



УДК 551.21.

О. А. Гирина

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, girina@kscnet.ru*

## Особенности тектоники Северной группы вулканов Камчатки

### Введение.

Северная группа вулканов (СГВ) Камчатки включает 16 вулканов (Шивелуч, Заречный, Харчинский и Ключевской группы вулканов (КГВ): Ключевской, Камень, Безымянный, Ушковский, Крестовский, Средний, Острый Толбачик, Плоский Толбачик, Овальная Зими́на, Острая Зими́на, Горный Зуб, Большая Удина, Малая Удина), пять из которых действующие: Шивелуч, Ключевской, Безымянный, Плоский Толбачик, Ушковский. Три вулкана почти непрерывно извергаются: Ключевской активен в течение нескольких сотен лет; Молодой Шивелуч — с августа 1980 г.; Безымянный — с 22 октября 1955 г. В настоящее время существует множество описаний тектоники СГВ, основанных на геологических, геофизических, аэрокосмических и других материалах (например, в работах В. И. Влодавца, А. Н. Заварицкого, Б. И. Пийпа, В. И. Тихонова, О. И. Супруненко и Г. П. Декина, Э. Н. Эрлиха, А. А. Святловского, В. А. Ермакова, Б. И. Иванова, А. Е. Шанцера, В. К. Утнасина, С. Т. Балесты, С. А. Федотова, В. И. Горельчик, А. П. Хренова, Л. И. Гонтовой и др.), но нет тектонической карты, отвечающей на все вопросы развития этого района.

Многие авторы работ по тектонике Камчатки отмечали, что здесь преобладают разломы ССВ и ЗСЗ простирания. В работе [9] показано, что ЮЮВ простирание имеют, как правило, складчатые структуры древних (домеловых и мелового) комплексов: Южно-Камчатский антиклинорий прослеживается от мыса Омгон на западе Камчатки до п-ова Шипунский на востоке; Северо-Камчатский антиклинорий протягивается от района Паланы до п-ова Озерновский; между ними располагается Средне-Камчатский синклинали́ный прогиб. Исследования северо-западного участка Тихоокеанской плиты показали, что возвышенности Обручева и Детройт Императорского хребта вытянуты в СЗ направлении и прилегают к Курило-Камчатскому жёлобу напротив подводного продолжения Кроноцкого п-ова. Кроме этого, крупные формы океанического склона и дна и суши в пределах полуострова имеют одинаковые простирания, например, выделяются небольшие возвышенности, хребты-барьеры и каньоны ЮЮВ простирания, совпадающие с направлением основных антиклинориев

и синклинориев нижних структурных ярусов, например, на продолжении Ганальской, Валагинской, Шипунской антиклиналий, п-овов Кроноцкого, Шипунского и Камчатского; а также структур субширотного и СЗ простираний [2, 7, 10]. Геофизические исследования Центральной Камчатской депрессии (ЦКД) подтвердили гипотезу формирования её блоковой структуры под влиянием СЗ и субширотных транскамчатских глубинных разломов со сдвиговой компонентой [2, 5]. Например, с субдукционными процессами связаны субширотно ориентированные разломные зоны Толбачинско-Андриановская и Щапинско-Чажминская [2, 5, 10]. Для палеоген-миоцена характерна резкая перестройка структурного плана на СВ [10]. Места сочленения крупных структур древнего и молодого возраста характеризуются развитием зон разломов, к которым приурочены долгоживущие центры вулканизма, в том числе и четвертичные вулканы. Согласно [10], оживление движений по более древней системе разломов СЗ и СЗ-меридионального простираний, выразившееся в проявлении вулканизма, происходило на протяжении всей кайнозойской истории района СГВ.

Согласно комплексным геологическим, геоморфологическим и геофизическим (в том числе и сейсмографическим) данным [2, 3, 5, 9, 10, и др.], на территории КГВ выделяются участки современного опускания, в которых происходит интенсивное осадконакопление (В и СВ подножия склонов Ключевского, Козыревская и Хапиченская впадины, ЮЗ подножие Толбачика); и относительно спокойные участки (Удинский и Хапичинский доли, СЗ склоны Ушковского и Крестовского); КГВ имеет сводово-глыбовую структуру, интенсивное развитие разломов СВ и субширотного простирания, меньшую активность разломов СЗ и меридионального простирания. Разломы рассекают КГВ на ряд мозаичных глыб и определяют расположение и характер вулканизма отдельных эруптивных центров, например, Толбачинского, Ключевского, Шивелучского. Отмечено [2, 5], что в ряде случаев нужно говорить не о разломах, а о разломных зонах шириной до 5–10 км, похожих на узкие грабенообразные долины, с амплитудой сбросово-взбросовых подвижек до 1 км и более. Б. И. Пийп [6] описал несколько глубоких древних, но активных разломов: на-

пример, один проходит через Плоский Толбачик и центральную часть Толбачинского дола; другой протягивается от склона Плоского Толбачика на СВ и простирается на ЮВ склон Ключевского [6, фиг. 13]. По его мнению, Горный зуб в массиве Зиминых вулканов — самый древний в КГВ; Малая Удина древнее Большой Удины; Ушковский, Камень, Зимины, Острый и Плоский Толбачики, Малая и Большая Удины начали формироваться на трещинах СЗ направления [6].

#### Обсуждение материалов.

Исходя из особенностей исторического развития СГВ, а также геофизических данных, неоспоримым становится факт, что основными причинами длительной истории активности СГВ являются субдукционные процессы на пересечении Курило-Камчатской и Алеутской вулканических дуг и Императорского хребта. Эволюция вулканических дуг, неравномерность субдукционных процессов приводят к формированию блоковой структуры СГВ, оживлению в разные эпохи разломов определённых направлений, сопряженности одной разломной зоны с другой, длительной вулканической активности района.

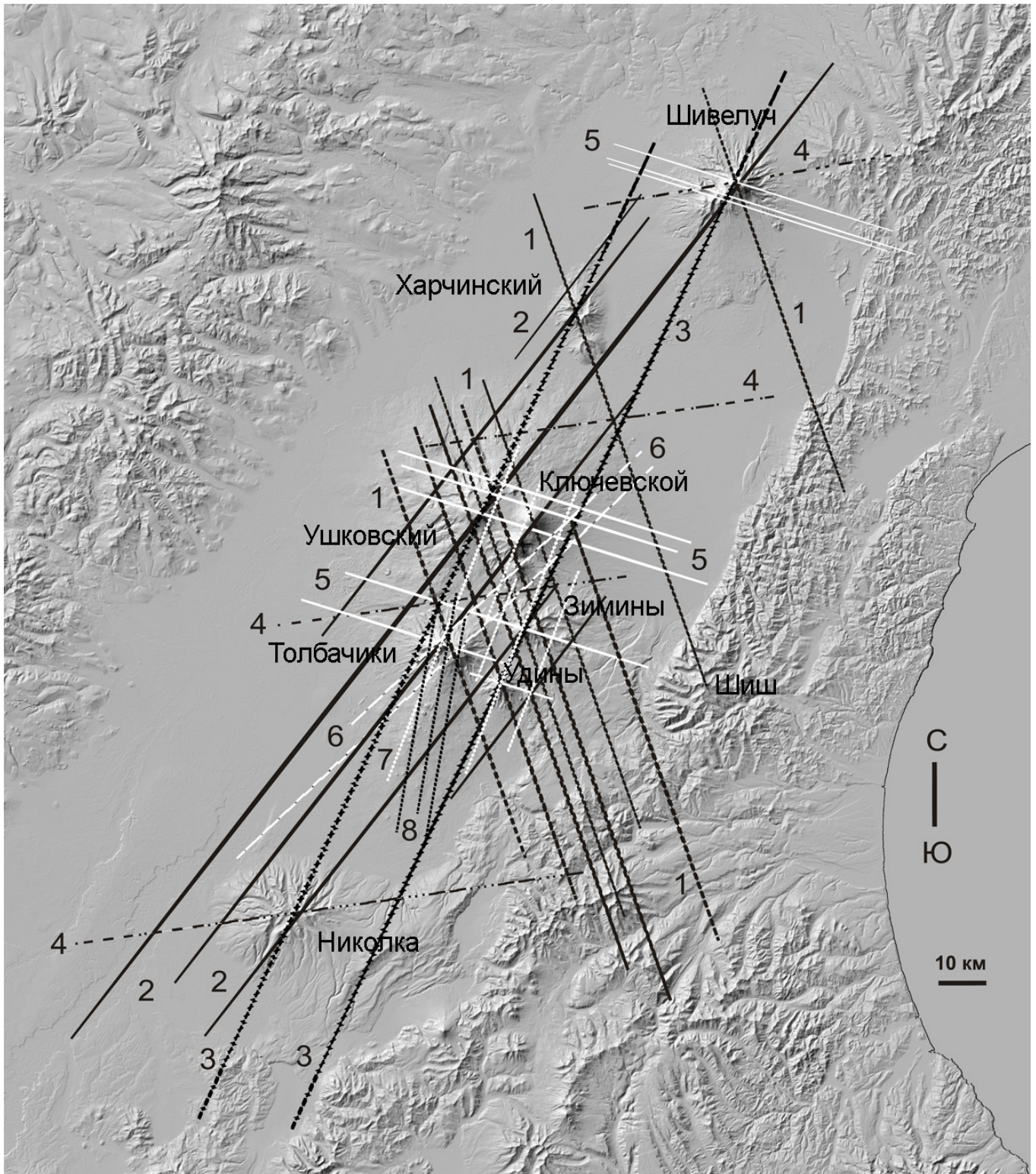
В опубликованных материалах по вулканотектонике СГВ, одни авторы выделяли только главные, на их взгляд, разломы (например, [4, 9]), другие наносили все разломы и трещины, указанные в литературе (например, [8]). Современные спутниковые данные высокого разрешения (Aster, Landsat, Oli-1, EO-1 и др.) позволяют со значительно большей детальностью, чем по топографическим картам и аэрофотоснимкам, анализировать морфоструктуру поверхности Земли и зоны тектонических и вулканотектонических нарушений. На основании анализа многочисленных опубликованных данных и спутниковых снимков высокого разрешения на схеме (рис. 1) показано расположение основных глубинных разломных зон (1–3), связанных с главными структурными планами СГВ (древним и молодым) и ответственных, по мнению автора, за появление и продолжение развития вулканизма в районе СГВ до настоящего времени.

#### Карта-схема расположения основных разломных зон в районе СГВ

**Разломная зона 1 (глубинная).** В работе [9, фиг. 5] показаны направления дислокаций двух структурных планов — древнего (СЗ, субмеридионального) и молодого (СВ). Исходя из анализа опубликованных данных о разломных зонах и возрасте вулканов СГВ [1–11, и др.], автор полагает, что разломы (вернее крупная разломная зона шириной примерно 180–200 км) СЗ субмеридионального простирания (1 на рис. 1) являются наиболее древними для современной структуры СГВ, следовательно, на них формировались наиболее древние вулканы группы. Отметим, что согласно [9], в допозднеплиоценовое время зона СГВ находилась в пределах крупно-

го синклиория субмеридионального простирания, охватывающего, вероятно, территорию между современными полуостровами Кроноцкий и Камчатский. Однако, полагаю, что простирание этого синклиория (разломной зоны) отличается от показанного в [9] и сходно с простиранием Императорского хребта южнее 50 град. широты. Например, разлом такого направления показан на современных геологических картах Камчатки параллельно восточному побережью п-ва Шипунский; в работе [1] выделен такой разлом по долине р. Толуд в районе КГВ (прямолинейный на протяжении почти 20 км), но не объявлен одним из главных. Думаю, на разломах СЗ простирания (1) начали формироваться базальтовые пьедесталы самых древних вулканов КГВ: Горный Зуб, Малая Удина, пра-Камень, пра-Крестовский. Заметим, что самые древние пьедесталы вулканов Горный Зуб, Камень и Крестовский находятся на одной линии, имеющей примерно одинаковое простирание с Императорским хребтом (продолжение линии разлома проходит по широкой долине на СЗ склоне вулкана Крестовский, что указывает на обновление разлома в течение жизни вулкана) (рис. 1). Широкие протяжённые долины такого же простирания имеются на СЗ склонах вулканов Ушковский и Острый Толбачик. Лавовые куполы Малой Удины лежат на линии такого простирания, возможно, древние вулканы Средний и Поворотная также формировались на разломах такого простирания. Возможно, в позднем плиоцене центром вулканизма Пра-Ключевской группы вулканов была группа Зиминых вулканов с наиболее активным Горным Зубом. В северо-восточной краевой части синклиория на разломах такого же СЗ простирания формировались базальтовые пьедесталы вулканов пра-Харчинский, г. Шиш и пра-Шивелуч (пра-Харчинский и г. Шиш находятся на одной линии). Возможно, на начальное развитие этих древних вулканов на разломах одного направления может указывать сходство составов их пород — магнезиальных андезитов [6]. О долгой жизни одного из разломов (1) говорят, по крайней мере, два факта: на ЮВ склоне Ключевского отмечается хорошо выраженная в рельефе протяжённая трещинная зона СЗ простирания (1); Апахончичский и Крестовский вулканотектонические желоба в привершинной части Ключевского лежат на одной линии также СЗ простирания (1).

**Разломная зона 2 (глубинная).** В работе [7] было показано, что благодаря субдукционным процессам образование зоны трансформных разломов на территории Камчатки должно сопровождаться появлением парагенетически связанного с ней комплекса структур субширотного ориентированных левосторонних сбросо-сдвигов, а также грабенов СВ простирания. В верхнем маастрихт-палеоцене по [10], вдоль всей ЦКД с юго-запада на северо-восток образовался разлом (разломная зона) (2). Линию этого разлома показывают на схемах все



**Рис. 1.** Схема расположения основных разломов в районе Северной группы вулканов, Камчатка. Описание в тексте.

исследователи, писавшие когда-либо о тектонике СГВ. Думаю, с ним связаны излияния платобазальтов и продолжение развития оснований вулканов пра-Крестовский — пра-Ушковский и пра-Шивелуч (в зоне разлома течет р. Байдарная). Оперяющий

разлом (2), вероятно, является причиной образования зоны шлаковых конусов вулкана Харчинский. Глубинный разлом (2) и оперяющие его разломы до настоящего времени играют важную роль в развитии вулканизма СГВ — на них сформировались

ареальные зоны вулканизма КГВ, протянувшиеся через вулканы Толбачик-Ключевской и Ушковский-Крестовский; с ними связано поступление базальтов на поверхность земли в этом районе.

Разломная зона 3 (глубинная). Вероятно, неравномерность субдукционных процессов в районе СГВ привела к образованию разломной зоны шириной до 20 км (3), субпараллельной хребту Кумроч. На западную краевую часть разломной зоны насажены вулканы Николка, Ушковский и Харчинский, на восточную — вулканы Большая Удина, Острая Зиминая, Молодой Шивелуч и Старый Шивелуч (разломы отмечаются широкими долинами на склонах этих вулканов) (рис. 1). Вероятно, с этой разломной зоной связано формирование вулкана Молодой Шивелуч — такой разлом рассекает современную кальдеру Молодого Шивелуча посередине; возможно, подвижки по нему привели к частичному разрушению лавового купола вулкана в 2010 г.

**Разломы второго порядка — коровые (4–5).**  
**Разломы (4).** В КГВ хорошо описаны крупные субширотно ориентированные зоны разрывных нарушений: Толбачинско — Андриановская [2, 3, 5], Студеная — Ключ Тундровый [3], Крестовская [5]. Возможно, некоторая вытянутость постройки вулкана Николка вдоль субширотного направления указывает на приуроченность его к такому разлому (3) (рис. 1). Вероятно, субширотно ориентированный левосторонний сбросо-сдвиг (3) явился причиной обрушения юго-восточной части вулкана Старый Шивелуч — разлом хорошо выражен в рельефе, протягивается через всю постройку вулкана и широкую долину р. Ильчинец на востоке от него (рис. 1). Хорошо выражены в рельефе «крупноамплитудные (до 700 м) сбросы, по которым опущено южное крыло» [11, стр. 27] в районе Бараньих скал на правом борту р. Студеная (рис. 1).

**Разломы (5).** В широкой зоне сформировавшегося сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг проявились молодые разломы ЗСЗ простирания (5). Б. И. Пийп [6] считал, что на таких разломах в юго-восточной зоне КГВ появились «двойные» вулканы: Зимины — Острая и Овальная; Удины — Малая и Большая; Толбачики — Острый и Плоский (рис. 1). Разломы такого направления севернее КГВ были выявлены по данным ГСЗ и гравиметрии [2]. Так как разломы СЗ простирания раскрывались с ЮВ на СЗ, думаю, вулкан Малая Удина старше вулкана Большая Удина, и Острая Зиминая старше Овальной Зиминой. Но вулкан Плоский Толбачик моложе Остроного Толбачика, так как находится восточнее главного разлома (2), на котором формировалось общее основание этих вулканов (рис. 1). В зоне разломов (5) отмечаются крупные широкие долины на склонах современных вулканов Старый Шивелуч, Ушковский, Острый и Плоский Толбачики, что указывает на оживление этих разломов с течением времени.

Интересно отметить, что разломы (4) субперпендикулярны разломной зоне (1), разломы (5) почти перпендикулярны разломной зоне (3), возможно в этом проявляется парагенетическая связь этих пар разломов, и субширотные разломы (4) древнее разломов (5). Так же отметим, что если для разломных зон (1–3) более характерна вулканотектоническая природа, то для разломов (4) и (5) — тектоническая. Например, сбросовые подвижки по разлому (5), вероятно, привели к крупному обрушению южной части постройки вулкана Старый Шивелуч — разлом хорошо выражен в рельефе на СЗ и ЮВ склонах вулкана. Вероятно, что подвижки по более молодому разлому (5) стали, с одной стороны, причиной катастрофического извержения вулкана Молодой Шивелуч 12 ноября 1964 г., с другой стороны, явились реакцией на освобождение магматического очага в процессе этого катастрофического извержения. Сбросы по этим разломам в виде ступеней чётко проявились после извержения 1964 г. и хорошо выражены в рельефе до настоящего времени (рис. 2). Следует отметить, что Г. С. Горшков и Ю. М. Дубик (1969) описали ступени: «...непосредственно у нижней границы кратера значительные массы взрывного материала дали морфологически единое образование в виде мощных ступеней с перепадом высот до 100 м», но не обсуждали их генезис.

**Разломы третьего порядка (трещинные зоны) (6–8).**  
**Разломы (6).** Региональные зоны шлаковых конусов КГВ, выделенные Б. И. Пийпом [6, фиг. 13], в районе вулканов Ушковский — Крестовский, Толбачик, Ключевской отражены в разломных зонах (1), (2), (3). Возможно, оживление разломов СЗ простирания (1) в зоне разломов СВ простирания (2) вызвало образование описанной Б. И. Пийпом [6] грабенообразной шириной около 5 км относительно малоглубинной трещинной зоны (6), с которой связаны мощные излияния мегаплагиофировых лав на юго-восточную часть КГВ и в долину р. Студеная. Согласно [6], эта зона (6) протягивается на юго-восточный и восточный склоны вулкана Ключевской, она явилась причиной начала формирования вулкана Плоский Толбачик.

**Разломы (7).** Неравномерно развивающееся сочленение Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг привело к образованию разломов ССВ простирания (7) в центральной части КГВ и позднее — наиболее молодых разломов (трещин) (8) на Толбачинском долу. На разломах (7) располагаются вершины вулканов Большая Удина и Овальная Зиминая, с одной стороны, и Малая Удина и Горный Зуб, с другой стороны, то есть наиболее молодые и наиболее древние вулканы в своих группах, что указывает на реальность существования разломов (7). Разломы такого направления (7), проявившиеся в виде протяжённых трещин, на которые насажены молодые шлаковые конусы на юго-западном склоне вулкана Ушковский и Толбачинском долу, описа-



**Рис. 2.** Проявление на поверхности земли разломов (5) — ступени сброса на краю современной кальдеры вулкана Молодой Шивелуч. Фото Ю. Демянчука.

ны в работах [6, 8]. Например, на разломе такого простирания образовался прорыв 2012–2013 гг. им. ИВиС ДВО РАН на Толбачинском долу.

Кроме этого, правосторонние сбросо-сдвиговые подвижки по разломам (7), вероятно, привели к обрушению в разное время вершинных частей вулканов Острый Толбачик и Камень; к оседанию восточных подножий вулканов Ушковский и Острый Толбачик — линии разломов и ступени сбросов хорошо выражены в рельефе (рис. 1). Как указывал Б. И. Пийп [6, стр. 47], цепочка экструзивных куполов Плотины «располагается почти точно на направлении... сброса Камня» и далее: «...она (Безымянная — прим. авт.) несколько удлинена... в направлении сброса Камня». Вероятно, при правосторонних сбросовых подвижках по разлому (7) произошло образование цепочки экструзивных куполов Плотины (западная часть этой цепи поднята, восточная опущена), и на продолжении этого разлома, началось формирование вулкана Безымянный.

**Разломы (8).** Разломы (8) в виде протяжённых трещин, на которые насажены молодые шлаковые конусы, хорошо выражены на Толбачинском долу (рис. 1). Например, на разломе такого простирания образовался Северный прорыв 1975 г. Вероятно, активизация разломов (7) и (8) на Толбачинском

долу оказывала воздействие на разломную зону (6), что, как известно, не раз приводило к исчезновению лавового озера после формирования кальдер обрушения на вершине вулкана Плоский Толбачик [6].

#### **Заключение.**

Думаю, все разломы, когда-либо проявившиеся в районе СГВ, являются долгоживущими. Активизация разломов одних направлений опосредованно может приводить к активности других, но может обуславливать схлопывание иных разломов, всё в отражается на активности вулканов СГВ. Например, на пересечении разломов (6) и (8), и возможно, (2), в 1941 г. произошло извержение юго-западной вершины Плоского Толбачика; на пересечении разломов (1) и (2) — в 1945 г. сильное вершинное извержение Ключевского; в разломной зоне (6) и, вероятно, под влиянием разломов (1), в 1945, 1946, 1951, 1953 гг. образовались прорывы на В склоне Ключевского. Такая активизация разломных зон (6) и (1), вероятно, спровоцировала пробуждение Безымянного в 1955 г. Последовавшая за этим активизация разлома (7) привела к правостороннему смещению блоков коры в районе Безымянного и его катастрофическому взрыву 30 марта 1956 г. Дальнейшая деятельность Безымянного (рост экструзивного купола в кратере) связана с активностью разломной

зоны (6) и разлома (1). Другой пример: возможно, в связи с продолжительными извержениями базальтов в районах Ключевского (1 сентября 2012 г. –15 января 2013 г. и 15,08-15 декабря 2013 г.) и Толбачинского дола (27 ноября 2012 г. — 09,2013), Безымянный не извергается с 1 сентября 2012 г.

#### Список литературы

1. *Влодавец В. И.* Ключевская группа вулканов // Тр. Камч. вулканол. ст. Вып. 1. 1940. 124 с.
2. Глубинное строение, сейсмичность и современная деятельность Ключевской группы вулканов. Владивосток: ДВНЦ АН СССР. 1976. 148 с.
3. *Ермаков В. А.* Формационное расчленение четвертичных вулканических пород. М.: Недра. 1977. 224 с.
4. *Заварицкий А. Н.* Вулканы Камчатки. М.: АН СССР, 1955. 152 с.
5. *Иванов Б. В., Попруженко С. В., Апрельков С. Е.* Глубинное строение Центрально-Камчатской депрессии и структурная позиция вулканов // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. Петропавловск-Камчатский: ИВГиГ ДВО РАН. 2001. С. 45–57.
6. *Пийп Б. И.* Ключевская сопка и её извержения в 1944–1945 гг. и в прошлом // Тр. Лабор. вулканол. АН СССР. Вып. 11. 1956. 312 с.
7. *Селивёрстов Н. И.* Геодинамика зоны сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. Петропавловск-Камчатский: КамГУ им. В. Беринга. 2009. 191 с.
8. *Сирин А. Н.* О соотношении центрального и ареального вулканизма. М.: Наука. 1968. 196 с.
9. *Тихонов В. И.* Унаследованные и наложенные структуры Камчатки и их роль в распределении вулканов // Кайнозойские складчатые зоны севера Тихоокеанского кольца. Труды ГИ АН СССР. Вып. 89. М.: АН СССР. 1963. С. 7–27.
10. *Шанцер А. Е.* Структурное обрамление юга Ключевской группы вулканов и особенности тектоники и магматизма Кроноцко-Тигильской поперечной зоны // Бюл. вулканол. станций. 1979. № 56. С. 67–73.
11. *Эрлих Э. Н.* Современная структура и четвертичный вулканизм западной части Тихоокеанского кольца. Новосибирск: Наука. 1973. 244 с.