

На правах рукописи



Певзнер Мария Михайловна

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ
АКТИВИЗАЦИИ ВУЛКАНИЗМА СРЕДИННОГО ХРЕБТА
КАМЧАТКИ В ГОЛОЦЕНЕ
(ПО ДАННЫМ РАДИОУГЛЕРОДНОГО ДАТИРОВАНИЯ)**

(25.00.09 – геохимия, геохимические методы
поисков полезных ископаемых)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора геолого-минералогических наук

Москва, 2011

Работа выполнена в Учреждении Российской академии наук Геологическом институте РАН (ГИН РАН), г. Москва

Официальные оппоненты: Доктор геолого-минералогических наук
Гептнер Альфред Романович (ГИН РАН)

Доктор геолого-минералогических наук
Костицын Юрий Александрович
(ГЕОХИ РАН)

Доктор геолого-минералогических наук
Купцов Владимир Матвеевич
(ГУП МосНПО «Радон»)

Ведущая организация: Учреждение Российской академии наук Институт вулканологии и сейсмологии Дальневосточного отделения РАН

Защита состоится 26 апреля 2011 г. в 14 часов 30 минут на заседании диссертационного совета Д 002.215.02 при Геологическом институте РАН по адресу: 119017, Москва, Пыжевский пер., 7; конференц-зал (4 этаж).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке геологической литературы Секции наук о Земле по адресу: Москва, Старомонетный пер., 35 (здание ИГЕМ РАН)

Автореферат разослан ____ марта 2011 г.

Отзывы на автореферат, заверенные печатью, в 2-х экземплярах направлять по адресу: 119017, Москва, Пыжевский пер. 7, Геологический институт РАН, ученому секретарю диссертационного совета Садчиковой Тамаре Александровне факс (495) 9530760; e-mail: tamara-sadchikova@yandex.ru

Ученый секретарь
диссертационного совета,
К.Г.-М.Н.



Т.А.Садчикова

Введение. Представленная диссертация затрагивает ряд фундаментальных проблем геологии в области изотопной геохимии, современной геодинамики и новейшего вулканизма. Работы проводились в рамках приоритетных направлений фундаментальных исследований ГИН РАН и Президиума РАН: «Изотопная геохимия осадочных пород и хемотратиграфия»; «Неотектоника и современная геодинамика, как основа прогнозирования природных и техногенных катастроф»; «Изменения окружающей среды и климата: природные катастрофы»; «Окружающая среда в условиях изменяющегося климата: экстремальные природные явления и катастрофы», «Новейший вулканизм: закономерности его активности и сопутствующие катастрофические процессы».

Работа представляет собой геохронологическое исследование, базирующееся на результатах радиоуглеродного анализа, что соответствует п. 16 Паспорта специальности 25.00.09 – изотопная геохронология.

Вулканизм – один из важнейших индикаторов геодинамики. В связи с этим пространственно-временные закономерности вулканической активности могут наглядно свидетельствовать об эволюции глубинных процессов, этапах накопления и эпизодах снятия эндогенных напряжений, движении плит и их блоков.

Камчатка, расположенная вблизи тройного сочленения Тихоокеанской, Евразийской и Североамериканской плит, представляет собой уникальный геологический полигон, имеющий длительную и непростую историю развития. Четвертичный вулканизм на Камчатке проявлен в четырех зонах, параллельных глубоководному Курило-Камчатскому желобу. Это Южная Камчатка, Восточный вулканический фронт, Центральная Камчатская депрессия и Срединный хребет. Вулканизм первых трех зон общепризнанно считается непосредственно связанным с современной зоной субдукции Тихоокеанской плиты [Авдейко и др., 2002; Пономарева и др., 2008; Шапиро, Ландер, 2003; Churikova et al., 2001; Volynets A. et al., 2010 и др.]. Причина проявления молодой вулканической активности в зоне Срединного хребта до сих пор остается дискуссионной. В диссертации рассматриваются пространственно-временные аспекты и закономерности проявления голоценового вулканизма в пределах миоцен-четвертичной вулканической зоны Срединного хребта Камчатки. Здесь и далее понятие Срединный хребет относится только к указанной вулканической зоне. Условная граница южной и северной частей хребта проводится на траверсе субширотного отрезка р. Камчатки по водоразделу рек Тигиль и Крюки.

Голоцен – текущая эпоха четвертичного периода. Начало голоцена соотносят с окончанием последнего материкового оледенения на севере Европы. Нижняя возрастная граница голоцена установлена на рубеже 11700 ± 99 лет назад относительно 2000 года (~ 10000 ^{14}C л.н.) [Стратиграфический кодекс, 2006; The 2009 version of the International Stratigraphic Chart, 2010; Walker et al., 2008].

В пределах Срединного хребта Камчатки на разных высотных отметках деградация ледников происходила по разному, в связи с чем подошвы

полных голоценовых разрезов несколько отличаются по возрасту (9400 – 9800 ¹⁴C л.н.). В диссертации под голоценом понимается последнее послеледниковье, во время которого накапливались и сохранялись рыхлые отложения. Начало накопления таких отложений и, соответственно, нижняя возрастная граница голоцена оценивается в 9800 – 10000 ¹⁴C л.н., что соответствует 11000 – 12000 л.н. в календарном летоисчислении. Невозможность проведения работ по позднеплейстоценовым отложениям обусловлена тем, что в районе исследования доголоценовые рыхлые отложения уничтожены ледником.

Голоценовый этап по геологическим меркам соответствует сегодняшнему дню, однако, при этом позволяет набрать детальную статистику событий за 10 – 12 тыс. лет. Использование радиоуглеродного метода – как никакого другого – предоставляет уникальную возможность детального хронометрирования и периодизации голоцена. Комплексное использование радиоуглеродного и тефрохронологического методов с одной стороны значительно расширяет возможности исследования, а с другой – используется как взаимоконтроль.

Актуальность работы и постановка проблемы. На сегодняшний день для Камчатки получено более 3000 радиоуглеродных дат и до недавнего времени история голоценового вулканизма была изучена только во фронтальных зонах полуострова. Территория же Срединного хребта, представляющего собой самостоятельную вулканическую зону, до сих пор традиционно считается областью потухшего вулканизма, а к началу работ автора по состоянию изученности оставалась «белым пятном». Составить представление о вулканическом процессе, импульсах эндогенной активности прошлого, закономерностях повторяемости катастрофических процессов возможно только при изучении хронологии вулканической деятельности всего региона в целом. Таким образом, главная проблема, которую пришлось решать автору, заключалась в определении пространственной и временной приуроченности голоценового вулканизма в пределах единой вулканической зоны – Срединного хребта Камчатки. Кроме того, реконструкция эруптивной активности, выполненная на большом статистическом материале, позволяет давать долгосрочный прогноз вулканической опасности.

Состояние предшествующих исследований. Срединно-Камчатская вулканическая дуга заложилась в конце олигоцена – начале миоцена [Авдейко и др., 2002; 2006; Леглер, 1977]. Неоген-четвертичные вулканы прослеживаются на протяжении более 600 км от Срединно-метаморфического массива на юге до Камчатского перешейка на севере. В самой широкой части зона превышает 100 км в поперечнике. Позднемиоцен-плиоценовые вулканы представлены породами островодужного типа, аналогичными типичным породам фронта дуги [Чурикова и др., 2009; Volynets et al., 2010]. Считается, что в эоцен-миоценовое время вулканическая зона Срединного хребта формировалась над зоной субдукции Тихоокеанской плиты, при этом глубоководный желоб располагался на 200

км западнее по сравнению с его современным положением [Авдейко и др., 2002; 2006; Леглер, 1977; Селиверстов, 2009; Lander, Shapiro, 2007].

В настоящее время Срединный хребет Камчатки удален от современного глубоководного желоба приблизительно на 400 км. В южной части хребта, вплоть до вулкана Хангар, сейсмофокальная зона трассируется на глубине около 400 км, далее на север не прослеживается [Davaille et al., 2001; Gorbatov et al., 1997; 2000; Jiang et al., 2009]. Северная часть хребта протягивается более чем на 200 км к северу от Берингской зоны трансформных разломов [Davaille et al., 2001]. Берингская же часть Северо-Американской плиты, расположенная к северу от Алеутского глубоководного жёлоба, рассматривается как тектонически-стабильная, начиная с миоцена [Авдейко и др., 2002; Baranov et al., 1991; Davaille et al., 2001].

Четвертичный вулканизм зоны Срединного хребта по данным [Churikova et al., 2001; Volynets et al., 2010] характеризуется извержениями пород «гибридного» состава, в котором сочетаются признаки островодужного и внутриплитного происхождения. Причем, породы голоценового и плейстоценового возраста имеют аналогичный состав. Существенных вариаций в геохимическом составе четвертичных вулканитов вдоль простирания хребта не обнаружено: породы имеют сходный состав вне зависимости от их положения к северу или югу от Берингской зоны трансформных разломов, по которой принято проводить границу Тихоокеанской плиты. Принципиальное сходство вещественного состава пород голоценового и плейстоценового возраста [Volynets et al., 2010] позволяет предполагать, что современная геодинамическая обстановка и выявленные закономерности голоценовой вулканической активности Срединного хребта, в полной мере могут характеризовать четвертичный этап развития исследуемого района.

На сегодняшний день четвертичную и, в том числе голоценовую, вулканическую активность в Срединном хребте пока не удается объяснить однозначно: хребет может представлять собой третий тыловой вулканический пояс Курило-Камчатской островодужной системы, либо быть самостоятельной вулканической дугой с иным источником питания и своей историей развития.

Срединный хребет – один из наименее изученных вулканических районов Камчатки, что обусловлено не столько труднодоступностью, сколько неизбежно сложившимся представлением об отсутствии в его пределах активного вулканизма. Единственная монография, посвященная четвертичному вулканизму Срединного хребта, опубликована в 1972 г [Вулканы ..., 1972]. В четвертичное время по данным [Вулканы ..., 1972; Камчатка ..., 1974] в Срединном хребте образовалось 120 вулканов полигенного типа и около 1000 мелких моногенных вулканических образований (шлаковых конусов и лавовых потоков). Считалось [Вулканы ..., 1972], что более 150 вулканических центров хребта имеют позднплейстоценовый возраст; значительная часть этих вулканических

сооружений относилась даже к голоцену, а целый ряд одноактных вулканов – по мнению авторов – образовался даже в историческое время. Приведенные данные о возрасте вулканов Срединного хребта базировались на свежем морфологическом облике построек и соотношении вулканических форм с позднеплейстоценовыми моренами; изотопного датирования не проводилось. Тем не менее, масштаб и интенсивность базальтового моногенного вулканизма последних 40-50 тыс. лет здесь значительно больше, чем в других вулканических районах Камчатки. Площадь базальтовых излияний в позднеплейстоцен-голоценовое время – по оценке И.В.Мелекесцева [Новейший..., 2005] – превышает 8500-9000 км², а объем изверженного материала (включая вулкан Ичинский) оценивается в 2000-2150 км³. По оценке Н.Н.Кожемяки [Камчатка..., 1974], четвертичные эффузивы вулканического района Срединного хребта занимают площадь 18500-19000 км², а объем изверженного материала достигает 5000-5150 км³. По данным [Вулканы ..., 1972] верхнечетвертичные и голоценовые эффузивы имеют почти исключительно базальтовый состав.

К началу работ автора (1997 г.) единственным действующим вулканом Срединного хребта считался Ичинский, что мотивировалось свежим морфологическим обликом двенадцати лавовых потоков, излившихся по краю соммы, и зафиксированной фумарольной активностью [Действующие ..., 1991]. Также было известно о голоценовом возрасте двух моногенных вулканических центров северной части хребта: по тефрохронологическим данным Озерновский лавовый поток образовался в раннем [Braitseva et al., 1995], а Киреунский – в среднем (устное сообщение В.В. Пономаревой) голоцене. Было известно одно извержение вулкана Хангар с возрастом около 6900-7000 ¹⁴С лет [Брайцева и др., 1994]. При этом во фронтальной зоне Камчатки к 1997 году было известно 29 действующих и потенциально активных вулканов полигенного типа и несколько десятков моногенных вулканических центров, проявлявших активность в голоцене [Действующие ..., 1991; Мелекесцев и др., 2001].

Цели и задачи. Цель работы заключалась в выявлении пространственно-временных закономерностей активизации голоценового вулканизма в пределах миоцен-четвертичной вулканической зоны Срединного хребта Камчатки.

Основные задачи:

1. Выявить и исследовать вулканические центры голоценового возраста, провести изучение связанных с ними отложений; реконструировать эруптивную историю отдельных центров.
2. Идентифицировать маркирующие прослои пеплов для последующего использования в качестве геохронологических реперов, что подразумевает изучение почвенно-пирокластических чехлов, в которых запечатлена летопись голоценовой вулканической активности.
3. Провести радиоуглеродное датирование вулканических центров и извержений.

Методы и районы исследования. В процессе работ автором использовались радиоуглеродный и тефрохронологический методы, а также геолого-геоморфологическое картирование. Изучение вещественного состава изверженных продуктов проводилось с помощью минералогического и химического методов (в соавторстве), в том числе использовались данные РФА, ИСР, электронного микронзонда и «мокрой химии». В процессе работ автором проводились исследования как по 500-км профилю Срединного хребта, так и на сопредельных территориях. Работа в удаленных от хребта районах обусловлена особенностями методики тефрохронологических исследований, а также практически полным отсутствием углеродсодержащих отложений в разрезах высокогорных районов хребта. Новым методическим подходом в изучении эруптивной истории камчатских вулканов можно считать впервые примененный автором пространственно-временной анализ вулканической активности Срединного хребта.

Фактический материал. Работа базируется на личных полевых материалах автора, полученных в 1997-2010 гг., которые включают около 700 радиоуглеродных дат, полученных автором в лаборатории геохимии изотопов и геохронологии ГИН РАН, а также около 300 радиоуглеродных дат из литературных источников. Кроме того автором проведено дешифрирование аэрофото- и космоснимков на всю территорию Срединного хребта, по материалам дешифрирования для большинства изученных центров сделана серия крупномасштабных геолого-геоморфологических карт. Данные картирования, вкуче с полевыми наблюдениями о мощностях и типах отложений, легли в основу определения параметров извержений (объем и вес изверженных пород).

Данные по истории эруптивной активности вулкана Хангар получены в результате совместных работ с Л.И. Базановой и приводятся согласно [Базанова, Певзнер, 2001]; хронология извержений Седанкинского Дола полностью приводится по [Дирксен, 2009].

Научная новизна и личный вклад автора. Научная новизна данной работы заключается в том, что впервые на территории Срединного хребта и сопредельных районов проведены геохронологические исследования регионального характера, направленные на изучение голоценового вулканизма. Полученные данные не только заполняют «белое пятно», каким до недавнего времени представлялся Срединный хребет, но позволяют наконец-то практически в полном объеме составить представление о пространственно-временной приуроченности голоценового вулканизма Камчатки. Впервые геологическими методами **доказан** факт наличия молодого вулканизма островодужного типа в районах Камчатки с отсутствием глубокофокусной сейсмичности и не фиксирующейся субдукцией. При том что Срединный хребет в голоцене существенно уступает по продуктивности другим вулканическим зонам Камчатки, извержения, зафиксированные в его пределах, по-видимому, отвечают региональным эпизодам разгрузки эндогенных напряжений наибольшей мощности. В отличие от фронтальных вулканических зон полуострова, где

весьма велик «шум» от многочисленных маломощных извержений, именно малочисленные извержения Срединного хребта и особенности их пространственно-временной активизации позволили – впервые для голоцена Камчатки – выявить парные периодические импульсы активизации вулканизма и сейсмики. Впервые геологическими методами установлен эффект направленной миграции вулканизма для обстановок, отличных от «горячих точек».

Практическое значение. Результаты исследования могут быть использованы для интерпретации геодинамической обстановки проявления молодого вулканизма внесубдукционной зоны Камчатки и других аналогичных обстановок. Полученные результаты также могут быть использованы при районировании территории России и прилегающих к ней стран в отношении вулканической опасности и оценки последствий катастрофических извержений.

Основные защищаемые положения.

1. Впервые геологическими и изотопно-геохронологическими методами доказано наличие многочисленных проявлений голоценового вулканизма в зоне Срединного хребта Камчатки; определен возраст всех крупнейших извержений. Выявлено два действующих и потенциально активных полигенных вулкана и около 30 вулканических центров моногенного типа, образовавшихся в голоцене. Голоценовый вулканизм проявляется в девяти разобщенных вулканических массивах, которые образуют линейно вытянутые ареалы северо-восточного и северо-северо-восточного простираения.

2. Установлено, что крупнейшие извержения подчиняются строгим пространственно-временным закономерностям проявления. Это выражается в группировании событий, которое характеризуется направленной миграцией вулканизма.

В пределах одного вулканического массива несколько извержений могут происходить субодновременно или с небольшим временным интервалом (до 100 лет). При этом вулканические центры расположены цепочкой и активизируются последовательно в северном направлении. Такие короткоживущие цепочки выделяются в качестве **групп**. Их протяженность не превышает 30 км. Кремнекислотность пород внутри единичной группы также последовательно увеличивается к северу. Группы могут быть ориентированы как в северо-восточном, так и в северо-западном направлении.

Вулканические извержения и сейсмогенные обвалы, зафиксированные в нескольких разрозненных вулканических массивах, могут образовывать и долгоживущие (до 1000 лет) цепочки протяженностью до 250 км. Они выделены в **супергруппы**. Для них также характерна последовательная активизация центров в северном направлении. Супергруппы имеют простираение как северо-восточное, так и северо-западное; закономерные изменения состава пород не обнаружены.

Для голоцена Срединного хребта выявлен эффект **направленной миграции вулканической активности**: извержения вулканических центров, формирующих группы и супергруппы, во всех случаях происходят последовательно с юга на север.

3. Начало образования групп и супергрупп, в том числе выделяемых по сейсмогенным обвалам, маркируют **десять импульсов эндогенной активности**. Хронологически импульсы образуют пять пар, проявляющихся с периодичностью в 2.5 тысячи лет. При этом временной интервал, разделяющий импульсы одной пары, составляет около 300 лет. Первый импульс единичной пары всегда проявляется в более северных, а второй – в более южных районах хребта; таким образом, для всех пяти пар импульсов фиксируется направленная миграция активности, ориентированная к югу.

4. Установлена хронологическая зависимость между проявлением парных импульсов эндогенной активности зоны Срединного хребта и этапами усиления эксплозивной активности вулканов Северной Пацифики, а также пространственно-временная корреляция импульсов с крупнейшими извержениями вулканов фронтальной зоны Камчатки. Обнаруженные связи позволяют рассматривать выявленные для голоцена Срединного хребта закономерности вулканической активизации (группирование и направленную миграцию) как неотъемлемые – и ранее неизвестные – характеристики вулканического процесса. При этом импульсы эндогенной активности – впервые выделенные для Камчатки – характеризуют особенности геодинамических напряжений регионального уровня. Полученные данные могут быть использованы для долгосрочного прогноза повторяемости катастрофических извержений, как для тыловой, так и для фронтальной зоны Камчатского региона.

Структура работы. Работа состоит из 5 глав, введения и заключения, таблица радиоуглеродных дат вынесена в приложение. Общий объем работы составляет 322 листа. В том числе содержит 143 листа текста, 18 таблиц на 54 листах, 109 иллюстраций. Список литературы из 192 наименований. Во введении приводится общая характеристика голоценового вулканизма Камчатки, обсуждается актуальность и новизна диссертационной работы. В 1 главе приводятся данные о состоянии предшествующих исследований и истории геологического развития района Срединного хребта. Глава 2 посвящена описанию основных методов и подходов, использованных при выполнении работы. Глава 3 посвящена описанию вулканических центров, связанных с ними отложений и определению параметров продуктивности голоценовых извержений зоны Срединного хребта. В 4 главе обосновывается возраст вулканических извержений. В 5 главе суммируются полученные результаты; рассматриваются пространственно-временные закономерности вулканической активизации зоны Срединного хребта в голоцене; проводится сравнение хронологии вулканической активности Срединного хребта с другими вулканическими зонами Камчатки и Северной Пацифики; проводится сравнительный анализ пространственно-временных

закономерностей вулканической и сейсмической активизации. Заключение содержит итоговые выводы и результаты работы.

Апробация работы. Результаты исследования представлялись на Российских и международных конференциях. По теме диссертации опубликовано 18 статей в рецензируемых журналах, 3 статьи в сборниках научных работ, 3 главы в монографиях и 40 публикаций в материалах и тезисах совещаний.

Работа выполнялась в рамках:

1. Тем: «Радиоуглеродные исследования эндогенных, экзогенных и биосферных событий позднего плейстоцена-голоцена», «Радиоуглеродная хронология и синхронизация эндогенных и экзогенных событий позднего плейстоцена-голоцена», «Периодизация голоцена и позднего плейстоцена, корреляция и выявление синхронности эндогенных и экзогенных событий северной Евразии по данным радиоуглеродного датирования», включенных в приоритетные направления исследований ГИН РАН.

2. Проектов Программ 4, 13 и 16 фундаментальных исследований Президиума РАН: «Геохронология и динамика голоценового вулканизма Камчатки», «Новейший вулканизм Камчатки», «Катастрофические вулканические извержения Камчатки и их воздействие на природную среду».

3. Проектов РФФИ № 96-05-65311, 99-05-64954, 01-05-64998, 02-05-64991, 03-05-65007, 05-05-64776, 07-05-00536, 08-05-00092.

4. А также при финансовой поддержке Национального географического общества США.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность Л.Д. Сулержицкому – учителю, другу и единомышленнику, который приобщил меня к непростому, но исключительно увлекательному миру радиоуглеродной хронологии. Автор сердечно благодарит всех сотрудников лаборатории геохимии изотопов и геохронологии ГИН РАН – как ныне здравствующих, так и уже покинувших нас – за всестороннюю помощь и моральную поддержку: М.И. Буякайте, В.И. Виноградова, Л.А. Волкову, Д.О. Герцева, Д.И. Головина, Т.А. Драгавцеву, Н.Е. Зарецкую, В.Н. Кулешова, Ю.В. Кущеву, Н.И. Макарову, Б.Г. Покровского, В.С. Родина, А.Л. Рябинина, Л.Д. Сулержицкого. Особую признательность автор выражает своим учителям, коллегам и самым строгим, но доброжелательным оппонентам из Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, которые открыли для меня камчатские вулканы и широчайшие возможности тефрохронологического метода: В.В. Пономареву, О.А. Брайцеву и И.В. Мелекесцева. Моя работа никогда не могла бы состояться без активной помощи и поддержки людей, деливших со мной радости и уменьшавших тяготы полевых работ: А.Д. Бабанского, Л.И. Базановой, И.А. Балашова, М.А. Викулиной, А.О. Волынец, Д.О. Герцева, О.В. Дирксена, А.С. Кириленко, С. Коняева, Г.Н. Новикова, Л.И. Пешкова, В.С. Родина, Н.П. Смелова, М.Л. Толстых, Т.Г. Чуриковой, а также авиакомпании «Ксудач». Автор весьма обязан химической лаборатории ИГЕМ РАН, а также М.В. Портнягину (ГЕОМАР, Германия) и Ф. Кайлу (Институт горного дела штата

Нью-Мексико, США) за большое количество химических анализов лав и пирокластики, выполненных на высоком уровне. Автор выражает свою глубокую признательность А.Д. Бабанскому, О.А. Брайцевой, А.О. Волинец, И.В. Мелекесцеву, Б.Г. Покровскому, В.В. Пономаревой, Л.Д. Сулержицкому и многим другим, принимавшим активное участие в обсуждении материалов и подготовке работы.

***Защищаемое положение 1.** Впервые геологическими и изотопно-геохронологическими методами доказано наличие многочисленных проявлений голоценового вулканизма в зоне Срединного хребта Камчатки; определен возраст всех крупнейших извержений. Выявлено два действующих и потенциально активных полигенных вулкана и около 30 вулканических центров моногенного типа, образовавшихся в голоцене. Голоценовый вулканизм проявляется в девяти разобитых вулканических массивах, которые образуют линейно вытянутые ареалы северо-восточного и северо-северо-восточного простирания.*

Выявление вулканических центров, проявлявших активность в голоцене, начиналось с дешифрирования аэрофото- и космоснимков и крупномасштабного геолого-геоморфологического картирования. По ряду морфологических признаков (хорошая сохранность первичных форм вулканического рельефа, например, продольных и поперечных валов лавовых потоков или ярко выраженного кратера на вершине шлакового конуса), а также по соотношению вулканитов с ледниковыми формами рельефа был выявлен ряд объектов предположительно голоценового возраста. Во время полевых исследований проводилась заверка выделенных контуров с изучением типов отложений и поиском пирокластики, ассоциированной с конкретным извержением, в виде погребенного прослоя в рыхлых отложениях голоценового возраста.

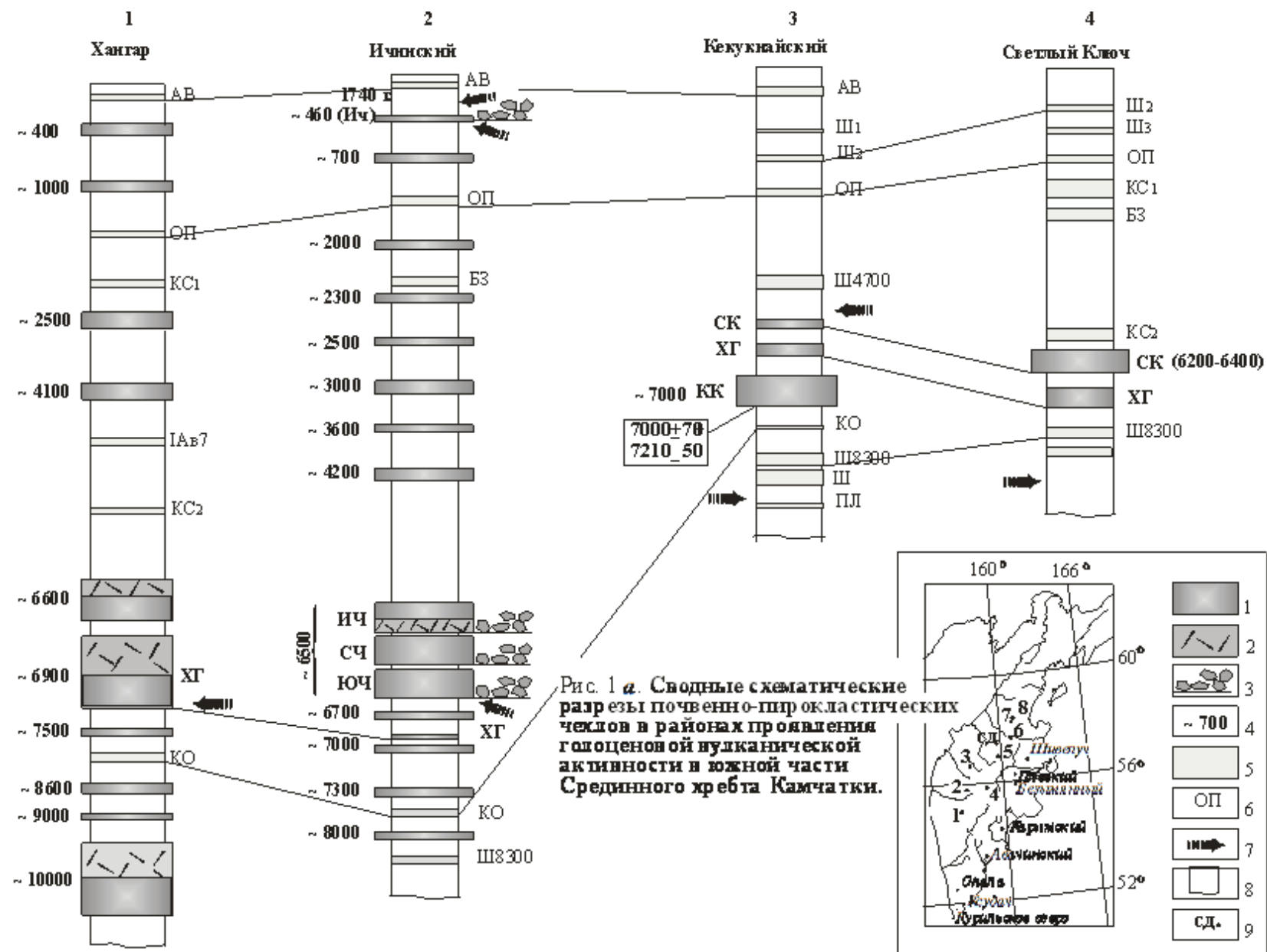
Хорошо зарекомендовавшая себя методика датирования голоценовых извержений камчатских вулканов [Брайцева и др., 1978] подразумевает комплексное использование тефрохронологического и радиоуглеродного методов. При этом основным объектом исследования является почвенно-пирокластический чехол (ППЧ), представляющий собой переслаивание горизонтов пирокластики (преимущественно тефры) с почвами и супесями. Накапливаясь из года в год, ППЧ представляет собой детальную летопись природных событий голоцена и, в первую очередь, вулканических извержений, запечатленных в виде прослоев погребенных пеплов. Идентифицированные прослои пеплов (хорошо датированные и скоррелированные с определенным извержением того или иного вулкана) представляются прекрасными геохронологическими реперами, позволяющими проводить тефростратиграфическое расчленение голоценовых разрезов и датирование разнообразных форм рельефа и отложений. Пеплы высокоэксплозивных извержений, распространяясь на значительные расстояния (до нескольких сотен км), захораниваются в различных органогенных осадках, что позволяет датировать извержения по

подстилающим и (или) перекрывающим их углеродсодержащим отложениям разного типа и на разном удалении от источника извержения.

К началу работ автора (1997 г.) о строении ППЧ района Срединного хребта Камчатки практически ничего не было известно, что не позволяло использовать ранее датированные пеплы крупнейших извержений в качестве геохронологических реперов. В связи с этим приходилось одновременно проводить исследования как вблизи голоценовых вулканических центров хребта с целью обнаружения «местных» извержений, так и прокладывать протяженные профили от ранее изученных районов, чтобы с помощью метода непрерывного прослеживания «протягивать» геохронологические реперы в новые районы. Маршрутными исследованиями был охвачен не только Срединный хребет и его предгорья, но и районы Центральной Камчатской депрессии и северо-восточной Камчатки. Идентификация пепловых прослоев проводилась – прежде всего – методом непрерывного прослеживания при широкомасштабном радиоуглеродном датировании, с использованием минералогического и химического анализа тефр.

Принадлежность «новых» (ранее не известных) тефр к определенным вулканам-источникам Срединного хребта доказывалась увеличением мощности прослоев и укрупнением гранулометрического состава пепла по мере приближения к эруптивному центру. Кроме того, проводилось сравнение химического и минералогического состава тефр с массивными отложениями вулканов (лавами и пирокластическими потоками). В результате проведенных работ «новые» тефры были привязаны к определенным вулканическим центрам, для каждого из которых была реконструирована история его эруптивной активности, изучены типы отложений, особенности вулканической деятельности, определен возраст отдельных извержений (Рис. 1а,б).

При радиоуглеродном датировании использовались торфа, почвы, гумусированные супеси, угли и древесина. Мощность почвенных образцов – по возможности – не превышала 1-2 см, а датирование проводилось по холодной и горячей щелочным вытяжкам. Получение двух дат (близких, но крайне редко идентичных по значениям) из одного образца позволяло определить временную «растяжку», которая характеризует время накопления органики в отобранном горизонте. Это, в свою очередь, ведет к повышению детальности датирования интересующего события. Обычно наиболее молодое значение даты из подстилающей органики отвечает наиболее древнему значению даты из органики, перекрывающей один и тот же



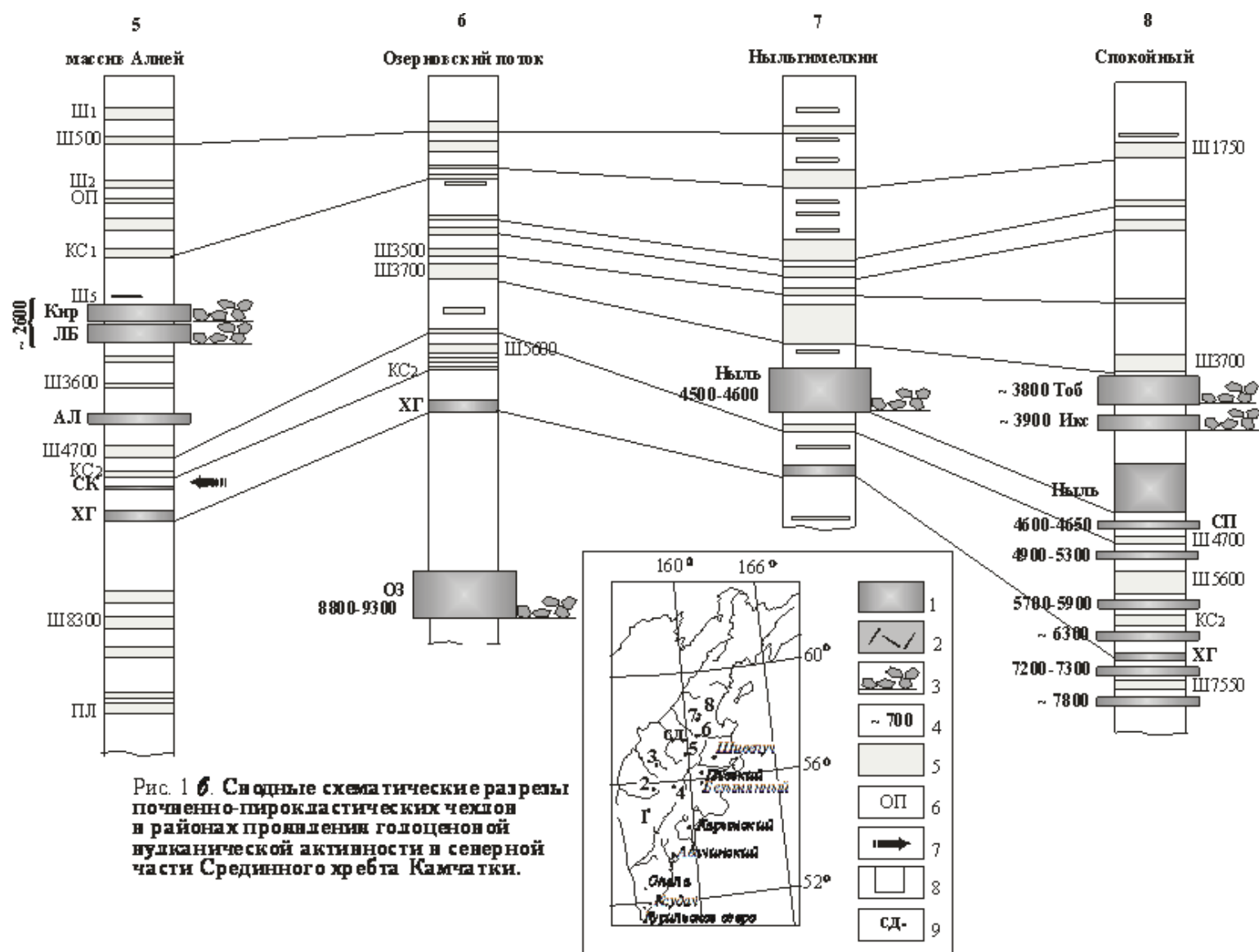


Рис. 1. Сводные схематические разрезы почвенно-пирокластических чехлов в районах проявления голоценовой вулканической активности: *а* – в южной части, *б* – в северной части Срединного хребта Камчатки. Наиболее крупные извержения стратовулканов маркированы индексами: ХГ, ИЧ, Ич, СП. Для прочих – только округленный возраст извержения. В сводном разрезе 5 (массив Алней) показаны только наиболее значимые для стратиграфии этого района маркирующие пеплы.

Условные обозначения: 1-3 отложения вулканических центров Срединного хребта: 1 – тефра; 2 – пирокластические потоки; 3 – лавовые потоки; 4 – округленный ^{14}C возраст извержений; 5 – маркирующие прослои пеплов удаленных источников; 6 – индексы маркирующих прослоев и их округленный ^{14}C возраст по [Braitseva et al., 1997, Ponomareva et al., 2007]: АВ – Авачинский 1926 г.; ОП – кратер Бараний Амфитеатр на вулкане Опала 1500; КС₁, КС₂ – Ксудач 1800, 6000; IАв7 – Авачинский 5700; КО – кальдера Курильского озера 7600; Ш₁, Ш₂, Ш₃, Ш₅, Ш500, Ш1750, Ш3500, Ш3600, Ш3700, Ш4700, Ш5600, Ш7550, Ш8300 – Шивелуч 300, 900, 1400, 2550, 500, 1750, 3500, 3600, 3700, 4700, 5600, 7550, 8300; БЗ – Безымянный 2200-2300; ПЛ – Сопка Плоская 8600; 7 – свидетельства палеосейсмической активности (обвалы, террасы); 8 – схематическая граница начала голоценового осадконакопления; 9 – местоположение Седанкинского Дола (на врезке), сводный разрез не приводится. Для пирокластики кратера Кекук приведена радиоуглеродная дата ГИН-12490, ранее не публиковавшаяся.

Сокращения. Извержения вулканических центров: ХГ – вулкан Хангар 6900 ^{14}C л.н.; ЮЧ – Южный Черпук; СЧ – Северный Черпук; ИЧ, Ич – вулкан Ичинский 6500 и 460 ^{14}C л.н.; СК – Светлый Ключ; КК – кратер Кекук; ЛБ – поток р. Лево́й Бело́й; Кир – Киреунский поток; АЛ – кратер на вулкане Алней; ТП – Терпук; В – Ворота; ТТ – Титила; Сед – Седанкинский поток; СД – Седанкинский Дол; ОЗ – Озерновский поток; Ныль – Ныльгимелкин; СП – вулкан Спокойный 4600-4650 ^{14}C л.н.; Икс – конус Икс; Тоб – Тобельцен.

пепловый горизонт. При множественном детальном датировании одного и того же вулканического события образуется определенный массив дат, в результате анализа которого – и по соотношению с ранее известными геохронологическими реперами – производится выбраковка невалидных значений. Принятые в обсчет первичные датировки обрабатывались специальной программой, позволяющей определить комбинированный радиоуглеродный и калиброванный (календарный) возраст события. Отличие радиоуглеродного возраста от календарного связано с тем, что изотоп ^{14}C имеет космогенное происхождение и образуется в атмосфере, а уже из атмосферы в процессе фотосинтеза накапливается растительными организмами. После гибели организма ^{14}C начинает распадаться. В процессе радиоуглеродного датирования мы определяем остаточное количество ^{14}C в образце. Однако количество ^{14}C в атмосфере прошлых времен не было постоянным, соответственно, и датируемые нами органические остатки могли при жизни «запасться» разным количеством изотопа. Чтобы привести данные радиоуглеродного датирования к абсолютному (календарному) летоисчислению используется калибровочная кривая, полученная при датировании колец долгоживущих деревьев. Данные, представленные в диссертации, обработаны и откалиброваны по калибровочной программе Оксфордского университета Calib 3.10 [Bronk Ramsey, 2005].

На примере извержения конуса Южный Черпук видно (Рис. 2а), что первичные даты, расположенные справа от диаграммы, позволяют принять

комбинированный радиоуглеродный возраст извержения 6530 ± 20 BP (Before Present – годы до 1950 г.; в данном случае «BP» англоязычный аналог принятого у нас « ^{14}C лет»). Слева – шкала радиоуглеродного времени, на ней красной линией показано графическое изображение радиоуглеродной даты. По диагонали рисунка двойной синей линией показана калибровочная кривая. Внизу – шкала абсолютного возраста; проекция на нее пересечения красной и синей линий дает значения калиброванного возраста (показано в виде черной гистограммы с пиками). Процентная вероятность тех или иных пиков указана в правом верхнем углу графика, она же – но в графическом виде – представлена под гистограммой в виде горизонтальных скобок. Высота и контрастность отдельных пиков позволяют предположить наиболее вероятные годы (калиброванные), когда могло произойти датируемое событие. В данном случае (Рис. 2а) мы имеем один очень ярко выраженный пик, что позволяет предполагать соответствие его значения с калиброванным возрастом извержения. Это значение 5480 BC (крупные цифры красного цвета) получено в результате проекции вершины пика на шкалу калиброванного возраста (пересечение красной жирной линии).

Сложнее обстоит дело с извержениями, для которых либо не удалось собрать представительный массив дат, либо датирование – при полном отсутствии органики – проводится только по тефростратиграфическим данным. Последний случай представлен на рис. 2б для извержения маара Светлый Ключ в Козыревском хребте. Тефра маара в ППЧ занимает стратиграфическое положение между маркирующими прослоями КС₂ (извержение вулкана Ксудач ~ 6000 ^{14}C л.н.) и ХГ (извержение вулкана Хангар ~ 6900 ^{14}C л.н.). Исходя из этой хронологической «вилки» (6900-6000 ^{14}C лет) и с учетом реального положения датируемой тефры в первичных разрезах, возраст извержения маара приходится принять 6300 ± 100 ^{14}C л.н. Большой доверительный интервал (100 лет) сам по себе существенно снижает точность как радиоуглеродного, так и калиброванного возраста. В приведенном же примере дополнительным осложняющим фактором является то, что интересующий нас отрезок калибровочной кривой крайне неровен и разнообразен по конфигурации. В итоге полученная гистограмма калиброванного возраста не только охватывает значительный временной интервал (около 600 лет), но также изобилует разнообразными пиками, в том числе плосковершинными. Показанные на гистограмме красные линии – по мнению автора – могут в равной мере отвечать значениям калиброванного возраста извержения. Даже при наличии относительно хорошо выраженного центрального широкого пика возраст извержения приходится принимать ориентировочно 5000-5500 calBC.

Подобная работа с полученными датами была выполнена автором для всех установленных извержений голоценовых вулканических центров Срединного хребта. Всего на изученной территории обнаружено три полигенных вулкана, проявлявших активность в голоцене, в том числе –

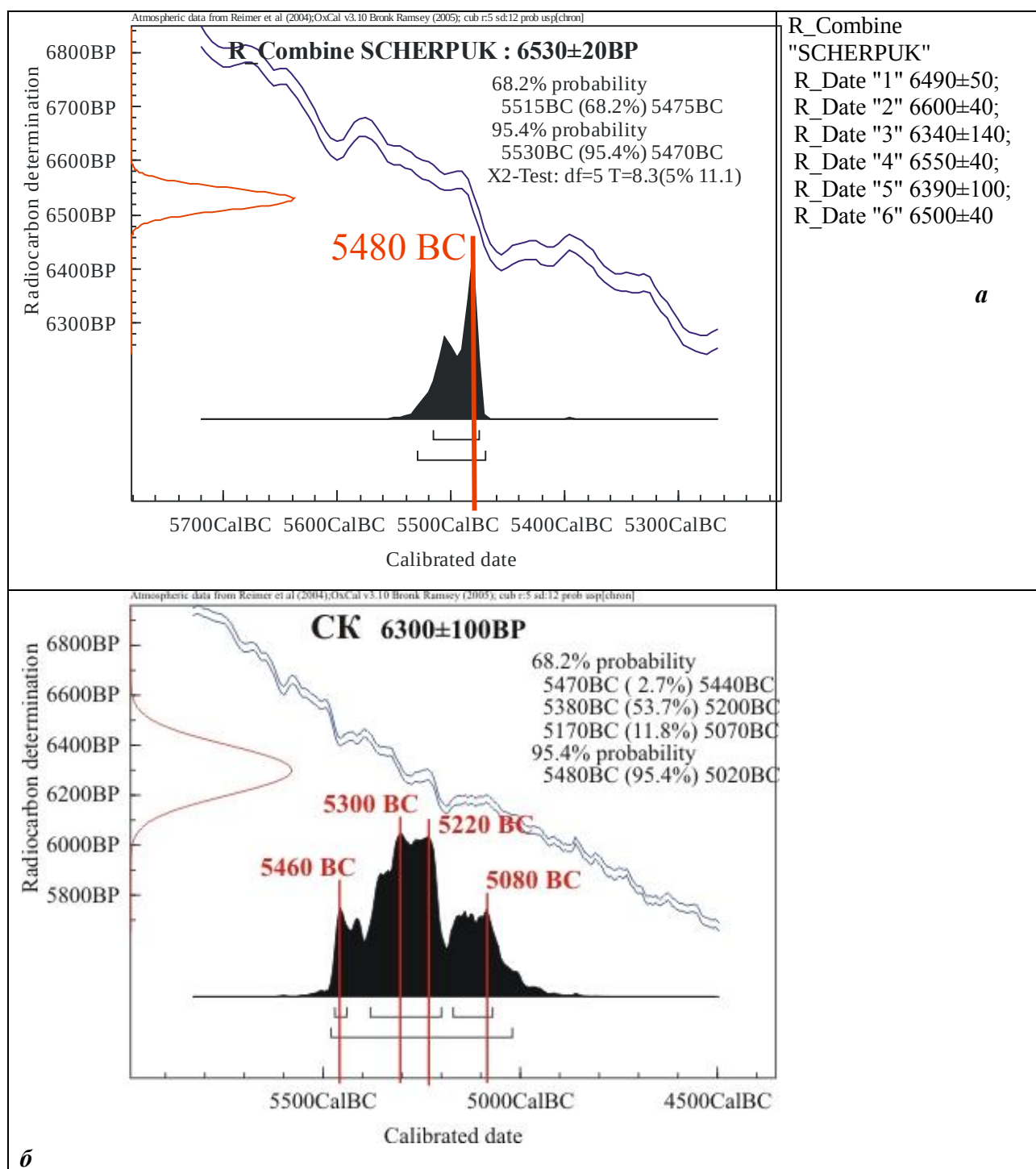


Рис. 2. *a* – Комбинированная радиоуглеродная дата (6530 ± 20 BP) и ее калиброванное (календарное) значение (5480 calBC) для извержения Южный Черпук. *б* – радиоуглеродная дата (6300 ± 100) и ее возможные калиброванные значения (5080, 5220, 5300, 5460 calBC) для извержения Светлый Ключ. По программе Calib 3.10. [Bronk Ramsey, 2005]. Пояснения см. в тексте.

согласно [Мелекесцев и др., 2001] – два действующих и один потухший (Табл. 1). Кроме того, выявлено около 30 разнообразных вулканических центров моногенного типа (Табл. 2). Голоценовая активность стратовулканов характеризовалась преимущественно эксплозиями тефры, в меньшей степени – образованием пирокластических потоков и их аналогов (Хангар, Ичинский), и в подчиненном количестве – излиянием лав (Ичинский). Извержения моногенного типа в подавляющем большинстве случаев представляют собой шлаковые (или шлако-лавовые) конусы и лавовые потоки. Обнаружен один маар (Светлый Ключ) и, возможно – туфовое кольцо, возможно – маар взрывного кратера Кеук.

Расположение вулканических центров Срединного хребта, проявлявших активность в голоцене, показано на рис. 3. В пределах Срединного хребта молодой вулканизм приурочен к склонам и подножиям плейстоценовых вулканических массивов, которые представляют собой крупные стратовулканы, окруженные полями вулканических центров моногенного типа. Голоценовые центры зафиксированы в девяти разрозненных массивах (Табл. 2). Пространственное положение вулканических массивов, в пределах которых проявлялась голоценовая активность, позволяет выделить два региональных ареала распространения голоценового вулканизма в пределах Срединного хребта Камчатки (Рис. 3). Первый («восточный») – наиболее протяженный – приурочен к фронтальной части хребта, имеет северо-восточное простирание и охватывает районы от маара Светлый Ключ на юге до конуса Тобельцен на севере. Второй («западный»), включающий в себя вулканы Хангар, Ичинский и кратер Кеук, имеет северо-северо-восточное простирание и приурочен к западным отрогам южной части хребта. По-видимому, пространственное распределение голоценовых вулканических центров наследует какие-то существенно более древние глубинные структуры.

Сравнение ареалов голоценового и позднеплейстоценового этапов вулканизма Срединного хребта (Рис. 4) показывает, что во всех случаях голоценовые центры образуются внутри полей позднеплейстоценового вулканизма. При этом масштабы голоценового вулканизма существенно меньше и далеко не каждый район позднеплейстоценового вулканизма имеет свидетельства голоценовой активности. Обращает на себя внимание отсутствие голоценового вулканизма в районе кальдеры Уксичан, а также на участках позднеплейстоценовой активности, продолжающих северные части обоих ареалов («восточного» и «западного») голоценового вулканизма. Аналогичные закономерности прослеживаются и при сравнении ареалов вулканизма позднеплейстоценового и плиоценового возраста.

Таблица 1

Хронология голоценовой активности стратовулканов Срединного хребта

Вулкан	Координаты вершины, высота	Тип постройки, статус	Возраст, лет	
			¹⁴ C	календарный
Хангар	54° 45' с.ш. 157° 23' в.д. 2000 м	Позднеплейстоцен- голоценовый стратовулкан, действующий;	400	1450 AD
			1000	1010 AD
			2500	600 AD
			4100	2700 BC
			6600	5550 BC
			6900	5740 BC
			7500	6400 BC
			8600	7600 BC
			9000	8250 BC
			10000	9500 BC
Ичинский	55° 41' с.ш. 157° 44' в.д. 3607 м	Позднеплейстоцен- голоценовый стратовулкан, действующий;	460	1440 AD
			700	1280 AD
			1500	550 AD
			2300	400 BC
			2500	600 BC
			3000	1230 BC
			3600	1950 BC
			4200	2810 BC
			6500	5480 BC
			6700	5630 BC
			7000	5900 BC
			7300	6180 BC
			8000	6930 BC
Слокойный	58° 08' с.ш. 160° 49' в.д. 2170.6 м	Позднеплейстоцен- голоценовый стратовулкан, потухший;	4600-4650	3100-3480 BC
			4900-5300	3700-4100 BC
			5700-5900	4530-4770 BC
			6300	5300 BC
			7200-7300	6070-6180 BC
			7800	6650 BC

Примечания. Возраст ¹⁴C округленный; календарный – по наиболее выраженным пикам калиброванных значений по Oxcal 3.10 [Bronk Ramsey, 2005]. AD (Anno Domini) – годы новой эры, BC (Befor Crist) – годы до новой эры.

Таблица 2

**Параметры крупнейших извержений стратовулканов
и вулканических центров моногенного типа**

Объект (извержение)	Координаты главной вершины (истока)	Типы установленных отложений	Всего твердых продуктов		Округленный возраст, лет			
			Объем, км ³	Вес, × 10 ⁹ т	¹⁴ С	Кален- дарных		
Массив вулкана Хангар								
Хангар (ХГ)	54° 45' с.ш. 157° 23' в.д. 2000 м	Пирокластические потоки, тефра, волны пирокластического облака	14-15	15-16	6900	5740 BC		
Ичинский вулканический массив								
Ичинский (Ич)	55° 39' с.ш. 157° 42' в.д. 2342 м	Лава	2.16	4.97	460	1440 AD		
Ичинский (ИЧ)	55° 41' с.ш. 157° 44' в.д. 3607 м	Block-and-ash flow, волны пирокластического облака, тефра, лава	3,5	8,0 - 8,15	5,45- 5,95	15,15 - 15,95	6500	5480 BC
Южный Черпук (ЮЧ)	55° 33' с.ш. 157° 28' в.д., 1868 м	Лава, тефра, шлаковый конус	2,5- 2,65		5,2- 5,4		6500	5480 BC
Северный Черпук (СЧ)	55° 36' с.ш. 157° 38' в.д., 1679 м	Лава, тефра, шлаковый конус	≥2		4,5- 4,6		6500	5480 BC
Козыревский хребет								
маар Светлый Ключ (СК)	55°37' с.ш. 159°07' в.д., 262 м	Тефра, насыщенная резургентным материалом	0,04-0,05	0,048- 0,065	6200- 6400	5190, 5430, 5600 BC		
Массив вулкана Кекукнайского								
Кратер Кекук (КК)	56° 34' с.ш. 158° 02' в.д., 728 м	Тефра, экструзия	0,08-0,1	0,16-0,21	~7000	5850, 5895, 5970 BC		

Таблица 2 (Окончание)

Вулканический массив Алней-Чашаконджа						
Извержения на Алнее (АЛ)	56° 41' с.ш. 159° 38' в.д. 2598 м (г. Алней)	Тефра, насыщенная резургентным материалом	-	-	4000-4200	2570, 2740, 2830 BC
Поток реки Л. Белой (ЛБ)	56° 38' с.ш. 159° 43' в.д., 1400 м	Лава, тефра, шлаковый конус	0,2-0,25	0,43-0,56	2600	800 BC
Киреунский поток (Кир)	56° 41' с.ш. 159° 44' в.д., 1400 м	Лава, тефра, шлаковый конус	~0,2	~0,45	2600	800 BC
Вулканический массив Седанкинского Дола						
Терпук * (ТП)	57° 12' с.ш. 159° 50' в.д.	Лава, тефра, шлаковый конус	~1.0*	~2,4	2800	940, 965 BC
Ворота * (В)	-	Лава, тефра, шлаковый конус			2750	860, 900 BC
Титила * (ТТ)	57° 24' с.ш. 160° 07' в.д.	Лава, тефра, шлаковый конус			2700	840, 895 BC
Седанкинский поток * (Сед)	57° 19' с.ш. 160° 12' в.д., 1600 м	Лава, шлако-лавовый конус	~1.9*	~4.6	~8000	6880 – 7050 BC
Седанкинский дол * (СД)	-	Лава, тефра, шлаковые конусы (14 центров)			8700-9300	7600-8600 BC 8250 BC?
Озерновский поток						
Озерновский поток (ОЗ)	57° 35' с.ш. 160° 38' в.д., 964.5 м	Лава, тефра, шлаковый конус	3-4	6,32-6,44	9300-8800	7800-8650 BC 8280 BC?
Вулканический массив Хувхойтун						
Ныльгимелкин (Ныль)	57° 58' с.ш. 160° 39' в.д., 1621 м	Лава, тефра, шлаковые конусы	2.5-3.5	5,28-5,58	~4500	3100, 3200, 3270 BC
Вулканический массив Спокойный						
Спокойный (СП)	58° 08' с.ш. 160° 49' в.д. 2170.6 м	тефра	≤0,01	≤0,013	~4600	3360, 3490 BC
конус Икс (Икс)	58° 10' с.ш. 160° 48' в.д., 2127.5 м	Лава, тефра, шлаковый конус	0,20-0,25	0,44-0,46	~3900	2350, 2470 BC
Тобельцен (Тоб)	58° 15' с.ш. 160° 44' в.д., 831.8 м	Лава, тефра, шлаковый конус	0,20-0,25	0,44-0,46	~3800	2150, 2200, 2270 BC

Примечания. Вес пород рассчитан согласно [Поляк, Мелекесцев, 1981], считая объемный вес (г/см³) пирокластических потоков 1,0; тефры 1,2-1,3; шлаковых конусов 1,6-1,7; лавы андезидацитово-базальтовой 2,3; лавы базальтовой 2,4 г/см³. (*) – данные по [Дирксен, 2009], объем в пересчете на плотную породу. Возраст – см. примечания к табл. 1.

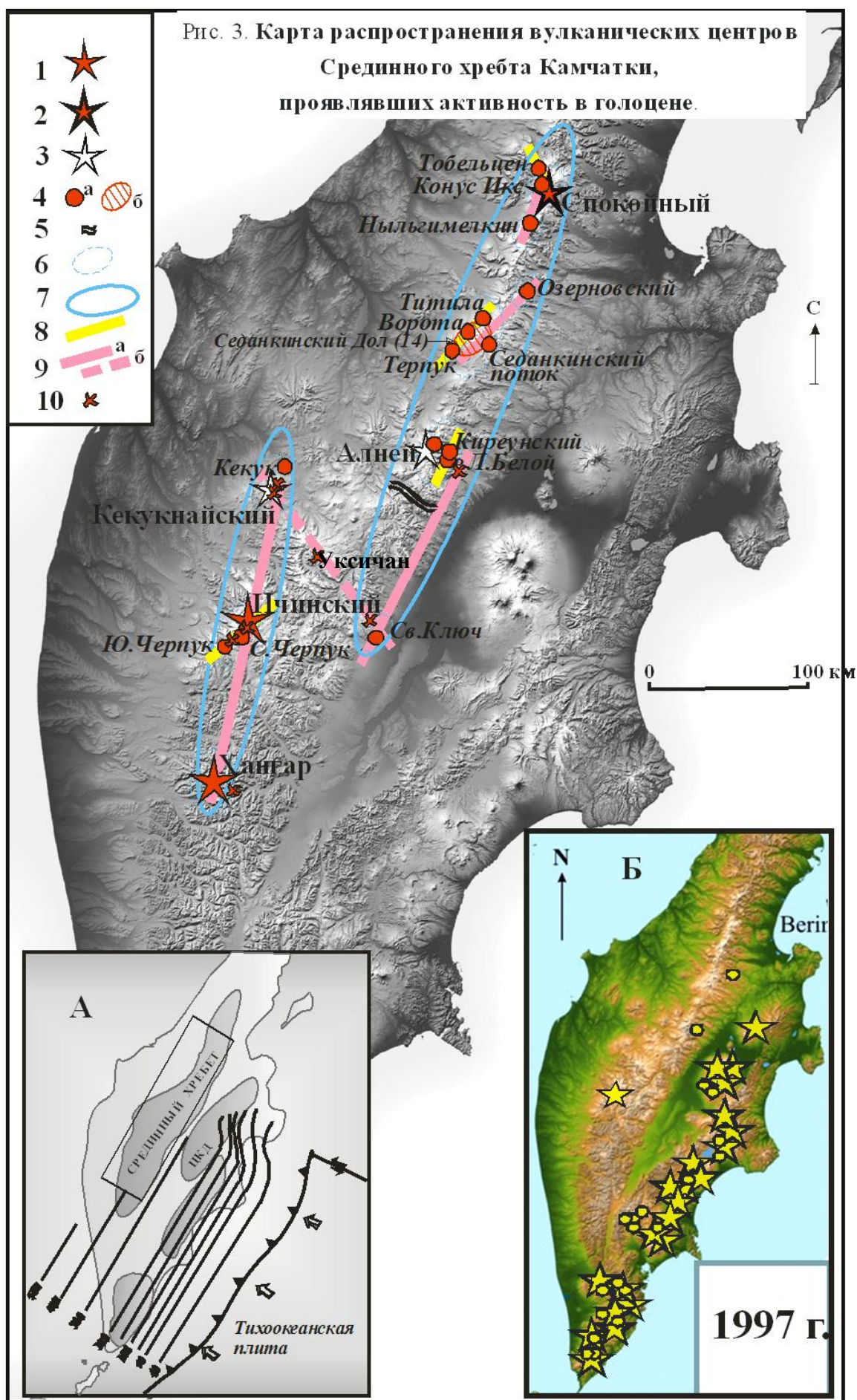


Рис. 3. Карта распространения вулканических центров Срединного хребта Камчатки, проявивших активность в голоцене. На врезках: А – районы проявления четвертичного вулканизма Камчатки, глубина сейсмо-фокального слоя по [Gorbatov et al., 1997], район работ выделен прямоугольником. Б – состояние изученности голоценового вулканизма Камчатки на 1997 г.

Условные обозначения: 1-2 – стратовулканы, проявившие активность голоцене: 1 – действующие и потенциально активные, 2 – потухший; 3 – плейстоценовые вулканические массивы; 4 – моногенные вулканические центры, образовавшиеся в голоцене: а – единичные, б – 14 раннеголоценовых центров Седанкинского Дола; 5 – условная граница южной и северной частей Срединного хребта; 6 – вулканические массивы (локальные ареалы распространения голоценового вулканизма); 7 – северо-восточный и северо-северо-восточный ареалы распространения голоценового вулканизма; 8-9 – группы субсинхронных последовательных извержений: 8 – в пределах одного вулканического массива (группы), 9 – охватывающие несколько вулканических массивов (супергруппы): а – включают вулканические и сейсмические события, б – только сейсмические события; 10 – сейсмогенные обвалы, вблизи вулкана Хангар сейсмогенная терраса.

Анализ различных тектонических карт показывает, что «восточный» ареал весьма уверенно совпадает с главной разломной зоной, выделяемой в пределах хребта подавляющим большинством исследователей [Авдейко и др., 2002, 2006; Селиверстов, 2009; Шанцер, Краевая, 1980; Эрлих, 1960 и др.]. Эта зона отвечает положению миоценового вулканического пояса Срединного хребта, существовавшего над зоной субдукции, которая располагалась в 150-200 км западнее современной [Леглер, 1977; Шапиро, Ландер, 2003; Шапиро, Соловьев, 2009]. Связь же «западного» ареала с глубинными разломами далеко не так очевидна. Однако трудно предполагать, что одновозрастный и однотипный вулканизм «восточного» и «западного» ареалов имеет различную тектоническую природу. При этом ни «восточный», ни «западный» ареалы не имеют пространственных соответствий с системой основных активных разломов, выделенных А.И. Кожуриным [Kozhurin et al., 2006].

Таким образом, в результате комплексных геохронологических работ доказано наличие многочисленных проявлений голоценового вулканизма в зоне Срединного хребта Камчатки; определен возраст всех крупнейших извержений. Выявлено два действующих и потенциально активных полигенных вулкана и около 30 вулканических центров моногенного типа, образовавшихся в голоцене. Установлено, что голоценовый вулканизм проявляется в девяти разобщенных вулканических массивах, которые образуют линейно вытянутые ареалы северо-восточного и северо-северо-восточного простирания.

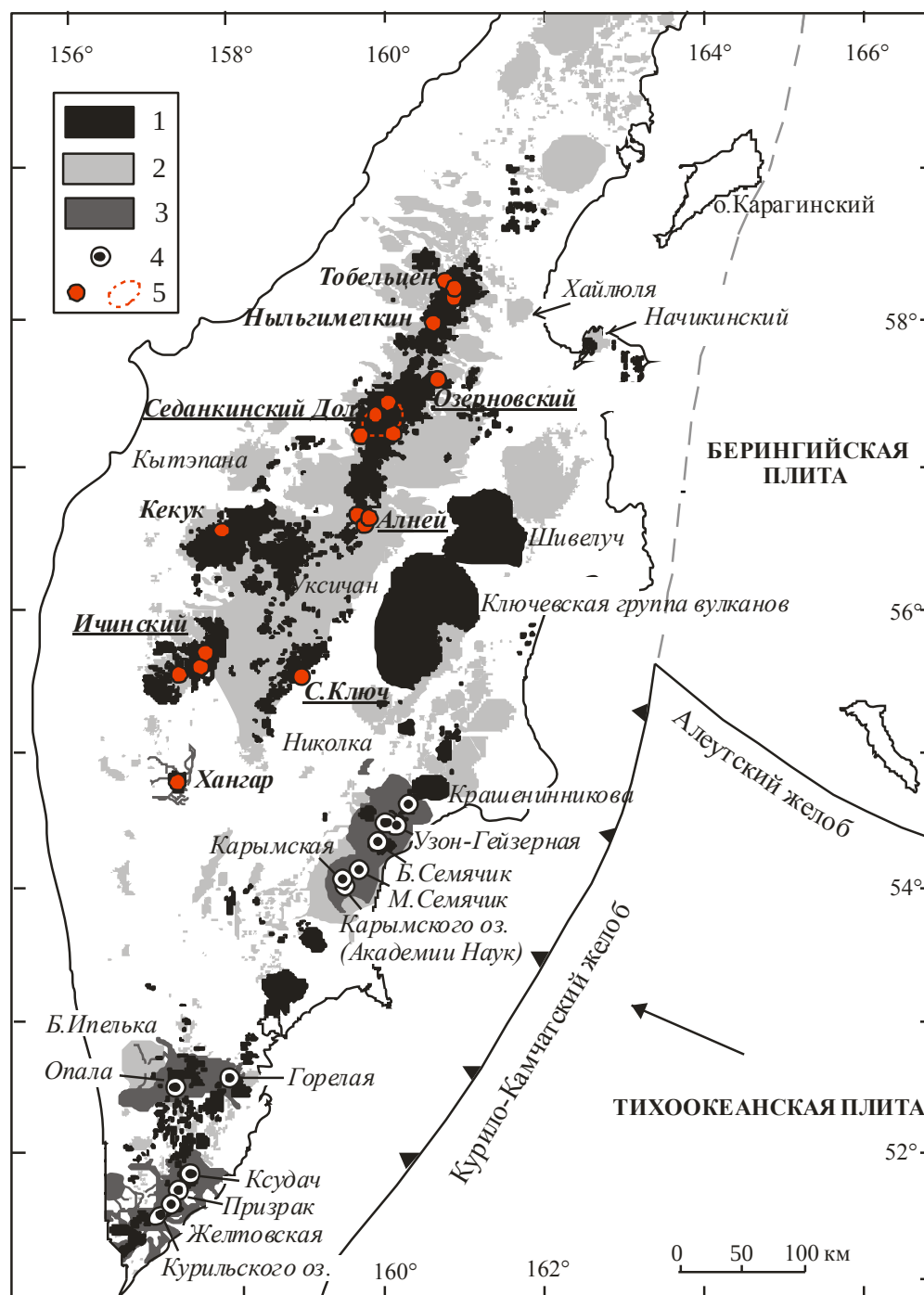


Рис. 4. Схема позднеплиоцен-голоценовых вулканических полей Камчатки (по данным картирования И.В.Мелекесцева) из [Пономарева и др., 2008] с изменениями и дополнениями автора.

Вулканические поля включают рыхлые вулканогенные отложения подножий вулканов.

1 - позднеплейстоцен-голоценовые вулканические поля; 2 - позднеплиоцен-среднеплейстоценовые вулканические поля; 3 - позднеплейстоцен-голоценовые игнимбриты и пемзы; 4 - позднеплейстоцен-голоценовые кальдеры, вмещающие вулканы; 5 – голоценовые вулканические центры и ареалы многовогодного вулканизма

Срединного хребта, названия центров и ареалов выделены жирным шрифтом и подчеркнуты.

Защищаемое положение 2. Установлено, что крупнейшие извержения подчиняются строгим пространственно-временным закономерностям проявления. Это выражается в группировании событий, которое характеризуется направленной миграцией вулканизма.

В пределах одного вулканического массива несколько извержений могут происходить субодновременно или с небольшим временным интервалом (до 100 лет). При этом вулканические центры расположены цепочкой и активизируются последовательно в северном направлении. Такие короткоживущие цепочки выделяются в качестве групп. Их протяженность не превышает 30 км. Кремнекислотность пород внутри единичной группы также последовательно увеличивается к северу. Группы могут быть ориентированы как в северо-восточном, так и в северо-западном направлении.

Вулканические извержения и сейсмогенные обвалы, зафиксированные в нескольких разрозненных вулканических массивах, могут образовывать и долгоживущие (до 1000 лет) цепочки протяженностью до 250 км. Они выделены в супергруппы. Для них также характерна последовательная активизация центров в северном направлении. Супергруппы имеют простирание как северо-восточное, так и северо-западное; закономерные изменения состава пород не обнаружены.

Для голоцена Срединного хребта выявлен эффект направленной миграции вулканической активности: извержения вулканических центров, формирующих группы и супергруппы, во всех случаях происходят последовательно с юга на север.

Пространственно-временные закономерности вулканической активности. Анализ данных радиоуглеродного датирования и калибровка дат (переход к календарному летоисчислению) позволили реконструировать хронологию вулканической активности голоцена (Рис. 5в). Как видно на рисунках 5а и 5б, динамика вулканической активности «восточного» и «западного» ареалов имеет некоторые различия. В «западном» ареале вулканизм проявляется преимущественно в активности стратовулканов Ичинский и Хангар. Моногенные вулканические центры представлены в подчиненном количестве, это: шлаковые конусы с лавовыми полями Южный и Северный Черпук, а также туфовое кольцо кратера Кеук. Проявления голоценового вулканизма отчетливо тяготеют к крупным уединенным полигенным вулканам плиоцен-четвертичного возраста (вулканические массивы Хангар, Ичинский, Кеукнайский). Расстояние между главными эруптивными центрами отдельных вулканических массивов составляет около 100 км. Эруптивная история стратовулканов характеризуется субсинхронными периодами активизации (ранне- и позднеголоценовым), которые разделены периодом покоя продолжительностью 2500-3000 лет. Крупнейшее извержение отдельного вулкана приурочено к окончанию его раннеголоценового периода активизации. Эти (крупнейшие) извержения предваряются палеосейсмической активностью (террасы, обвалы) вблизи

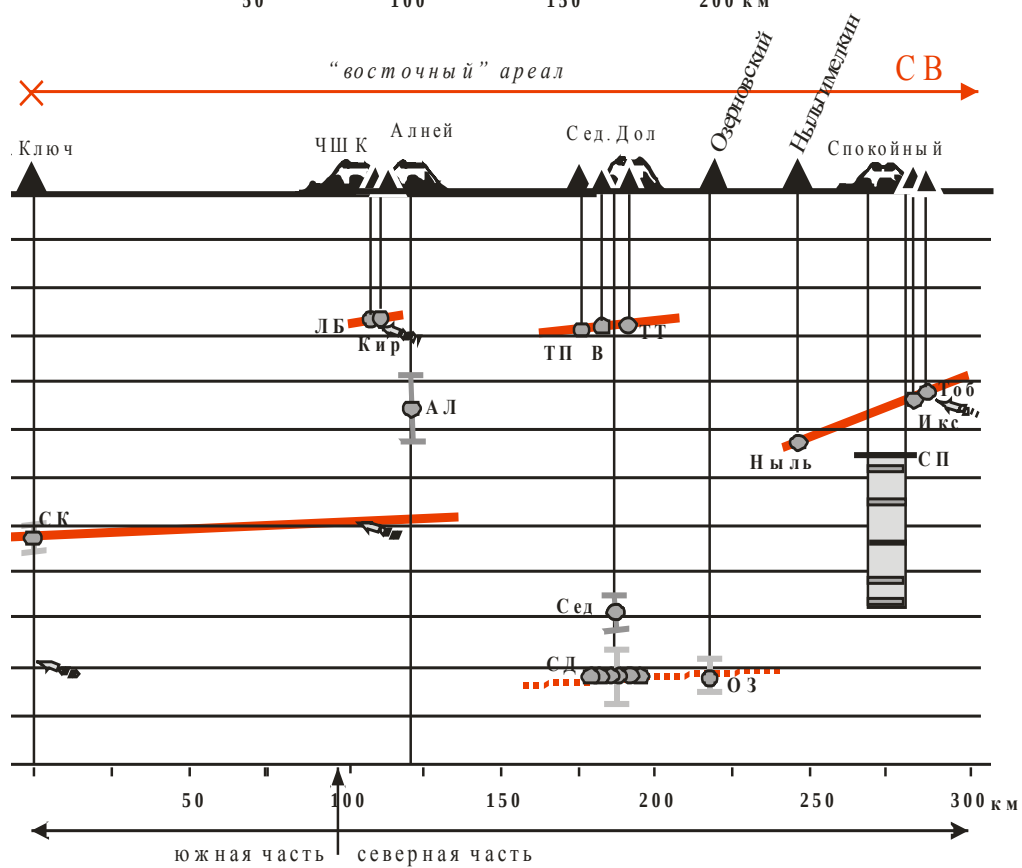
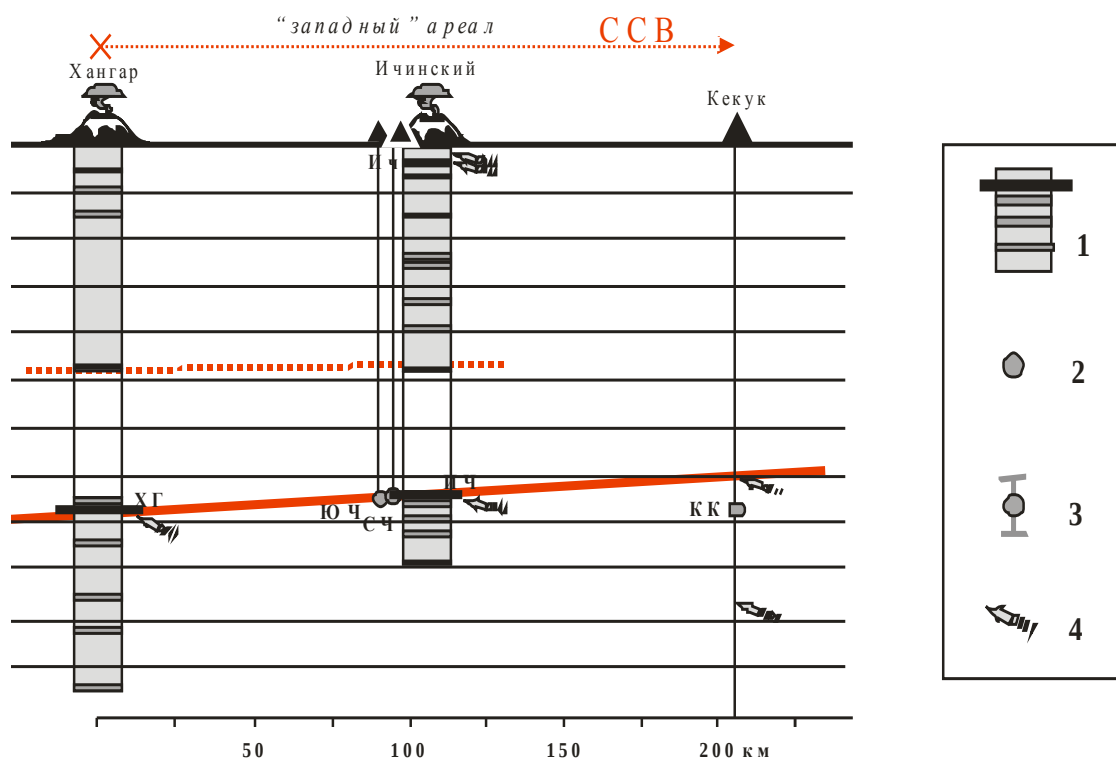


Рис. 5. Голоценовая вулканическая активность зоны Срединного хребта Камчатки. *а* – «западный» ареал, *б* – «восточный» ареал, *в* – комбинированный продольный профиль всей зоны в целом.

Над профилем *в* указано положение «восточного» (СВ) и «западного» (ССВ) ареалов голоценового вулканизма; под профилем *б* и *в* – условная граница южной и северной частей Срединного хребта согласно рис. 3.

Условные обозначения: 1 – этап активизации стратовулкана, темные полосы – единичные извержения, черные – крупнейшие извержения, самая длинная черная полоса – самое сильное в голоцене извержение данного стратовулкана; 2-3 – извержения моногенного типа: 2 – с установленным ^{14}C возрастом, 3 – возраст с доверительным интервалом по тефрохронологическим данным; 4 – сейсмогенные обвалы, вблизи вулкана Хангар сейсмогенная терраса. Жирные линии – группы и супергруппы (см. далее в тексте).

Извержения вулканических центров: ХГ – вулкан Хангар 5740 ВС; ЮЧ – Южный Черпук; СЧ – Северный Черпук; ИЧ – вулкан Ичинский 5480 ВС; Ич – вулкан Ичинский 1440 АД; СК – Светлый Ключ; КК – кратер Кекук; ЧШК – массив Чашаконджа; ЛБ – поток р. Лево́й Бело́й; Кир – Киреунский поток; АЛ – кратер на вулкане Алней; ТП – Терпук; В – Ворота; ТТ – Титила; Сед – Седанкинский поток; СД – Седанкинский Дол; ОЗ – Озерновский поток; Ныль – Ныльгимелкин; СП – вулкан Спокойный 3360-3490 ВС; Икс – конус Икс; Тоб – Тобельцен.

эруптивного центра. Возраст этих событий (крупнейшее извержение и завершение раннеголоценовой активности) последовательно «молодеет» с юга на север (ЮЮЗ-ССВ), образуя своеобразный пространственно-временной тренд вулканической активности. Крупнейшее извержение вулкана Ичинского (ИЧ) предваряется субсинхронными последовательными извержениями моногенных центров Южный и Северный Черпук, расположенных на юго-западном подножии вулкана. Причем, последовательная субсинхронная активизация трех центров (ЮЧ, СЧ, ИЧ) происходит с юга на север. Это строенное субсинхронное извержение в районе Ичинского вулканического массива, по-видимому, характеризует единый импульс эндогенной активности, поэтому может рассматриваться как единый эпизод вулканической истории. Примечательно, что при значительной разнице в объемах крупнейших извержений вулкана Хангар ($14\text{--}15 \text{ км}^3$) и Ичинского массива (8 км^3), суммарный вес продуктов этих изверженных практически одинаков и составляет в том и другом случае $15\text{--}16 \times 10^9 \text{ т}$ (Табл. 2). Данный факт свидетельствует о равной мощности обсуждаемых событий. Извержения ХГ и ЮЧ+СЧ+ИЧ – самые мощные извержения Срединного хребта, зафиксированные в голоцене.

Вулканизм «восточного» ареала представлен извержениями преимущественно моногенного типа, которые в большинстве случаев образуют цепочки вблизи крупнейших ($> 2500 \text{ м}$) горных вершин (Алней, Чашаконджа, Горного института, Хувхойтун, Спокойный). В северной части хребта голоценовые вулканические центры удалены друг от друга обычно на 30-50 км. Среди вулканических построек явно преобладают шлаковые конусы и лавовые потоки. Максимальные параметры (Табл. 2) единичных извержений принадлежат Озерновскому потоку (ранний голоцен) и вулканическому центру Ныльгимелкин (средний голоцен). Извержения второй половины голоцена существенно слабее (Табл. 2).

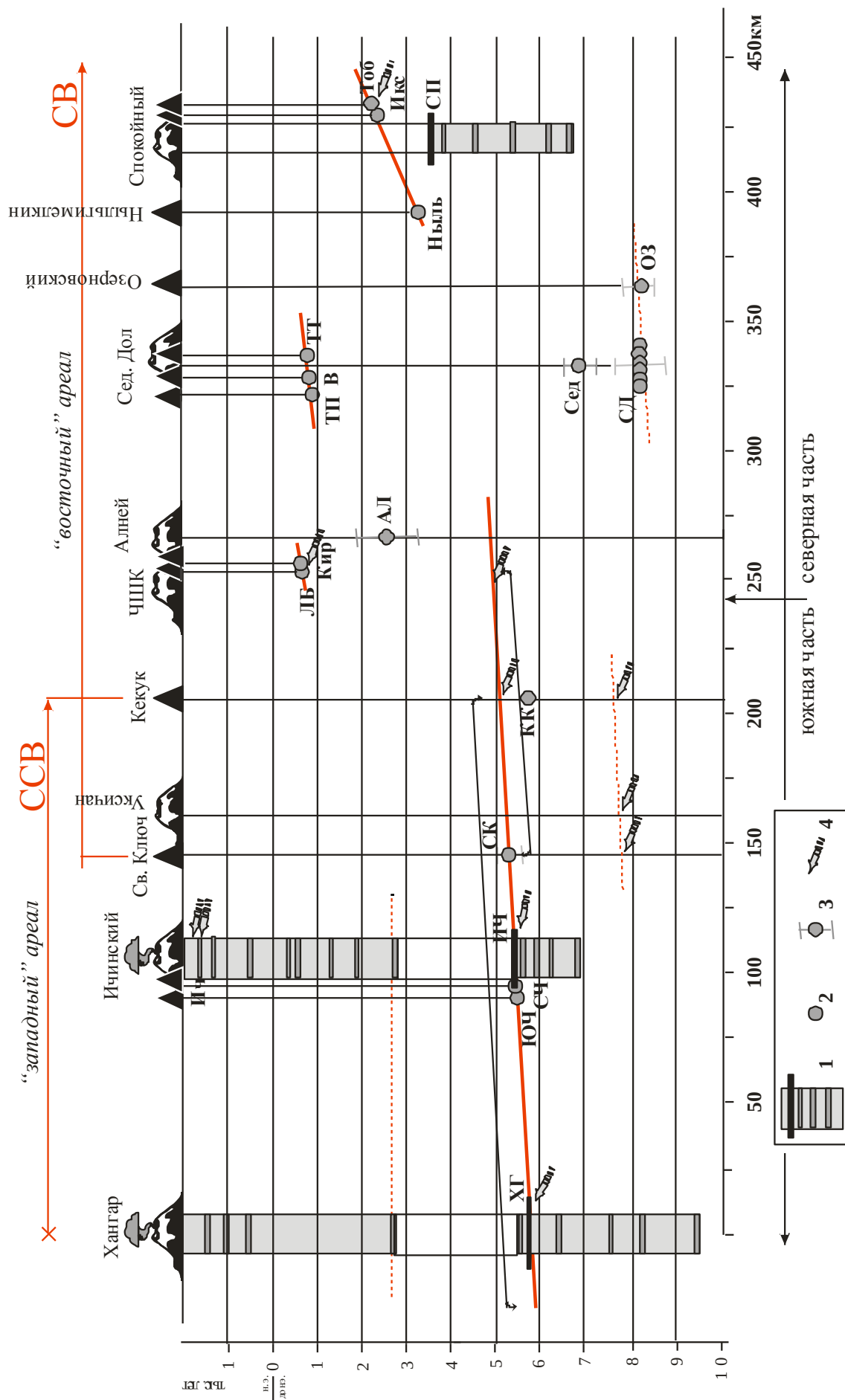


Рис. 5 в. Голоценовая вулканическая активность зоны Срединного хребта Камчатки. Комбинированный продольный профиль всей зоны в целом. Условные обозначения см. на рис. 5 а, б.

Образование групп и супергрупп. Для голоценовой вулканической истории Срединного хребта характерно группирование извержений: последовательная направленная (с юга на север) активизация близрасположенных (максимум 30 км) центров, фиксирующаяся в узкий временной интервал (иногда субсинхронно) (Рис. 5в и 6а). Во всех выделенных случаях активизация начинается с более южного центра группы. Зафиксированы две пары (лавовые потоки р. Л. Белой → Киреунский; конус Икс → Тобельцен), а также два случая строенных извержений (ЮЧ → СЧ → ИЧ, Терпук → Ворота → Титила). Группы имеют преимущественно северо-восточное простирание, в том числе пара ЮЧ → СЧ, находящаяся в «западном» ареале, который сам имеет северо-северо-восточное простирание. И только группа конус Икс → Тобельцен имеет северо-западное простирание. Обращает на себя внимание и тот факт, что в случае группирования (пары или тройки), кремнекислотность пород отдельных центров последовательно увеличивается также с юга на север (Рис. 6б). Выявленная закономерность направленного изменения вещества в пространстве и времени на сегодняшний день однозначного объяснения не имеет, но заслуживает дальнейшего изучения. Таким образом, **группа** – это цепочка (до 30 км) последовательных вулканических извержений, происходящих в пределах одного вулканического массива субодновременно или с небольшим временным интервалом (до 100 лет). Группы могут состоять из двух или трех вулканических центров, которые во всех случаях последовательно активизируются в северном направлении; при этом кремнекислотность пород внутри группы также последовательно увеличивается.

В процессе работ также датировались и отложения обвалов (Рис. 5а-в). Оказалось, что большинство обвалов – также как и центры молодого вулканизма – приурочены к склонам и подножиям плейстоценовых вулканических массивов. При этом половина изученных обвалов расположена в 1-5 км от голоценовых эруптивных центров и во всех случаях обвалы непосредственно предваряют извержения. Это позволило предположить их сейсмогенную природу. Весьма ограниченное количество обвалов голоценового возраста, образовавшихся на такой большой территории, заставило обратить внимание на особенности их пространственно-временной приуроченности.

Наиболее масштабные извержения стратовулканов Хангара и Ичинского (ХГ, ИЧ), моногенные центры Южный и Северный Черпук (ЮЧ, СЧ), предваряющие их сейсмические события и среднеголоценовый обвал в Кекукнайском массиве формируют направленный тренд эндогенной активности, охватывающий сразу три разрозненных вулканических массива «западного ареала» (Рис. 5а). Все перечисленные объекты последовательно активизируются в северном направлении, т.е. образуют «гигантскую» группу (супергруппу), которая объединяет несколько разрозненных вулканических массивов, фиксируется на протяжении длительного времени (около 800 лет)

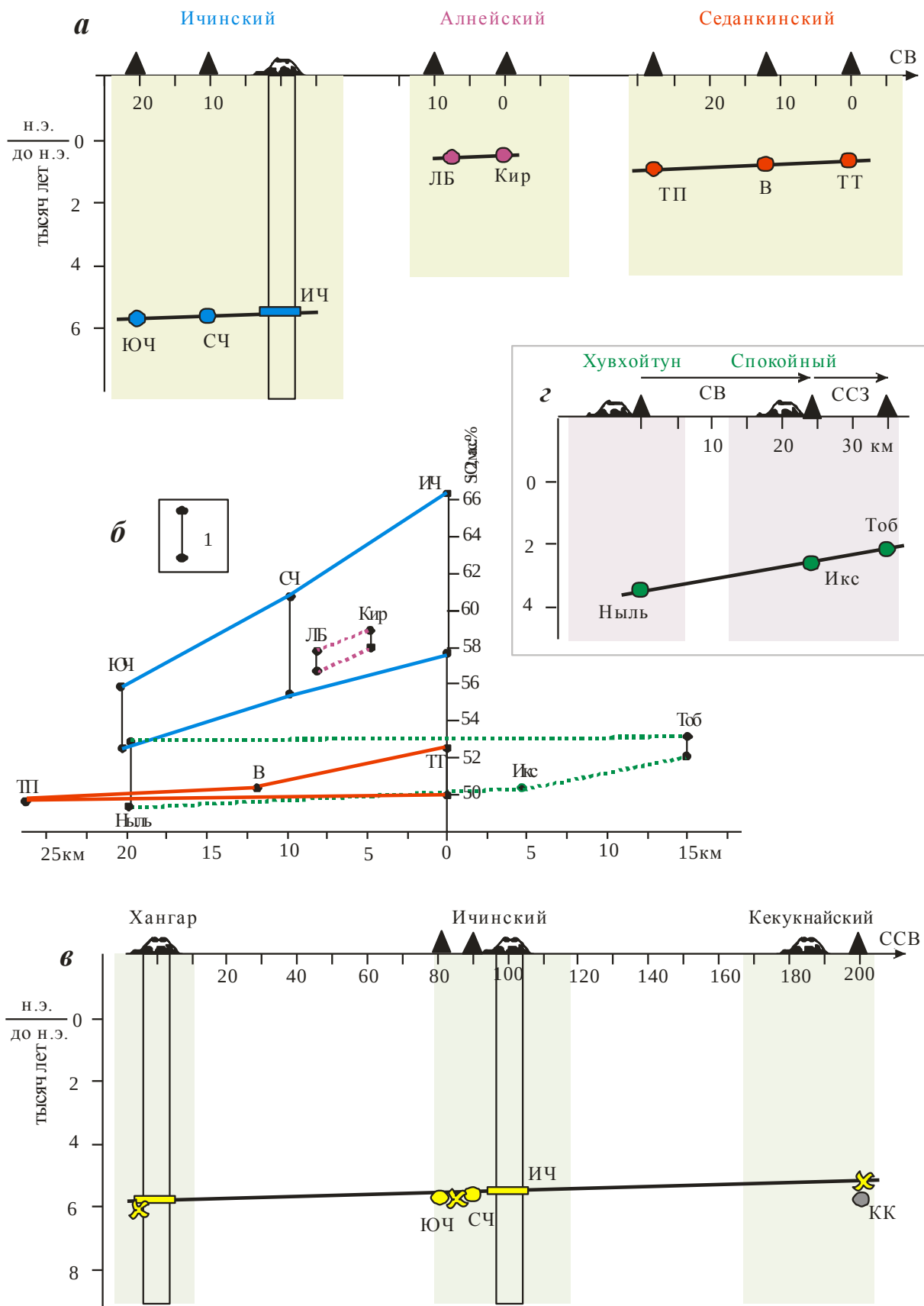


Рис. 6. Группирование субсинхронных извержений.

Рис. 6. Группирование субсинхронных извержений. Цветым фоном схематически показаны границы вулканических массивов. Прочие условные обозначения и сокращения см. на рис. 5.

а. Образование групп в пределах отдельных вулканических массивов.

б. Изменение кремнекислотности пород внутри групп. Условные обозначения: 1 – максимальный разброс значений кремнекислотности для единичного центра по [Певзнер, 2010; Volynets et al., 2010].

в. Супергруппа «западного» ареала. Желтые прямоугольники – самые сильные извержения стратовулканов.

г. Супергруппа северной части «восточного» ареала.

и имеет протяженность 200 км. Закономерного изменения составов изверженных пород не наблюдается. Примечательно, что на комбинированном профиле (Рис. 5в), где для южной части хребта совмещены данные по «западному» и «восточному» ареалам, на только что выделенный тренд ложатся извержение маара Светлый Ключ (СК) и среднеголоценовый обвал восточных склонов массива Чашаконджи. Это позволяет выделить супергруппу в южной части «восточного» ареала (Рис. 5б), проявлявшуюся синхронно с супергруппой «западного» ареала (Рис. 5в).

Весьма примечательно положение раннеголоценовых обвалов, датированных в районе маара Светлый Ключ, кальдеры Уксичан и в Кекукнайском массиве, которые также образуют направленный тренд, выделяемый только по сейсмическим данным (Рис. 5в). На карте видно (Рис. 3), что обвалы, зафиксированные в разрозненных массивах, формируют супергруппу северо-западного простирания.

Еще две небольшие супергруппы можно выделить в северной части хребта: Ныльгимелкин → конус Икс и, предположительно, раннеголоценовые конуса Седанкинского Дола → Озерновский поток.

Таким образом, **супергруппы** – это гигантские цепочки (до 250 км) из крупнейших извержений и сейсмогенных обвалов, которые объединяют несколько разрозненных вулканических массивов на протяжении длительного времени (до 1000 лет). Супергруппы могут иметь простирание как северо-восточное, так и северо-западное; последовательная активизация центров наблюдается в северном направлении; закономерные изменения состава пород не зафиксированы.

Главная разница между группой и супергруппой состоит в том, что группу составляют вулканические центры, образующиеся компактно (до 30 км) и субсинхронно (или с очень небольшим временным промежутком – до 100 лет), супергруппа же охватывает события, происходящие в нескольких разобщенных массивах (до 250 км) на протяжении длительного времени (до 1000 лет). Последовательная тройка извержений Ныльгимелкин → Икс → Тобельцен (Рис. 5в) начинается как супергруппа (разные массивы) северо-восточного простирания, затем продолжается как группа северо-западного простирания (Рис. 3) и проявляется в течение 1000 лет. Данный пример

подчеркивает генетическое единство процесса (процессов), приводящего к образованию групп и супергрупп.

Субсинхронное начало позднеголоценовых периодов активизации стратовулканов Хангар и Ичинский также может образовывать супергруппу, на рис. 5а,в она показана пунктирной линией.

Направленная миграция вулканической активности. Описанный эффект группирования свидетельствует о проявлении нескольких эпизодов вулканической активности, которые сперва проявляются в южных частях отдельных вулканических массивов, а затем в более северных. Последовательную направленную активизацию вулканических центров внутри групп и супергрупп можно охарактеризовать как направленную миграцию эндогенной и, прежде всего, вулканической активности в пределах различных участков Срединного хребта. По-видимому, расстояние, на котором фиксируется миграция внутри единичной группы или супергруппы, может зависеть от мощности эндогенных процессов, инициирующих первичную вспышку вулканизма. Это предположение косвенно подтверждается тем, что супергруппа, начинающаяся с извержения ХГ (Рис. 5в), не только наиболее протяженная, но она еще маркируется самыми крупнообъемными извержениями (ХГ, ЮЧ+СЧ+ИЧ).

Зная возраст извержений и расстояние между отдельными центрами внутри групп и супергрупп, можно оценить скорость направленной миграции.

Супергруппа южной части хребта. Расстояние между вулканами Хангар и Ичинский около 100 км. Разница в возрасте крупнейших извержений ХГ и ИЧ $5738 \text{ BC} - 5480 \text{ BC} = 258 \text{ лет}$ (Табл. 2). При этих параметрах скорость миграции будет составлять $100 \text{ км} : 258 \text{ лет} = 0,387 \text{ км/год}$. Однако, как указывалось выше, крупнейшее извержение Ичинского вулкана предварялось извержениями двух близкорасположенных моногенных центров. Это строенное извержение происходило субсинхронно, а имеющиеся данные не позволяют определить индивидуальный возраст каждого из трех извержений, поэтому мы вынуждены принимать один и тот же возраст для всех трех извержений (Южный Черпук, Северный Черпук, Ичинский вулкан). Активизация началась с конуса Южный Черпук (5480 BC), который удален от вулкана Хангар на 90 км. В этом случае скорость миграции будет составлять $90 \text{ км} : 258 \text{ лет} = 0,349 \text{ км/год}$. Т.о. скорость миграции вулканической активности внутри супергруппы, начинающейся с извержения ХГ, составляла 0,35 или 0,39 км/год, т.е. около 0,4 км/год. Аналогичным образом подсчитана скорость миграции вулканической активизации для выделенных групп и супергрупп (Табл. 3).

Таблица 3

Скорость направленной миграции голоценовой вулканической активизации
в пределах Срединного хребта Камчатки

Группа (супергруппа)	Датированные извержения	Расстояние между центрами, км	Разница в возрасте извержений, лет	Скорость миграции, км/год
Супергруппа южной части хребта	Хангар 5738 BC → Южный Черпук → Ичинский 5480 BC	90-100	258	0,4 (0,35-0,39)
Позднеголоценовая группа Седанкинского Дола	Терпук 940, 965 BC → Ворота 860, 900 BC → Титила 840 BC	28	100-125	0,2-0,3 (0,22-0,28)
Среднеголоценовая группа массива Спокойного	Конус Икс 2470 BC → Тобельцен 2200 BC	12	270	0,04
Позднеголоценовая группа массива Алней-Чашаконджа	Лавовые потоки р. Левой Белой → Киреунский 800 BC	7	<20	0,35

Таким образом, установлено, что крупнейшие извержения подчиняются строгим пространственно-временным закономерностям проявления. В голоценовой истории Срединного хребта выделены несколько групп и супергрупп, характеризующихся направленной миграцией вулканической и сейсмической активности. В разное время и в разных вулканических массивах направление миграции оставалось неизменным (с юга на север), а скорость могла отличаться на порядок от 0,04 до 0,4 км/год. На рис. 5в видно, что за исключением тройки извержений Ныльгимелкин → Икс → Тобельцен во всех остальных случаях угол наклона пространственно-временных трендов, объединяющих группы и супергруппы, почти одинаковый. Это свидетельствует о том, что преобладающие скорости направленной миграции составляли 0,2-0,4 км/год.

Защищаемое положение 3. Начало образования групп и супергрупп, в том числе выделяемых по сейсмогенным обвалам, маркируют десять импульсов эндогенной активности. Хронологически импульсы образуют пять пар, проявляющихся с периодичностью в 2,5 тысячи лет. При этом временной интервал, разделяющий импульсы одной пары, составляет около 300 лет. Первый импульс единичной пары всегда проявляется в более северных, а второй – в более южных районах хребта; таким образом, для всех пяти пар импульсов фиксируется направленная миграция активности, ориентированная к югу.

Поскольку группы и супергруппы состоят из нескольких вулканических извержений, то, суммируя вес продуктов единичных извержений, можно охарактеризовать продуктивность отдельных этапов группирования. Начало этих этапов хронологически будет совпадать с возрастом извержения,

начинающего конкретную группу (супергруппу). Этапы, выделяемые по сейсмическим данным, характеризуются только по возрасту. Возраст начала раннеголоценовых периодов активизации стратовулканов носит условный характер, т.к. определяется особенностями осадконакопления и сохранностью ППЧ в конкретных районах. Вышеприведенный принцип использован при построении графика хронологии голоценовой вулканической активности в пределах Срединного хребта (Рис. 7). Кроме отчетливо выраженной асинхронности вулканической активности южной и северной частей хребта, на данном графике можно выделить и несколько инициальных импульсов активизации, которые «начинают» формировать группы. Первый импульс (I) маркируется раннеголоценовыми извержениями Седанкинского Дола + Озерновский поток. Второй (II) – обвалами г. Иракан вблизи маара Светлый Ключ + обвал экструзии Укичан + раннеголоценовый обвал в Кекукнайском массиве. Третий (III) – извержением кратера Кекук. Четвертый (IV) – извержением ХГ + супергруппа южной части хребта. Пятый (V) – извержением Ныльгимелкин + группа Икс → Тобельцен. Шестой (VI) – извержениями, связанными с началом позднеголоценовых периодов активизации стратовулканов Хангар и Ичинский. Седьмой (VII) – началом активизации конусов Терпук + Ворота + Титила. Восьмой (VIII) – извержениями в массиве Алней (р. Л. Белая + Киреунский). Девятый (IX) – последнее извержение Ичинского вулкана (Ич) с излиянием крупного лавового потока. Десятый (X) – предположительный и на сегодняшний день последний – можно выделить на основании сведений С.П. Крашенинникова [Крашенинников, 1949], который описал сильное землетрясение, произошедшее в 1740 г. южнее вулкана Ичинского. Согласно полученным данным инициальные импульсы проявлялись субсинхронными парами (Рис. 7, слева от шкалы). В среднем для всего Срединного хребта парные импульсы фиксируются через две с половиной тысячи лет. Интервал же времени, разделяющий два импульса одной пары около 300 (150-500) лет. Если принять существование II и X импульсов, выделяемых только по сейсмическим данным, то, по-видимому, можно говорить об импульсах эндогенной активности, выражающихся в закономерных пространственно-временных проявлениях, как вулканизма, так и сейсмики.

Примечательно, что в большинстве случаев импульсы одной пары проявляются в виде событий в разных частях хребта но, за исключением пары V→VI импульсов, внутри одного ареала. При этом вторые импульсы единичной пары пространственно всегда проявляются южнее, чем первые (Рис. 7, врезка). Подобное поведение также можно охарактеризовать как направленную миграцию (к югу). В среднем для всех пар импульсов скорость направленной миграции 0,4-0,6 км/год при максимальном разбросе значений 0,2-2,0 км/год. Объяснить этот феномен с точки зрения классических теорий вулканизма не представляется возможным. Обнаружение периодических парных импульсов эндогенной активности, характеризующихся направленной миграцией – принципиально новый шаг в изучении не только геодинамических особенностей региона, но и вулканического процесса в целом.

Следует подчеркнуть, что выделение периодических парных импульсов стало возможным только после того, как был собран и обобщен весь материал по крупнейшим извержениям и сейсмогенным обвалам единой вулканической структуры – Срединного хребта. Если бы работа ограничивалась только южной или только северной частями хребта, либо только «восточным» или только «западным» ареалами – закономерность (периодичность) проявления импульсов не была бы обнаружена. Это становится очевидным, если сравнить левую и правую части графика на рис. 7. То, что парные импульсы все же удалось выявить, является косвенным доказательством того, что автором обнаружены, датированы и учтены **все крупнейшие** извержения зоны Срединного хребта.

Таким образом, установлено, что крупнейшие извержения и сейсмогенные обвалы зоны Срединного хребта маркируют десять парных импульсов эндогенной активизации, с периодичностью между парами около 2.5 тыс. лет. При этом для всех пяти пар импульсов фиксируется направленная миграция, ориентированная к югу.

Защищаемое положение 4. Установлена хронологическая зависимость между проявлением парных импульсов эндогенной активности зоны Срединного хребта и этапами усиления эксплозивной активности вулканов Северной Пацифики, а также пространственно-временная корреляция импульсов с крупнейшими извержениями вулканов фронтальной зоны Камчатки. Обнаруженные связи позволяют рассматривать выявленные для голоцена Срединного хребта закономерности вулканической активизации (группирование и направленную миграцию) как неотъемлемые – и ранее неизвестные – характеристики вулканического процесса. При этом импульсы эндогенной активности – впервые выделенные для Камчатки – характеризуют особенности геодинамических напряжений регионального уровня. Полученные данные могут быть использованы для долгосрочного прогноза повторяемости катастрофических извержений, как для тыловой, так и для фронтальной зоны Камчатского региона.

На рис. 8 показано временное распределение крупнейших эксплозивных извержений Камчатки по [Пономарева и др., 2008] в сравнении с хронологией вулканической активности Срединного хребта. Пожалуй, первое, что бросается в глаза при сравнении вулканизма фронтальной и тыловой зон Камчатки – максимальный всплеск эруптивной активности, зафиксированный в первой половине голоцена. Пик эруптивной активности Срединного хребта, маркируемый извержением ХГ, фиксируется спустя более 700 лет после крупнейшего голоценового извержения Камчатки – кальдерообразующего извержения Курильского озера (КО).

Второе по мощности (объему перемещенных пород) голоценовое извержение Камчатки принадлежит вулкану Шивелуч (Ш) и датируется началом голоцена (8600 ВС) [Певзнер, Бабанский, 2010]. Раннеголоценовый вулканизм Озерновского потока (ОЗ) и Седанкинского Дола (СД) проявляется спустя 500-800 лет после этого гигантского извержения Шивелуча. Похожая картина «запаздывания» извержений Срединного хребта по сравнению с вулканической

активизацией фронтальной зоны фиксируется и в позднем голоцене. На южной Камчатке происходит извержение вулкана Ксудач с образованием кальдеры (КС₁), в Срединном же хребте спустя приблизительно 1000 лет происходит излияние лавового потока на склоне Ичинского вулкана – это единственное крупнообъемное извержение Срединного хребта, зафиксированное в новой эре. Создается впечатление, что активизация вулканов Срединного хребта является отголоском наикрупнейших вулканических событий фронтальной зоны Камчатки. Причем, важно уточнить, что не сами извержения-гиганты являются первопричиной активизации вулканизма в Срединном хребте, но они лишь маркируют (и датируют) импульсы эндогенной активности, провоцирующие вулканизм фронтальной зоны.

Тогда логично предположить, что извержения Срединного хребта V и VII импульсов также имели «события-предшественники», произошедшие во фронтальных зонах полуострова. Как видно на рисунке 8б, интервал среднего голоцена характеризуется довольно частыми извержениями, однако – по сравнению с такими «гигантами» как извержения КО, Ш, КС₁ – относительно умеренной мощности. Выделять среди них «нужные» – чистый волюнтаризм. Скорее всего, такие извержения проявятся, если сопоставлять графики не объема, а веса изверженных пород, но, к сожалению, такими данными по вулканам фронтальной зоны автор не располагает.

Тем не менее, тенденция «запаздывания» вулканической активизации Срединного хребта по сравнению с таковой для фронтальных зон полуострова, намечается достаточно отчетливо. Примечательно, что «извержения-предшественники» КО и КС₁ происходили на южной Камчатке, а их «отголоски» проявлялись на вулканах южной половины Срединного хребта (Хангар, Ичинский). Вулканизм же северной части хребта (Седанкинский Дол, Озерновский поток), скорее, «отзывается» на события северных районов фронтальной зоны (Шивелуч). Эта закономерность свидетельствует о наличии пространственно-временной корреляции вулканизма фронтальной и тыловой зон Камчатки.

Сравнение эруптивной активности зоны Срединного хребта с летописью эксплозивного вулканизма северной Пацифики (Рис. 8а и в) показывает, что импульсы эндогенной активности, зафиксированные в Срединном хребте, во всех случаях проявляются «с запаздыванием» на те же 500-1000 лет после начала этапов усиления эксплозивной активности северной части Тихоокеанского региона. Это свидетельствует о том, что зона Срединного хребта закономерно отзывается на региональные этапы активизации вулканизма. Следовательно, закономерности вулканической активности, выделенные для зоны Срединного хребта, могут рассматриваться как важнейшие и неотъемлемые характеристики вулканического процесса, которые ранее не были установлены, а импульсы эндогенной активности – впервые выделенные для Камчатки – характеризуют особенности геодинамических напряжений регионального уровня.

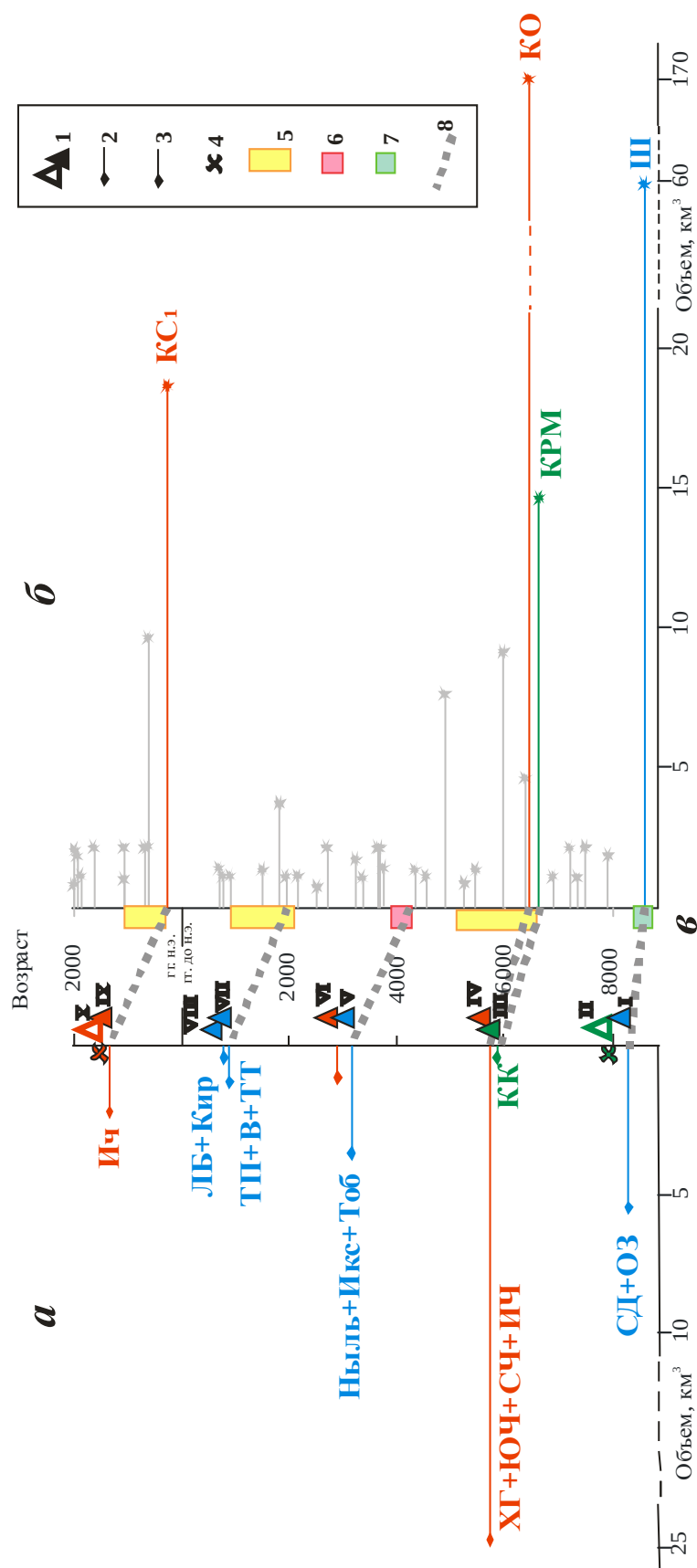


Рис. 8. Эпизоды усиления вулканической активности голоцена. *a*. Срединного хребта Камчатки. *б*. Фронтальных вулканических зон Камчатки по [Пономарева и др., 2008], с изменениями и дополнениями автора. *в*. Северной Пацифики по [Пономарева, 2010].

Изменения: из правой части рисунка удалено извержение вулкана Хангар (ХГ), т.к. оно относится к Срединному хребту; извержения с объемом <10 км³ показаны как фоновые; цветом маркировано положение центров извержений фронтальной зоны: красным – Южная Камчатка, зеленым – Восточный вулканический фронт, синим – вулканическая зона Центральной Камчатской депрессии. Дополнения: показано раннеголоценовое извержение вулкана Шивелуч (Ш) по [Певзнер, Бабанский, 2010].

Условные обозначения: 1 – импульсы эндогенной активизации (I-X), 2 – группы извержений, 3 – начало позднеголоценовых этапов активизации вулканов Хангар и Ичинский (вне масштаба), 4 – сейсмогенные обвалы. Цветом выделены события, проявленные в разных частях Срединного хребта: красным – северная часть, зеленым – поперечная группа центральной части, 5–7 – пики эксплозивного вулканизма, зафиксированные для: 5 – Японии, Курило-Камчатской дуги, Каскадных гор и Алеутской дуги, 6 – Японии, Каскадных гор и Алеутской дуги, 7 – Курильских островов, Каскадных гор и Алеутской дуги; 8 – тренды «запаздывания».

Корреляция между эпизодами усиления вулканической активности Срединного хребта и снятием ледниковой нагрузки не выявлена.

Как было показано в [Gusev *et al.*, 2003; Gusev, 2008], для крупнейших голоценовых извержений Камчатки выявлено автомодельное (фрактальное) эпизодическое поведение, при котором высокопродуктивные извержения проявляют тенденцию к группированию во времени («порядковое группирование»). По мнению авторов, подобное поведение представляет собой типичное свойство последовательности извержений в пределах вулканической области.

Весьма вероятно, что выделенные для голоценовой вулканической истории Срединного хребта сдвоенные импульсы эндогенной активности (Рис. 7 и 8) как раз и могут приводить к проявлению «порядкового группирования» и, таким образом, они (импульсы) являются неотъемлемой характеристикой вулканического процесса, а также характеризуют особенности геодинамических параметров региона в целом.

Последняя пара импульсов (IX и X) зафиксирована в эруптивной истории хребта около 500 лет назад (Рис. 8). Строгая периодичность пар импульсов, вызывающих крупнообъемные извержения (2.5 тысячи лет), позволяет предположить, что в ближайшие 2 тысячи лет в Срединном хребте ожидать крупных событий не приходится. Вулканическая активность, скорее всего, будет выражаться в слабых эксплозиях стратовулканов. Считая, что сильные извержения хребта происходят с запаздыванием в 500-1000 лет после извержений-гигантов фронтальной зоны, можно также предположить, что и во фронтальных частях полуострова в ближайшую тысячу лет не произойдет событий, соизмеримых по мощности с кальдерообразующими извержениями Курильского озера (КО) и вулкана Ксудач (КС₁) или с извержениями, характеризующимися крупномасштабными разрушениями постройки вулкана (Шивелуч, Ш).

Таким образом, установлена хронологическая зависимость между проявлением парных импульсов эндогенной активности зоны Срединного хребта и этапами усиления эксплозивной активности вулканов Северной Пацифики, а также пространственно-временная корреляция импульсов с крупнейшими извержениями вулканов фронтальной зоны Камчатки. Обнаруженные связи позволяют рассматривать выявленные для голоцена Срединного хребта закономерности вулканической активизации как неотъемлемые – и ранее неизвестные – характеристики вулканического процесса. Полученные данные могут быть использованы для долгосрочного прогноза повторяемости катастрофических извержений, как для тыловой, так и для фронтальной зоны Камчатского региона.

Заключение. С 1997 года автором проводились целенаправленные комплексные геохронологические работы в Срединном хребте и сопредельных районах Камчатки. Исследования были направлены на изучение голоценового вулканизма и имели пионерный характер.

В результате этих работ было доказано наличие голоценовой вулканической активности в Срединном хребте, который ранее считался зоной потухшего вулканизма. Были изучены отдельные эруптивные центры и связанные с ними отложения, определены возраст и продуктивность крупнейших извержений. Таким образом, «белые пятна», какими до недавнего времени представлялись Срединный хребет и территория северо-восточной Камчатки, оказались заполнены. В результате значительно расширены границы молодой вулканической активности Камчатки, а голоценовая летопись эруптивных событий существенно дополнена. Можно утверждать, что на сегодняшний день все вулканические зоны полуострова имеют сходную степень изученности, и проблема пространственной приуроченности голоценового вулканизма Камчатки в целом решена.

Впервые примененный автором пространственно-временной анализ, позволил не только реконструировать хронологию эруптивной активности зоны Срединного хребта, но также выявить ранее неизвестные закономерности вулканической активности и характеристики геодинамических напряжений всего региона. При этом детальность геохронологических исследований (анализ вулканической активности) в Срединном хребте теперь уже существенно превышает таковую для ранее изученных зон полуострова: Южной Камчатки, Восточного вулканического фронта и Центральной Камчатской депрессии. Примененная автором методика позволила достичь весьма значимых результатов и может быть рекомендована при проведении геохронологического анализа в других вулканических зонах не только Камчатки, но и мира.

Впервые – для голоцена Камчатки – геологическими методами выявлены направленная миграция вулканизма и периодические импульсы эндогенной активности. Весьма существенно, что для островодужных комплексов Тихоокеанского региона направленная миграция вулканизма установлена методами математической статистики [например, *Викулин и др., 2010*]. В ряде работ отмечается, что вулканическая активность отдельно взятых центров может «перемещаться» в одном направлении с определенной скоростью [*Леонов, 1991; Berg, Sutton, 1974; Gusev, 2008; Sauers, 1986; Tanaka et al., 1986 и др.*]. Такие явления описываются в пределах отдельных островных дуг и рифтовых систем. При этом скорость миграции вулканической активности фиксируется в диапазоне от первых сантиметров до 900 км/год [*Акманова, 2008, сводка по данным разных авторов*], а для северо-западной окраины Тихого океана – в 100 км/год [*Викулин, 2003*]. Таким образом, выявленный эффект направленной миграции вулканизма в Срединном хребте Камчатки не является уникальной особенностью изученного района, но позволяет считать направленную миграцию одной из важнейших характеристик вулканической активности. В этой связи важно

подчеркнуть, что **все** крупнейшие извержения Срединного хребта в том или ином качестве группируются, а направленная миграция как раз фиксируется в отдельных группах и супергруппах. По сравнению с вышеприведенными данными [Викулин, 2003], установленные для Срединного хребта скорости направленной миграции (0,04-0,4 км/год) можно оценить как «медленные». По-видимому, их выявление стало возможным в результате детального геохронологического исследования, выполненного на базе высокоточного определения возраста извержений.

Доказано, что зарождение отдельных групп и супергрупп обусловлено импульсами эндогенной активности. Пять пар импульсов фиксируются в зоне Срединного хребта с периодичностью в 2.5 тысячи лет, при этом для каждой единичной пары зафиксирована миграция активности, ориентированная к югу.

Пары импульсов проявляются в Срединном хребте спустя 500-1000 лет после начала этапов усиления эксплозивной активности вулканов Северной Пацифики. При этом извержения-гиганты фронтальной зоны Камчатки такого «запаздывания» не имеют. Кроме того, установлено, что южная и северная части хребта «отзываются» на крупнейшие извержения, происходившие, соответственно, в южных и северных секторах фронтальных зон Камчатки. Наиболее очевидным объяснением такой ситуации представляется тыловое положение Срединного хребта по отношению к Курило-Камчатскому желобу. Вышеприведенные данные позволяют предполагать, что импульсы эндогенной активности приходят в Срединный хребет извне, скорее всего со стороны Тихоокеанской плиты и характеризуют особенности геодинамических напряжений всего Камчатского региона. Расстояние между хребтом и вулканами фронтальной зоны приблизительно 200 км. Учитывая время «запаздывания» (500-1000 лет), можно посчитать скорость их миграции. Она составляет 0,2-0,4 км/год, что соответствует наиболее распространенным скоростям направленной миграции вулканизма внутри групп и супергрупп Срединного хребта. Периодические импульсы эндогенной активности – в силу своего регионального значения – могут быть использованы для прогноза повторяемости катастрофических извержений как для тыловой, так и для фронтальной вулканических зон Камчатки.

На сегодняшний день не существует удовлетворительного объяснения выявленным геохронологическим особенностям голоценового вулканизма и периодам повышенной сейсмической активности Срединного хребта Камчатки. Наиболее близкие пространственно-временные закономерности описаны для миграции очагов высокомагнитудных землетрясений [Быков, 2005; Викулин, 1992, 2003; Никонов, 1975, 1989; Уломов, 2004; Kasahara, 1979; Mogi, 1968 и др.]. И, если рассматривать вулканизм и сейсмику как разные виды снятия эндогенного напряжения, то, возможно, гипотеза, объясняющая направленную миграцию крупнейших землетрясений, окажется применимой и к молодому вулканизму Срединного хребта Камчатки.

Список основных публикаций

Статьи в рецензируемых журналах:

Певзнер М.М., Мелекесцев И.В., Пономарева В.В., Раковская Э.М. Воздействие катастрофических эксплозивных извержений на природную среду (на примере вулкана Шивелуч) // Известия АН СССР, серия географическая. 1994. №1. С. 75-85.

Мелекесцев И.В., Курбатов А.В., Певзнер М.М., Сулержицкий Л.Д. “Доисторические” цунами и сильные землетрясения на полуострове Камчатском (Камчатка), по данным тефрохронологических исследований // Вулканология и сейсмология. 1994. №4-5. С. 106-115.

Певзнер М.М., Пономарева В.В., Мелекесцев И.В. Черный Яр - реперный разрез голоценовых маркирующих пеплов северо-восточного побережья Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1997. № 4. С. 3-18.

Ponomareva V.V., Pevzner M.M., Melekestsev I.V. Large debris avalanches and associated eruptions in the Holocene eruptive history of Shiveluch Volcano, Kamchatka, Russia // Bulletin of Volcanology. 1998. V.59. P. 490-505.

Певзнер М.М., Мелекесцев И.В., Волынец О.Н., Мелкий В.А. Южный Черпук и Северный Черпук – крупнейшие голоценовые моногенные вулканические формы Срединного хребта Камчатки (Россия) // Вулканология и сейсмология. 1999. № 6. С. 22-32.

Брайцева О.А., Певзнер М.М. О возрасте вулкана Ново-Бакенинг (Камчатка) и тефростратиграфии этого района // Вулканология и сейсмология. 2000. № 6. С. 3-12.

Базанова Л.И., Певзнер М.М. Хангар – еще один действующий вулкан на Камчатке // Доклады АН СССР. 2001. Том 377. № 6. С. 800-802.

Андреев А.А., Певзнер М.М. История растительности в низовьях р. Камчатка за последние 6000 лет // Ботанический журнал. 2001. Том 86. № 5. С. 39-45.

Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Пономарева В.В., Базанова Л.И., Певзнер М.М., Сулержицкий Л.Д. Эндогенные катастрофы в голоцене на Камчатке и Курильских островах // Доклады Академии наук. 2003. Том 389. № 5. С.662-665.

Певзнер М.М. Тефростратиграфические реперы в голоценовых разрезах южной части Срединного хребта Камчатки и некоторые особенности радиоуглеродного датирования торфяников // Вулканология и сейсмология. 2003. № 4. С. 1-15.

Мелекесцев И.В., Двигало В.Н., Кирсанова Т.П., Пономарева В.В., Певзнер М.М. 300 лет жизни камчатских вулканов: молодой Шивелуч (анализ динамики и последствий эруптивной активности в XVII-XX вв.) Часть I. 1650-1964 гг. // Вулканология и сейсмология. 2003. № 5. С. 3-19.

Певзнер М.М. Первые геологические данные о хронологии голоценовой эруптивной активности вулкана Ичинского (Срединный хребет, Камчатка) // Доклады Академии наук. 2004. Том 395. № 4. С. 507-510.

Певзнер М.М., Пономарева В.В., Сулержицкий Л.Д. Голоценовые почвенно-пирокластические чехлы в Центральной Камчатской депрессии: возраст, строение, особенности осадконакопления // Вулканология и сейсмология. 2006. № 1. С. 24-38.

Певзнер М.М. Голоценовый вулканизм Северной Камчатки: пространственно-временной аспект // Доклады РАН. 2006. Том 409. № 5. С. 648-651.

Певзнер М.М., Волынец А.О. Голоценовый вулканизм Срединного хребта Камчатки // Проблемы эксплозивного вулканизма (к 50-летию катастрофического извержения вулкана Безымянный). Материалы первого международного симпозиума. 25-30 марта 2006г. / Отв. редактор чл.-корр. РАН Е.И. Гордеев. Петропавловск-Камчатский. 2006. 127-134.

Лаверов Н.П., Коваленко В.И., Ярмолюк В.В., Богатилов О.А., Акинин В.В., Гурбанов А.Г., Евдокимов А.Н., Кудряшова Е.А., Певзнер М.М., Пономарева В.В., Сахно В.Г. Новейший вулканизм Северной Евразии: районирование и обстановки формирования // Доклады РАН. 2006. Т. 410. № 4. С. 498-502.

Solomina O., Pavlova I., Curtis A., Jacoby G., Ponomareva V., Pevzner M. Constraining recent Shiveluch volcano eruptions (Kamchatka, Russia) by means of dendrochronology // NHES. 2008. Vol. 8. P. 1083-1097. SRef-ID: 1684-9981/nhess/2008-8-1083.

Певзнер М.М. Северная граница вулканической активности Камчатки в голоцене // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2010. № 1. Выпуск 15. С. 231-258.

Статьи в монографиях:

Ponomareva V.V., Churikova T.G., Melekestsev I.V., Braitseva O.A., Pevzner M.M., Sulerzhitsky L.D. Late Pleistocene-Holocene Volcanism on the Kamchatka Peninsula, Northwest Pacific region // "Volcanism and Tectonics of the Kamchatka Peninsula and Adjacent Arcs", Eichelberger J., Gordeev E., Kasahara M., Izbekov P., Lees J. (Eds). Geophysical Monograph Series. 2007. Volume 172. P. 165-198.

Ponomareva V.V., Kyle P.R., Pevzner M.M., Sulerzhitsky L.D., Hartman M. Holocene eruptive history of Shiveluch volcano. Kamchatka Peninsula // "Volcanism and Tectonics of the Kamchatka Peninsula and Adjacent Arcs", Eichelberger J., Gordeev E., Kasahara M., Izbekov P., Lees J. (Eds). Geophysical Monograph Series. 2007. Volume 172. P. 263-282.

Пономарева В.В., Чурикова Т.Г., Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Певзнер М.М., Сулержицкий Л.Д. Позднеплейстоцен-голоценовый вулканизм Камчатки // Изменение окружающей среды и климата: природные и связанные с ними техногенные катастрофы. Том II. Новейший вулканизм северной Евразии: закономерности развития, вулканическая опасность, связь с глубинными процессами и изменениями природной среды и климата. М.: Изд-во ИГЕМ. 2008. С. 19-40.

Другое:

Пономарева В.В., Певзнер М.М. Вулканическая опасность для подножия вулкана Шивелуч и прилегающих территорий, в том числе г. Ключи // Отчет по ГНТП 16 "Безопасность населения...". М. 1993. 96 с.

Певзнер М.М. История эруптивной деятельности вулкана Шивелуч в голоцене (по данным радиоуглеродного датирования) / Дисс. ... к.г.-м.н. М. 1994. 215 с.

Певзнер М.М. История эруптивной деятельности вулкана Шивелуч в голоцене (по данным радиоуглеродного датирования) / Автореферат дисс. ...к.г.-м.н. М. 1994. 19 с.

Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Пономарева В.В., Сулержицкий Л.Д., Певзнер М.М. Геохронология и параметры крупнейших эксплозивных извержений на Камчатке за последние 10 000 лет / Конкурсная статья по Грантам Международного Научного Фонда RMG000 и RMG300 // Сб. «Российская наука: Выстоять и возродиться» / МНФ РФФИ. М.: Наука. 1997. С. 237-244.

Бабанский А.Д., Певзнер М.М., Пономарева В.В. Новейший вулканизм Камчатки: методы изучения, геохимия, геодинамика // Современные задачи петрологии и геодинамики в развитии концепции рационального природопользования / Материалы школы-семинара. Под ред. И.Ф. Гертнера, П.А.Тишина. Томск: Изд-во ФГУ «Томский ЦНТИ». 2006. С. 5-22.

Новейший вулканизм: закономерности его активности и сопутствующие катастрофические следствия // Изменение окружающей среды и климата: природные и связанные с ними катастрофы. Направление 2: С. 35-80. - М.: ИГЕМ РАН, 2007. 200 с. ISBN 987-5-88918-034-0. Авторы: ак. В.И.Коваленко, академики В.В.Адушкин, О.А.Богатилов, В.Г.Бондур, М.А.Грачев, С.А.Федотов; чл.-кор. РАН Е.И.Гордеев, И.В.Чернышев, В.Г.Сахно, В.В.Ярмолюк; доктора наук Н.А.Арманд, А.Н.Евдокимов, А.Н.Ермаков, Ю.А.Зорин, А.Л.Собисевич, Ф.М.Ступак, А.П.Хренов; кандидаты наук В.В.Акинин, А.Г.Гурбанов, Е.А.Кораго, Я.Д.Муравьев, В.В.Пономарева, М.М.Певзнер, Ю.Г.Тищенко; Е.А.Кудряшова.

Материалы и тезисы докладов:

Певзнер М.М., Мелекесцев И.В., Пономарева В.В., Раковская Э.М. Оценка воздействия на природную среду эксплозивных извержений вулкана Шивелуч (Камчатка) // Вулканизм, структуры и рудообразование. Тез. докладов VII Всесоюзного вулканологического совещания, Иркутск, июнь 1992 г. Петропавловск-Камчатский. 1992. С. 29-30.

Мелекесцев И.В., Курбатов А.В., Сулержицкий Л.Д., Певзнер М.М. Сравнение скоростей поднятий побережья Камчатского залива Тихого океана и о.Карагинского // Всероссийское совещание по изучению четвертичного периода / Тезисы доклада. М. 1994. С. 164.

Pevzner M.M., Andreev A.A. Peat section from North-Eastern Kamchatka as chronicle of geological and paleoenvironmental events during ¹⁴C 6000 years // International Radiocarbon Congress, Glasgow. 1994. Abstract.

Ponomareva V.V., Pevzner M.M. Large debris avalanches in the eruptive history of Shiveluch volcano, Kamchatka, Russia // International Volcanology Congress IAVCEI 1994, Ankara, Turkey, september, 12-16. Abstract.

Ponomareva V.V., Pevzner M.M. Large Flank Failures in the Holocene Eruptive History of Shiveluch Volcano, Kamchatka, Russia // Abstracts of the XXI General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG), Boulder, Colorado, July 2-14, 1995, USA. Week A (VA 32A-3), p. A-458.

Ponomareva V.V., Pevzner M.M. Predicting explosive eruptions from the eruptive history reconstruction (Shiveluch volcano, Kamchatka, Russia, case study) // Annales Geophysiques, 1996. Supplement I to volume 14. P.118.

Певзнер М.М., Мелекесцев И.В., Мелкий В.А. Первые данные о возрасте самых молодых монокристаллических вулканических образований (Северный и Южный Черпуки) Срединного хребта Камчатки // Всероссийское совещание «Главнейшие итоги в изучении четвертичного периода и основные направления исследований в XXI веке» / Тез. докл. СПб. 1998. С. 335.

Бабанский А.Д., Певзнер М.М., Пономарева В.В. Вулкан Шивелуч (Камчатка, Россия): особенности магматизма в голоценовой эруптивной истории // Второе Всероссийское петрографическое совещание «Петрография на рубеже XXI века: итоги и перспективы», Том 1, Сыктывкар. 2000. С. 15-16.

Ponomareva V.V., Pevzner M.M., Sulerzhitsky L.D. Radiocarbon chronology of Holocene paleosol horizons at the foot of Shiveluch volcano, Kamchatka as a key to volcanic activity record // 17th international radiocarbon conference, Israel, 2000.

Bazanov L.I., Pevzner M.M. Khangar – one more active volcano in Kamchatka, Russia / Exploring Volcanoes: Utilization of their Resources and Mitigation of their Hazards; Abstracts of IAVCEI General Assembly 2000. Baly, Indonesia. July 18-22. 2000. P. 140.

Певзнер М.М., Пономарева В.В., Базанов Л.И., Сулержицкий Л.Д. Пик эруптивной активности в тыловой зоне камчатской вулканической дуги 6500-6900 л.н. // «Геология, геохимия, геофизика на рубеже XX и XXI веков». 2002. Т.1. С. 79-81.

Мелекесцев И.В., Брайтцева О.А., Пономарева В.В., Певзнер М.М., Сулержицкий Л.Д. «Век» (~6700-6400 гг до н.э.) вулканических катастроф в раннем голоцене Курило-Камчатской области // «Геология, геохимия, геофизика на рубеже XX и XXI веков». Иркутск. 2002.

Pevzner M.M. Voluminous explosive-extrusive volcanism triggered by basalt injection: mid-holocene eruptions at Ichinsky Volcano, Kamchatka // Colloque international Montagne Pelee 1902-2002 Volcanisme explosif en zones de subduction, 12-16 May 2002. P. 30.

Pevzner M.M., Ponomareva V.V., Bazanova L.I. New data on the Kamchatka back-arc volcanism during the Holocene time // 3rd Biennial Workshop on Subduction Processes emphasizing the Kurile-Kamchatkan-Aleutian Arcs, Fairbanks, Alaska, June 2002.

Ponomareva V.V., Pevzner M.M., Sulerzhitsky L.D. Explosive activity of Shiveluch volcano, Kamchatka, during the last 10.000 years // 3rd Biennial Workshop on Subduction Processes emphasizing the Kurile-Kamchatkan-Aleutian Arcs, Fairbanks, Alaska, June 2002.

Volynets A.O., Pletchov P.U., Pevzner M.M. Mid-Holocene Sout Cherpuk monogenetic volcanic Center of Ichinskaya zone (Sredinny Ridge, Kamchatka): some petrologic features of rocks and first data on the melt's composition // 3rd Biennial Workshop on Subduction Processes emphasizing the Kurile-Kamchatkan-Aleutian Arcs, Fairbanks, Alaska, June 2002.

Певзнер М.М. Голоценовые моногенные вулканические формы восточного склона массива Алней-Чашаконджа (Срединный хребет, Камчатка) // Вулканизм и геодинамика / II Всероссийский симпозиум по вулканологии и палеовулканологии, Екатеринбург, 9-12 сентября 2003. С. 695-698.

Бабанский А.Д., Певзнер М.М. Ичинский вулканический массив (Срединный хребет, Камчатка) в позднем плейстоцене-голоцене: хронология извержений и особенности магматизма // Вулканизм и геодинамика / II Всероссийский симпозиум по вулканологии и палеовулканологии, Екатеринбург, 9-12 сентября 2003. С. 757-761.

Ponomareva V.V., Pevzner M.M., Sulerzhitsky L.D. Shiveluch volcano, Kamchatka: Eruptive history and sector collapses. // Abstracts of the 3rd International Workshop of IGCP Project 455 "Interaction between volcanoes and their basement and related geological hazards", August 24-25, 2003, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia. P.19.

Певзнер М.М. Новые данные о пространственно-временном распространении голоценового моногенного вулканизма Северной Камчатки // Взаимосвязь между тектоникой, сейсмичностью, магмообразованием и извержениями в вулканических дугах / 4-ое международное совещание по Курило-Камчатской-Алеутской вулканическим дугам, Петропавловск-Камчатский. 2004. С. 72-76.

Бабанский А.Д., Певзнер М.М., Волинец А.О. Петролого_геохимические и геодинамические особенности голоценового вулканизма бассейна р. Еловки (С. Камчатка) // «Вулканизм и геодинамика» / 3 Всероссийский симпозиум по вулканологии и палеовулканологии, Улан-Удэ, 5-8 сентября 2006. С. 512-515.

Певзнер М.М. Радиоуглеродная хронология голоценовой вулканической активности в Срединном хребте Камчатки // Тез. Докл. «Изотопное датирование процессов рудообразования, магматизма, осадконакопления и метаморфизма». ИГЕМ РАН. Москва. 2006. Т. 2. С. 93-97.

Ponomareva V.V. and Pevzner M.M. What may be expected from Shiveluch volcano, Kamchatka? Lessons from reconstructed pre-historic eruptions and their environmental impact. // Проблемы эксплозивного вулканизма (к 50-летию катастрофического извержения вулкана Безымянный). Материалы первого

международного симпозиума. 25-30 марта 2006г. / Отв. редактор чл.-корр. РАН Е.И. Гордеев. Петропавловск-Камчатский. 2006.

Коваленко В.И., Ярмолюк В.В., Акинин В.В., Гурбанов А.Г., Евдокимов А.Н., Кудряшова Е.А., Певзнер М.М., Пономарева В.В., Сахно В.Г., Ступак Ф.М. Закономерности проявления новейшего вулканизма Северной Евразии – по результатам анализа карты новейшего вулканизма континента // *Фундаментальные проблемы геотектоники, Том 2 / Материалы XL Тектонического совещания.* М.: ГЕОС. 2007. С. 311-314.

Певзнер М.М. Голоценовый вулканизм и неотектоника северо-восточной Камчатки // *Фундаментальные проблемы квартера: итоги изучения и основные направления дальнейших исследований. Материалы V Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода.* Москва, 7-9 ноября 2007 г. М.: ГЕОС. 2007. С. 322-324.

Певзнер М.М. Методы изотопного датирования четвертичных отложений // *Фундаментальные проблемы квартера: итоги изучения и основные направления дальнейших исследований. Материалы V Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода.* Москва, 7-9 ноября 2007 г. М.: ГЕОС. 2007. С. 324-327.

Бабанский А.Д., Толстых М.Л., Певзнер М.М., Наумов В.Б., Кононкова Н.Н. Особенности состава стекол расплавных включений в голоценовой тефре вулкана Шивелуч, Камчатка // *IV Всероссийский симпозиум по вулканологии и палеовулканологии «Вулканизм и геодинамика», Петропавловск-Камчатский, 22 - 27 сентября 2009 г.* С. 257-261

Певзнер М.М., Головин Д.И., Герцев Д.О., Кущева Ю.В., Чурикова Т.Г., Волынец А.О., Родин В.С., Ладыгин В.М. Новые результаты К-Аг датирования миоцен-плиоценовых вулканических пород Срединного хребта Камчатки // *IV Всероссийский симпозиум по вулканологии и палеовулканологии «Вулканизм и геодинамика», Петропавловск-Камчатский, 22 - 27 сентября 2009 г.* С. 445-448.

Певзнер М.М., Головин Д.И., Герцев Д.О., Кущева Ю.В., Чурикова Т.Г., Волынец А.О., Родин В.С., Ладыгин В.М. Миоцен-четвертичный вулканизм Срединного хребта Камчатки: результаты К-Аг датирования // *IV Российская конференция по изотопной геохронологии «Изотопные системы и время геологических процессов», Санкт-Петербург, 2-4 июня 2009.* С. 77-79.

Волынец А.О., Певзнер М.М. Состав вулканических пород северной части Срединного хребта Камчатки (результаты рентгенофлюоресцентного анализа) // *IV Всероссийский симпозиум по вулканологии и палеовулканологии «Вулканизм и геодинамика», Петропавловск-Камчатский, 22 - 27 сентября 2009 г.* С. 302-304.

Ponomareva V., Portnyagin M., Kuvikas O., Pevzner M., Bazanova L., Bigg G., Gavrilenko M., Kyle Ph., van den Bogaard Ch. Tephrochronological Research in the KALMAR Project and its Implications to the Temporal and Compositional Evolution of Volcanism in Kamchatka. *Terra Nostra.* 2009. №1. P. 62-63. ISSN: 0946-8978. Abstracts of the First Bilateral workshop on Russian-German

cooperation on Kurile-Kamchatka and the Aleutian Marginal Sea-Island Arc Systems.

Babansky A., Tolstykh M., Pevzner M., Naumov V., Kononkova N. Compositions of melt inclusions in minerals from the Holocene tephra of Shiveluch volcano, Kamchatka // European Current Research on Fluid Inclusion, 21-27 september, 2009, University of Granada, Spain. Abstracts. P. 9-10.

Певзнер М.М., Бабанский А.Д. Возраст вулкана Молодой Шивелуч и эволюция состава его пород // Магматизм и метаморфизм в истории Земли / XI Всероссийское петрографическое совещание. Екатеринбург. 24-28 августа 2010 г. С. 115-116.

Babansky A., Tolstykh M., Pevzner M., Naumov V., Kononkova N. Late Pleistocene-holocene magmatism of Shiveluch volcano: three types of primary melts // Asian Current Research On Fluids Inclusions (ACROFI 2010), Novosibirsk, Russia, September 15-21, 2010. Abstracts volume. P. 18-19.

Подписано в печать 14.03.2011 г.

Формат 60×90 1/16. Усл. печ. л. 2

Тираж 150. Заказ № 2

119017, г. Москва, Старомонетный пер. дом 31. Тел. (495) 9503039

Отпечатано на ризографе в ИП Скороходов В.А.