

УДК 551.243; 552.2; 550.4; 550.93

## ПОЗДНЕЮРСКИЙ (151–147 МЛН ЛЕТ) ДАЙКОВЫЙ МАГМАТИЗМ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ОКРАИНЫ СИБИРСКОГО КРАТОНА

© 2020 г. В. Ю. Фридовский<sup>1,\*</sup>, К. Ю. Яковлева<sup>1</sup>, А. Е. Верниковская<sup>2,3</sup>,  
академик РАН В. А. Верниковский<sup>2,3</sup>, Н. В. Родионов<sup>4</sup>, К. И. Лохов<sup>4</sup>

Поступило 26.12.2019 г.

После доработки 15.01.2020 г.

Принято к публикации 25.01.2020 г.

Для даек среднего и кислого составов района месторождения Вьюн и рудопроявления Шумный, относящихся к Яно-Колымскому золотоносному поясу (северо-восток Азии), впервые получены U–Pb-геохронологические данные по цирконам (метод SHRIMP-II), соответствующие позднеюрскому интервалу 151–147 млн лет. Распределения трэйс-элементов этих дайковых пород имеют большое сходство с ранее изученными дайками основного состава позднеюрского возраста, находящихся в подобных блоках – фрагментах окраины Сибирского кратона, что позволяет объединить их в единый комплекс. Эти дайки могли формироваться из смешанного обогащенного и истощенного мантийных источников, вероятно на северо-востоке (в современных координатах) Сибирского кратона в обстановке активной континентальной окраины. Установленное событие происходило до и синхронно с ранним (позднеюрским) этапом коллизии “Сибирский кратон–Колымо-Омолонский супертеррейн”.

**Ключевые слова:** U–Pb-возраст цирконов, дайковый магматизм, Яно-Колымский золотоносный пояс, северо-восток Азии

**DOI:** 10.31857/S2686739720030068

Дайковые проявления разнообразного состава (от основного до кислого), сопряженные в пространстве с золотым оруденением Яно-Колымского золотоносного пояса (ЯКЗП), широко развиты в западной части Верхояно-Колымской складчатой области (ВКСО) – коллизионной структуры северо-восточного обрамления Сибирского кратона [1, 2] (рис. 1). Они прорывают преимущественно слабометаморфизованные терригенные отложения мезозойского возраста ( $T_3$ – $J_1$ ) Верхоянского складчато-надвигового пояса (зона хинтерланда) и Кулар-Нерского сланцевого пояса (террейна), расположенных на восточной континентальной окраине Сибирского кратона. Изучение дайкового магматизма вызы-

вает особый интерес, как в связи с неясностью его отнесения к определенным магматическим комплексам ВКСО, так и дискуссионностью вопросов о природе оруденения ЯКЗП [2]. Имеющиеся возрастные Rb–Sr-данные для трахибазальтов из даек месторождения Мало-Тарынское, прорывающих эти отложения, меняются в интервале 162–145 млн лет [3, 4]. Широкий разброс возрастных оценок, отсутствие геохронологических U–Pb-данных для цирконов создает трудности для понимания происхождения дайковых пород, относимых к нера-бохапчинскому комплексу. В сообщении приведены результаты комплексных геолого-структурных, минералого-петрографических, геохимических и U–Pb-геохронологических исследований дайковых пород среднего и кислого состава из района месторождения Вьюн и рудопроявления Шумный ЯКЗП, локализованных в мезозойских терригенных породах западной части ВКСО (рис. 1).

Минеральные составы дайковых пород изучены с помощью электронного сканирующего микроскопа “Tescan” MIRA 3 LMU (ИГМ СО РАН, Новосибирск). Определение главных компонентов пород проводилось в ИГАБМ СО РАН (Якутск). Определение содержаний редкоземельных и других трэйс-элементов в породах выполнено с помощью масс-спектрометров – квадру-

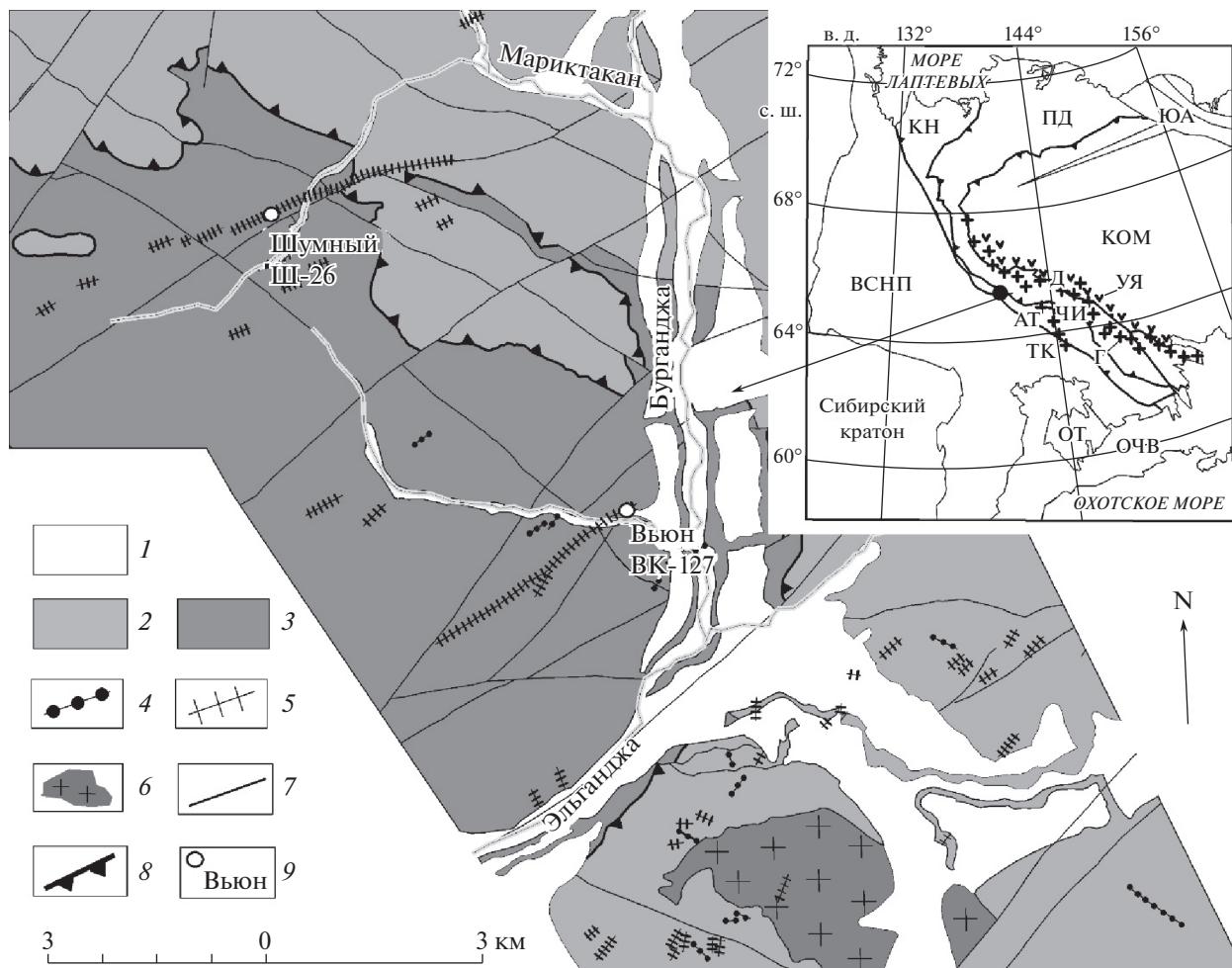
<sup>1</sup> Институт геологии алмаза и благородных металлов, Сибирское отделение Российской академии наук, Якутск, Россия

<sup>2</sup> Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука, Сибирское отделение Российской академии наук, Новосибирск, Россия

<sup>3</sup> Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

<sup>4</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт им. А.П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

\*E-mail: fridovsky@diamond.ysn.ru



**Рис. 1.** Схема геологического строения района месторождения Вyon и рудопроявления Шумный и местоположение изученных образцов. 1 – четвертичные аллювиальные, делювиально-солифлюкционные и ледниковые отложения; 2 – среднеюрские песчаники с прослойями алевролитов и аргиллитов, 3 – верхнетриасовые песчаники, алевролиты и аргиллиты; 4–5 – дайки: 4 – позднеюрские-меловые альбиты, риолиты, кварцевые порфиры, 5 – позднеюрские базальты, андезибазальты, андезиты, диорит-порфириты, гранодиорит-порфириты, дакиты; 6 – позднеюрские гранитоиды Букесченского массива; 7 – разломы; 8 – Чаркы-Индигирский надвиг; 9 – районы и точки отбора образцов на геохронологические U–Pb-исследования. На врезке представлена тектоническая схема западной части ВКСО, по [5] с изменениями: ВСНП – Верхоянский складчато-надвиговый пояс; КН – Кулар-Нерский сланцевый пояс (террейн); ПД – Полоусно-Дебинский террейн; КОМ – Колымо-Омолонский супертеррейн (микроконтинент); ОТ – Охотский террейн. Магматические пояса (поздняя юра-ранний мел): Г – главный, ТК – Тас-Кыстыбыйский. Вулканические пояса: ОЧВ – альб-позднемеловой Охотско-Чукотский, УЯ – позднеюрский Уяндино-Ясачненский. Разломы: АТ – Адыча-Тарынский, ЧИ – Чаркы-Индигирский, Д – Дарпирский; ЮА – Южно-Ануйская сутура.

польного Agilent7500ce (Япония) и высокого разрешения Element2 (Германия) в лабораториях ИГХ СО РАН (Иркутск).

Изотопные U–Pb-анализы цирконов выполнены на ионном микрозонде SHRIMP-II в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург) по стандартной методике [6]. Для выбора участков (точек) датирования на поверхности отобранных зерен цирконов использовались оптические (в проходящем и отраженном свете), катодолюминесцентные (CL) изображения и изображения в обратно-отраженных электронах, демонстрирующие внутреннюю структуру и зо-

нальность цирконов. Погрешности единичных анализов (отношений и возрастов) приводятся на уровне  $1\sigma$ , погрешности вычисленных конкордантных возрастов (по совокупности анализов) приводятся на уровне  $2\sigma$ . Построение графиков с конкордией проводилось с использованием программы ISOPLOT/EX [7].

В районе исследований опробование даек проводилось в канавах и в коренных обнажениях ручьев Вyon и Шумный (правые притоки р. Бурганджа, бассейн р. Эльганджа). Вмещающие породы – песчаники, аргиллиты, алевролиты среднеюрского возраста, измененные на уровне зелено-

сланцевой фации регионального метаморфизма, с северо-востока по Чаркы-Индигирскому надвигу надвинуты на терригенные отложения позднего триаса. Магматические породы имеют широкое разнообразие; их возраст оценивался как позднеюрский-раннемеловой. Породы даек представлены базальтами, трахибазальтами, андезибазальтами, андезитами, трахиандезитами, монцодиоритами, дакитами и гранодиорит-порфирами, а дайки зонального строения – андезитами-трахиандезитами-дакитами. Здесь же присутствуют небольшие гранодиоритовые массивы (до  $6 \times 3 \text{ км}^2$ ), имеющие контактовые изменения в виде ореолов роговиков. Отдельные дайки проложены на расстояние до нескольких км, их мощность достигает 30–40 м. Дайковые тела, как и малые массивы, имеют северо-восточное простирание. Разрывные нарушения в пределах этого района представлены многочисленными крутопадающими разломами северо-западного и северо-восточного направлений, которые выражены зонами дробления и смятия терригенных пород и даек. Дизьюнктивы северо-восточного направления имеют левостороннюю взбросо-сдвиговую кинематику. Нарушения северо-западного простирания, оперяющие Чаркы-Индигирской структуры, определяются складчато-разрывными системами чешуйчато-надвигового типа, которые нарушены поздними сдвигами.

Приведенные ниже минералого-петрографические описания даны для пород, в которых проведены геохронологические  $U-Pb$ -исследования: дакита из месторождения Вьюн (обр. ВК-127,  $65^{\circ}58'33.4''$  с.ш.;  $138^{\circ}15'37.8''$  в.д.) и гранодиорит-порфира из рудопроявления Шумный (обр. Ш-26,  $66^{\circ}00'51.32''$  с.ш.;  $138^{\circ}08'21.3''$  в.д.).

**Дакит** (обр. ВК-127) из месторождения Вьюн имеет флюидальную текстуру и порфировую структуру. Вкрапленники представлены плагиоклазом (до 1 мм), роговой обманкой (до 0.5 мм) и кварцем (до 1 мм). В основной массе наблюдаются реликты зерен калиевого полевого шпата, таблитчатого биотита и ксеноморфного кварца. Аксессорные минералы – циркон, шпинель, апатит, сфен, рудные – пирит, магнетит. В породе интенсивно развиты вторичные изменения – карбонатизация, хлоритизация, эпидотизация, пелитизация и опацитизация.

**Гранодиорит-порфир** (обр. Ш-26) из рудопроявления Шумный в порфировых вкрапленниках содержит плагиоклаз (1–5 мм), в котором отмечаются полисинтетические двойники и наличие антиперитовой структуры. В мелкозернистой основной массе установлены зерна плагиоклаза и ксеноморфного кварца. Аксессорные и рудные минералы представлены цирконом, апатитом, сфеном и магнетитом. Вторичные изменения – соссюритизация и хлоритизация.

Цирконы (8 зерен) из дакита (обр. ВК-127) длиной от 150 до 300 мкм (коэффициент удлинения 1–4) представлены коричневыми, полупрозрачными идиоморфными зернами призматического облика и их обломками (рис. 2а). На CL-снимках они имеют отчетливую магматическую зональность. Замеры в точках 4.1 и 5.1 (темные зоны в CL) имеют повышенные значения содержания урана относительно остальных анализов (до 1105 ppm, среднее 680,  $\text{Th} = 100-737 \text{ ppm}$ ,  $\text{Th/U} = 0.27-0.72$ ), их  $U-Pb$ -возраст ( $153.3 \pm 1.8$  млн лет и  $158.3 \pm 1.8$  млн лет соответственно) очевидно переоценен в силу матричного эффекта [8]. По совокупности остальных точек (1.1, 1.2, 2.1, 2.2, 3.1, 3.2, 6.1, 7.1, 8.1) получен конкордантный возраст  $147.0 \pm 1.3$  млн лет (СКВО 2,1), отвечающий времени кристаллизации дакита (рис. 2а). Доля обыкновенного свинца  $^{206}\text{Pb}_c$  составляет менее 0.3%.

Цирконы (9 зерен) из гранодиорит-порфира (обр. Ш-26) коричневого и рыжего цвета представлены прозрачными и полупрозрачными (рис. 2б) идиоморфными зернами призматического облика и их обломками. Длина циркона составляет от 150 до 400 мкм. Большинство зерен циркона удлинены вдоль оси (001) относительно призмы с коэффициентом удлинения  $K_{удл.} = 1.5-4$ . В зернах доминируют грани призмы (110) и менее развитые грани дипирамиды (311). На одном из зерен (рис. 2б, точка 7.1), кроме перечисленных простых форм (110) и (311), отмечены грани призмы (111). На CL-снимках (рис. 2) представлены субдиоморфные зерна с магматической зональностью и элементами секториальности (точки 1.1, 2.1, 5.1), идиоморфные кристаллы и обломки с магматической зональностью (точки 3.1/3.2, 4.1, 6.1/6.2, 7.1, 8.1, 9.1). По результатам  $U-Pb$ -датирования цирконы из гранодиорит-порфира разделены на две возрастные группы. Для первой группы цирконов (3.1/3.2, 4.1, 6.1/6.2, 7.1, 8.1, 9.1) содержание урана составляет от 236 до 1860 (среднее 634), при  $\text{Th} = 51-372$  ( $\text{Th/U} = 0.13-0.39$ , среднее 0.25). Доля обыкновенного свинца  $^{206}\text{Pb}_c$  менее 0,61%, что не вносило существенной коррекции при расчете уран–свинцовой-систематики. Конкордатный возраст соответствует  $151.5 \pm 1.5$  млн лет (СКВО 0.52). Эта оценка отвечает времени кристаллизации этой породы (рис. 2б). Вторая группа представлена захваченными цирконами (зерна 1.1, 2.1, 5.1) с содержаниями  $U_{1.1} = 246 \text{ ppm}$ ;  $U_{2.1} = 228 \text{ ppm}$ ,  $U_{5.1} = 597 \text{ ppm}$ ,  $\text{Th}_{1.1} = 105 \text{ ppm}$ ;  $\text{Th}_{2.1} = 85 \text{ ppm}$ ,  $\text{Th}_{5.1} = 112 \text{ ppm}$ . Величина  $\text{Th/U}$ -отношения в пределах 0.19–0.44. По результатам датирования получены древние возрастные дискордантные оценки ( $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ )  $1865 \pm 21$  млн лет,  $1829 \pm 16$  млн лет,  $1751 \pm 10$  млн лет (рис. 2б).

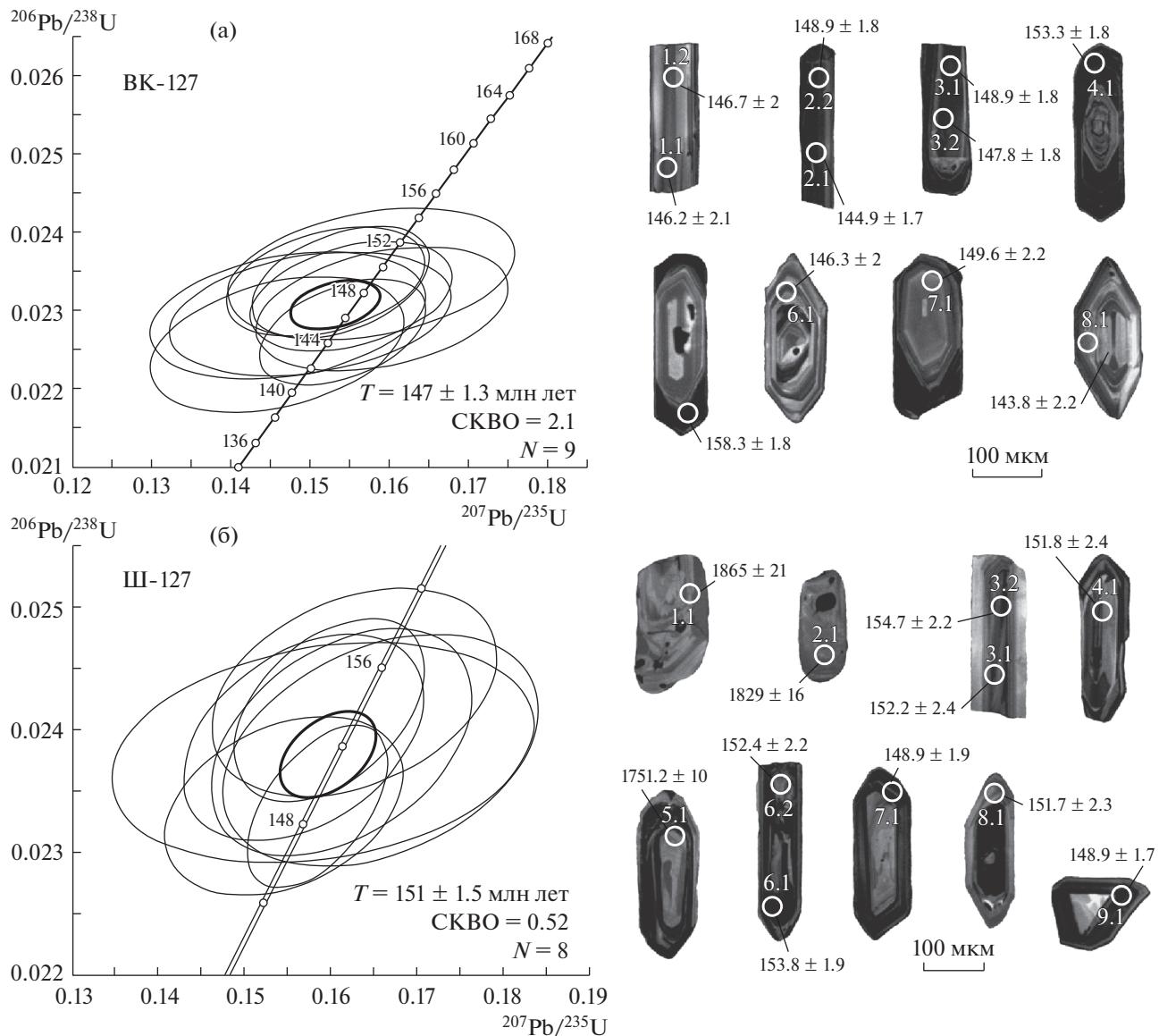


Рис. 2. Диаграммы с конкордией и катодолюминесцентные изображения цирконов из дайита (обр. BK-127) и гранодиорита-порфира (обр. Ш-26). Кружки с номерами – аналитические точки.

Основываясь на впервые проведенных U-Pb-изотопных исследованиях цирконов дайковых пород из районов месторождения Вьюн и рудо-проявления Шумный ЯКЗП, установлено, что их формирование произошло в интервале 151–147 млн лет назад. Эти дайки и ранее изученные из района месторождения Мало-Тарынское [3, 4], прорывающие мезозойские ( $T_3$ – $J_2$ ) терригенные образования окраинно-континентальных блоков западной части ВКСО, характеризуются широким разнообразием составов, соответствующими породам высококалиевовой известково-щелочной и шошонитовой магматических серий, и отличаются большим сходством распределений трэйс-элементов. Они имеют промежуточный между OIB-

и E-MORB-типа распределений РЗЭ и низкие отрицательные аномалии Ta и Nb. Позднеюорские дайковые породы могли формироваться из смешанного обогащенного и истощенного мантийного источников в обстановке активной континентальной окраины. Развитие субдукционных процессов до и синхронно с ранним (позднеюорским) этапом коллизии “Сибирский кратон–Колымо-Омолонский супертеррейн” хорошо согласуется с имеющимися геохронологическими U-Pb-данными для цирконов из гранитов Главного и Тас-Кыстабытского гранитоидных поясов и тектоническими моделями для изучаемого фрагмента структуры северо-востока Азии [9, 10].

## ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование выполнено при финансовой поддержке по плану НИР ИГАБМ СО РАН и РФФИ (проекты 18–45–140040 р\_а; 18-05-00854 а).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Парфенов Л.М., Кузьмин М.И. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). Москва: МАИК “Наука/Интерperiодика”. 2001. 571 с.
2. Гамянин Г.Н., Фридовский В.Ю., Викентьев О.В. // Геология и геофизика. 2018. Т. 59. № 10. С. 1586–1605.
3. Зайцев А.И., Фридовский В.Ю., Верниковская А.Е. и др. // Отечественная геология. 2018. № 5. С. 50–62.
4. Zaitcev A., Fridovsky V., Yakovleva K., et al. // Int. Multidiscip. Sci. GeoConference SGEM. 2019. Т. 19. № 1.1. С. 99–109.
5. Парфенов Л.М., Берзин Н.А., Ханчук А.И. и др. // Тихоокеанская геология. 2003. № 6. С. 7–41.
6. Williams I.S. // Rev. Econ. Geol. 1998. V. 7. P. 1–35.
7. Ludwig K.R. // Berkeley Geochronology Center Spec. 2000. № 2. P. 17.
8. Williams I.S., Hergt J.M. New frontiers in isotope geo-science. Abstracts and Proceedings. 2000. P. 185–188.
9. Акинин В.В., Прокопьев А.В., Торо Х. и др. // ДАН. 2009. Т. 426. № 2. С. 216–221.
10. Соколов С.Д. // Геотектоника. 2010. № 6. С. 60–78.

## LATE JURASSIC (151–147 Ma) DIKE MAGMATISM OF THE NORTH-EASTERN MARGIN OF THE SIBERIAN CRATON

V. Yu. Fridovsky<sup>a, #</sup>, K. Yu. Yakovleva<sup>a</sup>, A. E. Vernikovskaya<sup>b, c</sup>, Academician of the RAS V. A. Vernikovsky<sup>b, c</sup>, N. V. Rodionov<sup>d</sup>, and K. I. Lokhov<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Diamond and Precious Metal Geology Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation

<sup>b</sup> Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>c</sup> Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>d</sup> A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute, St. Petersburg, Russian Federation

<sup>#</sup>E-mail: fridovsky@diamond.ysn.ru

Dikes of intermediate and composition from the area of the Vyun deposit and Shumnyi occurrence assigned to the Yano–Kolyma gold belt (North-East Asia) were first dated at 151–147 Ma (Late Jurassic) based on U–Pb zircon ages (SHRIMP II method). Trace element distribution in the dike rocks is much like that in the previously studied basic dikes of Late Jurassic age observed in similar blocks – fragments of the Siberian craton margin. This fact permits their combination into a single complex. The dikes could have formed from mixed enriched and depleted mantle sources, probably in the north-east (in present-day coordinates) of the Siberian platform in the active continental margin setting. This event predated or was synchronous with the early (Late Jurassic) stage of the collision between the Siberian craton and the Kolyma–Omolon superterrane.

**Keywords:** U–Pb zircon ages, dike magmatism, Siberian craton, Yano–Kolyma gold belt, North-East Asia