

УДК 551.2:552.3

## U–Th–Pb (SIMS)-ВОЗРАСТ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ВУЛКАНИТОВ ИНДИГИРСКОГО РАЗРЕЗА УЯНДИНО-ЯСАЧНЕНСКОГО ВУЛКАНИЧЕСКОГО ПОЯСА (СЕВЕРО-ВОСТОК АЗИИ)

© 2021 г. А. В. Ганелин<sup>1,\*</sup>, М. В. Лучицкая<sup>1</sup>, М. В. Маскаев<sup>1</sup>

Представлено академиком РАН К.Е. Дегтяревым 03.09.2020 г.

Поступило 04.09.2020 г.

После доработки 02.11.2020 г.

Принято к публикации 03.11.2020 г.

Уяндино-Ясачненский вулcano-плутонический пояс (УЯВП) позднеюрского возраста перекрывает складчатые структуры хребта Черского и протягивается от верховьев р. Колыма в северо-западном направлении на 900 км, являясь одним из крупнейших вулканических поясов на Северо-Востоке Азии. Для пород пояса характерна сильная фациальная изменчивость, что свидетельствует о его гетерогенной природе. Представлены первые данные по U–Pb-датированию цирконов и геохимическим особенностям пород Индигирского разреза вулканитов Дарпирской зоны УЯВП. Конкордантный U–Pb-возраст вулканитов составляет  $150 \pm 2$ – $152 \pm 2$  млн лет, что соответствует титонскому веку поздней юры. Сделан вывод о том, что условия формирования вулканитов изменяются вверх по разрезу от типичных для зрелых островных дуг до более характерных для активных континентальных окраин.

*Ключевые слова:* Северо-Восток Азии, геодинамика, зрелая островная дуга, континентальная окраина, кислый магматизм, геохронология, циркон

DOI: 10.31857/S2686739721010072

Уяндино-Ясачненский вулcano-плутонический пояс (УЯВП) относится к мезозойским структурам Верхояно-Колымской складчатой системы. Его образования перекрывают коллизионный пояс Черского, протягиваясь на расстояние около 900 км с юго-востока (от верховьев р. Колыма) на северо-запад (к верховьям рр. Селенях и Уяндина) и имеют ширину выходов более 100 км (рис. 1). Согласно существующим представлениям, отложения УЯВП были сформированы в результате развития позднеюрской зоны субдукции в бассейне располагавшимся к востоку от Верхоянской окраины и отделявшим структуры Сибири от Колымо-Омолонского супертеррейна [1–8]. Вопрос о вергентности зоны субдукции и позиции преддугового и задугового бассейнов является дискуссионным. По мнению одних исследователей субдукция была направлена на запад в сторону Сибири [1, 4]. В этом случае в качестве тылового бассейна рассматриваются юрские флишевые отложения Иньяли-Дебинского прогиба, расположенного к западу от УЯВП, а в каче-

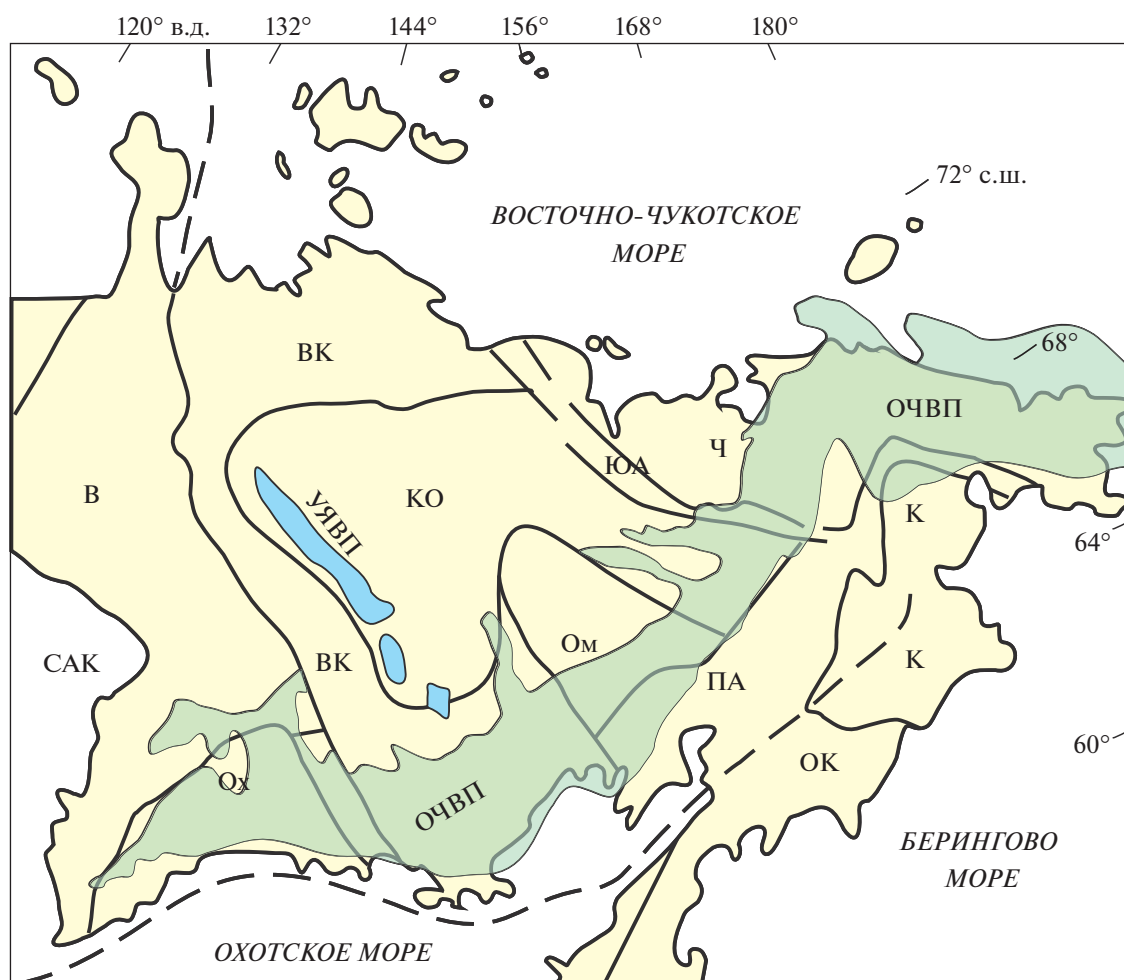
стве преддугового бассейна – волжские отложения Илинью-Тасского антиклинория, расположенного к востоку от УЯВП [1, 4]. По мнению других исследователей, направление субдукции было северо-восточным под структуры Колымо-Омолонского субтеррейна. В этом случае отложения Иньяли-Дебинского прогиба рассматриваются в качестве преддугового бассейна, а Илинью-Тасского – в качестве тылового [2].

УЯВП сложен преимущественно верхнеюрскими вулcanoгенно-осадочными образованиями, для которых характерна сильная фациальная изменчивость. Вкрест простирания с северо-востока на юго-запад в строении пояса выделены две зоны: Илинью-Тасская и Дарпирская [1]. В Илинью-Тасской зоне преобладают базальтоиды, в Дарпирской – вулканиты кислого состава. Согласно биостратиграфическим данным, возраст пород пояса характеризуется широкими вариациями в пределах поздней юры, при этом наблюдается омоложение возраста вкрест простирания от Илиньютасской к Дарпирской зоне [1].

Несмотря на многочисленные исследования ([1, 3–8] и др.), геодинамическая природа УЯВП до конца не ясна. Большинство авторов, констатируя общий надсубдукционный характер вулканизма, расходятся во мнениях относительно конкрет-

<sup>1</sup> Геологический институт Российской академии наук, Москва, Россия

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



**Рис. 1.** Схема орогенных поясов Северо-Востока Азии по [2]. Орогенные пояса, кратоны и кратонные террейны: САК – Северо-Азиатский кратон, В – Верхоянский складчато-надвиговый пояс, ВК – Верхояно-Колымский пояс, КО – Колымо-омолонский супертеррейн, ЮА – Южно-Аньюский пояс, Ч – Чукотский пояс, К – Корякский пояс, ПА – Пенжинско-Анадырский пояс, ОК – Олюторско-Камчатский пояс, Ох – Охотский террейн, Ом – Омолонский террейн. Вулканические пояса: УЯВП – Уяндино-Ясачненский пояс, ОЧВП – Охотско-Чукотский пояс.

ных геодинамических условий формирования комплексов УЯВП. Некоторые исследователи рассматривают комплексы пояса как позднеюрские рифтогенные образования [6]. Не исключается возможность формирования отдельных сегментов пояса в различных геодинамических обстановках [1]. В настоящее время достаточно детально изучена стратиграфия УЯВП [3], стали появляться современные геохронологические данные [7, 8]. Вещественный состав пород наиболее полно охарактеризован только для северного сегмента пояса [5].

Задачей настоящей работы является представление данных по вещественному составу и U–Th–Pb (SIMS)-датированию цирконов из кислых вулканитов ранее не изучавшегося Индигирского разреза Дарпирской зоны УЯВП.

В бассейне среднего течения р. Индигирка УЯВП представлен вулканогенно-осадочными

толщами преимущественно кислого состава. Фрагменты разреза вскрываются в береговых обрывах р. Индигирка на протяжении 50 км вверх по течению от устья р. Уструктах до устья р. Сары-Кыллах. В разрезе выделено две толщи, возраст которых по данным геолого-съёмочных работ определен по комплексам бухий как оксфорд–киммеридж и киммеридж–волга [9]. Следует отметить, что по данным [1], породы дарпирской зоны характеризуются преимущественно киммериджским возрастом.

Нижняя толща согласно перекрывает карбонатно-терригенные отложения келловейского яруса мощностью 700 м [9]. В ее основании залегают андезиты, сменяющиеся чередованием пачек дацитов и риолитов (мощность от 40 до 200 м) с пачками и горизонтами кислых туфов и лавобрекчий, среди которых присутствуют прослои (мощностью до 10 м) терригенных пород. Макси-

мальная мощность толщи в районе – 900 м [9]. Верхняя толща согласно перекрывает нижнюю толщу и сложена дацитами и риолитами (мощность пачек 60–120 м) с маломощными терригенными прослоями в нижней части. Видимая мощность около 1000 м.

### U–Th–Pb (SIMS)-ДАТИРОВАНИЕ

U–Th–Pb (SIMS)-датирование акцессорных цирконов осуществлялось на вторично-ионном микрозонде SHRIMP-II в Центре изотопных исследований (ЦИИ ФГУП “ВСЕГЕИ”) по методике, изложенной в [10]. Впервые получены геохронологические данные по акцессорным цирконам из кислых вулканитов обеих толщ Индигирского разреза (рис. 2). Все зерна цирконов имеют удлиненную и призматическую форму с хорошо выраженной концентрической зональностью, свидетельствующей об их магматическом генезисе. Для вулканитов из различных частей нижней толщи оценки возраста составляют  $151 \pm 2$  млн лет и  $152 \pm 2$  млн лет (рис. 2а, 2б). Для эффузивов из верхней толщи получены совпадающие в пределах ошибки оценки возраста  $151 \pm 1$ – $150 \pm 2$  млн лет (рис. 2в, 2г). Ранее на основании фаунистических данных возраст нижней толщи рассматривался как оксфорд-киммериджский, а верхней как киммеридж-волжский (титонский) [9]. Полученные нами датировки свидетельствуют о более молодом (раннетитонском) возрасте обеих толщ Индигирского разреза. Из этого следует, что между изученными вулканитами и подстилающими их отложениями келловейского возраста существует стратиграфический перерыв в объеме оксфорд-киммериджа. Следует отметить, что возраст отложений УЯВП в целом характеризуется оксфорд-волжским (титонским) временем ([1, 3, 4] и др.). Не исключено, что дальнейшее изучение УЯВП методом U–Pb-датирования приведет к существенной коррекции времени его формирования. Наличие стратиграфического перерыва может быть следствием смены островодужного режима на окраинно-континентальный, что нашло свое отражение в геохимических параметрах. Выяснение геодинамической природы УЯВП и палеотектонические реконструкции конвергентной границы во многом будут определяться седиментологическими особенностями отложений смежных Иньяли-Дебинского и Илин-Тасского бассейнов.

### ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВУЛКАНИТОВ

По соотношению  $\text{SiO}_2$  и  $\text{K}_2\text{O}$  (рис. 3) вулканиты изученного разреза образуют три серии. Андезибазальты, дациты, риолиты нижней толщи занимают пограничное положение между островодужной то-

леитовой и известково-щелочной сериями. Риолиты из основания верхней толщи соответствуют известково-щелочной серии; дациты и риолиты верхов разреза – высококальциевой известково-щелочной серии.

Андезибазальты из основания разреза характеризуются умеренной магнезиальностью ( $\text{Mg}^\# = 0.4$ – $0.5$ ). На дискриминантных диаграммах (Ti–V и Th–Hf–Ta) точки их составов ложатся в поля островодужных вулканитов, а на диаграмме Пирса [12] Nb/Yb–Th/Yb – в поле активных континентальных окраин.

Особенности распределения некоторых петрогенных элементов (Ti, K, Si, Ca) для вулканитов кислого состава показаны на диаграмме Пискунова [13], которая отражает отличие концентраций этих элементов в породах зрелых островных дуг и активных континентальных окраин (рис. 4). На диаграмме хорошо видно, что точки составов дацитов и риолитов из нижней толщи, а также риолитов из низов верхней толщи попадают в поле пород островных дуг, а также в область перекрытия полей зрелых островных дуг и активных континентальных окраин. Точки составов пород кислого состава из верхов разреза группируются вдоль границы пересечения полей, часть из них лежит в поле вулканитов активных окраин.

Особенности распределения РЗЭ соответствуют островодужному типу, при этом особенности фракционирования несколько отличаются для пород из разных пачек разреза. Наименьшие концентрации РЗЭ наблюдаются в андезибазальтах основания ( $\text{La} + \text{Sm} + \text{Yb} = 13.6$  г/т) с преобладанием легких над средними и тяжелыми РЗЭ ( $\text{La}/\text{Sm} = 2.5$ ;  $\text{La}/\text{Yb} = 3.5$ ). Суммарные концентрации РЗЭ в риолитах колеблются в диапазоне ( $\text{La} + \text{Sm} + \text{Yb} = 40.8$ – $58.4$  г/т), причем максимальные значения характерны для риолитов из нижней пачки. Все риолиты обогащены легкими РЗЭ относительно средних и тяжелых, при этом степень обогащения риолитов верхов разреза значительно больше ( $\text{La}_n/\text{Sm}_n = 2.2$ – $2.7$ ;  $\text{La}_n/\text{Yb}_n = 3.5$  – в риолитах нижней пачки и основаниях верхней пачки,  $\text{La}_n/\text{Sm}_n = 3.3$ ;  $\text{La}_n/\text{Yb}_n = 6$ – $10.4$  – в риолитах верхней части верхней пачки).

Мультиэлементные спектры однотипны для всех кислых пород с преобладанием крупноионных литофильных элементов над высокозарядными. Наблюдается глубокая отрицательная Ta–Nb-аномалия, в остальном спектры близки к спектру континентальной коры.

Следует отметить еще ряд важных особенностей состава вулканитов Индигирского разреза. Все изученные породы, включая андезибазальты, характеризуются отрицательными значениями  $\epsilon_{\text{Nd}}$  (–2.4 до –6.4), что свидетельствует о значительном вкладе корового источника в их образование. По соотношению изотопов неодима и

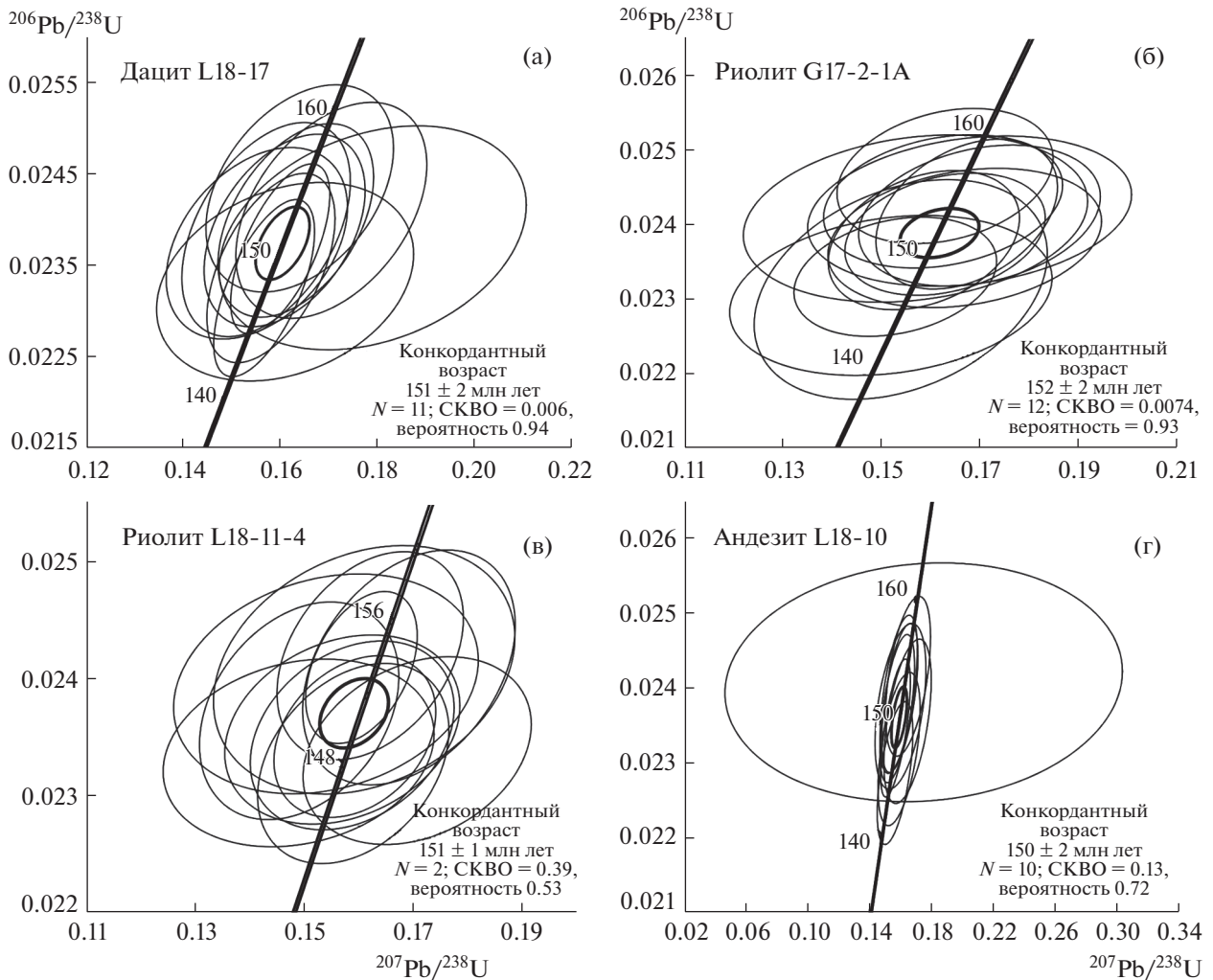


Рис. 2. Диаграммы с конкордиями для цирконов из вулканитов Индигирского разреза УЯВП.

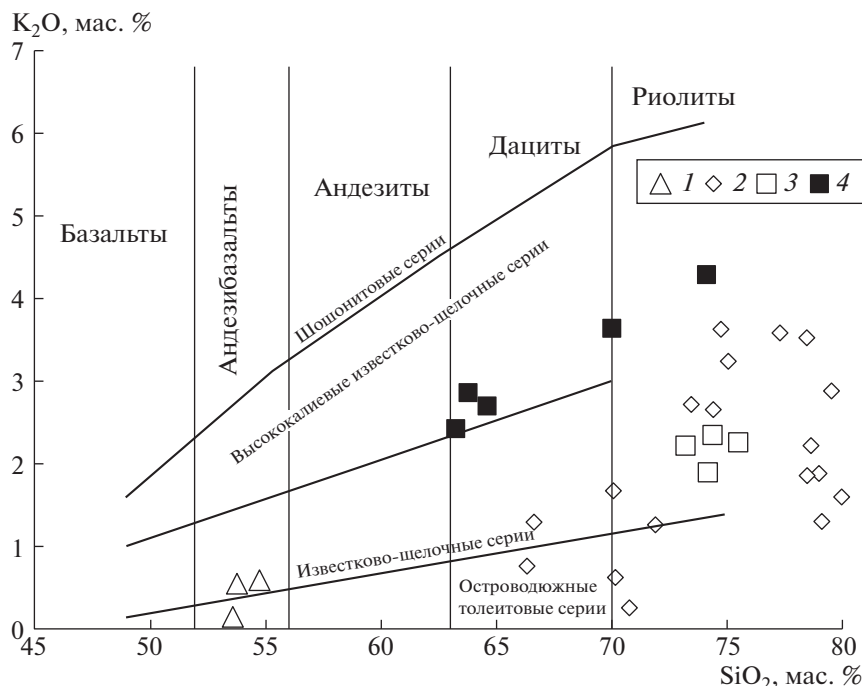
стронция ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.708\text{--}0.715$ ;  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.5122\text{--}0.5124$ ) исследуемые вулканиты сопоставимы с вулканитами центрального сегмента Анд [14]. Составы кислых вулканитов на диаграмме зависимости  $(\text{Y} + \text{Nb})\text{--Rb}$  располагаются как в поле гранитоидов вулканических дуг, так и в поле внутриплитных гранитоидов. Такая особенность характерна для гранитоидов активных континентальных окраин [15].

Представленные данные позволяют сделать вывод, что вверх по разрезу происходит изменение условий формирования вулканитов. Это выражается в том, что составы пород известково-щелочных серий нижней толщи и основания верхней толщи характеризуют геодинамическую обстановку зрелой островной дуги. Состав вулканитов высококальциевой известково-щелочной серии верхов разреза может свидетельствовать о формировании пород в пределах как зрелой ост-

ровой дуги, так и активной континентальной окраины.

Полученные данные имеют важное значение как для межрегиональных корреляций тектономагматических событий на конвергентных окраинах Сибирского континента с окружающими океаническими бассейнами, так и для палеотектонических реконструкций Верхояно-Чукотских мезозоид в поздней юре.

Раннетитонский возраст изученных вулканитов определяет время завершения субдукции, вызвавшей коллизию Колымо-Омолонского микроконтинента и Сибирского континента. Однако вдоль северо-восточной границы Колымо-Омолонского микроконтинента с Прото-Арктическим океаном субдукция продолжалась и в раннемеловое время, где образовался Олойский вулканический пояс [2, 16]. Корреляция УЯВП с Кульпольнейской и Нутесынской островными дугами также становится невозможной, так как в



**Рис. 3.** Диаграмма SiO<sub>2</sub>–K<sub>2</sub>O [11] для вулканитов Индигирского разреза УЯВП. 1, 2 – нижняя толща: 1 – андезибазальты основания, 2 – вулканиты кислого состава средней и верхней части толщи; 3, 4 – верхняя толща: 3 – риолиты основания, 4 – вулканиты кислого состава из верхней части толщи.

первом случае дуга существовала в оксфорд-киммеридже, а в волжско (титон)-вланжинское время возникла новая Нутесынская дуга [17].

Следовательно, коллизия Колымо-Омолонского микроконтинента с Сибирью произошла

раньше, чем коллизия Чукотского микроконтинента со структурами активной окраины Сибири, вызвавшая образование Южно-Анхойской сутуры [18]. Отсюда также следует вывод о различной тектоно-магматической истории и разных конвергентных границах Колымо-Омолонского микроконтинента с Сибирью и с Прото-Арктическим океаном.

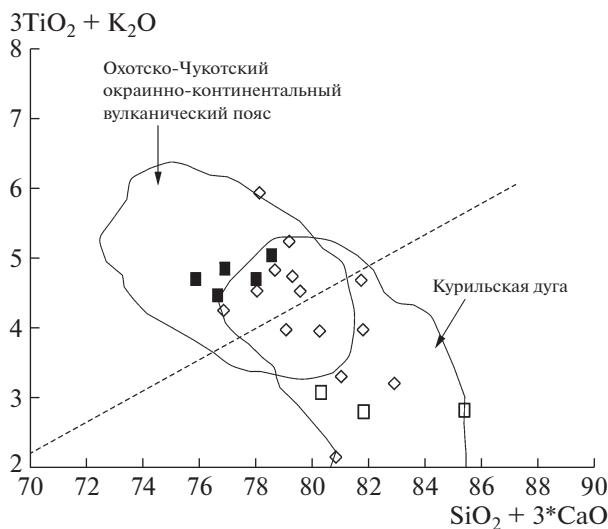
Сделанные выше выводы о конвергентных границах безусловно носят предварительный характер, поскольку они сделаны на основании изучения Индигирского сегмента УЯВП. Для решения выдвинутой проблемы необходимо дальнейшее изучение островодужных комплексов верхней юры – нижнего мела Верхояно-Чукотских мезозойд.

**БЛАГОДАРНОСТИ**

Авторы выражают благодарность сотрудникам и директору Природного парка “Момский” М.Н. Иванову за оказанную помощь в организации полевых работ.

**ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ**

Работы выполнены за счет гранта РФФ 20-17-00197; базовое финансирование сотрудников за счет субсидии 0135-2019-0038.



**Рис. 4.** Диаграмма Пискунова [13] для вулканитов Индигирского разреза УЯВП. Пунктирная линия разделяет области зрелых островных дуг и активных континентальных окраин. Остальные условные обозначения см. рис. 3.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дылевский Е.Ф. Зональность Уяндино-Ясачненского вулканического пояса и его тектоническая природа (Северо-Восток Азии) // Геотектоника. 1994. № 4. С. 52–62.
2. Парфенов Л.М., Берзин Н.А., Ханчук А.И. и др. Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии // Тихоокеанская геология. 2003. Т. 22. № 6. С. 4–41.
3. Данилов В.Г., Ставский А.П. Стратиграфия и литология Уяндино-Ясачненского вулканического пояса // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1984. Т. 59. № 1. С. 44–55.
4. Гедько М.А. Уяндино-Ясачненская позднеюрская островная дуга (Северо-Восток СССР) // Геотектоника. 1988. № 3. С. 88–100.
5. Трунилина В.А., Орлов Ю.С., Роев С.П. Магматические ассоциации Уяндино-Ясачненского вулкано-плутонического пояса и его геодинамическая природа // Отечественная геология. 2004. № 5. С. 53–56.
6. Сурнин А.А. Позднеюрские ультраосновные и основные комплексы Колымского массива. Новосибирск: Наука, 1990. 160 с.
7. Akinin V.V., Miller E.L., Toro J., et al. Episodicity and the Dance of Late Mesozoic Magmatism and Deformation Along the Northern Circum-Pacific Margin: North-eastern Russia to the Cordillera // Earth Science Review. 2020. V. 208.
8. Prokopyev A.V., Toro J., Miller E.L., et al. Large Igneous Provinces of Asia, Mantle Plumes and Metallogeny. Novosibirsk: Publ. House SB RAS, 2007. P. 51–54.
9. Объяснительная записка к листам Q-54-XXI, XXII, XXIII, XXIV Гос. геол. карты СССР. Ред. В.Г. Данилов. М. 1988.
10. Williams I.S. U-Th-Pb Geochronology by Ion Microprobe / M.A. McKibben, W.C. Shanks III, W.I. Ridley (eds.) Applications of Microanalytical Techniques to Understanding Mineralizing Processes // Rev. Econ. Geol. 1998. V. 7. P. 1–35.
11. Le Maitre R.W., Bateman P., Dudek A., Keller J., Lameyre Le Bas M.J., Sabine P.A., Schmid R., Sorensen H., Streckeisen A., Woolley A.R., Zanettin B.A. Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms. Blackwell, Oxford. 1989. P. 236.
12. Pearce J.A., Cann J.R. Tectonic Setting of Basic Volcanic Rocks Determined Using Trace Element Analyses // Earth Planet. Sci. Lett. 1983. № 19. P. 290–300.
13. Пискунов Б.М. Геолого-петрологическая специфика вулканизма островных дуг. М.: Наука, 1987. 238 с.
14. Hawkesworth C.J. Isotope Characteristics of Magmas Erupted along Destructive Plate Margins / Ed. by Thorpe R.S. Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks. New York: John Wiley and Sons, 1982. P. 549–571.
15. Лучицкая М.В. Гранитоидный магматизм и становление континентальной коры северного обрамления Тихого океана в мезозое-кайнозое. М.: ГЕОС, 2014. 360 с.
16. Горячев Н.А. Золоторудообразующие системы орогенных поясов. Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2006. № 1. С. 2–16.
17. Ватрушкина Е.В., Тучкова М.И., Соколов С.Д. Позднеюрский-раннемеловой надсубдукционный вулканизм Чукотского террейна (Арктический регион, Россия) // Геотектоника. 2019. № 6. С. 1–14.
18. Соколов С.Д., Тучкова М.И., Ганелин А.В., Бондаренко Г.Е., Лэйер П. Тектоника Южно-Анхойской суцтуры // Геотектоника. 2015. № 1. С. 5–30.

## U–Th–Pb (SIMS) DATING AND CONDITIONS OF FORMATION OF VOLCANITES OF THE UYANDIN-YASACHNEN VOLCANIC BELT (NORTH-EAST ASIA, INDIGIR CROSS-SECTION)

A. V. Ganelin<sup>a, #</sup>, M. V. Luchitskaya<sup>a</sup>, and M. V. Maskaev<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Geological Institute Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

<sup>#</sup> E-mail: al-gan@yandex.ru

Presented by Academician of the RAS K. E. Degtyariov September 3, 2020

The Uyangino-Yasachnen volcanic-plutonic belt (UYVB) is located in Northeast Asia. It is one of the largest volcanic belts in the region and extends for 900 km from the headwaters of the Kolyma River in a northwestern direction. UYVB are of late Jurassic age and overlap the folded structures of the Chersky collision belt. The rocks of the UYVB are characterized by strong variability of the composition of volcanics, which indicates its heterogeneity. UYVB was studied at the cross-section of the Indigirka River. The article presents the first data on U–Pb dating of zircons and geochemical features of rocks. The concordant U–Pb age of volcanics is  $150 \pm 2$ – $152 \pm 2$  Ma (Kimmeridge – Volga of the Late Jurassic). It is concluded that to the top of a cross section the conditions of formation of volcanites change from those typical for Mature island arcs to those more typical for active continental margins.

**Keywords:** Northeast Asia, geodynamics, mature island arc, continental margin, magmatism, geochronology, zircon