

УТВЕРЖДАЮ:
Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Института геологии и минералогии
Сибирского отделения Российской
академии наук
пл. корр. РАН, д. г.-м. н. Н.Н. Крук



«10» 08 2020 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии Сибирского отделения Российской академии наук

Диссертационная работа Сафоновой Инны Юрьевны «Внутриплитные океанические базальты из аккреционных комплексов Центрально-Азиатского складчатого пояса и западной Пацифики» выполнена в Лаборатории петрологии и рудоносности магматических формаций Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии Сибирского отделения Российской академии наук (ИГМ СО РАН). В период подготовки диссертации на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук Сафонова Инна Юрьевна работала в лаборатории геодинамики и магматизма (2000-2013) и лаборатории петрологии и рудоносности магматических формаций (2013-2020) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии Сибирского отделения Российской академии наук в должности младшего научного сотрудника, научного сотрудника и старшего научного сотрудника. В 1987 году Сафонова И.Ю. окончила с отличием Новосибирский государственный университет, геолого-геофизический факультет, по специальности «геохимия», в 2005 году защитила кандидатскую диссертацию в ИГМ СО РАН по специальностям «геотектоника, геодинамика» и «петрология, вулканология».

По итогам обсуждения диссертационной работы на межлабораторном принято следующее заключение:

Актуальность исследования. Актуальность работы определяется необходимостью реконструкции эволюции океанов прошлого и выяснения роли внутриплитного океанического магматизма в глобальной эволюции Земли. Для этого необходимо изучение фрагментов древней океанической литосферы, входящих в состав аккреционных комплексов. Геологическая история Евразии включает эволюцию двух крупнейших фанерозойских палео-океанов: Палеоазиатского (поздний неопротерозой-поздний палеозой) и Палео-Пацифики (поздний палеозой-мезозой). С историей Палеоазиатского океана (ПАО) связано формирование крупнейшего фанерозойского аккреционного орогена Земли - Центрально-Азиатского складчатого пояса (ЦАСП). С историей эволюции Палео-Пацифики и современного Тихого океана связано формирование аккреционных орогенов западной части Тихоокеанского региона. ЦАСП включает многочисленные аккреционные комплексы, включающие фрагменты океанической литосферы ПАО. Актуалистическим аналогом ЦАСП являются складчатые пояса западной Пацифики, включающие многочисленные позднепалеозойские и мезо-кайнозойские аккреционные комплексы. Аккреционные комплексы имеют очень сложное строение и включают магматические и осадочные породы океанической литосферы, серпентинитовые и тектонические меланжи и мощные терригенные толщи. Расшифровка истории их образования возможна на основе выделения устойчивых ассоциаций магматических и осадочных пород ассоциации стратиграфии

океанической плиты (СОП) и изучения состава и петрогенезиса входящих в СОП вулканических пород. Базальты океанических островов, симаунтов и плато имеют внутриплитное происхождение и являются неотъемлемой частью СОП. Изучение внутриплитных океанических базальтов необходимо для расшифровки архивов СОП, отслеживания пиков/периодов активности мантийных плюмов, изучения физико-химических параметров мантии и оценки участия островов и симаунтов в субдукционно-аккреционных процессах на активных континентальных окраинах. Идентификация элементов внутриплитной ассоциации СОП в составе аккреционных комплексов и изучение внутриплитного океанического магматизма являются неотъемлемой частью всей системы исследований палеоокеанов и образованных в процессе их эволюции и закрытия складчатых поясов, включающих важнейшие месторождения полезных ископаемых и поэтому имеющих большое практическое значение.

Цель исследований - решение фундаментальной научной проблемы происхождения внутриплитных магматических ассоциаций Палеоазиатского океана и Палео-Пацифики, периодов их проявления и связи с мантийными плюмами для реконструкции эволюции палеоокеанов.

Достоверность исследования: выводы диссертационной работы подтверждаются результатами, полученными в ходе экспедиционных и лабораторных исследований, а также двумя монографиями, 78 статьями в рецензируемых научных журналах и апробацией материалов на многочисленных научных конференциях различного уровня.

Научная новизна. 1) Проведено масштабное геологическое и петрологическое изучение 37 аккреционных комплексов центральной и восточной Азии и входящих в их состав базальтов океанических поднятий. 2) Апробирована модель стратиграфии океанической плиты, разработанная на аккреционных комплексах Японии, подтверждена ее применимость для расшифровки структуры более древних объектов. 3) Обоснована зависимость степени обогащения базальтов типа OIB несовместимыми элементами от возраста океанической литосферы и состава мантийных источников. 4) Выделено два периода максимального проявления внутриплитного мантийного магматизма в ЦАСП и западной Пацифике: поздненеопротерозойско-раннекембрийский и меловой. 5) Для аккреционных комплексов Палеоазиатского океана установлен относительный минимум проявления внутриплитного океанического магматизма в среднем палеозое.

Личный вклад. Основу диссертационной работы составляют материалы, собранные непосредственно И.Ю. Сафоновой на аккреционных комплексах центральной и восточной Азии в ходе экспедиционных исследований 2000 - 2020 гг. Автор участвовала при проведении аналитических исследований в Токийском институте технологий, Университете Токио, Университете Нанкина (Китай), Гонконгском университете, Институте фундаментальных исследований Южной Кореи (Тэджон). 1) Соискателем лично изучено 14 аккреционных комплексов на территории России, Казахстана, Киргизии, Монголии и Японии, сформирована большая коллекция пород СОП, включая базальты, составлена база данных по их возрасту, химическому и изотопному составу; выделены и задокументированы элементы СОП в пределах каждого изученного аккреционного комплекса. 2) Получена информация о большом количестве симаунтов, изучение которых в современных океанах технически сложно из-за дороговизны подводного бурения/драгирования. 3) Определен набор ключевых химических элементов, как пороодообразующих, так и редких, которые имеют наибольшее значение или максимально надежны для диагностики таких базальтов вне зависимости от их возраста и степени вторичных изменений. 4) Зафиксированы вариации состава некогерентных элементов в базальтах в зависимости от возраста океанического поднятия в пределах одной цепи симаунтов. 5) Обоснована связь между степенью обогащения базальтов несовместимыми элементами, мощностью/возрастом океанической литосферы и составом и степенью плавления мантийного источника. 6) Обосновано влияние субдуцирующих океанических поднятий на тектонические процессы, происходящие на активных окраинах тихоокеанского типа. И.Ю. Сафонова является одним

из основных авторов большинства статей в рецензируемых научных журналах, в которых опубликованы материалы диссертационной работы. Всего по теме диссертации ею опубликовано 3 коллективные монографии, более 75 статей в рецензируемых журналах, цитируемых в наукометрических базах Scopus и Web of Science, получен один патент.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем (выборочно):

Монографии

1. Маруяма Ш., **Сафонова И.Ю.**, Туркина О.М., Кривоногов С.К., Гурова А.В. Геология и магматизм конвергентных окраин тихоокеанского типа / Новосиб. гос. ун-т. – Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2018. – 96 с.
2. Maruyama S., **Safonova I.** Orogeny and mantle dynamics: role of tectonic erosion and second continent in the mantle transition zone / Novosibirsk State University. – Novosibirsk: IPC NSU, 2019. – 208 p.

Список основных статей по теме диссертации в рецензируемых журналах

1. Furnes, H., Dilek, Y., Zhao, G., **Safonova, I.**, Santosh, M. Safonova, I., 2020. Geochemical characterization of ophiolites in the Alpine-Himalayan Orogenic Belt: Magmatically and tectonically diverse evolution of the Mesozoic Neotethyan oceanic crust. *Earth-Science Reviews* 208, 103258.
2. **Safonova I.**, Savinskiy I., Perfilova A., Gurova A., Maruyama S., Tsujimori T., 2020. The Itmurundy Pacific-type orogenic belt in northern Balkhash, central Kazakhstan: Revisited plus first U-Pb age, geochemical and Nd isotope data from igneous rocks. *Gondwana Research* 79, 49-69.
3. Khassen B. P., **Safonova I. Yu.**, Yermolov P. V., Antonyuk R. M., Gurova A. V., Obut O. T., Perfilova A. A., Savinskiy I. A., Tsujimori T. 2020. The Tekturmas ophiolite belt of central Kazakhstan: Geology, magmatism, and tectonics. *Geological Journal* 55, 2363–2382.
4. Furnes, H., **Safonova, I.**, 2019. Ophiolites of the Central Asian Orogenic Belt: Geochemical and petrological characterization and tectonic settings. *Geoscience Frontiers* 10, 1255-1284.
5. **Сафонова И.Ю.**, Перфилова А.А., Обут О.Т., Савинский И.А., Чёрный Р.И., Петренко Н.А., Гурова А.В., Котлер П.Д., Хромых С.В., Кривоногов С.К., Маруяма Ш., 2019. Итмурундинский аккреционный комплекс (северное Прибалхашье): геологическое строение, стратиграфия и тектоническое происхождение // *Тихоокеанская геология* 38, № 3, с. 102-117.
6. **Safonova I.**, Komiya T., L. Romer R., Simonov V., Seltnmann R., Rudnev S., Yamamoto S., Sun M., 2018. Supra-subduction igneous formations of the Char ophiolite belt, East Kazakhstan. *Gondwana Research* 59, 159–179.
7. **Safonova I.**, Maruyama S., Kruk N., Obut O., Kotler P., Gavryushkina O., Khromykh S., Kuibida M., Krivonogov S., 2018. Pacific-type orogenic belts: linking evolution of oceans, active margins and mantle magmatism. *Episodes* 41, 79-88.
8. Meng F., **Safonova I.**, Chen S., Rioual P., 2018. Late Cenozoic intra-plate basalts of the Greater Khingan Range in NE China and Khangai Province in Central Mongolia. *Gondwana Research* 63, 65–84.
9. Li, P., Sun, M., Rosenbaum, G., Yuan, C., **Safonova, I.**, Cai, K., Jiang, Y., Zhang Y., 2018. Geometry, kinematics and tectonic models of the Kazakhstan Orocline, Central Asian Orogenic Belt. *Journal of Asian Earth Sciences* 153, 42-56.
10. **Safonova, I.**, Kotlyarov, A., Krivonogov, S., Xiao, W., 2017. Intra-oceanic arcs of the Paleo-Asian Ocean. *Gondwana Research* 50, 167-194.
11. **Safonova I.**, 2017. Juvenile versus recycled crust in the Central Asian Orogenic Belt: Implications from ocean plate stratigraphy, blueschist belts and intra-oceanic arcs. *Gondwana Research* 47, 6-27.

12. **Safonova I.**, Maruyama, S., Kojima S., Komiya T., Krivonogov S., Koshida K., 2016. Recognizing OIB and MORB in accretionary complexes: a new approach based on ocean plate stratigraphy, petrology, and geochemistry. *Gondwana Research* 33, 92-114.
13. **Safonova, I.**, Biske, G., Romer, R.L., Seltmann, R., Simonov, V., Maruyama, S., 2016. Middle Paleozoic mafic magmatism and ocean plate stratigraphy of the South Tianshan, Kyrgyzstan. *Gondwana Research* 30, 236-256.
14. **Safonova, I.**, Seltmann, R., Sun, M., Xiao, W., Dong Y., Eyuboglu Y., Pushkarev E., Kruk N., 2016. Juvenile crust, mantle magmatism and metallogeny of the Central Asian Orogenic Belt: Progress Report of IGCP#592. *Episodes* 39, 59-69.
15. Kuibida M.L., **Safonova I.Yu.**, Yermolov P.V., Vladimirov A.G., Kruk N.N., Yamamoto S., 2016. Early Carboniferous tonalites and plagiogranites of the Char suture-shear zone in East Kazakhstan: implications for the Kazakhstan-Siberia collision. *Geoscience Frontiers* 7, 141-150.
16. **Safonova, I.**, Maruyama, S., Litasov, K., 2015. Generation of hydrous-carbonate plumes in the mantle transition zone linked to tectonic erosion and subduction. *Tectonophysics* 662, p. 454-471.
17. Xiao, W., Kusky T., **Safonova I.**, Seltmann R., Sun M., 2015. Tectonics of the Central Asian Orogenic Belt and its Pacific analogues. *Journal of Asian Earth Sciences* 113, p. 1-6.
18. **Safonova, I.**, Kojima, S., Nakae, S., Romer, R., Seltmann, R., Sano, H., Onoue, T., 2015. Oceanic island basalts in accretionary complexes of SW Japan: Tectonic and petrogenetic implications. *Journal of Asian Earth Sciences* 113, 508-523.
19. **Safonova I.**, Litasov, K., Maruyama, S., 2015. Triggers and sources of volatile-bearing plumes in the mantle transition zone. *Geoscience Frontier* 6, 679-685.
20. Ge, S., Zhai, M., **Safonova, I.**, Li, D., Zhu, X., Zuo, P., Shan, H., 2015. Whole-rock geochemistry and Sr-Nd-Pb isotope systematics of the Late Carboniferous volcanic rocks of the Awulale metallogenic belt in the western Tianshan Mountains (NW China): Petrogenesis and geodynamical implications. *Lithos* 228-229, 62-77.
21. Simonov V.A., Mikolaichuk A.V., **Safonova I.Yu.**, Kotlyarov A.V., Kovyazin S.V., 2015. Late Paleozoic-Cenozoic intra-plate continental basaltic magmatism of the Tianshan-Junggar region in the SW Central Asian Orogenic Belt. *Gondwana Research* 27, 1646-1666.
22. **Safonova, I.**, Santosh, M., 2014. Accretionary complexes in the Asia-Pacific region: Tracing archives of ocean plate stratigraphy and tracking mantle plumes. *Gondwana Research* 25, 126-158.
23. **Safonova I.**, Maruyama, S., 2014. Asia: a frontier for a future supercontinent Amasia. *International Geology Review* 59, 1051-1071.
24. Yang, G., Li, Y., **Safonova, I.**, Yi, S., Tong, L., Seltmann, R., 2014. Early Carboniferous volcanic rocks of West Junggar in the western Central Asian Orogenic Belt: implications for a supra-subduction system. *International Geology Review* 56, 823-844.
25. **Safonova I.**, 2014. The Russian-Kazakh Altai orogen: an overview and main debatable issues. *Geoscience Frontiers* 5, 537-552.
26. Курганская Е.В., **Сафонова И.Ю.**, Симонов В.А., 2014. Геохимия и петрогенезис надсубдукционных вулканических комплексов Чарской сдвиговой зоны (восточный Казахстан) // Геология и геофизика 55, №1, 73-93.
27. Kusky, T., Windley, B., **Safonova, I.**, Wakita, K., Wakabayashi, J., Polat, A., Santosh, M., 2013. Recognition of Ocean Plate Stratigraphy in accretionary orogens through Earth history: A record of 3.8 billion years of sea floor spreading, subduction, and accretion. *Gondwana Research* 24, 501-547.
28. **Safonova, I.**, Simonov, V.A., Obut, O.T., Kurganskaya, E.V., Romer, R., Seltmann, R., 2012. Late Paleozoic oceanic basalts hosted by the Char suture-shear zone, East Kazakhstan: geological position, geochemistry, petrogenesis and tectonic setting. *Journal of Asian Earth Sciences* 49, 20-39.
29. **Сафонова И.Ю.**, Буслов М.М., Симонов В.А., Изох А.Э., Комия Ц., Курганская Е.В., 2011. Геохимия, петрогенезис и геодинамическое происхождение базальтов из

- Катунского аккреционного комплекса Горного Алтая (юго-западная Сибирь) // Геология и геофизика 52, с. 421-442.
30. **Safonova, I.Yu.**, Sennikov N.V., Komiya T., Bychkova Y.V., Kurganskaya E.V., 2011. Geochemical diversity in oceanic basalts hosted by the Zasur'ya accretionary complex, NW Russian Altai, Central Asia: Implications from trace elements and Nd isotopes. *Journal of Asian Earth Sciences* 42, 191-207.
31. **Safonova, I.**, Seltnann, R., Kroener, A., Gladkochub, D., Schulmann, K., Xiao, W., Kim, T., Komiya, T., Sun, M., 2011. A new concept of continental construction in the Central Asian Orogenic Belt (compared to actualistic examples from the Western Pacific). *Episodes*, v. 34, no. 4, pp. 186-194.
32. **Сафонова И.Ю.**, Рино Ш., Маруяма Ш., 2010. U–Pb возраст детритовых цирконов из современных отложений реки Янцзы и этапы орогении в Юго-Восточной Азии // *Доклады РАН*, т. 431, № 1, с. 72-77.
33. Буслов М.М., **Сафонова И.Ю.**, Федосеев Г.С., Рейкоу М., Дэвис К., Бабин Г.А., 2010. Пермотриасовый плюмовый магматизм Кузнецкого бассейна, Центральная Азия: геология, геохронология и геохимия // *Геология и геофизика* 51, с. 901-916.
34. Симонов В.А., **Сафонова И.Ю.**, Ковязин С.В., Котляров А.В., 2010. Физико-химические параметры неопротерозойско-раннекембрийского плюмового магматизма Палеоазиатского океана (данные по расплавленным включениям) // *Геология и геофизика* 51, № 5, с. 648-664.
35. Симонов В.А., **Сафонова И.Ю.**, Ковязин С.В., Курганская Е.В., 2010. Физико-химические параметры петрогенезиса базальтовых комплексов Катунской зоны, Горный Алтай // *Литосфера*, № 3, с. 111-117.
36. Симонов В.А., **Сафонова И.Ю.**, Ковязин С.В., 2010. Петрогенезис островодужных комплексов Чарской зоны, Восточный Казахстан. *Петрология* 18, № 6, с. 59-72.
37. **Safonova, I.Yu.**, Utsunomiya A., Kojima S., Nakae S., Tomurtogoo O., Filippov A.N., Koizumi K., 2009. Pacific superplume-related oceanic basalts hosted by accretionary complexes of Central Asia, Russian Far East and Japan, *Gondwana Research* 16, 587-608.
38. **Safonova, I.Y.**, 2009. Intraplate magmatism and oceanic plate stratigraphy of the Paleo-Asian and Paleo-Pacific Oceans from 600 to 140 Ma, *Ore Geology Reviews* 35, 137-154.
39. Utsunomiya A., Jahn B.-m., Ota T., **Safonova, I.Yu.**, 2009. A geochemical and Sr-Nd isotopic study of the Vendian greenstones from Gorny Altai, southern Siberia: Implications for the tectonic setting of the formation of greenstones and the role of oceanic plateaus in accretionary orogen. *Lithos* 113, 437-453.
40. Reichow M.K., M.S. Pringle, A.I. Al'Mukhamedov, M.B. Allen, V.L. Andreichev, M.M. Buslov, C.E. Davies, G.S. Fedoseev, J.G. Fitton, S. Inger, A.Ya. Medvedev, C. Mitchell, V.N. Puchkov, **I.Yu. Safonova**, R.A. Scott, A.D. Saunders, 2009. The timing and extent of the eruption of the Siberian Traps large igneous province: Implications for the end-Permian environmental crisis, *Earth and Planetary Science Letters* 277, 9-20.
41. **Сафонова И.Ю.**, 2008. Геохимическая эволюция внутриплитного океанического магматизма Палеоазиатского океана от позднего неопротерозоя до раннего кембрия. *Петрология* 16, 492-511.
42. **Сафонова И.Ю.**, Симонов В.А., Буслов М.М., Ота Ц., Маруяма Ш., 2008. Неопротерозойские базальты Палеоазиатского океана из Курайского аккреционного клина (Горный Алтай): геохимия, петрогенезис, геодинамические обстановки формирования // *Геология и геофизика* 49, с. 254-271.
43. Добрецов Н.Л., Буслов М.М., Рубатто Д., **Сафонова И.Ю.**, 2006. Шалкарский офиолитовый комплекс (Северный Казахстан): структурное положение, возраст, геохимия и генезис // *Геология и геофизика* 47, № 4, с. 475-484.

Патент

Сафонова И.Ю., Савинский И.А., Ханчук А.И., Маруяма Ш., Обут О.Т. “Способ геологического картирования аккреционных комплексов”. Патент № 2667329. Приоритет от 20.12.2017. Зарегистрирован в Гос. реестре РФ 18.09.2018. Патентообладатель: НГУ.

Апробация работы: По теме диссертации опубликовано более 100 научных работ, в том числе 78 статей в рецензируемых научных журналах, включенных в «Перечень...» ВАК Минобрнауки России, и 2 коллективные монографии. Основные результаты работы докладывались на всероссийских и международных совещаниях и конференциях, наиболее важными из которых являются: 32-ой Международный геологический конгресс (Флоренция, 2004); Международный семинар IGCP-480 «Корреляция структурных и тектонических процессов Центрально-Азиатского складчатого пояса: рост континентов и внутриконтинентальные деформации» (Иркутск, 2005); конференции проекта IGCP#592 “Образование континентальной коры в центральной Азии” (Санкт-Петербург 2012, 2015; Аделаида, Австралия, 2012; Хами, Китай, 2013; Сиань, Китай, Трабзон, Турция, 2014; Улан-Уде, Казань, 2015; Лондон, Великобритания, 2016); ежегодные симпозиумы Международной Ассоциации по изучению Гондваны «От Гондваны к Азии» (Ханой, Вьетнам, 2009; Циньдао, Китай, 2010; Таеджон, Южная Корея, 2013; Пекин, Китай, 2014; Цукуба, Япония, 2015; Пекин и Ухань, Китай, 2015; Бангкок, Таиланд, 2017; Сиань, Китай, 2018; Кочи, Япония, 2019); Ассамблея Европейского геологического союза (Вена 2016); IV и V конференции «Корреляция Алтаид и Уралид» (Новосибирск 2016, 2018); конференции Японского геологического союза (Чиба, Япония, 2017, 2018); международный семинар «Земля, Море и Небо III» (Тохоку, Япония, 2018, 2019); IV Всероссийская конференция «Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит» (Владивосток 2018); международный семинар «Structural Geology&Global Tectonics: links to lithosphere evolution and mantle geodynamics» (Трабзон, Турция, 2019); международный семинар «The Geology of Eurasia» (Потсдам, Германия, 2019); 13-ой международной конференции «13th International Symposium on the Ordovician System» (Новосибирск 2019).

Диссертационная работа Сафоновой Инны Юрьевны «Внутриплитные океанические базальты из аккреционных комплексов Центрально-Азиатского складчатого пояса и западной Пацифики» рекомендуется к защите на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.04 - петрология, вулканология (геолого-минералогические науки). Результаты работы соответствуют пунктам (1) магматическая геология, (2) магматическая петрология и (5) палеовулканология паспорта специальности 25.00.04.

Заключение принято на открытом семинаре Лаборатории петрологии и рудоносности магматических формаций Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии Сибирского отделения Российской академии наук (протокол № 211/29.07.2020 от 29 июля 2020 года). Присутствовало на заседании 29 человек, из них 8 научных сотрудников Лаборатории. Результаты голосования: «за» - 8 человек, «против» - 0 человек, «воздержалось» - 0 человек, протокол № 211/29.07.2020 от 29 июля 2020 года.

Заключение оформил:

Изох Андрей Эмильевич
Доктор геолого-минералогических наук
Заведующий Лабораторией петрологии
и рудоносности магматических формаций
(№ 211) ИГМ СО РАН