

УДК 551.24 (552.11)

КОРРЕЛЯЦИЯ МАГМАТИЧЕСКИХ И ТЕКТОНИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ В ЭВОЛЮЦИИ ОФИОЛИТОВ ЗАПАДНОЙ ЧУКОТКИ

А. В. Ганелин*, С. Д. Соколов

Представлено академиком РАН М.А. Федоскиным 05.04.2017 г.

Поступило 11.04.2017 г.

Приводится обзор магматических и геодинамических процессов, в результате которых были сформированы разрезы Алучинского и Громаднинско-Вургувеевского офиолитовых массивов на территории Западной Чукотки. Установлено, что формирование офиолитов происходило в конвергентной системе между Сибирским континентом и Прото-Арктическим океаном. В тектонической эволюции этой границы выявлены важные рубежи: ранний карбон, поздний триас и поздняя юра.

Ключевые слова: офиолиты, магматизм, геодинамика, Прото-Арктический океан, Западная Чукотка, тектоника Северо-Востока Азии.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524862202-207>

Офиолиты Западной Чукотки являются самыми крупными на Северо-Востоке Азии. Они представлены тремя массивами плутонических пород базит-ультрабазитового состава: Громадненско-Вургувеевским, Алучинским и Атамановским общей площадью более 1000 км² [1–4]. Массивы занимают пограничное положение соответственно между Южно-Ануйской сутурой (ЮАС) и Алазейско-Олойской складчатой зоной (АОЗ) (рис. 1). Южно-Ануйская сутура и Алазейско-Олойская складчатая зона представляют собой структуры, имеющие различную геологическую природу. Алазейско-Олойская складчатая зона входит в состав Верхояно-Колымской складчатой системы и представляет собой комплекс островодужных террейнов, общий возрастной диапазон которых соответствует среднему палеозою — раннему мелу ([1, 3, 4, 6, 7] и др.). Комплексы ЮАС представлены фрагментами офиолитов, вулканогенно-терригенными островодужными отложениями верхней юры — нижнего мела, деформированными мезозойскими турбидитами и терригенным аккреционным меланжем. Согласно последним исследованиям [7], ЮАС сформировалась в позднемезозойское время в результате заключительного коллизионного этапа эволюции Прото-Арктического океана, разделявшего Евразийский и Североамериканский континенты [1, 3–7].

Геологический институт Российской Академии наук,
Москва

*E-mail: al-gan@yandex.ru

Таким образом, офиолиты, разделяющие АОЗ и ЮАС, являются ключом к расшифровке геодинамической истории региона, и вызывают постоянный интерес исследователей ([1, 2, 4, 7–11] и др.). К сожалению, в конце 1980-х годов изучение офиолитов Западной Чукотки прервалось и возобновилось только в последние десять лет. В результате были получены новые данные, отражающие структуру, геохронологию, а также вещественный состав офиолитов [10, 11]. Это позволило выделить отдельные магматические комплексы, провести их корреляцию, определить тектонические процессы, в результате которых они были сформированы, и предложить геодинамическую модель эволюции офиолитов. В настоящем сообщении представлен краткий синтез этих данных.

Комплекс мантийных ультрабазитов. Породами мантийного комплекса сложена большая часть Алучинского массива. Они представлены крупнозернистыми серпентинизированными дунит-гарцбургитами с характерными тектонизированными микроструктурами. Преимущественным распространением (70–80%) пользуются гарцбургиты. Реститовая природа ультрабазитов устанавливается по целому комплексу геохимических данных: индикаторные отношения в породах FeO/SiO₂, Cr₂O₃/SiO₂, CaO/Al₂O₃ и др. [12], истощенная геохимия пород (La + Sm + Yb = 0,3–0,4 г/т), высокая магнезиальность (более 90) оливинов и ортопироксенов. Минералы характеризуются широкими вариациями состава,

в частности хромистостью шпинелида и глинозёмистостью ортопироксена ($Cr^{\#} Spl = 0,26-0,65$; $Al_2O_3 = 1-4$ мас. %). Это свидетельствует о сложной истории формирования перидотитов как в океанической, так и в надсубдукционной геодинамической обстановке.

Тектоническое совмещение гетерогенных ультрабазитов представляется маловероятным, поскольку породы с различными вещественными характеристиками присутствуют в пределах единых блоков. Комплекс геохимических данных сближает ультрабазиты Алучинского массива с гетерогенными ультрабазитами Идзу-Бонин-Марианской системы (ИБМ), для которых была детально разработана геохимическая модель формирования [13]. Согласно этой модели абиссальные перидотиты, сформировавшиеся в спрединговой обстановке, в ходе дальнейшей тектонической эволюции попадают в область субдукции, где испытывают повторное плавление, с образованием ультрабазитов с надсубдукционными характерис-

тиками. При этом часть абиссальных перидотитов вступает в реакцию с новообразованными расплавами, в результате чего образуются ультрабазиты с промежуточными характеристиками, которые могут рассматриваться как переходные от абиссальных к надсубдукционным. Описанный процесс наглядно отражается на диаграммах для различных параметров вещественного состава. Например, на диаграмме зависимости фугитивности кислорода от хромистости шпинелида [13] хорошо видно, что ультрабазиты Алучинского массива соответствуют всем стадиям эволюции ультрабазитов ИБМ (рис. 2) [11].

Комплекс нижнекоровых (кумулятивных пород). Плутонические породы ультрабазит-базитового состава присутствуют в Алучинском массиве и составляют большую часть Громадненско-Вургувеевского массива.

В Алучинском массиве кумулятивные породы вскрываются на западном фланге. Они занимают структурное положение между Атамановским массивом диабазов и комплексом мантийных перидотитов. Кумуляты представляют собой полосчатые породы, которые могут быть разделены на две группы. Первая

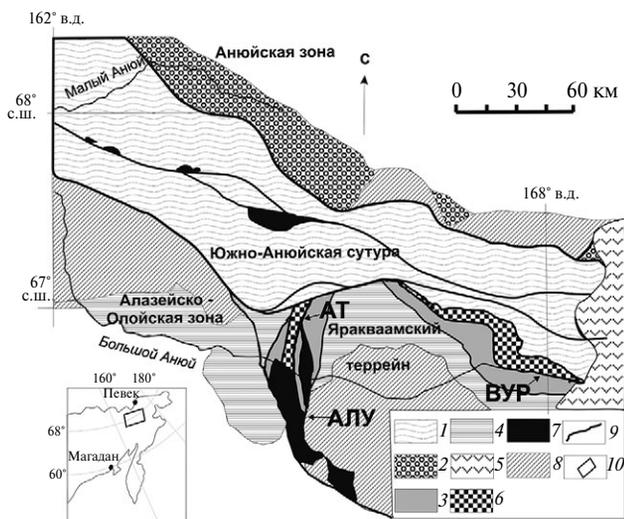


Рис. 1. Схема основных структурных элементов Южно-Аноийской сутуры и её обрамления по [1] с изменениями. 1 — мезозойские вулканогенно-терригенные комплексы Южно-Аноийской сутуры; 2 — триасовые турбидиты Аноийской зоны Аноийско-Чукотской складчатой системы; 3—4 — Верхояно-Колымская складчатая система: 3 — позднепалеозойские вулканогенно-терригенные отложения Алазейско-Олойской зоны; 4 — мезозойские вулканогенно-терригенные отложения Алазейско-Олойской зоны; 5 — меловые молассовые отложения; 6, 7 — ультрабазит-базитовые массивы (6 — с преобладанием базитов, 7 — с преобладанием ультрабазитов); 8 — меловые наложенные вулканогенно-осадочные комплексы; 9 — разломы; 10 — район работ: АТ — Атамановский массив, ВУР — Громадненско-Вургувеевский массив, АЛУ — Алучинский массив.

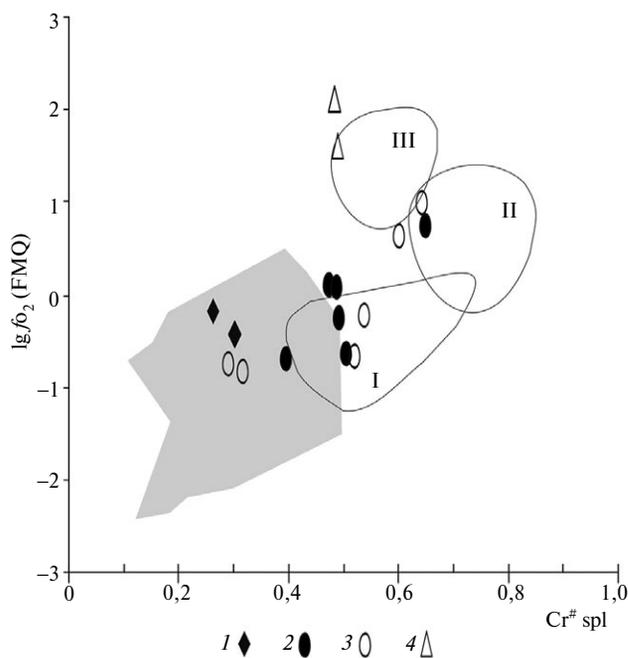


Рис. 2. Диаграмма зависимости фугитивности кислорода от хромистости шпинелида для мантийных ультрабазитов Алучинского массива. Линиями показаны поля ультрабазитов Идзу-Бонин-Марианской островодужной системы по [13] с упрощениями: серым показана область абиссальных ультрабазитов, I — переходные ультрабазиты, II, III — островодужные ультрабазиты; 1, 2 — клинопироксенсодержащие гарцбургиты; 3 — гарцбургиты; 4 — дунит.

группа включает в себя дуниты, верлиты с подчинённым количеством клинопироксенитов, троктолитов и оливиновых габбро. Вторая группа представлена полосчатым габбро, абсолютный возраст которого составил 306 млн лет (Ar/Ar-метод, плагиоклаз) и 280 млн лет (U/Pb-SHRIMP) (анализы проведены по одному образцу) [10], что соответствует позднему карбону — границе ранней—средней перми. Кумуляты Громаднинско-Вургувеевского массива на 90% представлены полосчатыми габбро-норитами, с подчинённым количеством габбро, габбро-анортозитов. Кумуляты ультраосновного состава распространены незначительно, около 5–10% пород массива. Они образуют линзовидные тела в габбро-норитах, представленные дунитами, верлитами, нередко содержащими плагиоклаз, троктолитами, оливиновым габбро. Изотопные датировки вторичных изменений кумулятивных пород, полученные Ar/Ar-методом составили 332 млн лет для плагиогранитизированного габбро-норита [9] и 312 млн лет (вторичный амфибол) для амфиболитизированного габбро-норита [10]. Возраст амфиболитизированного верлита составил 296 млн лет (Ar/Ar-метод, валовый состав) [10]. Таким образом, время формирования нижнекоровых кумулятов Громадненско-Вургувеевского массива соответствует интервалу средний—поздний карбон и хорошо коррелирует со временем формирования кумулятов Алучинского массива.

Химический состав кумулятов определяется молекулярным количеством цветных минералов. В соответствии с этим на петрохимических диаграммах породы массивов распадаются на две группы, которые отличаются величиной магнезиальности ($Mg\# = 73,38-52,75$ — для перидотитов; $67,6-22,8$ для габбро, габбро-норитов). Габброиды Громадненско-Вургувеевского массива являются более лейкократовыми. Для всех пород характерно увеличение концентраций кальция, глинозёма, титана, кремния и натрия с уменьшением магнезиальности, что является показателем процесса кристаллизационной дифференциации. Общим свойством для всех нижнекоровых пород является низкая титанистость ($TiO_2 = 0,06-1,5$ мас.%), низкая суммарная щёлочность, низкие концентрации и практически идентичный характер распределения рассеянных элементов, что позволяет рассматривать нижнекоровые породы обоих массивов как надсубдукционные, кристаллизовавшиеся из расплавов типа бонинитов и островодужных толеитов. Данные по составу минералов также подтверждают этот вывод [11].

Дайковые серии (верхнекоровый комплекс). Дайками диабазов и крупнозернистых габбро-диабазов сложен

Атамановский массив, который расположен к западу от Алучинского и имеет с ним интрузивные и тектонические контакты. Массив представляет собой базитовую (коровую) часть Алучинских офиолитов. Среди дайковых тел, которыми сложен массив, присутствуют скрины различных серпенинизированных ультрабазитов. Согласно имеющимся изотопным датировкам, возраст диабазов оценивается как позднетриасовый (230 млн лет, Ar/Ar-метод, вторичная роговая обманка) [10]. Различные параметры химического состава для большей части диабазов, такие как низкое содержания калия, высокое содержания титана TiO_2 (1,43–1,93 мас.%), равномерное распределение P3Э (La+Sm+Yb 8,8–11,4 г/т; La/Yb 0,7–0,9) указывают на то, что эти породы кристаллизовались из расплавов типа N–MORB. В то же время по ряду других характеристик составы диабазов занимают промежуточное положение между расплавами N–MORB и островодужными (рис. 3). Ультрабазиты Алучинского массива, в свою очередь, прорваны сериями диабазовых даек, образующих разрозненные тела или группирующихся в рои. Вещественный состав этих пород в большей степени соответствует островодужным толеитам, но по ряду характеристик отдельные образцы отклоняются в сторону состава N–MORB (рис. 3). Изотопные датировки практически совпадают с датировками диабазов Атамановского массива — 228 млн лет (Ar/Ar-метод, валовый состав) [10]. Таким образом, дайковые серии Атамановского и Алучинского массивов свидетельствуют о формировании диабазов с промежуточными характеристиками между расплавами типа толеитов N–MORB и островодужными толеитами, что характерно для процессов раскрытия задуговых бассейнов, примером которых является Марианский жёлоб (рис. 3).

В Громадненско-Вургувеевском массиве дайки также образуют две пространственно разобщённых серии. Дайки одной из них представлены редкими разрозненными маломощными телами мелкозернистых диабазов, прорывающих габброиды массива в их внутренней части. По составу дайки являются промежуточными между толеитами типа N–MORB и островодужными толеитами. Их изотопный возраст составил 264 млн лет, поздняя пермь (Ar/Ar-метод, валовый состав) [10]. Вторая серия дайковых тел прорывает габброиды массива в левом борту р. Коральвеем и образует обнажение протяжённостью около 2 км, представленное субвертикальными телами диабазов, габбро-диабазов, базальтов, андезитов-базальтов, андезитов, дацитов. В верхней части разреза встречаются тела вулканокластических по-

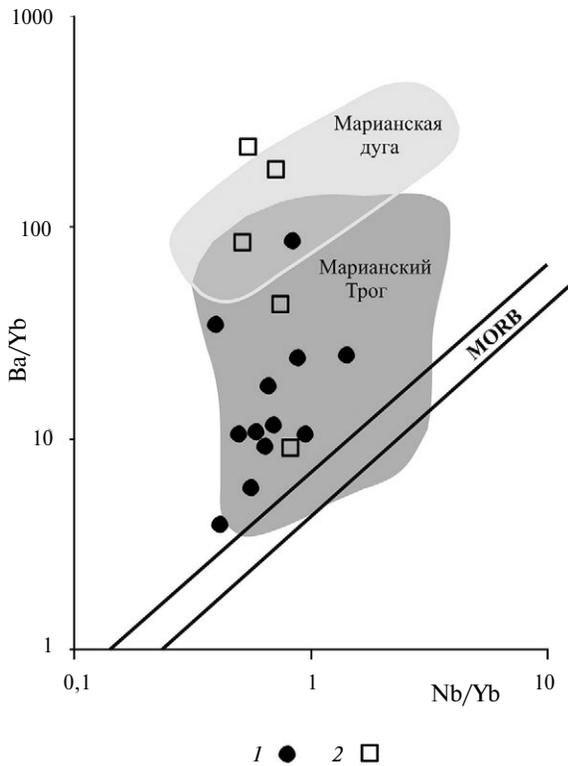


Рис. 3. Зависимость Nb/Yb–Ba/Yb по (Pearce, Stern, 2006) для дайковых серий Атамановского и Алучинского массивов. 1 — дайки Атамановского массива, 2 — дайки Алучинского массива.

род. Среди даек наблюдаются скрины габбро. Вещественный состав даек отличается ярко выраженными островодужными характеристиками: низкие содержания титана ($TiO_2 = 0,4–1,4$ мас. %), элементов группы железа ($Cr = 40–60$ г/т и $Ni = 30–40$ г/т), повышенные содержания глинозёма $Al_2O_3 = 15–16$ мас. %. Распределение элементов-примесей ха-

рактеризуется повышенными концентрациями лёгких и пониженными высокочarged элементов, с выраженными Ta–Nb-минимумами.

Дайки занимают пограничное положение между габброидами массива и расположенным южнее и структурно выше островодужным вулканогенным комплексом Яракваамского субтеррейна. Датированные фаунистически вулканисты имеют раннекаменноугольно-пермский возраст [14]. Слагающие его средние и кислые эффузивы близки по составу к описанным дайкам [15], что позволяет проводить корреляцию между дайками массива и эффузивами и рассматривать их как единый комплекс.

Приведённые данные по возрасту, составу и геодинамическим обстановкам формирования магматических комплексов офиолитов свидетельствуют о существовании в данном регионе, по крайней мере, с раннего карбона, энсиматической островной дуги, которая отделяла структуры Северо-Азиатского континента от Прото-Арктического океана (рис. 4) [7]. С учётом данных, приведённых в статье, а также региональных геологических данных, в эволюции этой субдукционной зоны можно выделить несколько этапов (табл. 1).

Наиболее ранними породами являются мантийные ультрабазиты Алучинского массива океанической природы. Формирование этих пород, очевидно, должно предшествовать формированию надсубдукционных реститов и кумулятов, возраст вторичных изменений которых, согласно изотопным данным, соответствует среднему карбону (кумуляты Громаденско-Вургувеевского массива) — средней перми (кумуляты Алучинского массива). Таким образом, заложение зоны субдукции, вероятно, происходило



Рис. 4. Палеогеодинамический профиль для позднепалеозойского-раннемезозойского времени.

Таблица 1. Индикаторные магматические комплексы и тектонические события в эволюции офиолитов Западной Чукотки

| Время | Тектонические события | Индикаторные магматические комплексы |
|-------------------------------|--|--|
| Ранний карбон — поздняя пермь | Заложение и развитие зоны субдукции (Яракваамская островная дуга) | Островодужные вулканиты Яракваамского террейна (C ₁ –P ₂), Громадненско-Вургувеемский массив: плутонический комплекс (C ₁ –P ₁), дайковый комплекс (P ₂). Алучинский массив: плутонический комплекс (верхняя граница P _{1–2}) |
| Поздний триас — средняя юра | Амальгамация Алучинского и Громадненско-Вургувеемского массивов и островодужных террейнов (образование системы Алазейско-Олойской дуг). Образование задугового бассейна | Позднетриасовые конгломераты, вулканогенно-терригенные комплексы Яракваамского террейна (T ₃ –J ₂). Дайковые серии типа (ВАВВ) Алучинского офиолитового комплекса (T ₃) |
| Поздняя юра — ранний мел | Остаточный Южно-Аньюский бассейн, субдукция под аккреционную кору Северо-Азиатского континента, на краю которого существовал Олойский вулканический пояс. Коллизия Азии и Чукотки | Турбидиты J ₃ –K ₁ Вулканиты дифференцированной серии J ₃ –K ₁ . Аккреционная призма с фрагментами океанической коры Постколлизийные граниты 115–117 млн лет |

в раннем карбоне. В предпозднетриасовое время происходит амальгамация нескольких островодужных террейнов, о чём свидетельствуют несогласно перекрывающие их позднетриасовые конгломераты, содержащие офиолитовые обломки [7, 11]. Этот процесс приводит к формированию Алазейско-Олойской островодужной системы. В позднем триасе формируются задуговые бассейны (диабазы Атамановского массива). В средней юре террейны Алазейско-Олойской системы входят в состав блоков Колымо-Омолонского супертеррейна, ([3, 7] и др.) (рис. 4). В поздней юре прекращается спрединг в Прото-Арктическом океане, отмирает Кульполнейская дуга, под Алазейско-Олойскую систему продолжает субдуцироваться океаническая кора остаточного позднеюрско–раннемелового Южно-Аньюского бассейна. Последовавшая затем коллизия Северо-Азиатского и Чукотского континентов привела к тектоническому скупиванию и формированию современного разреза Яракваамского террейна, фундамент которого в его северной и западной частях представлен офиолитами Громадненско-Вургувеемского, Алучинского и Атамановского массивов.

Источник финансирования. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 14–05–00031.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лычагин П.П., Бялобжеский С.Г., Колясников Ю.А., Ликман В.Б.* Магматическая история Южно-Аньюской складчатой зоны. В кн. Геология зоны перехода континент-океан на Северо-Востоке Азии (реферативное изложение результатов важнейших исследований 1985–1990 гг.). Препр. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1991. С. 140–157.
2. *Лычагин П.П.* // Тихоокеан. геология. 1985. № 5. С. 33–41.
3. *Парфенов Л.М.* Континентальные окраины и островные дуги в мезозоидах северо-востока Азии. Новосибирск: Наука, 1984. 192 с.
4. *Натальин Б.А.* Раннемезозойские эвгеосинклинальные системы северной части тихоокеанского обрамления. М.: Наука, 1984. 135 с.
5. *Сеславинский К.Б.* // ДАН. 1979. Т. 245. № 5. С. 1181–1185.
6. *Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Натанов Л.П.* Тектоника литосферных плит СССР. М.: Недра, 1990. Кн. 2. 334 с.
7. *Соколов С.Д., Тучкова М.И., Ганелин А.В., Бондаренко Г.Е., Лэйер П.* Тектоника Южно-Аньюской сутуры // Геотектоника. 2015. № 1. С. 5–30.
8. *Радзивилл А.Я., Радзивилл В.Я.* Позднеюрские магматические образования Южно-Аньюского прогиба. В кн. Магматизм Северо-Востока Азии. Труды

- первого северо-восточного петрографического совещания, ч. II. Магадан: Магадан. кн. изд-во, 1975. С. 71–80.
9. *Кораго Е.А.* Магматические формации р. Бол. Анюй как индикаторы геодинамических обстановок прошлого и длительно-дискретного развития Южно-Анюйской складчатой зоны. Магматизм и метаморфизм Северо-Востока Азии. Материалы IV регионального петрографического совещания по Северо-Востоку России. Магадан, 2000. С. 187–190.
 10. *Ганелин А.В., Соколов С.Д., Лэйер П., Симонов В.А.* // ДАН. 2013. Т. 451. № 1. С. 60–64.
 11. *Ганелин А.В.* Офиолитовые комплексы Западной Чукотки (строение, возраст, состав, геодинамические обстановки формирования). Автореферат дисс. канд. геол.-минерал. наук. М., 2015. 28 с.
 12. *Базылев Б.А., Закариадзе Г.С., Железникова-Понайотова М.Д., Колчева К., Оберхансли Р.Э., Соловьева Н.В.* // Петрология. 1999. Т. 7. № 2. С. 191–212.
 13. *Parkinson I.J., Pearce J.A.* // J. Petrol. 1998. V. 39. № 4. P. 1577–1618.
 14. *Шеховцов В.А., Глотов С.П.* Государственная геологическая карта РФ 1:200 000. Сер. Олойская. Лист Q-58-XI, XII. Объясн. зап. М.; СПб., 2000.
 15. *Бондаренко Г.Е.* Тектоника и геодинамическая эволюция мезозойд северного обрамления Тихого океана. Автореферат дис. д-ра геол.-минерал. наук. М.: МГУ, 2004.

CORRELATION OF MAGMATIC AND TECTONIC EVENTS IN THE EVOLUTION OF THE WEST CHUKOTKA OPHIOLITES

A. V. Ganelin, S. D. Sokolov

Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

Presented by Academician of the RAS M.A. Fedoskin April 5, 2017

Received April 11, 2017

The article is an overview of the magmatic and geodynamic processes that formed Aluchin and Gromadnen-Vurguvem ophiolites in the territory of Western Chukotka. The ophiolites formed into a convergent system between the Siberian continent and the Proto-Arctic Ocean. In the tectonic evolution of this system, important milestones have been identified: the Early Carboniferous, the Later Triassic and the Late Jurassic

Keywords: ophiolites, magmatism, geodynamics, Proto-Arctic Ocean, Western Chukotka, tectonics of North Eastern Asia.