

УДК 551.21

РОЛЬ ЗАДУГОВОГО БАСЕЙНА В ФОРМИРОВАНИИ ГЕТЕРОГЕННОСТИ СЛЭБА И ПРОИСХОЖДЕНИИ ВУЛКАНИЗМА КУРИЛО-КАМЧАТСКОЙ ОСТРОВНОЙ ДУГИ

© 2024 г. О. В. Бергаль-Кувикас^{1,*}, академик РАН Е. И. Гордеев¹,
член-корреспондент РАН И. Ю. Кулаков^{2,3}

Поступило 10.01.2024 г.

После доработки 14.02.2024 г.

Принято к публикации 20.02.2024 г.

Проведён анализ проявлений вулканизма вдоль Курило-Камчатской островной дуги (ККОД). На основании геофизических наблюдений показаны вариации параметров слэба. Изменение угла наклона слэба формирует различную ширину вулканического пояса на севере и юге ККОД. Резкие изменения скорости движения слэба в центральном сегменте ККОД, возможно, генерируют рифтовую систему пролива Буссоль. Высказывается предположение о доминирующей роли задугового бассейна в формировании различных параметров слэба и проявлений вулканизма вдоль ККОД.

Ключевые слова: слэб, вулканизм, задуговой бассейн, Курильские острова, южная Камчатка, Хоккайдо

DOI: 10.31857/S2686739724060126

ВВЕДЕНИЕ

Курило-Камчатская островная дуга (ККОД) образует северо-западное звено Тихоокеанского Огненного Кольца. ККОД простирается от Мало-Петропавловской зоны поперечных дислокаций на Камчатке до сочленения с северо-восточной дугой Хонсю на о. Хоккайдо (рис. 1). В пределах Курил выделено 36 активных наземных вулканов [1] и 116 подводных вулканов четвертичного возраста [2]. Большая часть вулканов скрыта под водой, некоторые вулканы образуют изолированные острова, активность других можно идентифицировать только по находкам маркирующих горизонтов пирокластики на значительной территории. На основе анализа распределения вулканов вдоль ККОД было показано, что вулканический фронт дуги резко изгибается под углом 22–23° в районе пролива Буссоль [2]. В данном районе, в период с 2006 до 2009 гг.

прошла серия сильных землетрясений с магнитудой до 8.3. Сопоставление местоположений очагов землетрясений с глубинным строением и тектоникой центральных Курил показало их соответствие зонам региональных разломов и областям аномального строения земной коры [3]. Это находит отражение в изменении гравитационного поля в свободном воздухе и нарушении геохимической зональности в районе пролива Буссоль [2]. По изотопно-геохимическим маркерам вулканических северных Курил выделяется деплетированный источник мантии (N-MORB) и вовлечение в магмогенезис расплавов, связанных с плавлением субдукционного осадка, что, возможно, объяснимо термальной аномалией, фиксируемой под южной Камчаткой. Напротив, составы магматических пород центральных и южных Курил смешены в поле обогащённого типа мантии (E-MORB) [4]. Активный мантийный диапиризм и вулканическая деятельность в задуговом Курильском бассейне приводили к разогреву надсубдукционной мантии тыловой зоны южных Курил [5]. Цель настоящей работы — выявить генезис аномалии в центральном сегменте ККОД и идентифицировать роль задугового бассейна в формировании параметров слэба и соответственно коррелируемых проявлений вулканизма ККОД.

¹Институт вулканологии и сейсмологии Дальневосточного отделения Российской Академии наук, Петропавловск-Камчатский, Россия

²Сколковский институт науки и технологий Сколтех, Москва, Россия

³Институт нефтегазовой геологии и геофизики Сибирского отделения Российской Академии наук, Новосибирск, Россия
*E-mail: kuvikas@mail.ru

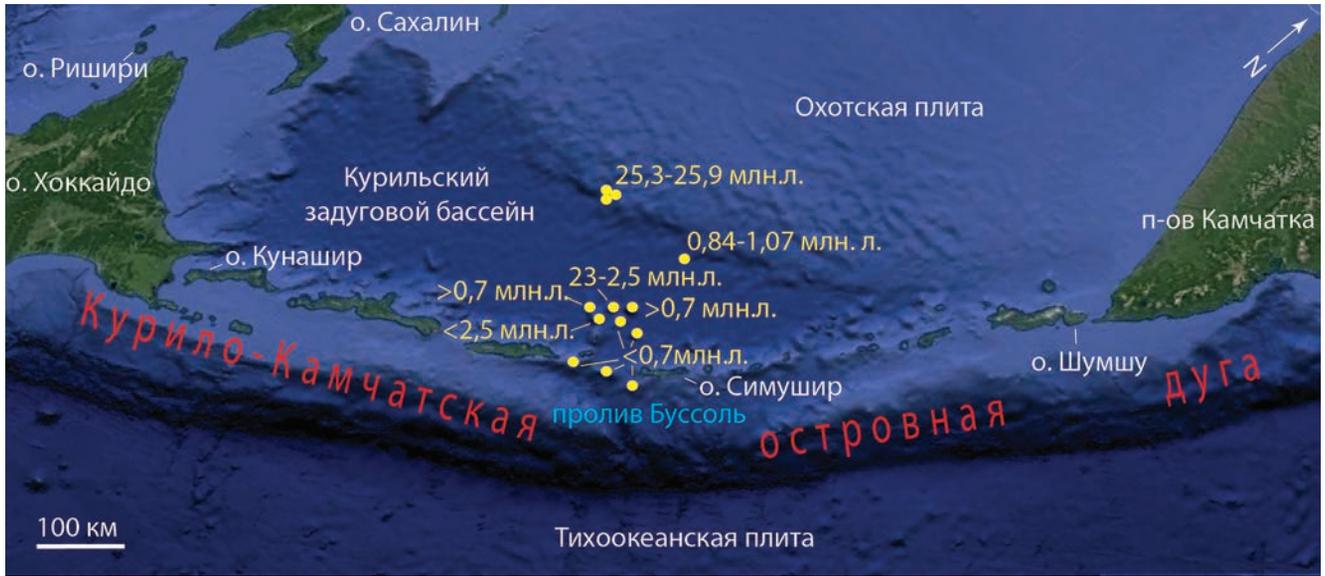


Рис. 1. Геодинамическое положение ККОД. Жёлтым цветом выделены отдельные идентифицированные вулканы тыла дуги и преддугового грабена пролива Буссоль по данным [2, 6, 7].

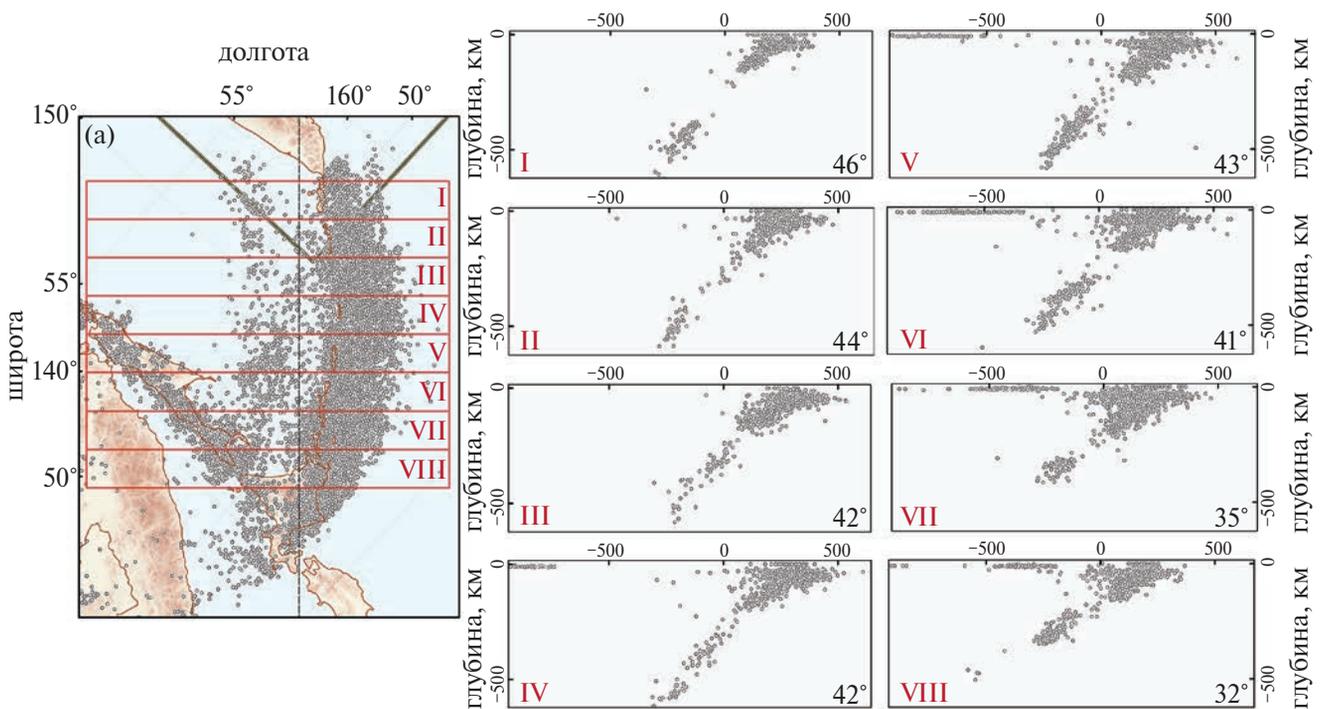


Рис. 2. Проявление сейсмичности вкрест простирания зоны субдукции ККОД. Римские цифры на разрезах соответствуют локализации профилей на правой части рисунка. Цифры в нижней части разрезов обозначают средний угол погружения слэба.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для решения выявленной проблемы были использованы результаты предыдущих исследований. Анализ сейсмической активности вкрест простирания зоны субдукции проводился на

основе данных Сахалинского филиала геофизической службы Российской Академии наук (рис. 2). Характер отношений слэба и мантии изучался с помощью мантийной томографии (рис. 3). Геофизические характеристики слэба вдоль дуги представлены с публикации [8].

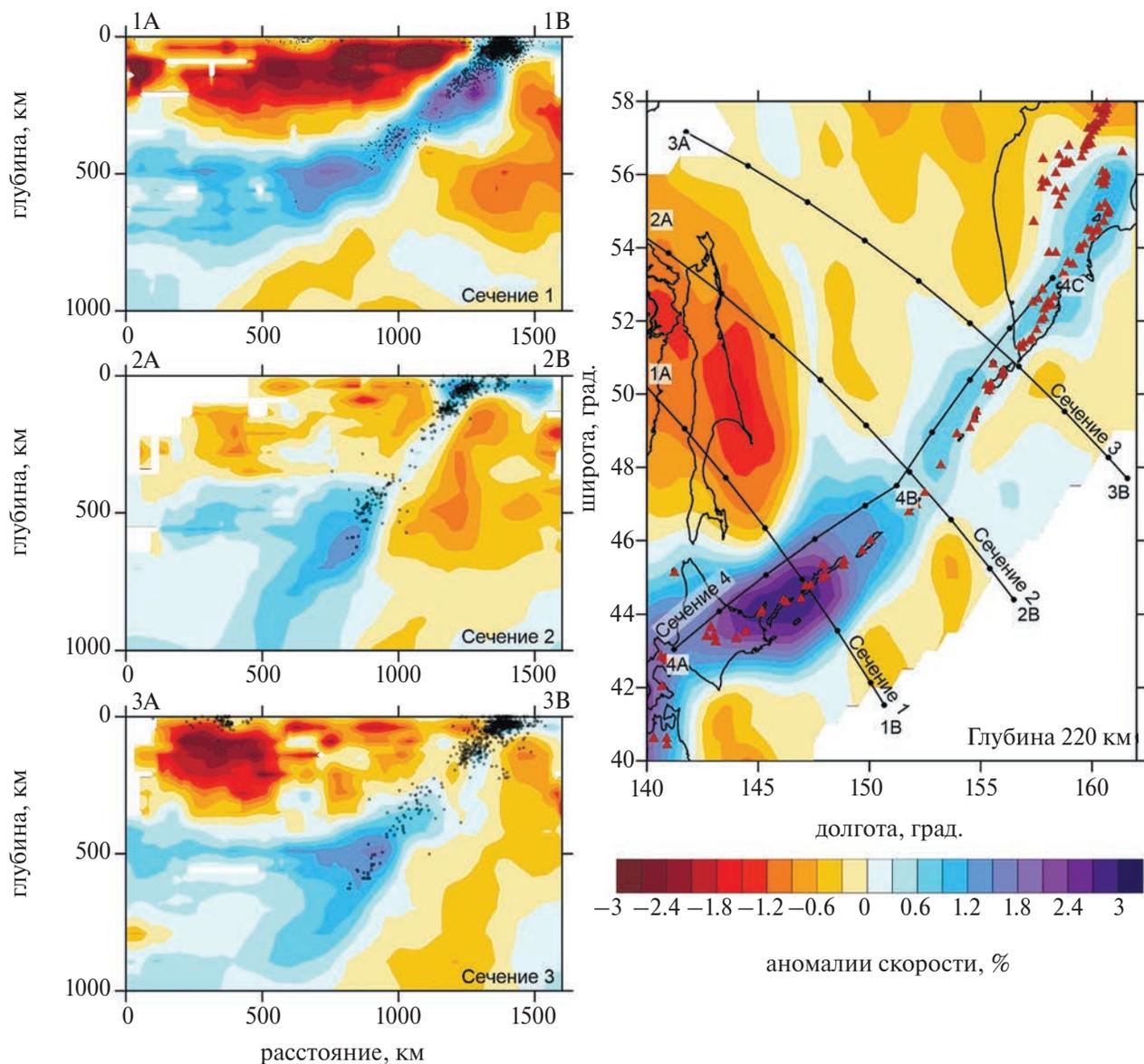


Рис. 3. Аномалии скоростей P - и S -волн на вертикальных сечениях вкост простирания ККОД по данным [11]. Точки — гипоцентры землетрясений. Положение сечений показано на карте в правой части рисунка.

Пространственное проявление вулканизма, в том числе расстояние до глубоководного желоба, объемы продуктов извержений были проанализированы из компиляции многочисленных источников [2, 9, 10] (рис. 4).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Распределение сейсмичности вкост простирания зоны субдукции свидетельствует об уменьшении среднего угла наклона слэба с севера на юг (рис. 2). Данные мантийной томографии также подтверждают это заключение (рис. 3).

Привлекает на себя внимание наличие низкоскоростной аномалий в тылу дуги на южных Курилах и некий меньший её размер на северных Курилах, что с геодинамической точки зрения соответствует наличию задугового Курильского бассейна (рис. 3).

Параметры погружающего слэба варьируют. Так возраст слэба увеличивается с севера дуги к югу и меняется от 105 до 125 млн л. соответственно (рис. 4). Резкие изменения скорости погружения плиты наблюдаются в центральном сегменте ККОД, что находит отражение в формировании астеносферного апвеллинга

по данным сейсмической томографии (рис. 3, 4). Проведение детальной батиметрии, гравиметрии и сейсмического профилирования позволило предположить зону растяжения в центральных Курилах и активную деструкцию, тектонической природы [12]. Сопоставление возраста формирования вулканов в глубоком тылу дуги свидетельствует об омоложении структур с 25 млн л. [7] до совсем молодых, возрастом менее 0.7 млн л. на фронте [2] (рис. 1). Важно отметить наличие многочисленных вулканических построек от о. Симушир до глубоководного жёлоба, что интерпретируется как наличие осевой магмотогенной зоны наложенного рифтогенеза [12]. Временная эволюция вулканов с тыла на фронт дуги позволяет предположить постепенное формирование грабена в проливе Буссоль, связанное в развитии отличающихся структур северных и южных Курил. Коллизия на о. Хоккайдо и развитие сдвиговых структур на южных Курилах связано с формированием преддугового грабена в проливе Буссоль [13].

Одна из интересных проблем связана с причиной формирования разных параметров слэба северных и южных Курил. Так как, исходя из перечисленных выше аргументов становится понятным, что рифтогенная структура пролива Буссоль и омоложение вулканизма с тыла на фронт дуги связаны с растяжением, вызванным различием в скорости погружения, угле погружения слэба в данном районе. Принято считать, что возраст слэба влияет на скорость погружения и угол погружения. В случае с ККОД мы видим, что возраст меняется постепенно (рис. 4). Таким образом, становится понятным, что существует некий иной фактор, влияющий на изменение геофизических параметров слэба вдоль ККОД. Моделирование динамики слэба показало, что одним из важных параметров контролирующей изменение угла наклона слэба являются вариации реологических свойств мантийного клина [14]. Гетерогенность мантийного клина с разными реологическими свойствами, может быть, сформирована действием задугового бассейна, о чём свидетельствуют многочисленные публикации, главным образом, в широкой части открытия бассейна на юге ККОД: о. Хоккайдо [15], о. Ришири [2], о. Кунашир [5]. Спектр вариаций магм, формирование мощных кальдерообразующих извержений на о. Хоккайдо, скорее всего, связаны с действием задугового бассейна [16]. Так изменение реологических свойств мантийного клина за счёт открытия задугового бассейна привело к формированию косяной зоны субдукции на южных Курилах [17].

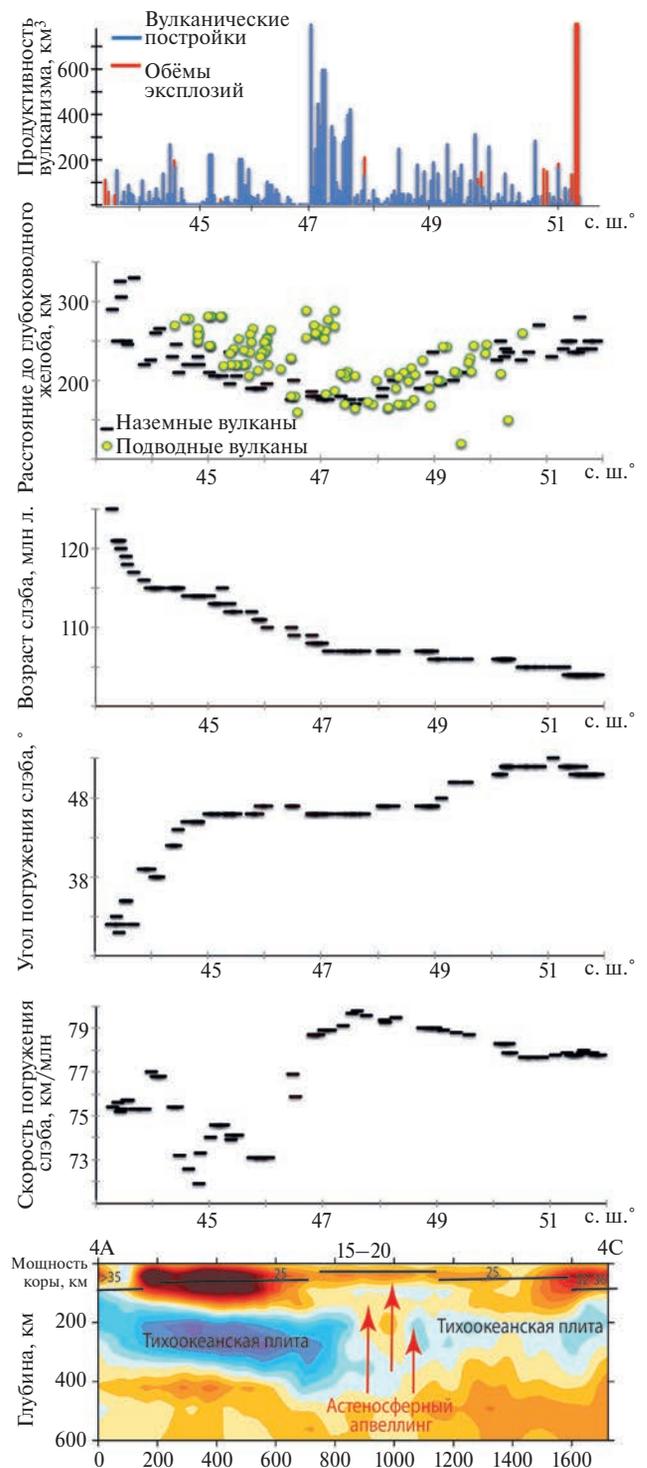


Рис. 4. Геофизические параметры слэба и продуктивность вулканизма вдоль ККОД. Продуктивность вулканизма по данным [2, 9, 10]. Геофизические параметры слэба по данным [9]. Мощность коры на основе публикаций [17, 20]. Локализация сечения 4 по данным сеймотомографии показана на рис. 3.

Мощность коры варьирует от 32–36 км под южной Камчаткой, >35 км на севере Хоккайдо и минимальна (15–20 км) в центральном

сегменте ККОД, в районе пролива Буссоль [18]. Анализ продуктивности вулканизма вдоль дуги свидетельствует о доминировании эксплозивных извержений на юге Камчатки и на севере о. Хоккайдо, что возможно связано с относительно большей мощностью коры. В то время как максимальные объемы ($>300 \text{ км}^3$) построек вулканов, приурочены к центральному сегменту ККОД. Изменения угла наклона слэба вдоль дуги находят отражение в локализации фронтальных вулканов и ширине вулканического пояса (рис. 4). Так с севера на юг Курил расстояние до глубоководного жёлоба составляет 160–260 км на севере, 155–290 км в районе пролива Буссоль и 185–285 км на южных Курилах [9]. Несмотря на относительно крутой угол наклона слэба на севере Курильских островов ширина вулканического пояса велика, возможно, это связано с наличием низкоскоростной аномалии, фиксируемой под о. Шумшу и дезинтеграции зоны магмогенерации к тылу дуги [19].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сопоставление параметров слэба и вулканизма вдоль ККОД позволило выявить взаимосвязь ширины вулканического пояса и расстояния до глубоководного желоба. Локализация объёмных вулканов, размер которых $>300 \text{ км}^3$ в центральных Курилах, наличие рифтогенной структуры, омоложение вулканических построек от тыла к преддуговому грабену связано с резкой сменой скорости движения слэба, угла погружения, несмотря на незначительные изменения возраста слэба. Возможной причиной выявленных изменений погружающейся плиты может быть гетерогенность мантийного клина и обогащение мантийного источника за счёт действия задугового бассейна на о. Хоккайдо и южных Курилах.

БЛАГОДАРНОСТИ

Выражаем благодарность Сахалинскому филиалу Геофизической службы РАН за предоставление данных о сейсмичности региона исследования.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sakhalin Volcanic Eruptions Response Team (SVERT) website. URL: <http://www.imgg.ru/ru/teams/svert> (date of application: January 10, 2024)

2. Авдейко Г. П., Антонов А. Ю., Волынец О. Н. и др. Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги. М.: Наука, 1992. 528 с.
3. Злобин Т. К., Поплавская Л. Н., Полец А. Ю. Серия сильных и катастрофических Симуширских землетрясений 2006–2009 гг. // Доклады РАН. Науки о Земле. 2009. Т. 428. № 4. С. 531–535.
4. Мартынов Ю. А., Рыбин А. В., Дриль С. И. и др. Зоны аномального вулканизма Курильских островов, остров Парамушир // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2009. № 4. С. 17–23.
5. Мартынов А. Ю. Роль задуговых процессов в формировании поперечной геохимической зональности вулканических ранней стадий становления о-ва Кунашир // Петрология. 2013. Т. 21. № 5. С. 517–517.
6. Baranov B. V., Werner R., Hoernle K. A. et al. Evidence for compressionally induced high subsidence rates in the Kurile Basin (Okhotsk Sea) // Tectonophysics. 2002. 350. 1. P. 63–97. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(02\)00081-1](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(02)00081-1)
7. Werner R., Baranov B., Hoernle K. et al. Discovery of ancient volcanoes in the Okhotsk Sea (Russia): New constraints on the opening history of the Kurile Back Arc Basin // Geosciences. 2020. 10 (11). <https://doi.org/442.10.3390/geosciences10110442>
8. Syracuse E. M., Abers G. A. Global compilation of variations in slab depth beneath arc volcanoes and implications // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. 2006. V. 7. № 5. P. 1–18. <https://doi.org/10.1029/2005GC001045>
9. Бергаль-Кувикас О. В. Объемы четвертичных вулканических Курильской островной дуги: анализ пространственного расположения и связь с зоной субдукции // Тихоокеанская геология. 2015. 34. 2. С. 103–116.
10. Volcano Global Risk Identification and Analysis Project (VOGRIPA) website. URL: <https://vogripa.org/> (date of application: July 21, 2020)
11. Кулаков И. Ю., Добрецов Н. Л., Бушенкова Н. А. и др. Форма слэбов в зонах субдукции под Курило-Камчатской и Алеутской дугами по данным региональной томографии // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 6. С. 830–851.
12. Кулинич Р. Г., Карп Б. Я., Баранов Б. В. и др. О структурно-геологической характеристике "сейсмической брешии" в центральной части Курильской островной гряды // Тихоокеанская геология. 2007. Т. 26. № 1. С. 5–19.
13. Kimura G. Oblique subduction and collision: Forearc tectonics of the Kuril arc // Geology. 1986. 14. 5. P. 404–407.

- [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1986\)14<404:OSAC FT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1986)14<404:OSAC FT>2.0.CO;2)
14. *Billen M. I., Hirth G.* Rheologic controls on slab dynamics // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2007. 8. 8. <https://doi.org/10.1029/2007GC001597>
 15. *Ikeda Y., Stern R. J., Kagami H. et al.* Pb, Nd, and Sr isotopic constraints on the origin of Miocene basaltic rocks from northeast Hokkaido, Japan: Implications for opening of the Kurile back-arc basin // *Island Arc*. 2000. 9. 2. P. 161–172. <https://doi.org/10.1046/j.1440-1738.2000.00269.x>
 16. *Yamashita S., Shuto K., Karihara Y. et al.* Coeval volcanism due to interaction of back-arc basin basalt (BABB) magma with the island-arc crust in the late Miocene Engaru volcanic field, northeastern Hokkaido, Japan: The evidence of Sr and Nd isotopic ratios combined with major-and trace-element compositions // *Journal Geological Society of Japan*. 1999. 105. 9. P. 625–642. <https://doi.org/10.5575/geosoc.105.625>
 17. *Kneller E. A., van Keken P. E.* Effect of three-dimensional slab geometry on deformation in the mantle wedge: Implications for shear wave anisotropy // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2008. 9.1. <https://doi.org/10.1029/2007GC001677>
 18. *Прошкина З. Н., Кулинич Р. Г., Валитов М. Г.* Структура, вещественный состав и глубинное строение океанского склона Центральных Курил: новые детали // *Тихоокеанская геология*. 2017. Т. 36. № 6. С. 58–69.
 19. *Бергаль-Кувикас О. В., Буслов М. М., Бушенкова Н. А. и др.* Переход от континентальной окраины Камчатки к островной дуге Курильских островов: Особенности проявления вулканизма, деформации земной коры и геофизические параметры слэба // *Геология и геофизика*. 2023. Т. 10. № 64. С. 1469–1484. <https://doi.org/10.15372/GiG2023136>
 20. *Злобин Т. К., Полец А. Ю.* Неоднородная (блоково-клавишная) структура Курильской островной дуги и сейсмофокальной зоны // *Общие и региональные проблемы тектоники и геодинамики*. 2008. 1. С. 333–336.

THE ROLE OF THE BACK-ARC BASIN IN FORMING SLAB HETEROGENEITY AND GENERATING VOLCANISM IN THE KURIL-KAMCHATA ISLAND ARC

**O. V. Bergal-Kuvikas¹, Academician of the RAS E. I. Gordeev¹,
Corresponding Member of the RAS I. Yu. Koulakov^{2,3}**

¹*Institute of Volcanology and Seismology, Far East Branch, Russian Academy of Sciences,
Petropavlovsk-Kamchatsky, Russian Federation*

²*Skolkovo Institute of Science and Technology (Skoltech), Moscow, Russian Federation*

³*Institute of Petroleum Geology and Geophysics Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Novosibirsk, Russian Federation*

*E-mail: kuvikas@mail.ru

Origin of volcanism along the Kuril-Kamchatka island arc (KKIA) was analyzed. Geophysical observations show variations in slab's properties. Different widths of the volcanic belt in the north and south of the KKIA are caused by changes in the slab's angle. The Bussol Strait rift system may be generated by significant changes in the slab's velocity. We proposed that the back-arc basin plays a dominant role in formation various slab's parameters and volcanism manifestations along the KKIA.

Keywords: slab, volcanism, back-arc basin, Kurile Islands, southern Kamchatka, Hokkaido