



THE RELEVANCE OF THE STUDY OF THE PRIBREZHNY VOLCANIC COMPLEX IN THE CONTEXT OF THE HISTORY INVESTIGATIONS OF SOUTH KAMCHATKA

O.V. Bergal-Kuvikas ✉, A.N. Rogozin 

Institute of Volcanology and Seismology, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 9 Piip Blvd, Petropavlovsk-Kamchatsky 683006, Russia

ABSTRACT. The present paper contains a review of publications, geological maps and reports on the study of the Pribrezhny volcanic complex of South Kamchatka. The Pribrezhny volcanic complex is comprised of a number of close-set volcanic massifs stretching chain-like along the narrow coastline of the Beregovoy ridge from the Avacha Bay to the Vestnik Bay. The relevance of the work is related to the necessity of revising the geodynamic history of formation of the study area which stems from emergence of some fragmentary, contradictory information about magmatic complexes of South Kamchatka. The paper presents the data on magmatic rocks penetrated in the coastal cliffs of South Kamchatka. Consideration is being given to their formation conditions in the context of a once-popular theory of geosynclines and in that of plate tectonics. Based on the review, several open research problems are formulated concerning the undetermined propagation limits of the Pribrezhny volcanic complex and unknown time intervals of its formation, and the lack of mineralogical and isotopic-geochemical studies of magmatic rocks. A separate research problem is the formation of transitional zone between the continental margin of Kamchatka and the Kuril Island Arc. The paper shows the relevance of the study of the Pribrezhny volcanic complex of South Kamchatka and proposes possible solutions to the research problems. A detailed mapping of the junction zone of Pribrezhny volcanic complex of South Kamchatka and the Kronotsky terrain near the Malko-Petropavlovsk zone of transverse dislocations will make it possible to refine the age and kinematics of their relationship. Determination of rare elements and strontium, neodymium and lead isotopes will provide a possibility to clarify the nature of magmatism as compared to heterochronous volcanic series of South Kamchatka. The data obtained will be needed to study magmogenesis conditions for acid volcanism of South Kamchatka and monogenic volcanism of the Malko-Petropavlovsk zone of transverse dislocations. The paleomagnetic studies, along with dating of rock absolute age, will help to reconstruct the paleolatitude of formation of the Pribrezhny volcanic complex and to restore the geodynamic evolution of formation of South Kamchatka.

KEYWORDS: Miocene; Southern Kamchatka; review; magmatic rocks

FUNDING: The research was supported by the Russian Science Foundation, grant 22-77-10019 (<https://rscf.ru/project/22-77-10019/>).



REVIEW

Correspondence: Olga V. Bergal-Kuvikas, kuvikas@mail.ru

Received: January 6, 2023

Revised: May 2, 2023

Accepted: May 12, 2023

FOR CITATION: Bergal-Kuvikas O.V., Rogozin A.N., 2023. The Relevance of the Study of the Pribrezhny Volcanic Complex in the Context of the History Investigations of South Kamchatka. *Geodynamics & Tectonophysics* 14 (5), 0724. doi:10.5800/GT-2023-14-5-0724

АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИБРЕЖНОГО ВУЛКАНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА В КОНТЕКСТЕ ИСТОРИИ ИЗУЧЕНИЯ ЮЖНОЙ КАМЧАТКИ

О.В. Бергаль-Кувикас, А.Н. Рогозин

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, 683006, Петропавловск-Камчатский, б-р Пийпа, 9, Россия

АННОТАЦИЯ. Представленная работа содержит обзор опубликованных источников информации, геологических карт и отчетов об изучении прибрежного вулканического комплекса Южной Камчатки. Прибрежный вулканический комплекс сформирован рядом сближенных вулканических массивов, протягивающихся дуговой цепью в узкой прибрежной полосе Берегового хребта от Авачинской губы до бухты Вестник. Актуальность работы связана с необходимостью пересмотра геодинамической истории формирования изучаемого региона ввиду появления обрывочных, противоречивых сведений о магматических комплексах Южной Камчатки. В публикации приводятся данные о магматических породах, вскрытых в береговых обрывах Тихоокеанского побережья Южной Камчатки. Рассмотрены представления об условиях их формирования со стороны господствовавшей в свое время теории геосинклиналей, а затем – тектоники плит. На основе проведенного обзора формулируются проблемы будущих исследований, связанные с неопределенностью границ распространения прибрежного вулканического комплекса, с неясностью временных интервалов образования комплекса, с отсутствием минералогических и изотопно-геохимических исследований магматических пород. Отдельной проблемой исследования является формирование перехода от континентальной окраины Камчатки к островной дуге Курильских островов. В работе показана актуальность изучения прибрежного вулканического комплекса Южной Камчатки и предложены возможные пути решения научных проблем. Детальное картирование зоны сочленения прибрежного вулканического комплекса Южной Камчатки и Кроноцкого террейна в районе Малко-Петропавловской зоны поперечных дислокаций позволит уточнить возраст и кинематику их взаимоотношений. Определение редких элементов и изотопов стронция, неодима, свинца поможет установить природу магматизма в сравнении с разновозрастными сериями вулканитов Южной Камчатки. Полученные данные будут востребованы для изучения условий магмогенерации кислого вулканизма Южной Камчатки и моногенного вулканизма Малко-Петропавловской зоны поперечных дислокаций. Палеомагнитные исследования, наряду с определениями абсолютного возраста пород, помогут реконструировать палеошироту формирования прибрежного вулканического комплекса и восстановить геодинамическую эволюцию формирования Южной Камчатки.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: миоцен; Южная Камчатка; обзор; магматические породы

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант № 22-77-10019 (<https://rscf.ru/project/22-77-10019/>).

1. ВВЕДЕНИЕ

Камчатка – активная континентальная окраина северо-западной части Пацифики, имеющая сложную историю формирования, которая связана с аккрецией разновозрастных дуг [Konstantinovskaia, 2001] и перескоком зоны субдукции [Avdeiko et al., 2006]. Изучение полуостровов Шипунский, Кроноцкий, Камчатский Мыс, вдающихся в океан на севере Камчатки, позволило реконструировать причленение Кроноцкой палеодуги [Levashova et al., 2000], в то время как магматические породы, вскрытые вдоль береговой линии Южной Камчатки, в силу различных причин совершенно не исследованы. Для понимания причин формирования тех или иных типов вулканизма, гидротермально-магматических систем и локализации оруденений необходимо знать историю развития региона. Объектом исследования является прибрежный вулканический комплекс (ПВК) магматических тел миоценового возраста, вскрытый в береговых обрывах Тихоокеанского побережья и лежащий в основании современного вулканического пояса Южной Камчатки. Цель

настоящего обзора – объединить все опубликованные данные относительно магматических пород ПВК, обосновать актуальность и выделить основные проблемы их изучения.

2. ГРАНИЦЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ, СОСТАВ ПВК И СООТНОШЕНИЯ С ДРУГИМИ КОМПЛЕКСАМИ

Границы распространения ПВК. ПВК сформирован рядом сближенных вулканических массивов, протягивающихся дуговой цепью в узкой прибрежной полосе Берегового хребта от Авачинской губы до бухты Вестник (рис. 1, 2). Ширина зоны распространения ПВК около 20 км, длина около 120 км [State Geological Map..., 2000, 2006].

Состав ПВК. Обнажения, развитые в береговых обрывах Южной Камчатки, представляют собой вулканические и интрузивные образования различного состава: от базальтов до риолитов и от гранитов до габбро [Sheimovich, Patoka, 1989]. Вулканические, покровные образования ПВК состоят из андезитов, базальтов, андезибазальтов, их туфов, игнимбритов и туфов кислого

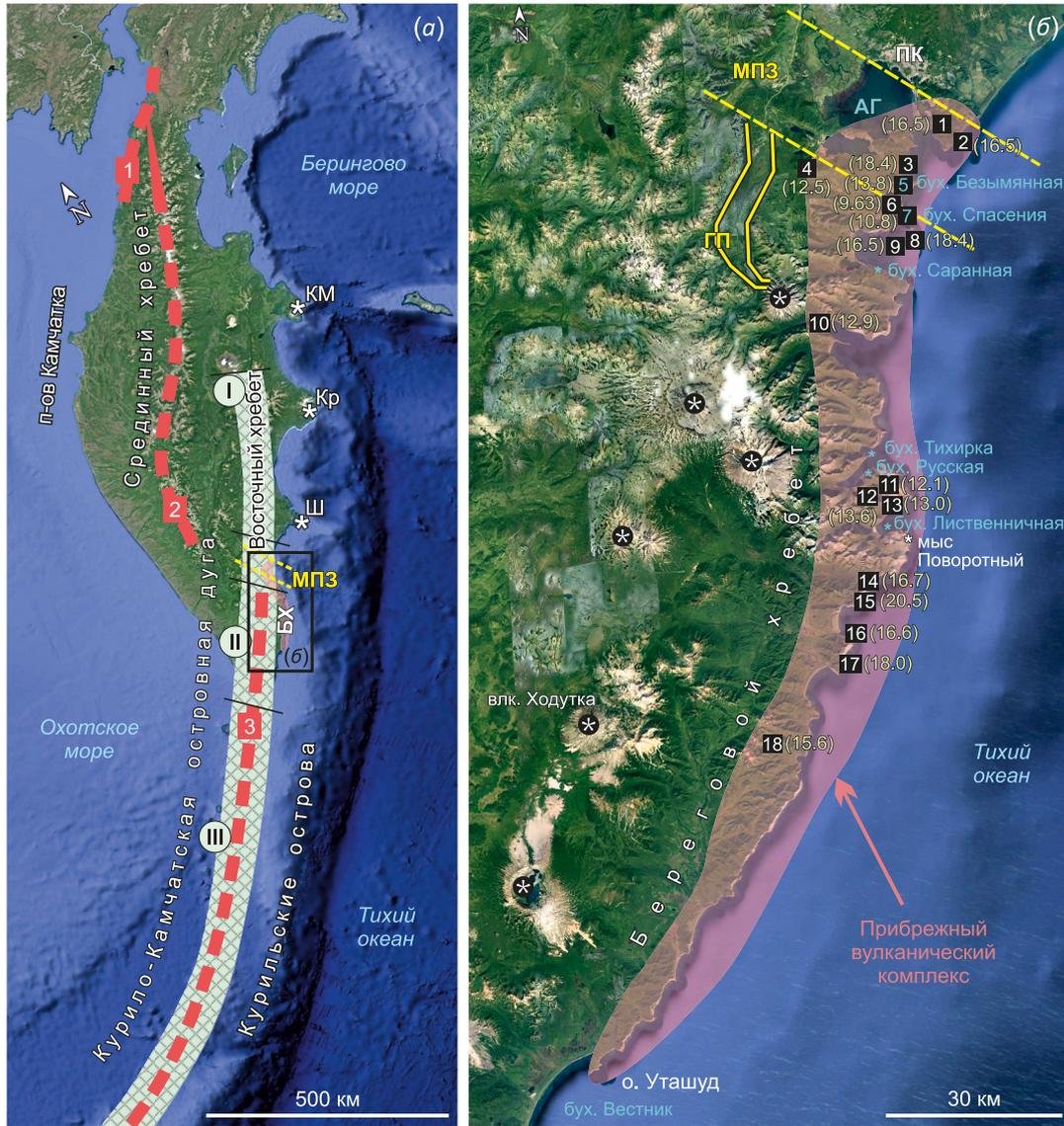


Рис. 1. Положение ПВК в структуре Камчатки.

(а) – сегменты активной Курило-Камчатской островодужной системы (по [Avdeiko et al., 2001]): I – Восточно-Камчатский, II – Южно-Камчатский, III – Курильский. МПЗ – Малко-Петропавловская зона поперечных дислокаций. Красные пунктирные линии обозначают разновозрастные дуги (по [Avdeiko et al., 2001; Kovalenko, 2010]): 1 – Западно-Камчатско-Корякский окраинно-континентальный вулканоплутонический пояс, 2 – Срединно-Камчатская островная дуга, 3 – Южно-Камчатско-Курильская островная дуга. БХ – Береговой хребет, КМ – полуостров Камчатский Мыс, Кр – полуостров Кроноцкий, Ш – полуостров Шипунский. (б) – схематическое расположение датированных магматических пород миоценовой формации Южной Камчатки. Возраст пород указан в скобках рядом с порядковым номером на схеме (1–10, 14–18 – по [State Geological Map..., 2000], 11–13 – по [Koloskov, Kovalenko, 2009]): 1 – озеро Приливное, 2 – устье р. Приливной, 3 – бухта Станицкого, 4 – г. Сельдевая, 5 – бухта Безымянная (рис. 2, б), 6 – озеро Пресное, 7 – бухта Спасения (рис. 2, в), 8 – остров Старичков, 9 – мыс Саранный, 10 – исток р. Вилюча, 11–13 – Ахомтенский массив, 14 – бухта Березовая, 15 – бухта Мутная, 16 – хребет Асача, 17 – мыс Асача, 18 – гора Верблюд. ГП – Паратунский грабен. ПК – г. Петропавловск-Камчатский, АГ – Авачинская губа. Звездочкой в кружке обозначены активные вулканы.

Fig. 1. The position of the Pribrezhny volcanic complex in the Kamchatka structure.

(а) – segments of the active Kuril-Kamchatka Island Arc system (after [Avdeiko et al., 2001]) I – East Kamchatka, II – South Kamchatka, III – Kuril. МПЗ – Malo-Petropavlovsk zone of transverse dislocations. Dashed red lines are heterochronous arcs (after [Avdeiko et al., 2001; Kovalenko, 2010]): 1 – Western-Kamchatka-Koryak volcano-plutonic belt of continental margin, 2 – Sredinny Ridge island arc, 3 – South Kamchatka – Kurile Island Arc. БХ – Beregovoy ridge, КМ – Cape Kamchatka Peninsula, Кр – Kronotsky Peninsula, Ш – Shipunsky Peninsula. (б) – a schematic view of the Miocene igneous rocks of South Kamchatka. The age of the rocks is indicated in parentheses next to the ordinal number in the diagram (1–10, 14–18 – after [State Geological Map..., 2000], 11–13 – after [Koloskov, Kovalenko, 2009]): 1 – Lake Prilivnoe, 2 – mouth of the Prilivnaya River, 3 – Stanitskogo Bay, 4 – Seldevaya Mountain, 5 – Bezemyannaya Bay (Fig. 2, б), 6 – Lake Presnoye, 7 – Spaseniya Bay (Fig. 2, в), 8 – Starichkov Island, 9 – Cape Saranny, 10 – Vilyucha River source, 11–13 – Akhomten Massif, 14 – Berezovaya Bay, 15 – Mutnaya Bay, 16 – Asacha Mountain, 17 – Cape Asacha, 18 – Verbljud Mountain. ГП – Paratunka graben. ПК – Petropavlovsk-Kamchatsky, АГ – Avacha Bay. Circled asterisks indicate active volcanoes.

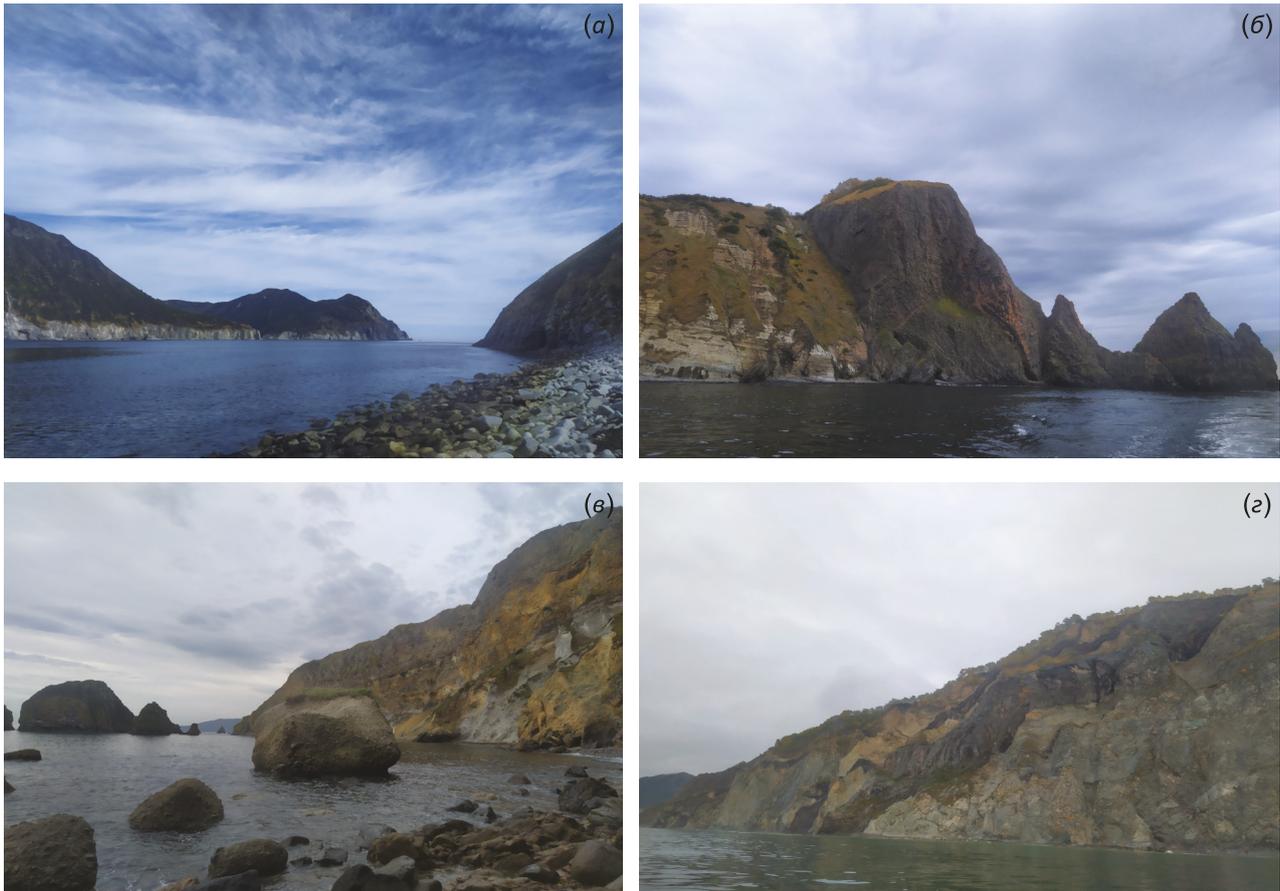


Рис. 2. Представительные фотографии обнажений ПВК в прибрежной полосе Берегового хребта. (а) – Ахотменский интрузив бухты Русской; (б) – штوك в бухте Безымянной; (в) – вулканогенно-осадочные толщи бухты Спасения; (г) – дайки в обнажении бухты Саранной (фото О.В. Бергаль-Кувикас). Расположение бухт – см. рис. 1.

Fig. 2. Representative photos of the Pribrezhny volcanic complex outcrops in the coastline of the Beregovoy ridge. (а) – Akhomten intrusive of the Russkaya Bay; (б) – stock in the Bezymyannaya Bay; (в) – volcanogenic sedimentary deposits of the Spaseniya Bay; (г) – dykes in the outcrop of the Sarannaya Bay (by O.V. Bergal-Kuvikas). The locations of the bays are shown in Fig. 1.

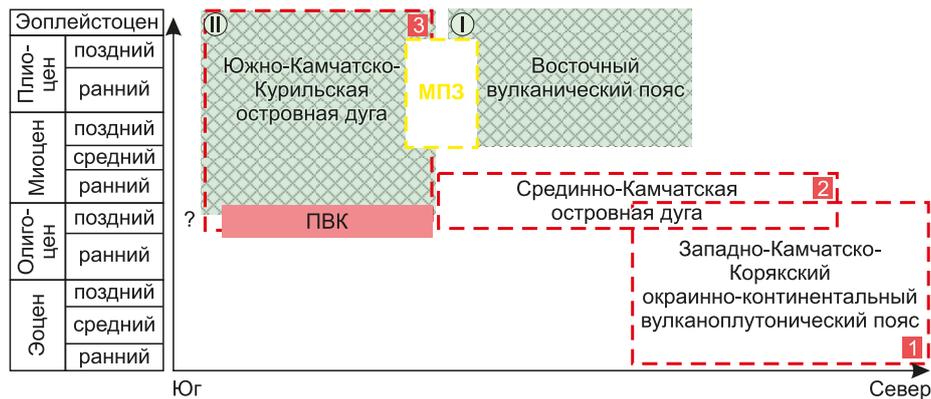


Рис. 3. Схема положения ПВК в эволюции разновозрастных дуг Камчатки. Зеленым цветом обозначена активная Курило-Камчатская островная дуга, состоящая из Восточного вулканического пояса и Южно-Камчатско-Курильской островной дуги (с привлечением данных [Avdeiko et al., 2001; Aprelkov et al., 1999; Dmitriev, Ezhov, 1977; Kovalenko, 2010; State Geological Map..., 2006]). Положение дуг и условные обозначения показаны на рис. 1. Положение ПВК в структуре Южной Камчатки дискуссионно и требует дальнейшего изучения.

Fig. 3. A schematic position of the Pribrezhny volcanic complex in the evolution of heterochronous arcs of Kamchatka. Green color shows active Kurile-Kamchatka Island Arc, which includes the Eastern volcanic belt and South Kamchatka – Kurile Island Arc. The data sources used herein are: [Avdeiko et al., 2001; Aprelkov et al., 1999; Dmitriev, Ezhov, 1977; Kovalenko, 2010; State Geological Map..., 2006]. Locations of the arcs and symbols are shown in Fig. 1. The position of the Pribrezhny volcanic complex in the structure of South Kamchatka is debatable and requires further study.

состава, туффитов, туфопесчаников, туфогравелитов, туфоконгломератов [State Geological Map..., 2006]. Интрузивные, субвулканические образования ПВК, большей частью сопряженные с покровными, представлены преимущественно телами диорит-порфириров, андезитов и дацитов, в меньшей степени – базальтов и андезибазальтов. Субвулканические тела представляют собой эродированные питающие системы вулканических аппаратов. В их строении участвуют и полнокристаллические разновидности пород, находящиеся в сложных фациально-фазовых соотношениях [State Geological Map..., 2006].

Соотношения ПВК с другими комплексами. Современная структура Курило-Камчатского региона определяется тремя кайнозойскими разновозрастными островодужными системами, которые маркируются разновозрастными вулканическими дугами: Срединно-Камчатской островной дугой, Южно-Камчатско-Курильской островной дугой и Западно-Камчатско-Корякским окраинно-континентальным вулканоплутоном (см. рис. 1, рис. 3) [Avdeiko et al., 2001; Kovalenko, 2010]. Современная Курило-Камчатская островодужная система состоит из трех сегментов: Восточно-Камчатского, Южно-Камчатского и Курильского, с разной историей тектонического развития и разными геодинамическими режимами [Avdeiko et al., 2001] (рис. 3). В пределах Южно-Камчатского сегмента примерно за 25 млн лет сформировался практически стационарный режим субдукции [Avdeiko et al., 2001, 2003] (рис. 3). ПВК находится в основании Южно-Камчатского сегмента. На севере залегание ПВК имеет тектонические ограничения, совпадающие с границами Малко-Петропавловской зоны поперечных дислокаций (МПЗ), а на западе ее залегание ограничено Паратунским грабеном [State Geological Map..., 2000] (см. рис. 1).

3. ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ ПВК В КОНТЕКСТЕ ЭВОЛЮЦИИ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ФОРМИРОВАНИИ МАГМАТИЗМА ЮЖНОЙ КАМЧАТКИ

Данный раздел подготовлен на основе обзора опубликованных работ и геологических отчетов. Изложение материала ведется в хронологическом порядке появления публикаций. Приводятся все доступные данные, свидетельствующие о составе, структурах обнажений, вскрытых со стороны Тихоокеанского побережья Южной Камчатки. Представлены палеогеографические реконструкции Южной Камчатки, подготовленные на основе изучения ПВК и вмещающих толщ олигоцен-миоценового возраста. Интерес вызывает эволюция представлений о возможных причинах, условиях формирования Южной Камчатки.

Первые данные об изучении отдельных интрузий появились в середине XX в. Так, в работе В.Я. Степанова [Stepanov, 1946] описаны границы Ахотенской интрузии, расположенной в юго-восточной части побережья Камчатки, между бухтой Тихирка и мысом Поворотным (см. рис. 2, а), в 70–80 км к югу от г. Петропавловска-Камчатского. Интрузивное тело с поперечником 8–9 км

вытянуто на 12–15 км в северо-западном направлении, совпадающем с простираем складчатости и окружающих его пород. Интрузию вмещает пологопадающая свита, содержащая миоценовую флору. Интрузия сложена в основном гранитами, а в узкой восточно-прибрежной части – монзонитами с подчиненными им на северном берегу Лиственничной бухты турмалиновыми микропегматитами. В 1967 г. С.Е. Априлков публикует наиболее полную работу о нахождении интрузивных тел на территории Южной Камчатки (рис. 4) [Aprelkov et al., 1967].

В середине и во второй половине прошлого столетия доминировала теория геосинклиналей в формировании Южной Камчатки [Aprelkov, 1971]. Так, согласно этой теории в меловую эпоху Южная Камчатка переживала геосинклинальный этап развития. На всей территории располагался геосинклинальный бассейн, в котором накапливались мощные толщи терригенных отложений. В палеогене возникает геосинклинальный прогиб, простирающийся от широты Шипунского полуострова до Ильинского полуострова. В конце палеогена по двум крупным тектоническим нарушениям северо-западного простираения развивается юго-восточный прогиб. Заложение этого прогиба сопровождалось складчатостью, обусловившей в поднятом блоке, соответствующем Ганальскому горсту-антиклинорию, появление структур и серий разломов северо-западного простираения. В начале нижнего миоцена прогиб охватил почти всю Южную Камчатку и, по-видимому, соединился с Восточно-Камчатским бассейном. Осадконакопление в прогибе происходило за счет размыва областей поднятия на месте Ганальского, Срединного хребтов и бассейна р. Авача (рис. 5).

Зона Берегового хребта, по мнению Н.В. Огородова [Ogorodov, 1980], имеет блоковое строение, сочетает в себе признаки моноклинали и сложно построенного горста: моноклинали структура осложнена вертикальными блоковыми движениями, проявившимися в конце плиоцена и в четвертичное время. Многочисленные тектонические нарушения, наличие мощных интрузивных комплексов, субвулканических тел, большое количество даек и, наконец, землетрясения, фиксируемые вдоль зоны, как отмечает Н.В. Огородов, свидетельствуют о большой тектонической активности этого района. Все это вместе взятое указывает на то, что зона Берегового хребта образует единую структурную единицу первого порядка на территории Южно-Камчатского мегаблока (по [Ogorodov, 1980]). В статье [Shapiro et al., 1987] авторы полагали, что после среднеэоценовой орогении, проявившейся, вероятно, в пределах всей Камчатки, процессы прогибания (погружения крупных блоков) захватили значительно большие площади. В различное время среднеэоцен-позднемиоценового этапа Западно-Камчатский, Восточно-Камчатский, Центральнo-Камчатский и Южно-Камчатский прогибы развиваются как унаследованные и наложенные структуры (рис. 6). В олигоцене Восточно-Камчатская и Западно-Камчатская вулканические

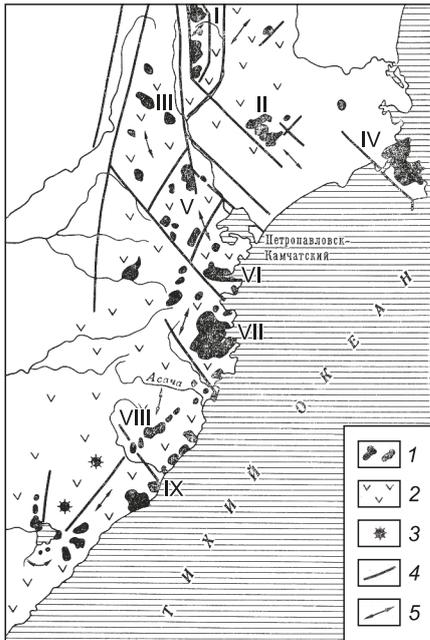


Рис. 4. Схема распространения миоценовых интрузий Южной Камчатки (по [Aprel'kov et al., 1967]).

1 – интрузивные тела: I – Авачинского хребта, II – р. Китхой, III – ручья Каменистого, IV – Шипунского полуострова, V – горы Глиняной, VI – бухты Саранной, VII – бухты Ахомтен, VIII – оз. Чаша; 2 – раннемиоценовая андезитовая формация; 3 – вулканы, в выбросах которых присутствуют интрузивные породы; 4 – крупные разломы; 5 – простирание складчатости.

Fig. 4. Scheme of the Miocene intrusions distribution on South Kamchatka [Aprel'kov et al., 1967].

1 – intrusive bodies of: I – Avacha Range, II – Kitkoi River, III – Kamenisty Creek, IV – Shipunsky Peninsula, V – Glynyanaya Mountain, VI – Sarannaya Bay, VII – Akhomten Bay, VIII – Lake Chasha; 2 – early Miocene andesitic formation; 3 – volcanoes with clasts of intrusive rocks in pyroclastic materials; 4 – major faults; 5 – folding strike.

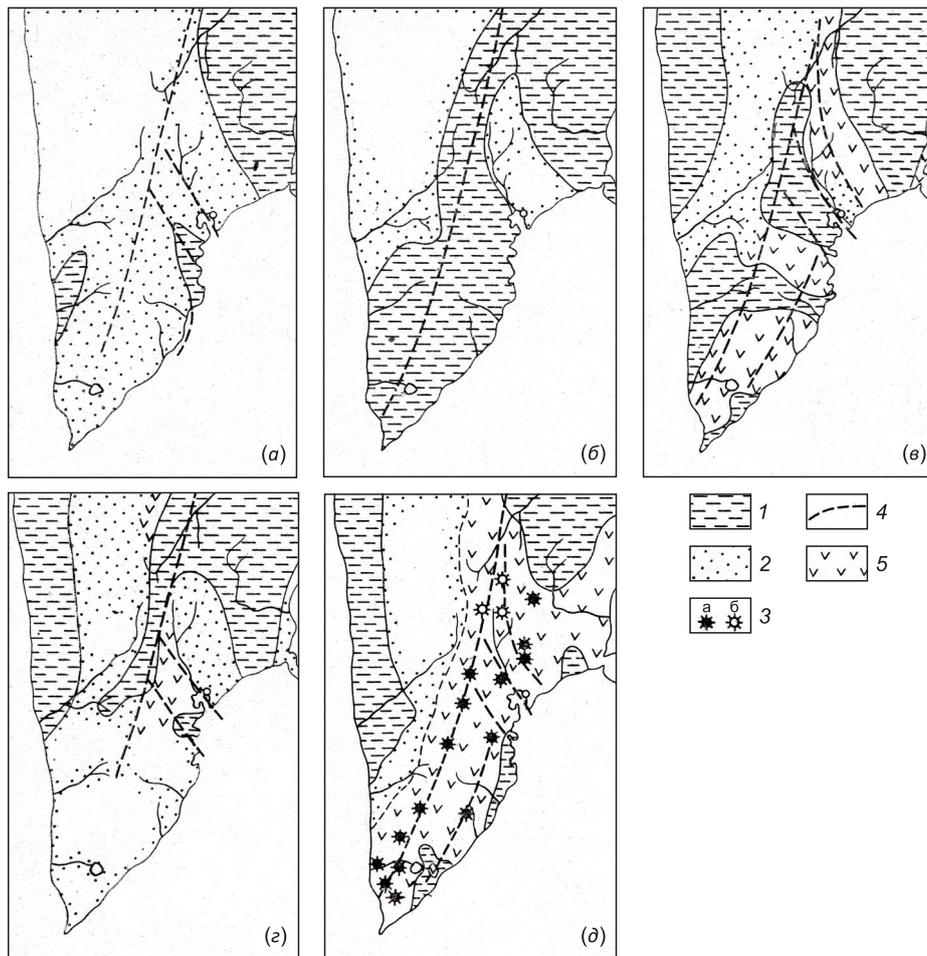


Рис. 5. Палеогеографическая схема развития Южной Камчатки (по [Aprel'kov, 1971]).

(а) – эоцен; (б) – олигоцен; (в) – нижний миоцен; (г) – средний миоцен; (д) – верхний неоген. 1 – области накопления морских осадков; 2 – области размыва; 3 – вулканы: а – установленные, б – предполагаемые; 4 – разломы; 5 – районы вулканизма.

Fig. 5. Paleogeographic scheme of the evolution of South Kamchatka [Aprel'kov, 1971].

(a) – Eocene; (б) – Oligocene; (в) – Lower Miocene; (г) – Middle Miocene; (д) – Upper Neogene. 1 – areas of marine deposition; 2 – areas of erosion; 3 – volcanoes: a – identified, б – inferred; 4 – faults; 5 – areas of volcanism.

зоны полностью отмерли и вулканизм сосредоточился в центральной, осевой, области полуострова и на юге Камчатки (рис. 7). На основании изложенных фактов была предложена схема тектонического районирования Камчатки (рис. 8). С точки зрения теории, геосинклинали объясняли и эволюционный ряд магм, и наличие ассимилированных пород в конце цикла с формированием гранитных массивов, туфов и игнимбритов [Demidov, 1973]. Образование гранитоидов, дифференциатов базальтовой магмы с признаками ассимилированных пород было связано с ранними этапами развития альпийской геосинклинали [Prokhorov, 1964].

Интересны первые попытки соединить теории геосинклиналей и плитной тектоники на примере изучения Камчатки [Avdeiko et al., 1976]. В работе [Sheimovich, Zubin, 1976] на основании содержания K_2O подтверж-

дается идея о глубинном (мантийном) происхождении магматических расплавов. Авторы связывают вариации химизма с изменением глубины генерации магматического вещества и подтверждают тем самым корреляцию с сейсмофокальной зоной (рис. 9).

Уже в более поздней работе [Zubin, Sheimovich, 1979] были детально изучены интрузии с Тихоокеанского побережья Камчатки, реконструированы предполагаемые источники. Отклонение данных (по содержанию K_2O) по миоценовым вулканитам от общего тренда авторы связывали с изменениями во времени исследуемой зависимости или с временными изменениями пространственных соотношений (другое положение желоба, фокального слоя, угол наклона фокального слоя). В статье [Zubin, Sheimovich, 1979] было выдвинуто предположение, что в миоценовое время в районе Южной Камчатки выход к поверхности фокального слоя

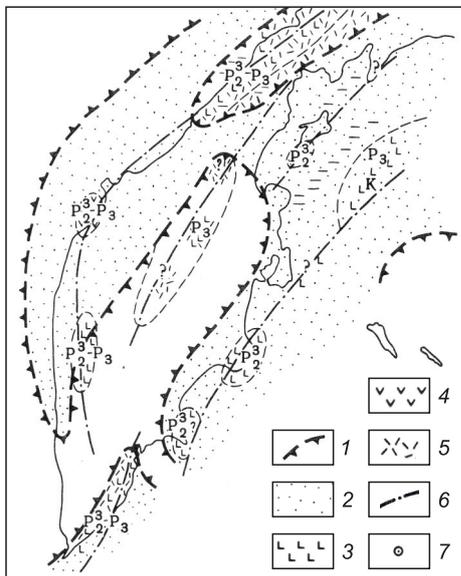


Рис. 6. Палеогеографическая схема Камчатки и прилегающих акваторий для позднего эоцена (по [Shapiro et al., 1987]).
1 – граница суши и моря; 2 – морские бассейны; 3 – базальты; 4 – андезиты; 5 – липариты и дациты; 6 – оси вулканических поясов; 7 – скважины.

Fig. 6. Paleogeographic scheme of Kamchatka and adjacent water areas for the Late Eocene [Shapiro et al., 1987].
1 – land and sea boundary; 2 – marine basins; 3 – basalts; 4 – andesites; 5 – liparites and dacites; 6 – axes of volcanic belts; 7 – boreholes.

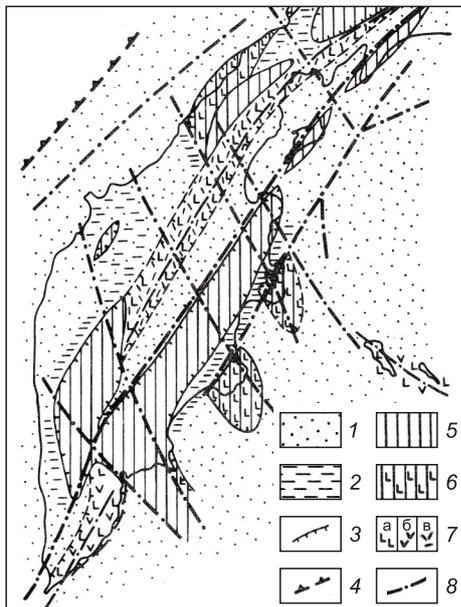


Рис. 7. Палеогеографическая схема (с элементами палеотектоники) Камчатки и прилегающих акваторий для среднего миоцена (по [Shapiro et al., 1987]).
1 – море; 2 – участки морского бассейна, периодически осушаемого в раннем и среднем миоцене; 3 – граница суши; 4 – граница предполагаемой Охотской суши; 5 – невулканические поднятия; 6 – области эоценовых вулканических поднятий; 7 – пояса субаэриального вулканизма: а – базальты, б – андезиты, в – липариты и дациты; 8 – основные разломы, определяющие дальнейшее развитие блоковой структуры региона.

Fig. 7. Paleogeographic scheme of Kamchatka and adjacent water areas for the Middle Miocene (with elements of paleotectonics, after [Shapiro et al., 1987]).
1 – sea; 2 – sections of the marine basin drained periodically in the Early and Middle Miocene; 3 – land boundary; 4 – boundary of the inferred Okhotsk land; 5 – non-volcanic uplifts; 6 – areas of Eocene volcanoes involved in uplift; 7 – belts of subaerial volcanism: a – basalts, б – andesites, в – liparites and dacites; 8 – major faults determining further development of the block structure in the region.

располагался на 50–100 км восточнее современного или имел больший угол наклона (70–80°) (рис. 10).

В более поздних работах В.С. Шеймович и М.Г. Патока [Sheimovich, Patoka, 1989], изучавшие береговые обрывы Тихоокеанского побережья Южной Камчатки, объединяли вулканические и интрузивные образования различного состава: от гранитов до габбро и от базальтов до риолитов в миоценовую андезитовую формацию, поскольку в изучаемых обнажениях доминировали породы с андезитовым составом. Авторы придерживались терминологии Е.К. Устиева [Ustiev, 1976] для классификации магматических комплексов в формации [Sheimovich, Patoka, 1989]. Породы формации находятся в сложных фациальных и секущих отношениях с миоценовыми терригенными отложениями. Такие взаимоотношения объясняются исследователями [Sheimovich, Patoka, 1989], прибрежно-морскими условиями вулканической аккумуляции в олигоцен-миоцене. Часть вулканитов находится в переслаивании с терригенными осадками, содержащими остатки миоценовой фауны. Используя данные геологической съемки, аэрофото- и морфологического дешифрирования, в работе [Sheimovich, Patoka, 1989] авторы рассматривают систему блоков-горстов, протягивающихся вдоль берега Южной Камчатки, как древнюю вулканическую цепь. По соотношениям ассоциаций магматических

фаций в каждом из этих блоков выявлены субвулканические интрузии и сопряженные с ними пространственно и во времени системы дайково-силловых полей и эффузивно-пирокластических образований. Каждый из блоков в итоге можно рассматривать как естественный магматический комплекс – руины палеовулканов, развивающихся в тектоническом отношении как единые блоки. На юге полуострова В.С. Шеймович и М.Г. Патока [Sheimovich, Patoka, 1989] выделили, исходя из принципа территориального нахождения ассоциации фаций, несколько магматических комплексов (с юга на север): Вестник, Малая Ходутка, Казанек, крестовый, правосачинский, мыса Асача, горы Мутная, ахотенский, песчаный, вилючинский (рис. 11).

Позже стали выделять завойковский, ахотенский и асачинский комплексы, которые включали в себя покровные вулканические и интрузивные субвулканические образования, развитые в прибрежной полосе Берегового хребта от Авачинской губы до бухты Вестник [State Geological Map..., 2000]. Данные абсолютного датирования, выполненные при геологическом картировании, позволили выделить раннюю и позднюю фазы комплекса [State Geological Map..., 2000]. Ранняя фаза представлена субвулканическими телами кислого состава, образования поздней фазы имеют андезибазальтовый состав. Тела ранней фазы сложены

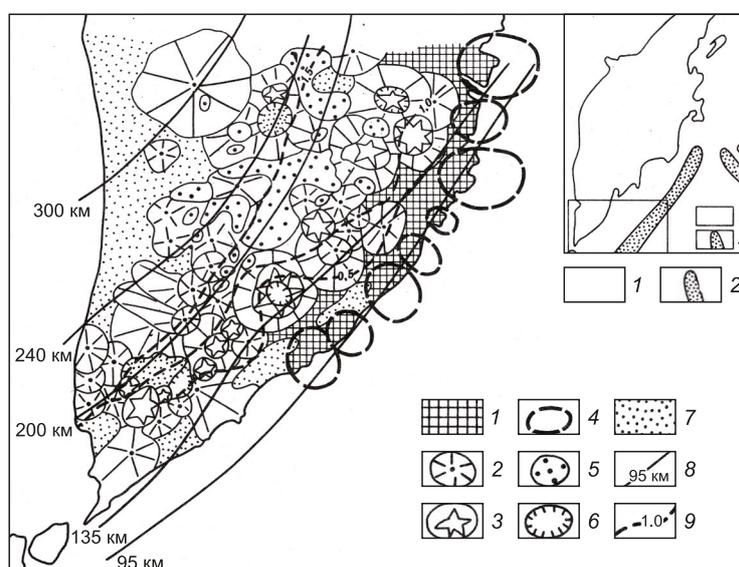


Рис. 10. Вулканические аппараты Южной Камчатки (по [Zubin, Sheimovich, 1979]).

1 – миоценовые вулканогенные образования; 2 – плиоценовые и нижнеплейстоценовые аппараты центрального типа; 3 – плейстоцен-голоценовые стратовулканы; 4 – предполагаемые границы миоценовых палеовулканов; 5 – поле ареального базальтового голоценового вулканизма; 6 – кальдеры и вулканотектонические депрессии; 7 – плейстоценовые морские, ледниковые и флювиальные отложения; 8 – изобаты фокального слоя; 9 – изолинии содержания K_2O в плиоценовых и четвертичных андезибазальтах (SiO_2 52–56 %) в аппаратах центрального типа. Обзорная схема: 1 – район исследований; 2 – глубоководные желоба.

Fig. 10. Volcanic edifices of South Kamchatka (after [Zubin, Sheimovich, 1979]).

1 – Miocene volcanogenic formations; 2 – Pliocene and Lower Pleistocene central-type edifices; 3 – Pleistocene-Holocene stratovolcanoes; 4 – inferred boundaries of the Miocene paleovolcanoes; 5 – a field of Holocene areal basaltic volcanism; 6 – calderas and volcano-tectonic depressions; 7 – Pleistocene marine, glacial and fluvial deposits; 8 – isobates of the focal layer; 9 – isolines of K_2O content in the Pliocene and Quaternary andesite-basalts (SiO_2 52–56 %) in central-type edifices. The overview diagram: 1 – the study area; 2 – deep-sea trenches.

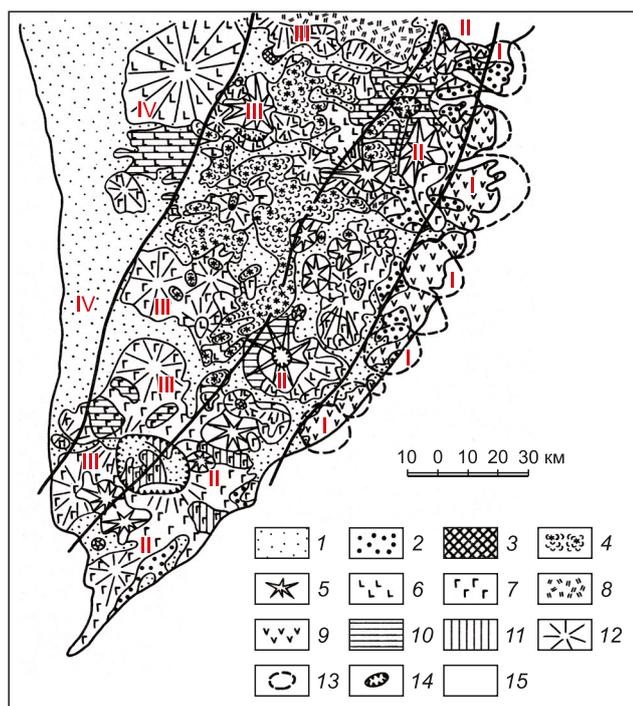


Рис. 11. Схема магматических формаций Южной Камчатки (по [Sheimovich, Patoka, 1989]).

1–3 – терригенные отложения: 1 – антропогенные, 2 – олигоцен-миоценовые, 3 – мезозойские образования; 4–9 – магматические формации: 4 – базальтовая голоценовая (ареального вулканизма), 5 – андезибазальтовая плейстоценовая (стратовулканов), 6 – базальтовая и раннеплейстоценовая, 7 – андезибазальтовая плиоценовая, 8 – липарито-дацитовая миоцен-плиоценовая, 9 – андезитовая миоценовая; 10–11 – фазы формаций: 10 – поздние, 11 – ранние; 12 – миоцен-раннечетвертичные аппараты; 13 – условные границы миоценовых комплексов; 14 – кальдеры; 15 – границы региональных вулканических цепей. Вулканические цепи: I – Ахомтенская, II – Ильинская, III – Гольгинская, IV – Явинская.

Fig. 11. Scheme of magmatic formations of South Kamchatka (after [Sheimovich, Patoka, 1989]).

1–3 – terrigenous deposits: 1 – anthropogenic, 2 – Oligocene-Miocene, 3 – Mesozoic formations; 4–9 – igneous formations: 4 – Holocene basalt (areal volcanism), 5 – Pleistocene andesite-basalt (stratovolcanoes), 6 – Early Pleistocene basalt, 7 – Pliocene andesite-basalt, 8 – Miocene-Pliocene liparite-dacite, 9 – Miocene andesite; 10–11 – formation phases: 10 – late, 11 – early; 12 – Miocene – Early Quaternary edifices; 13 – conditional boundaries of the Miocene complexes; 14 – calderas; 15 – boundaries of regional volcanic chains. Volcanic chains: I – Akhomten, II – Ilyinsky, III – Golygin, IV – Yavinsky.

дацитами и туффизитами дацитового состава. Цепь небольших (около 1 км^2) куполообразных тел северо-западного простирания протягивается от устья р. Малый Вилюй к мысу Безымянный. Возраст образований 9.63 и 10.8 млн лет, что практически в два раза моложе субвулканических тел поздней стадии. Поздняя стадия представлена покровной фацией и фацией субвулканических интрузий, которые сложены андезитами, диорит-порфиритами, долеритами и занимают большую часть завойковского вулканического комплекса. Если на северном берегу Авачинской губы они образуют преимущественно небольшие тела и дайковые системы в береговых обрывах, то в долинах рек Левая и Правая Сельдевая, Большой и Малый Вилюй и Малая Саранная они образуют значительные по площади выходы. Возраст магматических тел находится в пределах 12.5–18.4 млн лет. Вмещающими породами являются отложения пресноводной толщи вичаевской серии олигоцен-миоценового возраста. В отложениях определены как пресноводные (озерные), так и прибрежно-морские диатомеи. Представленные данные обозначили проблему соотношений возрастов первой и второй фазы и несоответствия геологических данных и результатов геохронологического датирования [State Geological Map..., 2000]. В 2006 г. узкую дуговую цепь вулканических массивов вдоль Тихоокеанского побережья стали выделять в ПВК [State Geological Map..., 2006].

4. АКТУАЛЬНОСТЬ И ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПВК

Актуальность исследования ПВК определяется тем, что с развитием идеи тектоники плит геодинамическая история формирования Южной Камчатки связы-

вается с аккрецией Кроноцкой позднемиоценовой внутритрокеанической дуги (рис. 12), при этом не совсем понятны границы причленившегося островодужного террейна и северного обрамления миоценового ПВК [Avdeiko, Bergal-Kuvikas, 2015; Lander, Shapiro, 2007; Ponomarev et al., 2003; Savelyev, 2005; Shapiro, Soloviev, 2011; Vaes et al., 2019]. Так, в работе [Lander, Shapiro, 2007] граница причленения соответствует Авачинской губе. Ранее Д.П. Савельев [Savelyev, 2005] также предположил, что МПЗ образовалась за счет аккреции Кроноцкой палеодуги. В публикации [Avdeiko, Bergal-Kuvikas, 2015] граница причленения показана условно. В то же время Г.П. Пономарев с коллегами [Ponomarev et al., 2003], изучая гидротермальную деятельность о. Уташуд на юге Камчатки, и вовсе предполагают обрамление Кроноцкой палеодуги значительно южнее МПЗ.

Следующая проблема исследований связана с тем, что в некоторых источниках информации [Vaes et al., 2019] указаны разные геологические формирования на областях распространения ПВК.

Все современные тектонические реконструкции северо-западной Пацифики основаны на палеомагнитных данных, в том числе по Северной Камчатке [Kovalenko, Chernov, 2003; Levashova et al., 2000; Vaes et al., 2019]. В то же время на Южной Камчатке широко распространены кайнозойские магматические комплексы, структурная позиция и геодинамическая обстановка формирования которых до сих пор не определены [Vaes et al., 2019]. Предполагается, что в эоценовое время (~50–45 млн лет назад) изменение движения Тихоокеанской плиты привело к началу субдукции вдоль ее современных западных желобов. Предполагается, что субдукция началась либо спонтанно, либо

в результате субдукции Изанаги-Тихоокеанского срединно-океанического хребта, либо в результате смены полярности субдукции после столкновения Олюторской дуги, возникшей на Тихоокеанской плите, с Северо-Восточной Азией. Показано, что внутриокеанические Олюторская и Кроноцкая дуги сформировались над двумя соседними, противоположно падающими зонами субдукции около 85 млн лет назад в пределах северной части Тихого океана. Реконструкция взаимоотношений Кроноцкой дуги и Камчатки за последние 30 млн лет показана на рис. 12. Для ее составления использованы [Vaes et al., 2019] геологические, кинематические и палеомагнитные данные. В конце эоцена (35 млн лет назад) позднемеловая внутриокеаническая Кроноцкая дуга была расположена в более чем 1000 км к востоку от Камчатки, под которую шла субдукция Тихоокеанской плиты. Субдукция привела к миграции дуги в западном направлении и столкновению с Камчаткой.

Изучение ПВК также важно для сейсмического районирования, так как часть районов г. Петропавловска-Камчатского локализованы в его пределах. МПЗ наложена на образования завойковского вулканического комплекса, который является вмещающей толщей для магмоподводящих каналов моногенного вулканизма [Bergal-Kuvikas et al., 2022a, 2022b]. Проявление моно-

генного вулканизма, возможно, трассирует границу между двумя сегментами Камчатки, сформировавшимися в разных геодинамических обстановках [Gordeev, Bergal-Kuvikas, 2022]. Данные сейсмической томографии также свидетельствуют о глубинном разломе, маркирующем границу слэба и формирующем Авачинский грабен [Bushenkova et al., 2023]. Значительные деформации остатков завойковского комплекса объяснимы наложенными структурами разрывных нарушений МПЗ и большими подвижками земной коры, зафиксированными ранее в северном обрамлении Авачинской бухты [Churikov, Kuzmin, 1998].

Исследование ПВК крайне интересно и ввиду изучения генезиса кислого вулканизма Южной Камчатки. Значительная часть кальдерных комплексов локализована на Южной Камчатке [Bindeman et al., 2010], где в голоцене неоднократно происходили мощные извержения – источники маркирующих горизонтов тефры [Braitseva et al., 1997]. Кальдеры четвертичного возраста закладывались на основании миоценовой андезитовой формации [Sheimovich, Patoka, 1989] и потенциально могли быть ассимилянтами и контаминантами кислых магм. Так, по данным В.С. Шеймовича [Sheimovich, 1975], гранитоидные ксенолиты вулкана Ходутка соответствуют ахотенскому комплексу миоценовой андезитовой формации. Значительные

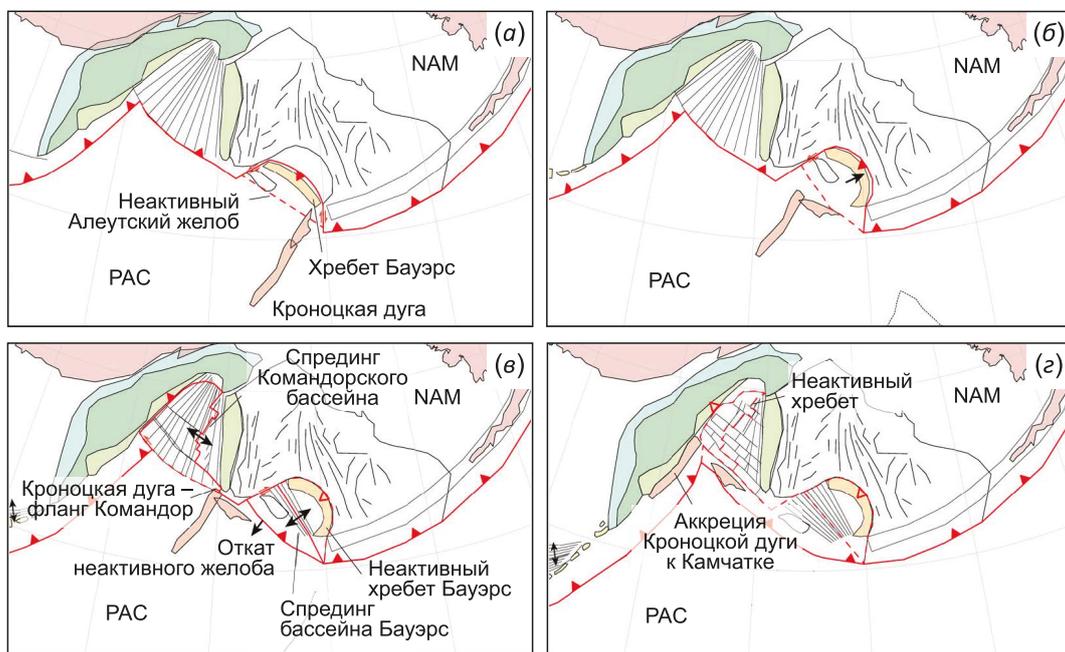


Рис. 12. Плитно-кинематическая реконструкция Берингоморского региона на 35 (а), 25 (б), 20 (в) и 10 (г) млн лет [Vaes et al., 2019].

Черная пунктирная линия представляет реконструированное положение края литосферы Тихоокеанской плиты, которая в настоящее время погружается под Курило-Камчатский и Алеутский желоб к юго-востоку от Камчатки. Красные пунктирные линии обозначают границы вымерших плит. Красные линии с залитыми/незалитыми треугольниками указывают на активную/вымершую зоны субдукции. Сокращения: NAM – Северо-Американская плита; PAC – Тихоокеанская плита.

Fig. 12. The plate kinematic reconstruction of the Bering Sea region for 35 (a), 25 (b), 20 (c), and 10 (d) Ma [Vaes et al., 2019]. The dashed black line represents the reconstructed location of the edge of the Pacific plate lithosphere that is presently subducting beneath the Kuril-Kamchatka and Aleutian trenches southeast of Kamchatka. Dashed red lines indicate extinct plate boundaries. Red filled/blank triangles indicate active/extinct subduction zones. Abbreviations: NAM – North American plate; PAC – Pacific plate.

объемы кислой пирокластики отдельных вулканических центров Южной Камчатки были сформированы благодаря интенсивным процессам ассимиляции и контаминации [Bindeman et al., 2019; Davydova et al., 2022; Volynets et al., 1999]. Таким образом, изучение ПВК внесет значимый вклад в понимание генезиса вариаций магм кальдерных комплексов Южной Камчатки.

Интересна проблема формирования перехода от континентальной окраины Камчатки к островной дуге Курильских островов. По данным сейсмотомографии и геофизических параметров слэба Курильские острова и Южная Камчатка находятся под влиянием единого субдукционного процесса. Однако наличие в основании Южной Камчатки ПВК способствует формированию активной континентальной окраины с мощной земной корой [Bergal-Kuvikas et al., 2023].

5. ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ РЕШЕНИЯ НАУЧНЫХ ПРОБЛЕМ ИЗУЧЕНИЯ ПВК

Для идентификации вещественного состава и границ распространения миоценовых магматических пород ПВК и позднемиоценовых магматических пород Кроноцкого островодужного террейна необходима организация полевых и аналитических исследований. Детальное картирование зоны сочленения ПВК и Кроноцкого террейна позволит уточнить возраст и кинематику их взаимоотношения. Отбор каменного материала магматических пород поможет определить их основные минералогические разновидности и выявить потенциально интересные образцы для изотопно-геохимических исследований. Определение редких элементов и изотопов стронция, неодима, свинца позволит установить природу магматизма в сравнении с разновозрастными сериями вулканитов Южной Камчатки. Полученные данные будут востребованы для изучения условий магмогенерации кислого вулканизма Южной Камчатки и моногенного вулканизма МПЗ. Палеомагнитные исследования, наряду с определениями абсолютного возраста пород, помогут реконструировать палеошироту формирования ПВК и восстановить геодинамическую эволюцию формирования Южной Камчатки.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе анализа опубликованных данных и геологических отчетов проведен обзор представлений о формировании ПВК Южной Камчатки. Обобщение данных позволило выделить следующие основные проблемы в изучении ПВК: 1) неопределенность границ распространения и особенно взаимоотношения с позднемиоценовыми магматическими породами Кроноцкого островодужного террейна, 2) неясность временных интервалов образования, 3) отсутствие минералогических и изотопно-геохимических исследований магматических пород, 4) слабая изученность условий формирования в контексте развития магматизма Южной Камчатки. Изучение ПВК актуально в вопросах исследований генерации кислого вулканизма Южной

Камчатки, моногенного вулканизма МПЗ и в вопросах формирования перехода от континентальной окраины Южной Камчатки к островной дуге Курильских островов.

7. ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ / CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку рукописи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Both authors made an equivalent contribution to this article, read and approved the final manuscript.

8. РАСКРЫТИЕ ИНФОРМАЦИИ / DISCLOSURE

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанного с этой рукописью.

Both authors declare that they have no conflicts of interest relevant to this manuscript.

9. ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Aprelkov S.E., 1971. Tectonic and History of Volcanism on Southern Kamchatka. *Geotectonics* 6 (2), 47–61 (in Russian) [Апрелков С.Е. Тектоника и история вулканизма Южной Камчатки // Геотектоника. 1971. Т. 6. № 2. С. 47–61].

Aprelkov S.E., Dolmatov B.K., Slepov Yu.M., Sheimovich V.S., 1967. Miocene Intrusions of Granitoids of South Kamchatka. In: S.I. Naboko (Ed.), *Volcanism and Geochemistry of Its Products*. Nauka, Moscow, p. 145–157 (in Russian) [Апрелков С.Е., Долматов Б.К., Слепов Ю.М., Шеймович В.С. Миоценовые интрузии гранитоидов Южной Камчатки // Вулканизм и геохимия его продуктов / Ред. С.И. Набоко. М.: Наука, 1967. С. 145–157].

Aprelkov S.E., Ivanov B.V., Popruzhenko S.V., 1999. Tectonics and Geodynamic Evolution of Southeastern Pleistocene-Holocene Monogenetic Volcanism at the Malko-Petropavlovsk Zone Kamchatka (Petropavlovsk Geodynamic Ground). *Russian Journal of Pacific Geology* 18 (4), 16–28 (in Russian) [Апрелков С.Е., Иванов Б.В., Попруженко С.В. Тектоника и геодинамическая эволюция Юго-Восточной Камчатки (Петропавловский геодинамический полигон) // Тихоокеанская геология. 1999. Т. 18. № 4. С. 16–28].

Avdeiko G.P., Bergal-Kuvikas O.V., 2015. The Geodynamic Conditions for the Generation of Adakites and Nb-Rich Basalts (NEAB) in Kamchatka. *Journal of Volcanology and Seismology* 9, 295–306. <https://doi.org/10.1134/S0742046315050024>.

Avdeiko G.P., Palueva A.A., Khleborodova O.A., 2006. Geodynamic Conditions of Volcanism and Magma Formation in the Kurile-Kamchatka Island-Arc System. *Petrology* 14, 230–246. <https://doi.org/10.1134/S0869591106030027>.

Avdeiko G.P., Popruzhenko S.V., Palueva A.A., 2001. Modern Structure of the Kurile-Kamchatka Region and Magma Forming Conditions. In: B.V. Ivanov (Ed.), *Geodynamics and Volcanism of the Kuril-Kamchatka Island-Arc System*. Institute of Volcanic Geology and Geochemistry FEB RAS,

Petropavlovsk-Kamchatsky, p. 9–33 (in Russian) [Авдейко Г.П., Попруженко С.В., Палуева А.А. Современная тектоническая структура Курило-Камчатского региона и условия магмообразования // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы / Ред. Б.В. Иванова. Петропавловск-Камчатский: ИВГИГ ДВО РАН, 2001. С. 9–33].

Avdeiko G.P., Saveliev D.P., Popruzhenko S.V., Palueva A.A., 2003. The Principle of Actualism: Criteria for Paleotectonic Reconstructions on the Example of the Kuril-Kamchatka Region. Bulletin of Kamchatka Regional Association "Educational-Scientific Center". Earth Sciences 1, 32–59 (in Russian) [Авдейко Г.П., Савельев Д.П., Попруженко С.В., Палуева А.А. Принцип актуализма: критерии для палеотектонических реконструкций на примере Курило-Камчатского региона // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2003. № 1. С. 32–59].

Avdeiko G.P., Skripko K.A., Ponomarev G.P., 1976. Main Features of the Geosynclinal Volcanism in Kamchatka. In: Deep Structure, Magmatism and Metallogeny of the Pacific Volcanic Belts. Brief Theses of the All-Union Symposium. Vladivostok, p. 131–132 (in Russian) [Авдейко Г.П., Скрипко К.А., Пономарев Г.П. Основные черты вулканизма геосинклинальных поясов Камчатки // Глубинное строение, магматизм и металлогения Тихоокеанских вулканических поясов: Краткие тезисы Всесоюзного симпозиума. Владивосток, 1976. С. 131–132].

Bergal-Kuvikas O., Bindeman I., Chugaev A., Larionova Yu., Perepelov A., Khubaeva O., 2022a. Pleistocene-Holocene Monogenetic Volcanism at the Malko-Petropavlovsk Zone of Transverse Dislocations on Kamchatka: Geochemical Features and Genesis. Pure and Applied Geophysics 179, 3989–4011. <https://doi.org/10.1007/s00024-022-02956-7>.

Bergal-Kuvikas O.V., Buslov M.M., Bushenkova N.A., Dolgaya A.A., 2023. Transition from the Continental Margin of Kamchatka to the Island Arc of the Kurile Islands: Features of Volcanism, Crustal Deformation and Geophysical Parameters of the Slab. Russian Geology and Geophysics 64 (10), 1227–1240. <https://doi.org/10.2113/RGG20234558>.

Bergal-Kuvikas O.V., Latyshev A.V., Anosova M.B., Latanova E.A., 2022b. Expedition to Study the Miocene Igneous Rocks of South Kamchatka. Bulletin of Kamchatka Regional Association "Educational-Scientific Center". Earth Sciences 56 (4), 123–129 (in Russian) [Бергаль-Кувикас О.В., Латышев А.В., Аносова М.Б., Латанова Е.А. Экспедиция по изучению миоценовых магматических пород Южной Камчатки // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2022. Вып. 56. № 4. С. 123–129]. <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2022-4-56-123-129>.

Bindeman I.N., Leonov V.L., Colón D.P., Rogozin A.N., Shipley N., Jicha B., Gerya T.V., 2019. Isotopic and Petrologic Investigation, and a Thermomechanical Model of Genesis of Large-Volume Rhyolites in Arc Environments: Karymshina Volcanic Complex, Kamchatka, Russia. Frontiers in Earth Science 6, 238. <https://doi.org/10.3389/feart.2018.00238>.

Bindeman I.N., Leonov V.L., Izbekov P.E., Ponomareva V.V., Watts K.E., Shipley N.K., Chen C.H., 2010. Large-Volume Silicic Volcanism in Kamchatka: Ar-Ar and U-Pb Ages, Isotopic,

and Geochemical Characteristics of Major Pre-Holocene Caldera-Forming Eruptions. Journal of Volcanology and Geothermal Research 189 (1–2), 57–80. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2009.10.009>.

Braitseva O.A., Ponomareva V.V., Sulerzhitsky L.D., Melekestsev I.V., Bailey J., 1997. Holocene Key-Marker Tephra Layers in Kamchatka, Russia. Quaternary Research 47 (2), 125–139. <https://doi.org/10.1006/qres.1996.1876>.

Bushenkova N., Koulakov I., Bergal-Kuvikas O., Shapiro N., Gordeev E., Chebrov D., Abkadyrov I., Jakovlev A., Stupina T., Novgorodova A., Droznina S., Huang H., 2023. Connections between Arc Volcanoes in Central Kamchatka and the Subducting Slab Inferred from Local Earthquake Seismic Tomography. Journal of Volcanology and Geothermal Research 435, 107768. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2023.107768>.

Churikov V.A., Kuzmin Y.O., 1998. Relation between Deformation and Seismicity in the Active Fault Zone of Kamchatka, Russia. Geophysical Journal International 133 (3), 607–614. <https://doi.org/10.1046/j.1365-246X.1998.00511.x>.

Davydova V.O., Bindeman I.N., Shchekleina M.D., Rychagov S.N., 2022. Pauzhetka Caldera (South Kamchatka): Exploring Temporal Evolution and Origin of Voluminous Silicic Magmatism. Petrology 30, 462–478. <https://doi.org/10.1134/S0869591122050022>.

Demidov N.G., 1973. Geosynclinal Volcanism of Kamchatka. In: Materials of First All-Union Paleovolcanological Meeting. P. 134–136 (in Russian) [Демидов Н.Г. Геосинклинальный вулканизм Камчатки // Материалы первого всесоюзного палеовулканологического совещания. 1973. С. 134–136].

Dmitriev V.D., Ezhov B.V., 1977. About Question of Genesis of Avacha Bay. Questions of Geography of Kamchatka 7, 45–47 (in Russian) [Дмитриев В.Д., Ежов Б.В. К вопросу о происхождении Авачинской губы // Вопросы географии Камчатки. 1977. Т. 7. С. 45–47].

Gordeev E.I., Bergal-Kuvikas O.V., 2022. Structure of the Subduction Zone and Volcanism in Kamchatka. Doklady Earth Sciences 502, 21–24. <https://doi.org/10.1134/S1028334X22020088>.

Koloskov A.V., Kovalenko D.V., 2009. New Age Data for Cainozoic Magmatism in Kamchatka. Bulletin of Kamchatka Regional Association "Educational-Scientific Center". Earth Sciences 13 (1), 83–88 (in Russian) [Колосков А.В., Коваленко Д.В. Новые возрастные датировки проявления кайнозойского магматизма на Камчатке // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2009. Вып. 13. № 1. С. 83–88].

Konstantinovskaia E.A., 2001. Arc-Continent Collision and Subduction Reversal in the Cenozoic Evolution of the Northwest Pacific: An Example from Kamchatka (NE Russia). Tectonophysics 333 (1–2), 75–94. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(00\)00268-7](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(00)00268-7).

Kovalenko D.V., 2010. Tectonics and Magmatism of Kamchatka. Lithosphere 3, 51–60 (in Russian) [Коваленко Д.В. Тектоника и магматизм Камчатки // Литосфера. 2010. № 3. С. 51–60].

Kovalenko D.V., Chernov E.E., 2003. Paleomagnetism and Tectonic Evolution of Kamchatka and the South of Koryakia. *Pacific Geology* 22 (3), 48–73 (in Russian) [Коваленко Д.В., Чернов Е.Е. Палеомагнетизм и тектоническая эволюция Камчатки и юга Корякии // Тихоокеанская геология. 2003. Т. 22. № 3. С. 48–73].

Lander A.V., Shapiro M.N., 2007. The Origin of the Modern Kamchatka Subduction Zone. In: J. Eichelberger, E. Gordeev, P. Izbekov, M. Kasahara, J. Lees (Eds), *Volcanism and Subduction: The Kamchatka Region*. Vol. 172. American Geophysical Union, p. 57–64. <https://doi.org/10.1029/172GM05>.

Levashova N.M., Shapiro M.N., Beniamovsky V.N., Bazhenov M.L., 2000. Paleomagnetism and Geochronology of the Late Cretaceous Paleogene Island Arc Complex of the Kronotsky Peninsula, Kamchatka, Russia: Kinematic Implications. *Tectonics* 19 (5), 834–851. <https://doi.org/10.1029/1998TC001087>.

Ogorodov N.V., 1980. Modern Structure and Position of Quaternary Volcanoes. In: *Long-Living Center of Endogenous Activity of Southern Kamchatka*. Nauka, Moscow, p. 19–28 (in Russian) [Огородов Н.В. Современная структура и положение четвертичных вулканов // Долгоживущий центр эндогенной активности Южной Камчатки. М.: Наука, 1980. С. 19–28].

Ponomarev G.P., Rashidov V.A., Aprelkov S.E., Delemen' I.F., Popruzhenko S.V., Volynets G.O., Novakov P.M., Filosofova T.M., Mel'nikov D.V., Dirksen O.V., Pavlukov V.K., 2003. Possible Evidence of Present-Day Gas-Hydrothermal Activity on the Pacific Shelf of the South Kamchatka. *Bulletin of Kamchatka Regional Association "Educational-Scientific Center"*. *Earth Sciences* 1, 89–102 (in Russian) [Пономарев Г.П., Рашидов В.А., Апрельков С.Е., Делемень И.Ф., Попруженко С.В., Волюнец Г.О., Новаков Р.М., Философова Т.М., Мельников Д.В., Дирксен О.В., Павлюков В.К. Возможные причины и признаки современной газогидротермальной деятельности на Тихоокеанском шельфе Южной Камчатки и ее геоструктурная приуроченность // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2003. № 1. С. 89–102].

Prokhorov K.V., 1964. Tertiary Granitoids of Kamchatka. Nauka, Moscow, 133 p. (in Russian) [Проخورов К.В. Третичные гранитоиды Камчатки. М.: Наука, 1964. 133 с.].

Savelyev D.P., 2005. Petropavlovsk-Malkinskaya Zone of Transverse Dislocations as a Result of the Attachment of the Kronotsky Paleoarc. In: *Proceedings of the Conference Dedicated to Volcanologists Day (March 30 – April 1, 2005)*. Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, p. 19–22 (in Russian) [Савельев Д.П. Петропавловско-Малкинская зона поперечных дислокаций как результат приращения Кронотской палеодуги // Материалы ежегодной конференции, посвященной Дню вулканолога (30 марта – 1 апреля 2005 г.). Петропавловск-Камчатский: Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, 2005. С. 19–22].

Shapiro M.N., Ermakov V.A., Shantser A.E., Shuldiner V.I., Khanchuk A.I., Vysotsky S.V., 1987. Essays on the Tectonic Development of Kamchatka. Nauka, Moscow, 247 p. (in Russian) [Шапи́ро М.Н., Ермаков В.А., Шанцер А.Е., Шульдинер В.И., Ханчук А.И., Высоцкий С.В. Очерки тектонического развития Камчатки. М.: Наука, 1987. 247 с.].

Shapiro M.N., Soloviev A.V., 2011. Cenozoic Volcanic Rocks of North Kamchatka: In Search of Subduction Zones. *Geotectonics* 45, 210–224. <https://doi.org/10.1134/S0016852111030071>.

Sheimovich V.S., 1975. Granitoid Xenoliths of the Khodutka Volcano (Southern Kamchatka). *Bulletin of the USSR Academy of Sciences. Geological Series* 11, 127–132 (in Russian) [Шеймович В.С. Гранитоидные ксенолиты вулкана Ходутка (Южная Камчатка) // Известия АН СССР. Серия геологическая. 1975. № 11. С. 127–132].

Sheimovich V.S., Patoka M.G., 1989. Geological Structure of Active Zone of Cenozoic Volcanism. Nedra, Moscow, 207 p. (in Russian) [Шеймович В.С., Патока М.Г. Геологическое строение зон активного кайнозойского вулканизма. М.: Недра, 1989. 207 с.].

Sheimovich V.S., Zubin M.I., 1976. Structure of the Earth Crust and Geochemistry of the Late Cenozoic Volcanoes from the Southern Kamchatka. *Doklady of the USSR Academy of Sciences* 230 (4), 934–937 (in Russian) [Шеймович В.С., Зубин М.И. Структура земной коры и петрохимия позднекайнозойских вулканов юга Камчатки // Доклады АН СССР. 1976. Т. 230. № 4. С. 934–937].

State Geological Map of the Russian Federation, 2000. *Yuzhno-Kamchatskaya Series*. Scale 1:200000. Sheets N-57-XXI (Northern Koryaki), N-57-XXVII (Petropavlovsk-Kamchatsky), N-57-XXXIII (Mutnovskaya Sopka). Explanatory Note. VSEGEI Publishing House, Saint Petersburg, 302 p. (in Russian) [Государственная геологическая карта Российской Федерации. Серия Южно-Камчатская. Масштаб 1:200000. Листы N-57-XXI (Северные Коряки), N-57-XXVII (Петропавловск-Камчатский), N-57-XXXIII (сopка Мутновская): Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2000. 302 с.].

State Geological Map of the Russian Federation, 2006. *Koryaksko-Kamchatskaya Series*. Scale 1:1000000. Sheet N-57. Explanatory Note. VSEGEI Publishing House, Saint-Petersburg, 376 p. (in Russian) [Государственная геологическая карта Российской Федерации. Серия Корякско-Камчатская. Масштаб 1:1000000. Лист N-57: Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2006. 376 с.].

Stepanov V.Ya., 1946. Ahomten Neointrusion in Kamchatka. In: *To Academician Dmitry Stepanovich Belyankin on the Occasion of His Seventieth Birthday and Forty-Fifth Anniversary of Scientific Activity*. Collected Papers. Publishing House of the USSR Academy of Science, Moscow, p. 398–414 (in Russian) [Степанов В.Я. Ахомтенская неointрузия на Камчатке // Академику Дмитрию Степановичу Белянкину к семидесятилетию со дня рождения и сорокапятилетию научной деятельности: Сборник статей. М.: Изд-во АН СССР, 1946. С. 398–414].

Ustiev E.K., 1976. Some Basic Concepts and Terms in the Study of Magmatic Formations. *Bulletin of the USSR Academy of Sciences. Geological Series* 10, 47–68 (in Russian) [Устиев Е.К. Некоторые основные понятия и термины в учении о магматических формациях // Известия АН СССР. Серия геологическая. 1976. № 10. С. 47–68].

Vaes B., Van Hinsbergen D.J., Boschman L.M., 2019. Reconstruction of Subduction and Back-Arc Spreading in the NW Pacific and Aleutian Basin: Clues to Causes of Cretaceous and Eocene Plate Reorganizations. *Tectonics* 38 (4), 1367–1413. <https://doi.org/10.1029/2018TC005164>.

Volynets O.N., Ponomareva V.V., Braitseva O.A., Melekes-tsev I.V., Chen C.H., 1999. Holocene Eruptive History of Ksudach Volcanic Massif, South Kamchatka: Evolution of a Large Magmatic Chamber. *Journal of Volcanology and*

Geothermal Research 91 (1), 23–42. [https://doi.org/10.1016/S0377-0273\(99\)00049-9](https://doi.org/10.1016/S0377-0273(99)00049-9).

Zubin M.I., Sheimovich V.S., 1979. On the Content of K_2O in Volcanic Rocks in Connection with the Geostructural Features of South Kamchatka. *Doklady of the USSR Academy of Sciences* 246 (5), 1195–1198 (in Russian) [Зубин М.И., Шеймович В.С. О содержании K_2O в вулканитах в связи с геоструктурными особенностями Южной Камчатки // Доклады АН СССР. 1979. Т. 246. № 5. С. 1195–1198].