика прогноза побочных извержений Ключевского вулкана, основанная на комплексном применении долго-, средне- и краткосрочных предвестников [64]. Долгосрочный предвестник выделялся по космофизическим данным. В качестве среднесрочного предвестника В. А. Широковым рассматривалось появление групп землетрясений в верхней мантии в соответствующих активным вулканам гипоцентральных объёмах. Краткосрочные предвестники имели место во время роёв коровых вулканических землетрясений и резкого прекращения вулканического дрожания от вершинного кратера Ключевского вулкана, в связи с началом такого роя. Использовалась следующая формула прогноза: «время тревоги», когда ожидается «сильное извержение», объявлялось только при одновременном совпадении «активных фаз» каждого из трёх предвестников, т. е. весовые функции каждого из предвестников выбирались одинаковыми. Такая процедура значительно уменьшала время тревоги. Эффективность комплексного прогноза по ретроспективным данным на 30-летнем материале обучения оказалась на один-два порядка выше, чем при прогнозе по каждому из предвестников в отдельности и в 500–800 раз больше, чем при случайном угадывании событий [64]. Предложенный подход, вероятно, может быть использован для прогноза извержений других вулканов по комплексу методов. Разработку методики комплексного прогноза можно считать выдающимся результатом.

Важность наличия опытных экспертов для успешного прогноза иллюстрирует следующий факт. В апреле 1993 г. на еженедельных заседаниях Совета по прогнозу ИВ ДВО РАН обсуждалось развитие сейсмичности на вулкане Шивелуч. Однако, несмотря на явный предвещающий роё вулканических землетрясений, правильной его интерпретации и крат-

косрочного прогноза извержения вулкана сделано не было, поскольку опытного эксперта по сейсмологическим данным на заседаниях совета не было (П. И. Токарев умер в феврале 1993 г.).

Выводы

В силу высокой и разнообразной вулканической и сейсмической активности, Камчатка является одним из важных полигонов для изучения активного вулканического процесса и отработки методики мониторинга и прогноза извержений. С начала инструментальных наблюдений на действующих вулканах (1946 г.), на Камчатке работала целая плеяда замечательных исследователей (экспертов). Были предложены интересные методики мониторинга и прогноза по сейсмологическим, газогидрохимическим, космофизическим и др. данным, как долго- и среднесрочные, так и краткосрочные. П. И. Токаревым создана научная школа сейсмологического прогноза. С 1978 г. работают экспертные советы по прогнозу. Это позволило в 1955–2012 гг. дать ряд эффективных успешных прогнозов, включая пароксизмальные извержения вулканов Безымянного, Шивелуча, Плоского Толбачика, умеренные и слабые извержения вулканов Карымского, Горелого, Мутновского и Эбеко. Вместе с тем, отмечено большое количество «пропусков цели» и «ложных тревог». Детальный анализ полученного на Камчатке богатого опыта будет способствовать повышению эффективности прогнозирования. Значительный прогресс в этом направлении может быть достигнут путём создания комплексов различных методов прогноза.

Благодарности

Автор выражает признательность В. И. Андрееву, В. Т. Гарбузовой, В. А. Дроздину, Г. А. Карпову, И. В. Мелекесцеву, Д. В. Мельникову, А. Ю. Озерову и Г. П. Пономарёву за полезные обсуждения затронутых в статье вопросов, А. В. Сокоренко за предоставленные фотографии из архива ИВиС ДВО РАН. Особая благодарность В. А. Широкову и С. Б. Самойленко за научное редактирование статьи.

Список литературы

1. 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.
2. Влодавец В. И., Пийп Б. И. Каталог действующих вулканов Камчатки // Бюлл. вулканол. ст. 1957. № 25. С. 5–95.
3. Гавриленко Г. М. Гидрологическая модель кратерного озера вулкана Малый Семячик (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 2000. № 6. С. 21–31.
4. Гавриленко Г. М. Косвенный метод определения концентраций хлорид-Иона во флюидах, поступающих со дна кратерного озера вулкана Малый Семячик (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 2004. № 4. С. 50–55.
5. 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 КРА-УНЦ. Науки о Земле. 2007. № 1. Вып. 9. С. 127–132.
6. 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.
7. Гирина О. А. О предвестнике извержений вулканов Камчатки, основанном на данных спутникового мониторинга // Вулканология и сейсмология. 2012. № 3. С. 14–22.
8. Гирина О. А., Гордеев Е. И. Проект KVERT — снижение вулканической опасности для авиации при эксплуативных извержениях вулканов Камчатки и Северных Курил // Вестник ДВО РАН. 2007. № 2. С. 100–109.
9. Горельчик В. И. Сейсмическая активность Ключевского вулкана в период подготовки и развития прорыва Предсказанный в марте-июне 1983 г. // Вулканология и сейсмология. 1985. № 1. С. 71–87.
10. Горельчик В. И., Гарбузова В. Т., Дроздин 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.
11. Горельчик В. И., Гарбузова В. Т., Сторчевус А. В. Глубинные вулканические процессы под Ключевским вулканом по сейсмологическим данным // Вулканология и сейсмология. 2004. № 6. С. 21–34.
12. Горшков Г. С. Сейсмические наблюдения в 1949 г. // Бюлл. вулканол. ст. 1954а. № 21. С. 18–39.
13. Горшков Г. С. Вулканическое дрожание, связанное с прорывом кратера Былинкиной // Бюлл. вулканол. ст. 1954б. № 23. С. 31–37.
14. Горшков Г. С. О глубине магматического очага Ключевского вулкана // Докл. АН СССР. 1956. Том. 106. № 4. С. 703–705.
15. Горшков Г. С. О связи сейсмических и вулканических явлений при извержении вулкана Безымянного (1955–1956 гг.) // Бюлл. вулканол. ст. 1961. № 31. С. 32–37.
16. Горшков Г. С., Богоявленская Г. Е. Вулкан Безымянный и особенности его последнего извержения 1955–1963 гг. М.: Наука, 1965. 172 с.
17. Действующие вулканы Камчатки. Том. 1 и 2. Под ред. Федотова С. А. и Масуренкова Ю. П.. М.: Наука, 1991.
18. 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 а. С. 925–931.
19. Иванов В. В. Прогнозы крупных извержений вулканов на Камчатке и их оправдываемость // Вестник ДВО РАН. 2003 б. № 5. С. 97–108.
20. Кирсанов И. Т., Пономарёв Г. П., Штейнберг Г. С. Некоторые закономерности извержений Ключевского вулкана // Бюлл. вулканол. ст. 1973. № 49. С. 93–98.

21. Кирьянов В. Ю. Вулканические пеплы Камчатки как источник потенциальной опасности для пассажирских авиалиний // Вулканология и сейсмология. 1992. № 3. С. 16–36.
22. Кирьянов В. Ю., Чубарова О. С., Сенюков С. Л. и др. Группа по обеспечению безопасности полётов от вулканических пеплов (KVERT): 8 лет деятельности // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. ИВГиГ ДВО РАН. Петропавловск-Камчатский. 2001. С. 408–423.
23. Ковалёв Г. Н., Самойленко Б. И., Сторчеус А. В. О природе вулканических взрывов Большого трещинного Толбачинского извержения // Вулканология и сейсмология. 1980. № 3. С. 62–71.
24. Кораль-Гомес К., Меньяйлова И. И. Вулкан Галерас (Колумбия). Извержение 14 января 1993 г. // Вулканология и сейсмология. 1993. № 5. С. 3–14.
25. Малышев А. И. Извержения вулкана Безымянный в 1981–1984 гг. // Вулканология и сейсмология. 1987. № 2. С. 89–93.
26. Малышев А. И. Жизнь вулкана. Институт геологии и геохимии УРО РАН. Екатеринбург. 2000. 261 с.
27. 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(7). С. 15–35.
28. Меньяйлов И. А. Зависимость состава вулканических газов от состояния вулканической активности и геохимический прогноз извержений // Бюлл. вулканол. ст. 1976. № 52. С. 42–48.
29. Меньяйлов 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.
30. Новейший вулканизм Камчатки // Новейший и современный вулканизм на территории России, Гл. 2. Отв. ред. Лавёров Н. П.. ИФЗ РАН. М.: Наука, 2005. 604 с.
31. Прогнозирование извержений вулканов Камчатки в 1972–2002 г. // Новейший и современный вулканизм на территории России, разд. 5.5. Отв. ред. Лавёров Н. П.. ИФЗ РАН. М.: Наука, 2005. 604 с.
32. Сенюков С. Л. Прогноз извержений вулканов Ключевской и Безымянный на Камчатке. LAP Lambert Academic Publishing. 2013. 144 с.
33. Сторчеус А. В. К вопросу о природе вулканических взрывов // Вулканология и сейсмология. 1983. № 4. С. 72–78.
34. Сторчеус А. В. Исследование параметров воздушных волн Южного прорыва Толбачинского извержения // Вулканология и сейсмология. 1987. № 1. С. 62–68.
35. Сторчеус А. В. Рой длиннопериодных вулканических землетрясений, предвзвещающих извержение Карымского вулкана в 1996 г. // Материалы ежегодной конференции, посвящённой Дню вулканолога 28–31 марта 2007 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2007. С. 75–82.
36. Сторчеус А. В., Плотников С. П. Сейсмологические исследования эксплозий вулкана Карымский в 2001–2004 гг. // Материалы международного симпозиума «Проблемы эксплозивного вулканизма: К 50-летию катастрофического извержения вулкана Безымянный». Петропавловск-Камчатский, 25–30 марта 2006 г. ИВиС ДВО РАН. 2006. С. 106–111.
37. Сторчеус А. В., Фирстов П. П., Озеров А. Ю. Возможный механизм генерации акустических и сейсмических волн при пульсирующем истечении газо-пепловой смеси на вулкане Карымский // Вулканология и сейсмология. 2006. № 5. С. 3–16.
38. Токарев П. И. Рой землетрясений вулкана Шивелуч в мае 1964 г. // Бюлл. вулканол. ст. 1964. № 38. С. 41–44.
39. Токарев П. И. Извержения и сейсмический режим вулканов Ключевской группы. М.: Наука, 1966. 118 с.
40. 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.
41. Токарев П. И. Предсказание места и времени начала большого Толбачинского извержения в июле 1975 г. // ДАН СССР. 1976. Том. 229. № 2. С. 439–442.
42. Токарев П. И. К методике прогноза извержений вулканов Камчатки по сейсмологическим данным // Бюлл. вулканол. ст. 1977. № 53. С. 38–45.
43. Токарев П. И. Долгосрочный прогноз извержений вулканов // Вулканология и сейсмология. 1979. № 3. С. 77–90.
44. Токарев П. И. Вулканические землетрясения Камчатки. М.: Наука, 1981. 164 с.
45. Токарев П. И. Прогноз побочного извержения вулкана Ключевского в марте 1983 г. // Вулканология и сейсмология. 1983. № 5. С. 3–8.
46. Токарев П. И. Асачинский рой землетрясений и его природа (Камчатка, март-апрель, 1983) // Вулканология и сейсмология. 1984. № 3. С. 3–13.
47. Токарев П. И., Федотов С. А., Степанов В. В. Прогноз начала и развития извержения // Большое трещинное Толбачинское извержение. Камчатка, 1975–1975. Отв. ред. Федотов С. А.. М.: Наука, 1984. С. 373–388.
48. Трубников Б. А., Слёзин Ю. Б., Самойленко Б. И., Сторчеус А. В. К теории глубинного вулканического дрожания // ДАН СССР. 1981. Том. 256. № 6. С. 1337–1340.
49. Федотов С. А. Оценка выноса тепла и пирокластики вулканическими извержениями и фумаролами по высоте их струй и облаков // Вулканология и сейсмология. 1982. № 4. С. 3–28.
50. 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.
51. 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.
52. Федотов С. А. Пробуждение // Поиск. 20–26 января 1996. № 3–4 (349–350). С. 15.
53. Федотов С. А. Магматические питающие системы и механизм извержений вулканов. М.: Наука. 2006. 455 с.

54. 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.
55. Фирстов П. П., Адушкин В. В., Сторчеус А. В. Ударные воздушные волны, зарегистрированные во время Большого трещинного Толбачинского извержения в сентябре 1975 г. // ДАН СССР. 1978. Том. 239. № 5. С. 1078–1081.
56. Фирстов П. П., Сторчеус А. В. Акустические сигналы, сопровождавшие извержение вулкана Ключевского в марте-июне 1983 г. // Вулканология и сейсмология. 1987. № 5. С. 66–80.
57. Фирстов П. П., Чирков А. М. Радон в спонтанном газе термального источника вулкана Карымского (1966–1975) // Бюл. вулканол. ст. 1978. № 54. С. 35–40.
58. 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 вулканологии и палеовулканологии 22–27 сентября 2009 г. Петропавловск-Камчатский, 2009. С. 677–680.
59. Чирков А. М. О содержании Rn^{222} в гидротермах Камчатки // ДАН СССР. 1971. Том. 199. № 1. С. 202–203.
60. Чирков А. М. Радон в термальном источнике как индикатор состояния Карымского вулкана // Бюлл. вулканол. ст. 1973. № 49. С. 99–102.
61. Широков В. А. Космос и вулканы // Человек и стихия, ежегодник. Л.: Гидрометеиздат, 1973. С. 26–28.
62. 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. 1978а, С. 164–170.
63. Широков В. А. Связь извержений вулканов Камчатки с землетрясениями верхней мантии // Бюлл. вулканол. ст. 1978б, № 54. С. 3–8.
64. Широков В. А. Некоторые вопросы методики комплексного прогноза побочных извержений вулкана Ключевской (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 1985. № 6. С. 48–58.
65. 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(12). С. 154–163.
66. Baxter P. Human impacts of volcanoes // Volcanoes and the environment. (Ed. by J Martí and G. Ernst G. J.). Cambridge University Press, Cambridge, 2005. P. 273–303.
67. 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.
68. 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. Vol. 3. P. 257–274.
69. 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.
70. Monitoring and mitigation of volcano hazards. Eds.: Scarpa R., Tilling R. I. Springer-Verlag. Berlin-Heidelberg-New York, 1996. 841 p.
71. 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.
72. Sparks R.S.J. Forecasting volcanic eruptions // Earth and Planetary Science Letters. 2003. Vol. 210. P. 1–15.
73. Tokarev P. I. The prediction of large explosions of andesitic volcanoes // Journal of geodynamics. 1985. Vol. 3. P. 219–244.
74. Zobin V.M., Jiménez Z. Some regularity in the process of re-awakening of andesite and dacite volcanoes: specific features of the 1982 El Chichón volcano, México reactivation // JVGR, 2008. Vol. 175. P. 482–487.