

**MEZOPROTEROZOIC BASITE MAGMATISM  
OF THE BASHKIRIAN MEGANTICLINORIUM (SOUTHERN URALS):  
AGE CONSTRAINTS, PETROLOGICAL AND GEOCHEMICAL FEATURES**

**A.O. Khotylev<sup>1</sup>, A.V. Tevelev<sup>1</sup>, Ya.V. Bychkova<sup>1</sup>, A.V. Latyshev<sup>1,2</sup>, M.B. Anosova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Schmidt Institute of the Physics of the Earth of RAS, Moscow, Russia

**ABSTRACT.** Among the Riphean–Vendian dyke complexes of the basic composition, which intersect the Precambrian strata of the Bashkirian meganticlinorium (Southern Urals), one of the most common is the Kurgas gabbro-dolerite complex dated to the Early – Middle Riphean. This article presents the isotopic dating, petrological and geochemical features of the rocks belonging to the Kurgas complex. It gives the first description of the regional geochemical zoning that is reflected in a decrease in SiO<sub>2</sub> contents from the north to the south along the Bashkirian meganticlinorium, and an increase in MgO contents in the same direction, which is attributed by the authors to an increase in the permeability of the crust to the south during opening of the Mashak riftogenic structure.

New data on isotopic ages were obtained for the dyke that cuts the Satka formation of the Lower Riphean – 1318±10 (<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar), the intrusion in the exocontact zone of the Berdyaush rapakivi granite massif – 1349±11 Ma (U-Pb), and the andesite dyke among the metamorphic rocks of the Taratash complex – 1365.6±6.6 Ma (U-Pb). These ages, in combination with the previously obtained data, suggest that the complex formed during a rather long period of time (from 1385 to 1318 Ma, as a minimum), which corresponds to the beginning of the Middle Riphean. Isotopic U-Pb age of the dyke that cuts the contact zone of the Berdyaush massif, suggests that the major portion of the massif had already crystallized by that time and was exhumed into the shallow zone of brittle deformation.

**KEYWORDS:** Riphean; Bashkirian meganticlinorium; Southern Urals; dyke swarms; gabbro; isotopic dating

**FUNDING:** The studies were supported by RFBR (Project 17-05-01121).

**RESEARCH ARTICLE**

Received: July 23, 2019

Revised: November 8, 2019

Accepted: December 4, 2019

**FOR CITATION:** Khotylev A.O., Tevelev A.V., Bychkova Ya.V., Latyshev A.V., Anosova M.B., 2020. Mezoproterozoic basite magmatism of the Bashkirian meganticlinorium (Southern Urals): age constraints, petrological and geochemical features. *Geodynamics & Tectonophysics* 11 (2), 219–243. doi:10.5800/GT-2020-11-2-0471

## МЕЗОПРОТЕРОЗОЙСКИЙ БАЗИТОВЫЙ МАГМАТИЗМ БАШКИРСКОГО МЕГАНТИКЛИНОРИЯ (ЮЖНЫЙ УРАЛ): ВОЗРАСТНЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ, ПЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ

А.О. Хотылев<sup>1</sup>, А.В. Тевелев<sup>1</sup>, Я.В. Бычкова<sup>1</sup>, А.В. Латышев<sup>1,2</sup>, М.Б. Аносова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>2</sup> Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

**АННОТАЦИЯ.** Среди рифейско-вендских дайковых комплексов основного состава, секущих докембрийские толщи Башкирского мегантиклинория (Южный Урал), одним из самых распространенных является кургасский габбро-долеритовый раннесреднерифейский комплекс. В работе собраны и обобщены данные по изотопным датировкам, петрологическим и геохимическим особенностям пород кургасского комплекса. Впервые показано наличие региональной геохимической зональности в породах комплекса, которая выражена в уменьшении содержаний  $\text{SiO}_2$  с севера на юг вдоль Башкирского мегантиклинория и увеличении содержаний  $\text{MgO}$  в этом направлении, что авторами связывается с увеличением проницаемости коры к югу при раскрытии Машакской рифтогенной структуры.

Получены новые изотопные датировки для дайки, секущей саткинскую свиту нижнего рифея, –  $1318 \pm 10$  ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ), тела в зоне экзоконтакта Бердяушского массива гранитов рапакиви –  $1349 \pm 11$  млн лет (U-Pb) и для дайки андезитов среди метаморфитов тараташского комплекса –  $1365.6 \pm 6.6$  млн лет (U-Pb). Эти данные, в сочетании с полученными ранее, указывают на формирование комплекса на достаточно большом протяжении времени – как минимум от 1385 до 1318 млн лет, что отвечает началу среднего рифея. Полученный возраст для дайки, секущей контактовую зону Бердяушского массива, позволяет предполагать, что к этому моменту массив уже в значительной мере кристаллизовался и вышел в условия хрупкой деформации.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** рифей; Башкирский мегантиклинорий; Южный Урал; дайковый рой; габбро; изотопная датировка

**ФИНАНСИРОВАНИЕ:** Исследования проведены при поддержке РФФИ (проект № 17-05-01121).

### 1. ВВЕДЕНИЕ

В рифейско-вендской истории развития Башкирского мегантиклинория (западный склон Южного Урала), протекавшего в условиях эпикратонного бассейна, выделяется четыре основных этапа магматической активизации и вулканизма, связанных с эпизодами рифтогенеза. Эти этапы являются важными геохронологическими реперами, так как именно по ним и проводятся нижние границы нижнего, среднего, верхнего рифея и венда, а на основании изотопных данных магматических образований установлен абсолютный возраст этих границ.

В российской Общей стратиграфической шкале (ОСШ) рифей (поздний протерозой) разделяется на три подразделения – ранний, средний и поздний, границы которых составляют 1650, 1350, 1030 и 600 млн лет соответственно [Stratigraphic Code..., 2019]. Относительно недавно коллективом исследователей из ИГ УФИЦ РАН (г. Уфа) было предложено обособить отдельное подразделение – терминальный рифей с нижней границей 770 млн лет, а нижнюю границу среднего рифея перенести с 1350 на 1400 млн лет [Puchkov et al., 2014a, 2017].

В международной стратиграфической шкале (МСШ) этому интервалу отвечает мезопротерозой, разделенный на три части: каламий (Calymnian), эктазий (Ectasian), стений (Stenian) (<http://www.stratigraphy.org/>).

Возраст нижних границ этих подразделений 1600, 1400 и 1200 млн лет соответственно, а верхняя граница мезопротерозоя – 1000 млн лет. В данной работе возраст границы раннего и среднего рифея будет принят по схеме В.Н. Пучкова с коллегами как 1400 млн лет, что отвечает границе каламий – эктазий в МСШ.

На каждом из обсуждавшихся выше этапов магматической активизации формировались свои дайковые рои долеритов, габбро и пикритов, получившие при геологосъемочных работах целую серию названий. Во избежание путаницы, авторы предпочитают оговорить те названия дайковых комплексов, которые будут использоваться в данной работе: ранний рифей – суимский (около 1615 млн лет); рубеж раннего и среднего рифея – кургасский (1310–1380 млн лет); конец среднего рифея – повальненский (предположительно 1050 млн лет); конец позднего рифея – инзерский (700–800 млн лет). Эти названия не являются полностью общепринятыми, но отвечают серийной легенде Уральской серии листов госгеолкарты-200, поэтому и используются авторами.

Самым полным исследованием, охватывающим большинство из известных магматических комплексов Башкирского мегантиклинория, является монография А.А. Алексеева [Aleksseev, 1984], а отдельные объекты описаны в работах С.Г. Ковалева, В.Н. Пучкова, Ю.Л. Ронкина, А.А. Краснобаева, В.И. Петрова, В.И. Ленных,

Н.А. Румянцевой [Rumyantseva, 1963], В.М. Горожанина, Н.Д. Сергеевой, А.А. Носовой, А.В. Тевелева, А.О. Хотылева и ряда иных авторов. Геохимические и петрологические данные по рифейским дайковым комплексам Башкирского мегантиклинория также приведены в работах [Khotylev et al., 2017; Kovalev et al., 2015; Tevelev et al., 2014; Nosova et al., 2012; Puchkov, 2012; Puchkov et al., 2011; Sazonova et al., 2011; Kovalev, 2011; Alekseyev, Shakurov, 2008; Alekseev, 1984, 1979; Lennykh, Petrov, 1978].

Одним из крупнейших этапов рифтообразования и сопутствующей магматической активизации в позднепротерозойской истории развития западного склона Южного Урала является среднерифейский, или «машакский», этап. Здесь на границе раннего и среднего рифея в условиях растяжения (возможно, на окраине океанического бассейна), сопровождавшего распад суперконтинента Колумбия [Puchkov et al., 2013], происходит становление Бердяушского массива гранитов рапакиви, Кусинского, Медведевского, Копанского, Маткальского и Рябиновского массивов метагаббро, метапироксенитов и гранитов кусино-копанского комплекса и ряда более мелких массивов. Одновременно происходит внедрение дайковых роев кургасского долеритового и буландихинского долерит-пикритового комплексов, накапливаются мощные контрастные базальт-риолитовые вулканические толщи машакской и кувашской свит.

В последнее время эти объекты получили достаточно надежные изотопные датировки:

Бердяушский массив – 1379.6±2.9 млн лет (U-Pb ID-TIMS [Ronkin et al., 2016]), 1382±3 млн лет (U-Pb ID-TIMS [Belyaev et al., 1996]), 1368.4±6.2 млн лет (по нефелиновым сиенитам, U-Pb ID-TIMS [Sindern et al., 2003]), 1388±28 млн лет (габбро), 1372±12 млн лет (кварцевые сиенит-порфиры, U-Pb SHRIMP II [Ronkin et al., 2016]).

Риолиты машакской свиты – 1381.1±0.7 млн лет, 1380.2±0.5 млн лет (U-Pb ID-TIMS [Puchkov et al., 2013]) и ряд близких к ним [Krasnobaev et al., 2013].

Кусино-копанский комплекс: Медведевский массив – цирконы из анортозитов 1379±8 млн лет, из гранит-порфиров 1353±16 млн лет (U-Pb SHRIMP II [Ronkin et al., 2016]).

Проявления базитового магматизма машакского времени известны и во внутренней части Восточно-Европейской платформы [Puchkov et al., 2013].

Данные по изотопному датированию малых интрузивных тел кургасского комплекса будут рассмотрены в разделе «Возрастные ограничения».

Однако при таком обилии изотопной, петрологической и геохимической информации о крупных магматических объектах среднерифейского возраста остаются слабоохарактеризованными многочисленные малые интрузивные тела – дайки и силлы габбро и долеритов кургасского комплекса, очень широко распространенные среди рифейских осадочных толщ западного склона Южного Урала. Задачей исследования являлось

восполнить этот пробел и максимально всесторонне изучить образования кургасского комплекса. Это важно для уточнения зоны развития среднерифейского рифтогенеза, его возрастных границ и масштабов Машакской LIP (большой магматической провинции), маркирующих распад суперконтинента Колумбия.

Первоначально кургасский комплекс был выделен в 1948 г. В.А. Ивановой с коллегами в самой южной части Башкирского мегантиклинория, в пределах Кургасской антиклинали, где он представлен силлами долеритов мощностью до 100 м в образованиях юшинской свиты. Комплекс назван по имени притока р. Белой – р. Кургас, пересекающей Кургасскую антиклиналь. П.Н. Швецов с соавторами [Shvetsov et al., 1976] относили эти образования к среднерифейской липарит-базальтовой формации, достаточно обоснованно параллелизуя ее с машакским вулканическим комплексом. А.А. Алексеев [Alekseev, 1984] называл этот комплекс в районе петротипа кургасским габбро-диабазовым и считал ранне-среднерифейским. Дайки и силлы габброидов ранне-среднерифейского возраста развиты не только на юге Башкирского антиклинория, где представлен петротип кургасского комплекса, но очень широко распространены по всему западному склону Южного Урала. Эти габброиды также относятся авторами к кургасскому комплексу.

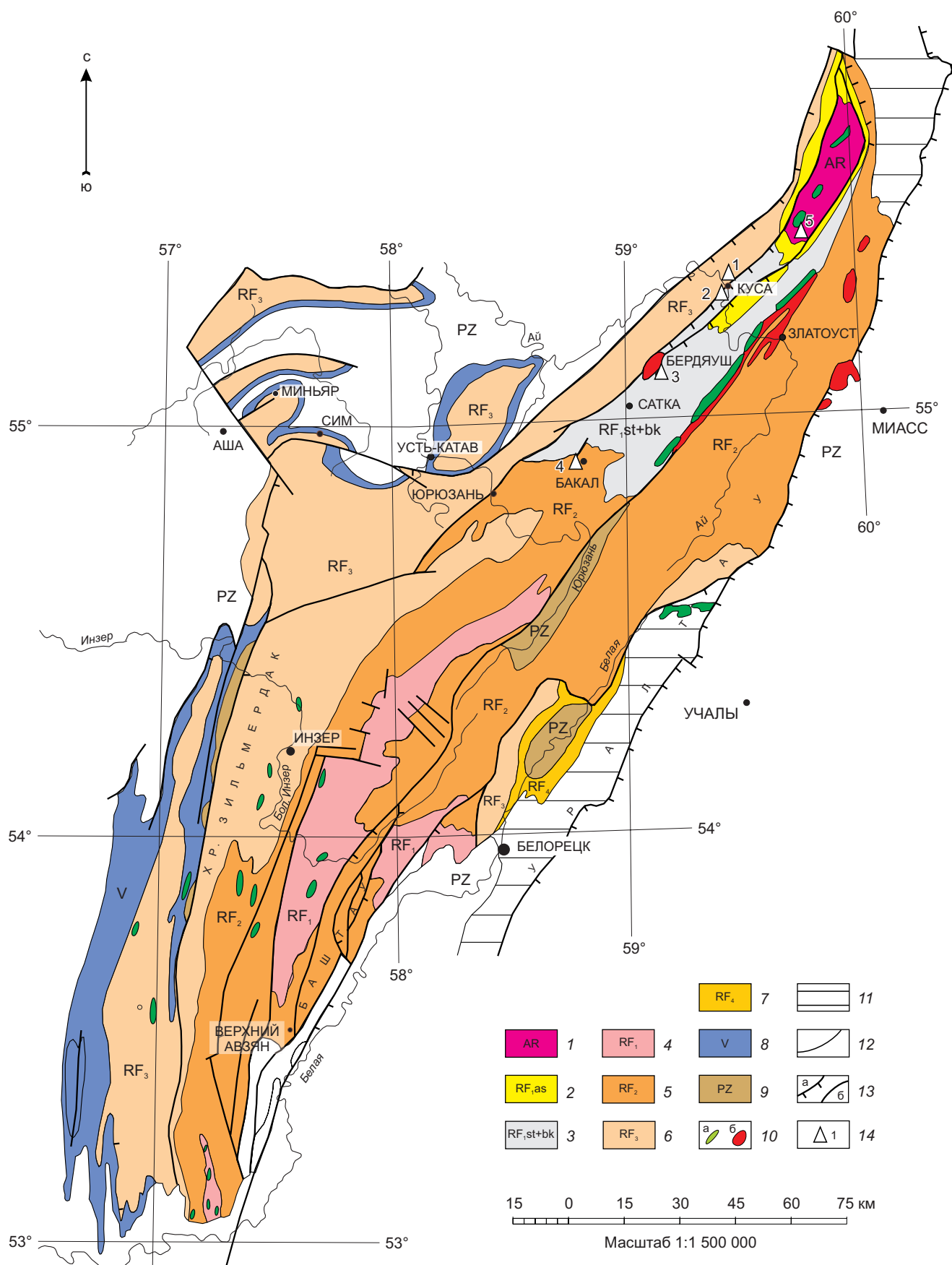
## 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Работы проводились в 2012–2018 гг. на северном замыкании Башкирского мегантиклинория в рамках проектов по геологическому доизучению территории листов N-40-VI (Куса) и N-40-XI (Бакал) совместно с ООО НТПП «Геопоиск» (г. Челябинск).

Получены новые изотопные данные по трем дайкам (пробы 1036, 18102-7, P51002) габбро кургасского комплекса, а также геохимические и петрографические данные для 30 тел габброидов из Бакало-Саткинского и Кусинского районов Челябинской области, предположительно относящихся к этому комплексу. Также были привлечены сведения об изотопных датировках и геохимические данные для силла долеритов (проба EQ-10) и для Главной Бакальской дайки (проба EQ-07) [Ernst et al., 2006, 2008a] – сложного тела, представляющего на вскрытой карьере поверхности комбинацию дайки и силла.

Положение изученных объектов изображено на рис. 1, координаты всех изученных объектов тел приведены в табл. 1, результаты химического анализа – в табл. 1, 2, 3, результаты изотопных исследований – в табл. 4 и в разделе «Возрастные ограничения». Геохимические данные для тел кургасского комплекса, прорывающих на самом севере Башкирского мегантиклинория архейско-раннепротерозойский тараташский комплекс (Тараташский выступ), приведены в работе [Khotylev et al., 2017].

Анализы на петрогенные оксиды проводились в химической лаборатории геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова (г. Москва) и в Южно-Уральском



**Рис. 1.** Геологическая схема строения Башкирского мегантиклинория с изученными объектами.  
 1 – архейско-раннепротерозойские образования тараташского комплекса; 2 – айская свита нижнего рифея; 3 – саткинская и бакальская свиты нижнего рифея; 4 – нерасчлененные образования нижнего рифея; 5 – нерасчлененные образования

среднего рифея; 6 – позднерифейские толщи; 7 – образования терминального рифея; 8 – образования венда; 9 – палеозойские нерасчлененные образования; 10 – интрузивные комплексы основного (а) и кислого (б) состава; 11 – протерозойские нерасчлененные структуры обрамления; 12 – геологические границы; 13 – надвиги (а) и крупные разрывные нарушения (б); 14 – основные изученные объекты: 1 – тело 1036, 2 – тело EQ-10, 3 – тело 18102-7, 4 – тело EQ-03-07, 5 – тело P51002 (пооянения см. в тексте). Схема составлена на основе [Kozlov et al, 2001; Gorozhanin et al., 2013; Puchkov et al., 2014a] с упрощениями.

**Fig. 1.** Geological scheme showing the structure of the Bashkirian meganticlinorium and the studied objects.

1 – Archaean – Early Proterozoic formations of the Taratash complex; 2 – Ai suite of the Lower Riphean; 3 – Satka and Bakal formations of the Lower Riphean; 4 – undivided formations of the Lower Riphean; 5 – undivided formations of the Middle Riphean; 6 – Late Riphean sequences; 7 – Terminal Riphean sequences; 8 – Vendian formations; 9 – undivided Paleozoic formations; 10 – intrusive complexes of basic (a) and acid (b) compositions; 11 – undivided Proterozoic framing structures; 12 – geological boundaries; 13 – thrusts (a) and large faults (b); 14 – the main studied objects: 1 – 1036, 2 – EQ-10, 3 – 18102-7, 4 – EQ-03-07, 5 – P51002 (see explanations in the text). The scheme is based on [Kozlov et al, 2001; Gorozhanin et al., 2013; Puchkov et al., 2014a] and simplified.

центре коллективного пользования по исследованию минерального сырья (г. Миасс, аналитик Т.В. Семенова) стандартными методами комплексонометрии (методика НСАМ 163-Х), а также в лаборатории анализа минерального вещества ИГЕМ РАН (г. Москва) методом рентгеноспектрального флуоресцентного анализа на вакуумном спектрометре последовательного действия с дисперсией по длине волны (модель AxiosMAХ производства компании PANalytical, Нидерланды, 2012 г.) аналитиком А.И. Якушевым по методике НСАМ ВИМС 439-РС, потери при прокаливании определяли по методике НСАМ ВИМС 118-Х. Нижние пределы обнаружений составляют 0.10–0.05 % мас.

Рассеянные элементы анализировались методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) на масс-спектрометре высокого разрешения с двойной фокусировкой Element-2 в лаборатории кафедры геохимии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова (аналитик Я.В. Бычкова) с разложением по стандартным методикам спекания [Bychkova et al., 2017, 2018] и в Южно-Уральском центре коллективного пользования по исследованию минерального сырья (г. Миасс, аналитик М.Н. Маляренко). Нижние пределы обнаружения содержания элементов составляют 0.1–1.0 мкг/г.

Изотопное датирование  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  методом ступенчатого прогрева проводилось в ИГМ СО РАН (г. Новосибирск) под руководством А.А. Травина по методике [Travin et al., 2009]. Минеральные фракции для исследований были завернуты в алюминиевую фольгу и запаяны после дегазации в кварцевых ампулах. Облучение проводилось в кадмированном канале исследовательского реактора ФТИ ТПУ (г. Томск). В качестве мониторов использовались навески стандартных образцов биотита МСА-11 и LP-6. Нейтронный градиент не превышал 0.5 % на размере образца. Эксперименты по ступенчатому прогреву проводились в кварцевом реакторе с печью внешнего прогрева. Выделенные газы очищались с помощью двух последовательных ZrAl-SAES-геттеров. Измерения изотопного состава аргона проводились на масс-спектрометре «Micromass 5400». Холостой опыт установки ступенчатого прогрева по  $^{40}\text{Ar}$  не превышал  $n \cdot 10^{-10}$  нсм<sup>3</sup>.

U-Pb датирование цирконов осуществлялось на вторично-ионном микрозонде SIMS SHRIMP-II (Secondary

Ion Mass-Spectrometry by Sensitive High-Resolution Ion Micro Probe) в Центре изотопных исследований ФГУП ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург).

Выделение цирконов из пробы 18102-7 проводилось в ЦИИ ВСЕГЕИ, из пробы P51002 – в минералогической лаборатории ГИН РАН.

Представительные цирконы, отобранные вручную под микроскопом, были имплантированы в эпоксидную смолу (шайба диаметром 2.5 см) вместе с зернами международных цирконовых стандартов TEMORA и 91500, затем сошлифованы приблизительно на половину своей толщины и отполированы. На препарат наносилось токопроводящее золотое покрытие в установке катодно-вакуумного распыления в течение одной минуты при силе тока 20 мА. В дальнейшем зерна цирконов документировались с использованием сканирующего электронного микроскопа CamScan MX2500 с системой CLI/QUA2 для получения катодолюминесцентных (CL) и BSE изображений, отражающих внутреннюю структуру и зональность цирконов. Рабочее расстояние составляло 25–28 мм, ускоряющее напряжение – 20 кВ, ток практически полностью сфокусированного пучка на цилиндре Фарадея – 4-6 кА. Ток зонда варьировался с целью достижения максимального контраста CL изображения и минимизации коррозии поверхности шайбы в результате локального разогрева.

Измерения U-Pb отношений проводились по принятой в ЦИИ методике, описанной в работе [Williams, 1998]. Интенсивность первичного пучка молекулярного кислорода составляла 4 кА, размер кратера пробоотбора – 20×25 мкм при глубине до 2 мкм. Обработка полученных данных осуществлялась с помощью программы SQUID [Ludwig, 2001]. U-Pb отношения нормализовались на значение 0.0668, приписанное стандартному циркону TEMORA, что соответствует возрасту этого циркона  $416.75 \pm 0.24$  млн лет [Black et al., 2003]. Стандарт циркона 91500 с содержанием урана 81.2 ppm и возрастом по  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  в 1062 Ma [Wiedenbeck et al., 1995] использовался как концентрационный. Растровая одноминутная очистка прямоугольного (50×65 мкм) участка минерала перед датированием позволяла минимизировать поверхностное загрязнение.

Изотопное датирование Sm-Nd методом проводилось в ЦИИ ВСЕГЕИ им. А.П. Карпинского на многоколлекторном масс-спектрометре TRITON (Thermo).

**Таблица 1.** Содержания рассеянных элементов в породах кургасского комплекса  
**Table 1.** Amounts of trace elements in the rocks of the Kurgass complex

Проба	Широта	Долгота	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Cs	Ba	Th	U
1032-2	N55°21'27.4"	E59°30'13.1"	248	17	44	62	46	67	42.8	643	19	128	15	0.52	649	2.85	0.43
<u>1036</u>	N55°22'02.56"	E59°25'18.06"	272	5	34	13	48	103	31.4	622	28	164	21.9	0.27	1274	4.68	0.39
<u>EQ-03-07-1*</u>	N54°55'08.40"	E58°47'14.28"	273	67	47	58	178	69	23	273	19	125	11	0.6	264	1.7	0.4
EQ-03-08-01*	N54°55'00.48"	E58°50'46.88"	235	424	37	103	40	65	39	49	18	100	7	3.8	288	3.7	0.6
EQ-03-08-02*	N54°55'00.48"	E58°50'46.88"	152	592	81	623	41	77	17	71	11	52	4	3.7	127	2.2	0.3
EQ-03-08-03*	N54°55'00.48"	E58°50'46.88"	209	404	48	204	74	67	36	279	16	72	5	1.5	1080	3.1	0.5
EQ-03-08-04*	N54°55'00.48"	E58°50'46.88"	207	430	40	178	68		38	248	15	71	5	1.6	919	3	0.5
EQ-03-09-01*	N55°09'24.48"	E59°07'38.28"	359		65	77	80	111	109	391	21	110	8	4	919	0.7	0.2
EQ-03-09-02*	N55°09'24.48"	E59°07'38.28"	359	25	67	90	78	105	90	370	19	102	7	2.8	899	0.6	0.1
<u>EQ-10-01*</u>	N55°19'18.5"	E59°26'37.3"	234	35	42	47	35	89	22	477	20	125	10	0.8	774	1.8	0.4
<u>EQ-10-02*</u>	N55°19'18.5"	E59°26'37.3"	239	49	38	43	28	107	21	560	20	128	11	0.7	749	1.7	0.4
<u>EQ-10-03*</u>	N55°19'18.5"	E59°26'37.3"	221	36	38	51	58	74	25	509	18	120	10	1.3	602	1.7	0.4
<u>EQ-10-04*</u>	N55°19'18.5"	E59°26'37.3"	266	57	41	52	29	77	22	517	22	139	12	0.8	782	1.9	0.4
<u>EQ-10-05*</u>	N55°19'18.5"	E59°26'37.3"	213	33	38	44	29	109	24	556	17	104	9	0.9	656	1.4	0.3
<u>EQ-10-06*</u>	N55°19'18.5"	E59°26'37.3"	94	86	16	39	20		159	32	16	112	9	3.6	585	12.2	2
EQ-11-01*	N55°20'47.40"	E59°24'46.08"	230	473	36	164	79	83	33	291	17	96	8		753	1.4	0.3
EQ-11-02*	N55°20'47.40"	E59°24'46.08"	34	228	40	87	48	97	42	532	18	107	9	0.9	555	1.4	0.3
EQ-12-01*	N55°20'46.68"	E59°24'31.32"	262	55	47	100	115	100	85	334	21	161	14	7	620	2.2	0.5
EQ-13-01*	N55°20'45.60"	E59°24'12.60"	270	59	38	55	76	90	40	365	22	166	16	2.9	662	2.4	0.4
18102-1	N55°07'41.8"	E59°07'35.5"	285	20.8	53	86.2	74.5	165	53.3	247	17.7	103	7.46	1.32	261	0.72	0.18
18102-2	N55°07'41.8"	E59°07'35.5"	299	19.6	44.1	82	68.4	142	70.3	230	21	114	8.3	2.05	238	0.81	0.2
18102-4	N55°07'41.8"	E59°07'35.5"	221	553	60.3	309	99.8	114	108	376	21.6	134	12	4.65	372	1	0.25
18102-6	N55°07'41.8"	E59°07'35.5"	313	20.8	57.9	79.3	77.5	213	60.5	214	17.3	86.4	6.71	1.48	273	0.93	0.18
<u>18102-7</u>	N55°07'41.8"	E59°07'35.5"	294	29	53.6	75.4	77.7	112	46.3	233	17.3	86.3	6.33	1.08	250	1.04	0.2
18102-8	N55°07'41.8"	E59°07'35.5"	302	22	44.9	70	59.9	132	36.1	116	19.8	102	7.64	0.97	152	1.3	0.28
18102-10	N55°07'41.8"	E59°07'35.5"	257	2.99	43.7	30.2	27	74.8	14.8	486	16.7	129	13	1.1	238	0.94	0.29
11422-0	N54°55'42.3"	E58°54'05.7"	237	505	47.3	230	86.5	90.2	6.31	148	21.5	93.7	7.91	0.63	68.6	2.21	0.136
11423-0	N54°55'45.3"	E58°54'15.4"	218	527	47	213	79.2	85.3	43.7	131	21.9	148	7.33	3.14	1590	2.21	0.38
13061-1	N54°57'44.8"	E58°52'30.1"	162	563	78.2	599	58.4	86.6	8.86	195	11.8	90.9	4.04	0.68	57.9	1.93	0.5
13063-1	N54°57'40.8"	E58°52'12.6"	179	545	67.5	429	78	126	30.3	247	12.4	94	1.48	2.71	280	2.04	0.45
13065-1	N54°57'22.9"	E58°52'53.9"	254	1266	97.4	1124	79	118	10.9	75.1	18.2	116	8.15	2.38	60.2	1.23	0.006
13066-1	N54°57'51.9"	E58°53'01.6"	232	436	44.8	123	113	84.9	72.7	102	16.3	76.6	2.64	1.4	270	2.53	0.155

**Таблица 1** (продолжение)

**Table 1** (continued)

Проба	Широта	Долгота	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Cs	Ba	Th	U
13067-0	N54°57'56.4"	E58°53'00.3"	403	90.2	61.6	150	92	114	23.3	404	15.6	113	5.08	2.76	550	0.77	<0.004
13068-0	N54°58'13.2"	E58°53'12.4"	237	203	43.2	83.7	105	68.2	34	197	16.3	79.8	3	0.3	1064	2.58	0.179
18022-1	N54°57'04.6"	E58°47'53.3"	225	490	54.3	249	91.8	109	25.9	191	17.6	86.9	3.02	1.11	1431	1.35	0.092
18023-1	N54°57'03.0"	E58°47'56.3"	214	508	58.1	349	134	80.9	14	281	18.8	105	2.46	0.58	119	1.7	0.131
18024-1	N54°56'58.8"	E58°47'58.8"	201	577	47.2	185	62.9	131	26.5	194	14.6	77.7	2.1	0.85	2647	1.2	0.161
18024-2	N54°56'58.8"	E58°47'58.8"	215	648	53.3	234	84.4	102	20.7	230	16	45.5	1.95	0.9	211	1.12	0.017
18024-3	N54°56'58.8"	E58°47'58.8"	202	682	56.1	361	74.7	71.7	29.7	205	15.8	60	2.03	1.54	2211	1.07	<0.004
18024-4	N54°56'58.8"	E58°47'58.8"	230	410	45.7	151	82.1	92.4	33.1	171	17.2	78	3.35	0.59	252	1.49	0.104
18024-5	N54°56'58.8"	E58°47'58.8"	192	696	51.8	258	58.3	91.2	25	242	14	52.1	2.84	0.43	236	1.03	0.074
5007M	N54°55'45.53"	E58°54'14.67"	222	460	40.7	193	76.7	70.6	33.5	197	21	92.7	8.25	2.32	515	2.44	0.69

Примечание. Содержания приведены в мкг/г. Содержания в пробах, отмеченных знаком \*, приведены по [Ernst et al., 2006]. Для подчеркнутых проб в статье приведены изотопные датировки.

Note. The contents are given in ppm. The contents in samples marked with \* are given after [Ernst et al., 2006]. For underlined samples, isotopic ages are given in the article.

**Таблица 2.** Содержания редкоземельных и рассеянных элементов в породах кургасского комплекса

**Table 2.** Amounts of REE and trace elements in the rocks of the Kurgass complex

Проба	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	Pb
1032-2	29.6	64.3	9.24	36.4	7.6	2.61	15.75	1.13	4.96	0.88	2.15	0.29	1.83	0.24	3.89	0.84	4.8
<u>1036</u>	49.7	104.3	14.45	57.2	12.01	4.05	25.33	1.74	7.29	1.25	3.19	0.42	2.6	0.34	4.77	1.14	7.6
<u>EQ-03-07-1*</u>	13.5	31.9	3.86	17.7	4.5	1.69	4.6	0.8	4.2	0.8	2.3	0.31	1.9	0.26	3.6	0.4	
EQ-03-08-01*	16.1	34.4	3.65	14.5	3.2	0.99	3.3	0.6	3.5	0.7	2.2	0.34	2	0.29	2.9	0.3	
EQ-03-08-02*	10	21	2.27	9.1	2	0.64	2.1	0.4	2.2	0.4	1.3	0.2	1.2	0.17	1.5	0.1	7
EQ-03-08-03*	14.3	29.5	3.13	12.7	2.8	0.88	2.9	0.5	3	0.6	1.9	0.28	1.7	0.25	2	0.3	6
EQ-03-08-04*	14.2	30.1	3.26	13	3	0.91	2.9	0.5	3.2	0.6	1.9	0.28	1.8	0.26	2	0.2	
EQ-03-09-01*	12.9	31.7	4.06	19.1	5.1	1.88	5.1	0.8	4.5	0.8	2.3	0.33	2	0.26	3.2	0.4	
EQ-03-09-02*	11.4	28.9	3.71	17.4	4.5	1.71	4.8	0.8	4.1	0.8	2.2	0.29	1.7	0.25	3	0.4	
<u>EQ-10-01*</u>	29.4	62.5	6.97	28.9	5.9	2.06	5.2	0.8	4.1	0.8	2.3	0.3	1.9	0.27	3.4	0.5	6
<u>EQ-10-02*</u>	28.4	60.9	6.81	28.3	5.8	2	5	0.8	4.1	0.7	2.2	0.3	1.9	0.26	3.4	0.6	
<u>EQ-10-03*</u>	27.1	58	6.53	27	5.5	1.81	4.6	0.7	3.9	0.7	2.1	0.28	1.8	0.26	3.2	0.5	6
<u>EQ-10-04*</u>	29.7	64.8	7.33	30.2	6.1	2.04	5.4	0.8	4.4	0.8	2.4	0.33	2.1	0.29	3.7	0.6	
<u>EQ-10-05*</u>	23.4	51.1	5.79	24.1	5	1.72	4.4	0.7	3.6	0.7	1.9	0.27	1.6	0.23	2.9	0.5	
EQ-10-06*	40.8	79.3	8.46	31	5.4	1.12	3.7	0.6	3.3	0.6	2	0.32	1.9	0.28	3.2	0.8	

Таблица 2 (продолжение)

Table 2 (continued)

Проба	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	Pb
EQ-11-01*	18.8	40.8	4.75	20.2	4.4	1.37	4	0.7	3.5	0.6	2	0.28	1.7	0.23	2.7	0.5	
EQ-11-02*	20.4	43.9	5.13	22.1	4.5	1.61	4.1	0.7	3.5	0.7	1.9	0.27	1.7	0.23	2.8	0.5	
EQ-12-01*	32.4	72.3	8.42	35.8	7.4	2.44	6.2	1	4.6	0.8	2.3	0.29	1.8	0.24	4.4	0.9	
EQ-13-01*	32.7	73.8	8.67	36.5	7.5	2.49	6.2	0.9	4.7	0.8	2.3	0.3	1.9	0.27	4.5	1	
18102-1	14	30.2	4.13	18.7	3.94	1.42	4.44	0.66	3.72	0.63	1.81	0.28	1.61	0.22	2.77	0.5	3.8
18102-2	14.5	32.3	4.32	18.9	4.46	1.36	4.69	0.66	3.84	0.78	1.96	0.28	1.71	0.24	2.84	0.5	3.65
18102-4	15.1	32.1	4.57	20.2	4.31	1.57	4.56	0.63	3.42	0.6	1.66	0.24	1.33	0.19	3.05	0.72	2.45
18102-6	12.4	26.7	3.55	15.8	3.76	1.16	3.86	0.58	3.55	0.63	1.73	0.27	1.51	0.23	2.32	0.39	1.62
<u>18102-7</u>	12.8	26	3.56	16.1	3.56	1.23	3.66	0.53	3.5	0.62	1.66	0.25	1.48	0.21	2.28	0.39	7.78
18102-8	12.4	27.4	3.65	16.2	3.92	1	4.45	0.59	3.71	0.71	2	0.3	1.7	0.25	2.72	0.45	3.25
18102-10	13.1	32.6	4.5	19.8	4.53	1.6	4.57	0.69	3.62	0.61	1.68	0.23	1.26	0.21	3.15	0.84	2.41
11422-0	31.7	49.9	6.3	24.2	4.94	1.09	4.65	0.78	4.21	0.86	2.26	0.32	1.88	0.27	2.21	0.44	0.32
11423-0	22.6	44.6	5.77	22.7	4.26	1.44	4.26	0.75	4.18	0.86	2.31	0.33	2.22	0.33	3.54	0.58	14.4
13061-1	11.4	19.6	2.56	9.72	2.13	0.63	2.24	0.37	2.36	0.46	1.37	0.2	1.29	0.19	2.36	0.26	1.23
13063-1	11.6	21.6	2.64	10.9	2.19	0.77	2.35	0.41	2.48	0.49	1.45	0.21	1.38	0.19	2.41	0.22	13.3
13065-1	19.8	39.5	5.88	26.9	6.01	1.87	5.2	0.82	3.99	0.71	1.76	0.22	1.39	0.2	2.98	0.5	0.56
13066-1	15.5	26.6	3.49	13.9	2.9	0.92	3.13	0.52	2.96	0.65	1.8	0.26	1.75	0.24	1.92	0.22	2.39
13067-0	17.3	35.6	5.25	23.8	5.63	2.05	5.44	0.77	3.88	0.65	1.57	0.19	1.16	0.14	3.08	0.36	1.72
13068-0	16	28.7	3.61	14.2	3	1.19	3.28	0.54	3.36	0.65	1.79	0.26	1.71	0.28	1.92	0.23	3.06
18022-1	12.8	23.7	3.37	13.2	3.01	1.23	3.15	0.54	3.13	0.68	1.94	0.29	1.86	0.25	1.9	0.32	3.57
18023-1	18	26.8	3.7	15	3.24	1	3.38	0.6	3.46	0.72	2.12	0.29	1.94	0.27	2.53	0.33	2.85
18024-1	10.1	19.5	2.63	10.8	2.42	1.48	2.68	0.47	2.78	0.57	1.14	0.24	1.64	0.21	1.91	0.3	21.6
18024-2	12.5	21.5	2.9	11.9	2.47	0.88	2.73	0.49	2.91	0.58	1.72	0.25	1.66	0.22	1.27	0.17	6.19
18024-3	9.84	18.5	2.56	10.7	2.44	1.33	2.89	0.47	2.87	0.59	1.08	0.25	1.6	0.22	1.51	0.23	2.47
18024-4	12.7	24.2	3.26	13.2	3	0.97	3.22	0.54	3.25	0.66	1.87	0.28	1.85	0.26	1.86	0.26	4.88
18024-5	12.3	17.8	2.55	10.4	2.27	0.81	2.57	0.44	2.45	0.53	1.57	0.23	1.44	0.2	1.29	0.17	6.34
5007M	24.1	49.4	5.47	22.6	4.48	1.11	4.66	0.68	4.09	0.84	2.4	0.34	2.13	0.33	2.42	0.55	3.28

Примечание. Содержания приведены в мкг/г. Координаты точек отбора приведены в табл. 1. Содержания в пробах, отмеченных знаком \*, приведены по [Ernst et al., 2006]. Для подчеркнутых проб в статье приведены изотопные датировки.

Note. The contents are given in ppm. The coordinates of sampling sites are given in Table 1. The contents in samples marked with \* are given after [Ernst et al., 2006]. For the underlined samples, isotopic ages are given in the article.



**Таблица 3.** Содержания петрогенных оксидов в породах кургасского комплекса**Table 3.** Contents of petrogenic oxides in the rocks of the Kurgass complex

Проба	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
1032-2	50.01	2.22	15.00	6.09	7.61	0.19	5.66	7.92	3.13	1.87	0.32
<u>1036</u>	51.14	2.99	13.81	7.39	7.55	0.19	4.35	6.85	3.77	1.52	0.44
<u>EQ-03-07-1*</u>	48.29	1.68	17.91	12.95		0.19	4.51	9.77	3.46	1.07	0.19
EQ-03-08-01*	49.92	0.90	15.30	9.27		0.09	18.05	2.88	1.75	1.71	0.13
EQ-03-08-02*	48.33	0.50	9.08	11.45		0.18	19.66	9.29	0.94	0.49	0.09
EQ-03-08-03*	50.04	0.71	12.88	10.30		0.17	10.29	11.70	1.10	2.72	0.10
EQ-03-08-04*	50.72	0.71	12.94	9.93		0.17	10.77	10.77	1.24	2.66	0.09
EQ-03-09-01*	43.76	1.99	14.90	17.28		0.23	7.18	10.09	1.92	2.41	0.23
EQ-03-09-02*	43.63	1.95	15.21	17.03		0.22	7.46	10.10	1.75	2.45	0.22
<u>EQ-10-01*</u>	49.90	1.49	16.82	11.75		0.14	8.32	6.58	3.45	1.24	0.30
<u>EQ-10-02*</u>	50.57	1.49	16.62	11.37		0.13	7.26	7.68	3.31	1.26	0.31
<u>EQ-10-03*</u>	50.37	1.45	16.37	11.65		0.16	5.86	9.13	3.45	1.25	0.29
<u>EQ-10-04*</u>	50.59	1.68	15.87	12.96		0.17	6.49	7.20	3.32	1.39	0.33
<u>EQ-10-05*</u>	49.55	1.40	16.92	11.90		0.17	6.46	8.20	3.35	1.79	0.26
<u>EQ-10-06*</u>	64.70	0.64	16.49	5.30		0.01	4.95	0.20	0.09	7.48	0.14
EQ-11-01*	49.98	1.30	14.86	11.22		0.16	8.05	9.08	3.51	1.60	0.23
EQ-11-02*	50.19	1.34	15.88	11.64		0.16	6.74	9.25	2.86	1.69	0.24
EQ-12-01*	49.35	2.28	14.01	13.98		0.17	6.41	7.83	3.14	2.48	0.36
EQ-13-01*	50.83	2.35	14.63	13.04		0.14	6.70	6.35	3.76	1.85	0.36
11422-0	51.54	0.95	16.12	1.89	7.22	0.12	11.03	6.55	4.15	0.27	0.16
11423-0	53.97	0.85	15.47	1.21	6.31	0.17	11.44	5.91	2.87	1.66	0.16
18102-1	42.35	1.90	14.41	13.54	7.59	0.15	6.57	9.11	3.10	1.09	0.19
18102-2	42.93	1.97	14.53	13.67	7.83	0.15	6.32	8.21	3.29	0.87	0.22
18102-4	41.38	2.20	12.75	14.57	6.21	0.17	9.53	9.26	2.28	1.27	0.38
18102-6	42.11	1.63	13.91	13.63	8.45	0.16	6.60	9.46	2.66	1.24	0.15
<u>18102-7</u>	42.65	1.62	14.28	13.14	7.75	0.17	6.39	10.57	2.19	1.10	0.13
18102-8	47.93	2.88	13.23	8.66	5.14	0.16	3.40	12.75	3.38	1.91	0.56
18102-10	41.09	3.10	14.41	14.61	7.86	0.20	5.18	8.65	4.08	0.51	0.31
13061-1	50.25	0.57	10.50	1.95	8.91	0.18	19.96	7.04	0.28	0.25	0.13
13063-1	50.50	0.61	11.77	1.73	8.30	0.17	16.10	9.18	0.79	0.74	0.13
18022-1	51.10	0.78	14.02	3.38	6.70	0.19	10.83	10.44	1.65	0.79	0.13
18023-1	50.95	0.78	13.77	3.34	6.84	0.18	12.26	9.58	1.73	0.42	0.15
18024-1	51.08	0.70	14.78	1.97	6.80	0.17	10.16	11.57	1.63	1.03	0.12
18024-2	50.67	0.71	14.17	2.83	6.75	0.19	11.09	11.50	1.29	0.69	0.11
18024-3	50.38	0.64	13.93	3.42	6.31	0.17	11.72	11.44	1.06	0.84	0.10
18024-4	51.44	0.80	15.04	2.91	6.68	0.19	8.85	10.64	2.04	1.29	0.12
18024-5	50.18	0.64	14.47	2.19	6.38	0.18	11.14	12.49	1.43	0.80	0.10
5007M	52.89	0.87	14.95	2.57	6.87	0.15	9.94	7.08	3.01	1.46	0.22

Примечание. Содержания приведены в весовых % и пересчитаны на 100 %. Координаты точек отбора приведены в табл. 1. Содержания в пробах, отмеченных знаком \*, приведены по [Ernst et al., 2006]. Для подчеркнутых проб в статье приведены изотопные датировки.

Note. The contents are given in weight percentage and are approximated to 100 %. The coordinates of sampling sites are given in Table 1. The contents in samples marked with \* are given after [Ernst et al., 2006]. For underlined samples, isotopic ages are given in the article.

**Таблица 4.** Результаты определения абсолютного возраста цирконов пробы 18102-7 и P51002  
**Table 4.** Estimated absolute ages of zircons from samples 18102-7 and P51002

№ п/п	Проба	Анализ	% $^{206}\text{Pb}_c$	ppm U	ppm Th	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	ppm $^{206}\text{Pb}^*$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ возраст	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ возраст	% дискордантность	отн. ошибка
1	18102-7	15022-3.1	0.19	397	501	1.30	78.7	1336 ± 17	1379 ± 20	3	.805
2	18102-7	15022-4.1	0.17	280	285	1.05	55.3	1330 ± 18	1371 ± 24	3	.774
3	18102-7	15022-5.1	0.16	190	190	1.04	37.2	1322 ± 18	1332 ± 31	1	.697
4	18102-7	15022-6.1	0.24	268	286	1.11	54.1	1358 ± 18	1319 ± 27	-3	.728
5	18102-7	15022-7.1	0.13	296	400	1.40	58.4	1332 ± 18	1338 ± 23	0	.776
6	18102-7	15022-8.1	0.25	91	52	0.58	18.8	1386 ± 22	1347 ± 44	-3	.605
7	18102-7	15022-9.1	0.25	105	65	0.64	21.7	1382 ± 21	1335 ± 44	-3	.601
8	18102-7	15022-10.1	0.06	483	570	1.22	96.7	1349 ± 18	1362 ± 17	1	.853
9	P51002	P51002_5.1	0.17	241	149	0.64	20.8	616 ± 5	657 ± 47	7	.359
10	P51002	P51002_12.1	0.08	264	46	0.18	39.8	1043 ± 7	1171 ± 21	12	.549
11	P51002	P51002_2.1	0.07	285	84	0.31	51.2	1223 ± 8	1201 ± 21	-2	.569
12	P51002	P51002_3.1	0.29	51	81	1.63	10.1	1330 ± 14	1386 ± 52	4	.396
13	P51002	P51002_1.1	0.00	34	50	1.52	6.82	1354 ± 19	1321 ± 50	-2	.519
14	P51002	P51002_8.2	0.32	47	76	1.68	9.4	1354 ± 15	1380 ± 53	2	.398
15	P51002	P51002_6.1	0.00	768	1047	1.41	154	1356 ± 8	1368 ± 14	1	.648
16	P51002	P51002_11.1	1.04	114	157	1.43	23.1	1357 ± 11	1372 ± 88	1	.185
17	P51002	P51002_9.1	0.00	224	333	1.54	45.5	1368 ± 10	1335 ± 22	-2	.564
18	P51002	P51002_14.1	0.06	205	191	0.96	41.9	1373 ± 9	1387 ± 19	1	.600
19	P51002	P51002_4.1	0.22	93	111	1.23	19.2	1379 ± 12	1337 ± 41	-3	.406
20	P51002	P51002_8.1	0.00	62	98	1.64	12.6	1380 ± 13	1369 ± 37	-1	.486
21	P51002	P51002_13.1	0.51	26	42	1.65	5.43	1398 ± 17	1327 ± 78	-5	.327
22	P51002	P51002_7.1	0.00	38	51	1.38	7.94	1403 ± 16	1396 ± 46	0	.468
23	P51002	P51002_10.1	0.00	122	58	0.49	38.9	2033 ± 16	1983 ± 24	-2	.559

### 3. ПОЛОЖЕНИЕ И ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ

Исследования проводились в северной части Башкирского мегантиклинория (западный склон Южного Урала). На северном замыкании этой структуры обнажаются образования архейско-раннепротерозойского тараташского метаморфического комплекса. Они перекрыты рифейскими терригенными и карбонатными (с подчиненным развитием вулканитов) образованиями. Они отчетливо расчленяются на три серии, разделенные стратиграфическими перерывами: нижнерифейскую (бурзянскую), среднерифейскую (юрматинскую) и верхнерифейскую (каратаускую).

Разрез нижнего рифея, вмещающий тела габброидов кургасского комплекса, начинается с айской свиты. В разрезе последней преобладают терригенные образования [Gorozhanin et al., 2013]. В ее низах присутствуют потоки трахибазальтов навышского комплекса [Khotylev, Tevelev, 2018; Tevelev et al., 2014]. Образования айской свиты вверх по разрезу сменяются преимущественно карбонатными (доломиты часто строматолитовые,

реже известняки) образованиями саткинской свиты. Венчается нижнерифейская (бурзянская) серия образованиями бакальской свиты. В разрезе последней представлены как терригенные – в основном мелкообломочные и пелитовые – образования (преобладают), так и карбонатные – в основном известняки – породы, образующие ряд (до 5) пачек в верхней половине разреза свиты (рис. 1). Породы бурзянской серии со стратиграфическим несогласием, и довольно отчетливо выраженным несогласием, перекрыты терригенными образованиями среднего рифея.

Интрузивные образования кургасского комплекса распространены главным образом в полях бакальской и саткинской свит. Морфология интрузивных тел разнообразна: преобладают дайки, как простые прямолинейные, так и сложноветвящиеся, нередко встречаются силлы. Силлы обычно связаны с дайками, представляющими подводные каналы (хорошо видно на примере Главной Бакальской дайки). В хорошо обнаженных разрезах на юге антиклинория и в карьерах Саткинской группы месторождений магнетита на

севере видно, что они часто внедрены на нескольких уровнях разрезов стратифицированных образований. На исследованной территории чаще наблюдались одиночные тела мощностью от первых до 50–60 м, иногда – до 150 м.

Для большинства тел характерно однородное внутреннее строение, хотя часто отчетливо выделяются мелкозернистые разности зоны эндоконтакта при средне- и реже крупнозернистом строении их центральных частей. Наиболее крупные тела прослеживаются на 5–8 км и более. Преобладающие падения даек – юго-восточные и северо-западные под углами 45–70°. Какой-либо очевидной связи между особенностями состава габброидов характеризуемых малых тел и их ориентировкой и морфологией не выявлено [Khotylev et al., 2017].

Было детально изучено несколько тел, геологическое строение и петрографические особенности которых будут изложены ниже.

1. Севернее г. Куся (точка 1 на рис. 1) обнаружено небольшое ранее не картировавшееся относительно изометричное тело габбро-долеритов диаметром до 100 м (проба 1036). Массив сложен среднезернистыми до мелкозернистыми умереннощелочными габбро-долеритами, биотитсодержащими темно-зелеными массивными с видимой субофитовой структурой (рис. 2, а, в). В интерстициях проявлена микропегматитовая структура. Состав породы: плагиоклаз 50–52 %, пироксен – 30–35 %, микропегматит – 7–9 %, биотит – 4–5 %, магнетит – 5–7 %. Плагиоклаз образует идиоморфные кристаллы размером от 0.2 до 1.7 мм. Центральные части зерен замещены почти полностью серицитом, а краевые части прозрачны и бесцветны, по составу отвечает андезину, но не исключено, что изначально плагиоклаз был более основным. Клинопироксен образует идиоморфные кристаллы размером от 0.2 до 2.1 мм, бледно-кремовые, без плеохроизма, почти полностью замещенные хлоритом. В микропегматитовых сростаниях кварца и полевого шпата размер зерен кварца от 0.09 до 0.51 мм. Магнетит размером от 0.07 до 0.90 мм, ксеноморфный, располагается между зернами полевых шпатов и пироксена. Размер листочков биотита от 0.11 до 0.43 мм, они ксеноморфные, без вторичных изменений, плеохроируют от светло- до темно-коричневого. Биотит почти не подвержен вторичным изменениям и с большой вероятностью является первично-магматическим. Встречается немногочисленная роговая обманка.

2. На восточной окраине пос. Куся в борту дороги Куся – Медведёвка (см. рис. 1, точка 2) вскрыты доломиты саткинской свиты нижнего рифея, прорванные силлом долеритов (проба EQ-10 по [Ernst et al., 2006]). Доломиты серые перекристаллизованные чистые прорванные тонкими жилами кальцита (азимут падения 125°, угол 20°). Силл мощностью около 8 м с характерной блоковой отдельностью сложен средне- и мелкокристаллическими массивными долеритами, зеленовато-серыми и черными. От приконтактной части к центру размер кристаллов увеличивается, достигая

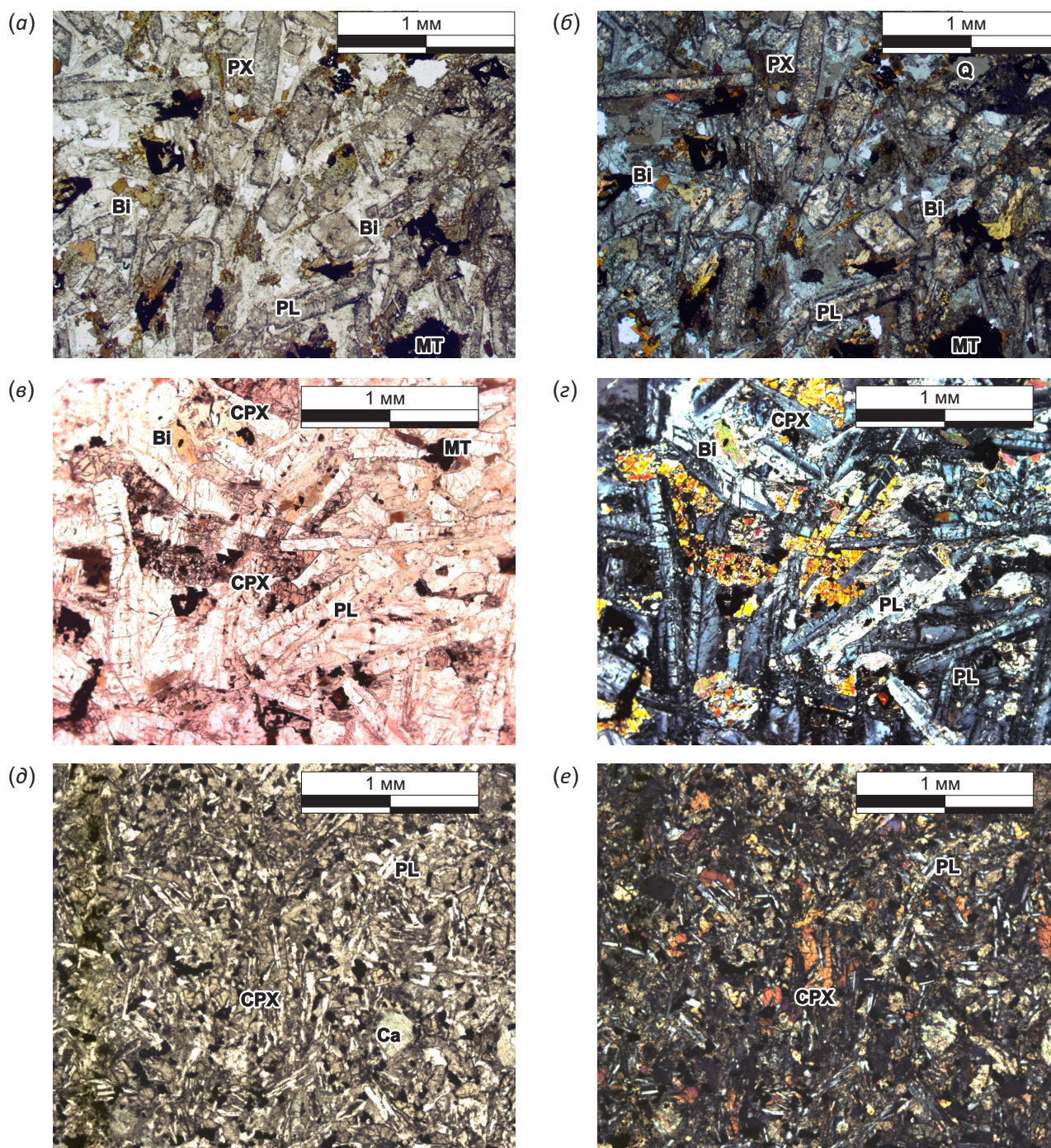
3 мм. В эндоконтакте порода скрытокристаллическая, черная. Экзоконтактная зона представлена доломитами, сильно осветленными, местами превращенными в офикальцит.

В центральной части силл сложен хорошо раскристаллизованными долеритами с массивной, почти долеритовой структурой (рис. 2, в, г). Плагиоклаз (45–50 %) образует идиоморфные и субидиоморфные таблитчатые кристаллы размером до 0.6×(0.15–0.20) мм, по трещинкам развиваются вторичный серицит, зеленоватый актинолит. Клинопироксен (30–35 %) неправильной формы, размером до 0.6–0.9 мм, часто включает кристаллы плагиоклаза. Плеохроирует робко от бледно-розового до бледно-зеленого, что типично для многих габброидов этой территории. Частично замещен актинолитом. Собственно биотит (7–10 %) образует либо хорошо оформленные, зональные выделения с шестигранными сечениями размером до 0.15 мм (видимо, первично-магматический биотит), либо ксеноморфные выделения, крупные, расплывчатые, размером до 0.7 мм. Титаномагнетит (7–10 %) распространен в виде ксеноморфных и субидиоморфных квадратных сечений размером до 0.15 мм, нередко в сростаниях с ильменитом. Встречаются единичные выделения титанита размером до 0.02 мм, мелкие удлиненные призмы апатита (0.02×0.05 мм), единичные листочки синевато-зеленого хлорита.

3. Главная Бакальская дайка (см. рис. 1, точка 4) представляет собой одно из крупнейших тел комплекса общей мощностью до 80 м, протяженностью до 3 км, вскрыта в Новобакальском и Петлинском карьерах Бакальского месторождения (проба EQ-03-07). Тело прорывает березовскую (известняки), иркутскую (черные глинистые сланцы) и шуйдинскую (доломиты) пачки бакальской свиты нижнего рифея, верхний контакт дайки конформный с вмещающими породами и падает на северо-запад, азимут падения 300°, угол падения 20°.

Преобладающая часть дайки сложена габбро до лейкогаббро, крупнокристаллическими, такситовыми и редко массивными, отмечаются шпильеры с кристаллами пегматитовой размерности. Пироксены темно-коричневые, бурые, размером до 2.0–2.5 мм, составляют не менее 20 % породы, имеют размер до 10 мм в диаметре и образуют пойкилитовую структуру, захватывая кристаллы плагиоклаза. Плагиоклазы слиты в единую светло-зеленую массу, отдельные кристаллы почти не выделяются из-за интенсивной хлоритизации. Хлорит распространен изометричными пятнами размером до 8–9 мм и по призматическим кристаллам до 2–3 мм, и его доля достигает 25–30 %.

Приконтактные зоны представлены темными мелко- и тонкокристаллическими пикритами с многочисленными серпентиновыми зеркалами скольжения. В Новобакальском карьере вдоль верхнего контакта развита выдержанная зона полосчатых габброидов с горизонтальными, насыщенными овальными стяжениями средне- и крупнокристаллического амфибола и хлорита.



**Рис. 2.** Фотографии шлифов габброидов кургасского комплекса.

(а, б) – тело 1036; (в, г) – тело EQ-10; (д, е) – тело 18102-7; (а, в, д) – николи параллельны; (б, г, е) – николи скрещены; PL – плагиоклаз; CPX – клинопироксен; PX – пироксен; Bi – биотит; Q – кварц; Ca – кальцит; MT – рудный (магнетит, титаномагнетит).

**Fig. 2.** Fotos of gabbro of the Kurgass complex.

(а, б) – 1036; (в, г) – EQ-10; (д, е) – 18102-7; (а, в, д) – parallel nicols; (б, г, е) – crossed nicols; PL – plagioclase; CPX – clinopyroxene; PX – pyroxene; Bi – biotite; Q – quartz; Ca – calcite; MT – magnetite and Ti-magnetite.

Геохимические и изотопные данные этого тела приведены по [Ernst et al., 2006].

4. В мраморном карьере в 3.5 км к ЮЮЗ от ст. Бердяуш (см. рис. 1, точка 3) среди мраморизованных доломитов саткинской свиты нижнего рифея в экзоконтакте среднерифейского Бердяушского массива гранитов

рапакиви располагается не менее девяти даек долеритов и габбро-долеритов (пробы 18102-1–18102-10). Дайки прорывают мраморизованные доломиты и кальцифиры, а также жилы гранитоидов рапакиви. При этом вмещающие для даек породы (доломиты и гранитоиды) смяты в реидные складки, в то время как сами

долериты слагают прямолинейные тела, нарушенные вертикальными разрывами. Видимая протяженность тел от 20 до 100 м, контакты ровные, изредка с апофизами, мощность от 0.5 до 15 м, сложены долеритами от скрыто- до среднекристаллических. Простираие даек субширотное, что не совсем обычно для дайковых комплексов Башкирского мегантиклинория, падения субвертикальные.

Дайка 18102-7 сложена слабоизмененными мелкокристаллическими долеритами, массивными, редкоиндалекаменными, редкопорфировидными (см. рис. 2, д, е). Текстура массивная, со слабой линейностью, выраженной единой ориентировкой наиболее крупных кристаллов плагиоклаза. Его фенокристаллы (5–7 % объема породы) достигают размера 2–3 мм, иногда могут быть объединены в скопления по несколько штук – идиоморфные и субидиоморфные призматические кристаллы с простым двойникованием, часто замещенные агрегатом серицита, актинолита и глинистых минералов.

Мицдалины округлые размером до 0.4 мм (3–5 %) с зональным выполнением – внешние зоны из игольчатых кристаллов бледно-зеленого актинолита, внутренние сложены субидиоморфными кристаллами кальция размером до 0.08 мм.

Структура остальной части породы: идиоморфные и субидиоморфные призмы плагиоклаза (40 %) размером (0.08–0.20)×(0.03–0.08) мм зажимают субидиоморфные короткопризматические и ксеноморфные выделения клинопироксена (30 %) размером до 0.1 мм. На отдельных участках структура до пойкилоофитовой – кристаллы плагиоклаза захвачены крупными, ксеноморфными выделениями клинопироксена (не более 1–3 %). Плагиоклаз замещен агрегатом серицита, актинолита и глинистых минералов, редко сохраняются относительно неизмененные кристаллы. Клинопироксен плеохроирует слабо: от бледного коричневатозеленого до бледно-розового. Значительную часть интервалов между плагиоклазами и клинопироксенами занимает хлорит-серицит-глинистый агрегат (15–17 %) серого и зеленоватого цвета, развивавшийся, вероятно, частично по пироксенам, а частично – по остаткам стекла или микрозернистого матрикса. Титаномагнетит (8–10%) образует идиоморфные выделения с квадратными или близкими к ним сечениями размером 0.04–0.05 мм. В единичных случаях скопления мелких выделений рудного минерала имеют короткопризматические очертания размером до 3 мм – вероятно, на месте бывших кристаллов оливина или пироксена.

5. В малом вскрышном карьере железорудного месторождения Радостное (Кусинский район Челябинской области, N 55°31'35.20"; E 059°47'43.70", точка 5 на рис. 1) мигматизированные гнейсы тараташского архейско-раннепротерозойского комплекса и габбро суимского раннерифейского габбро-долеритового комплекса прорваны небольшой дайкой резкопорфировых андезитов.

Мощность тела от 10 до 60 см, протяженность 3–5 м, контакт падает полого на юго-запад; азимут падения

225°, угол падения 20°. Андезиты темно-серые, массивные, резкопорфировые, гигантопорфировые. Основная масса сливная, скрытокристаллическая, местами с вариолитовыми структурами. В основной массе находятся немногочисленные вкрапленники хорошо оформленных призматических таблитчатых кристаллов плагиоклаза размером до 7 см.

Кристаллы плагиоклаза замещены агрегатом глинистых минералов, серицита с остатками плагиоклаза, хотя на отдельных участках сохраняется даже полисинтетическое двойникование, заметное сквозь вторичные минералы. Основная масса изначально была сложена стеклом, но сейчас представляет собой смесь вторичных минералов по продуктам девитрификации – очень тонкокристаллический агрегат полевого шпата, хлорита, серицита, глинистых минералов и эпидота. Рудный минерал образует красивые ветвистые скелетные выделения с отчетливым фрактальным строением. Геохимические и петрологические особенности этого тела описаны в работе [Khotylev et al., 2018].

Таким образом, породы кургасского комплекса имеют несколько характерных черт: относительно свежий облик породы и не очень высокая степень развития вторичных минералов, по сравнению с суимским раннерифейским комплексом [Khotylev et al., 2017]; наличие субидиоморфного клинопироксена с плеохроизмом от бледно-розового до бледно-зеленоватого; нередко развитие пойкилоофитовых структур, когда призматические кристаллы плагиоклаза охватываются крупными выделениями клинопироксена, причем в этом случае последний ксеноморфен; обилие гранофировых сростаний кварца и полевого шпата, количество которых может достигать 15 % (количество микрографических сростаний явно увеличивается с юга на север и в дайках среди пород тараташского комплекса может достигать 25 %). Петрологические особенности и геохимические характеристики габброидов кургасского комплекса, развитых севернее в поле архейско-протерозойского тараташского комплекса, приведены в работе [Khotylev et al., 2017].

Возрастные ограничения комплекса. Дайки кургасского комплекса являются, по-видимому, одними из самых распространенных, по крайней мере, в северной части Башкирского мегантиклинория. Они имеют две достаточно достоверные датировки. Главная Бакальская дайка (проба EQ-03-07-01, точка 4 на рис. 1) была датирована по бадделеиту (U-Pb, ID TIMS) – ее возраст определен как 1385.3±1.4 млн лет [Ernst et al., 2006]. Ранее Главная Бакальская дайка была датирована Rb-Sr методом по биотиту – тогда был получен возраст 1360±35 млн лет [Elmis et al., 2000]. На южной окраине г. Куся для силла в доломитах саткинской свиты был определен возраст 1360±9 млн лет (<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar по биотиту (проба EQ-10-01, точка 2 на рис. 1) [Ernst et al., 2008a]).

Мы приводим результаты собственного изотопного датирования трех тел: изометричного штока габбро к северу от г. Куся (1036, <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar и Sm-Nd методы, точка 1 на рис. 1), дайки на восточном контакте Бердяшского

массива гранитов рапакиви (18102-7, U-Pb метод, точка 3) и дайки в метаморфитах тараташского комплекса в карьере Радостном (P51002, U-Pb метод, точка 5).

**Ar-Ar** датирование. Тело габброидов к северу от г. Куся (1036) было датировано  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  методом по монофракции биотита (рис. 3). В высокотемпературной части возрастного спектра биотита выделяется плато, характеризующееся 67.5 % выделенного  $^{39}\text{Ar}$  и значением возраста  $1318 \pm 10$  млн лет (интегральный возраст  $1294 \pm 10$  млн лет). Логично предположить, что полученная датировка соответствует времени закрытия изотопной системы биотита и соответствует времени становления этого тела.

**Sm-Nd** датирование. Тело габброидов 1036 было продатировано и изохронным Sm-Nd методом. По плагиоклазу, пироксену, роговой обманке и валу была получена изохрона, отвечающая возрасту  $1343 \pm 110$  млн лет с СКВО=1.3, что, несмотря на значительную погрешность, не противоречит никаким другим изотопным данным (рис. 4).

**U-Pb** датирование. В 1.3 км к югу от пос. Бердяуш в небольшом карьере вскрыты мраморизованные доломиты саткинской свиты экзоконтакта Бердяушского массива, которые прорваны девятью дайками долеритов и несколькими апофизами гранитоидов. Из тела порфириовидных относительно хорошо сохранившихся мелкозернистых долеритов (проба 18102-7) были выделены цирконы, и проведено их датирование U-Pb методом (SHRIMP II, извлечение и датирование в ЦИИ ВСЕГЕИ им. А.П. Карпинского).

Все цирконы характеризуются высокими Th/U отношениями (0.5–1.4), что свидетельствует об их магматическом генезисе (например [Rubatto, 2017]). В итоге по восьми зернам получена конкордантная датировка  $1349 \pm 11$  млн лет (СКВО=0.45). Результаты замеров приведены в табл. 4 и на рис. 5.

В карьере Радостном из небольшой дайки андезитов, рассекающей метаморфиты тараташского комплекса (архей – ранний протерозой) и габброиды сумского комплекса (ранний рифей), были извлечены

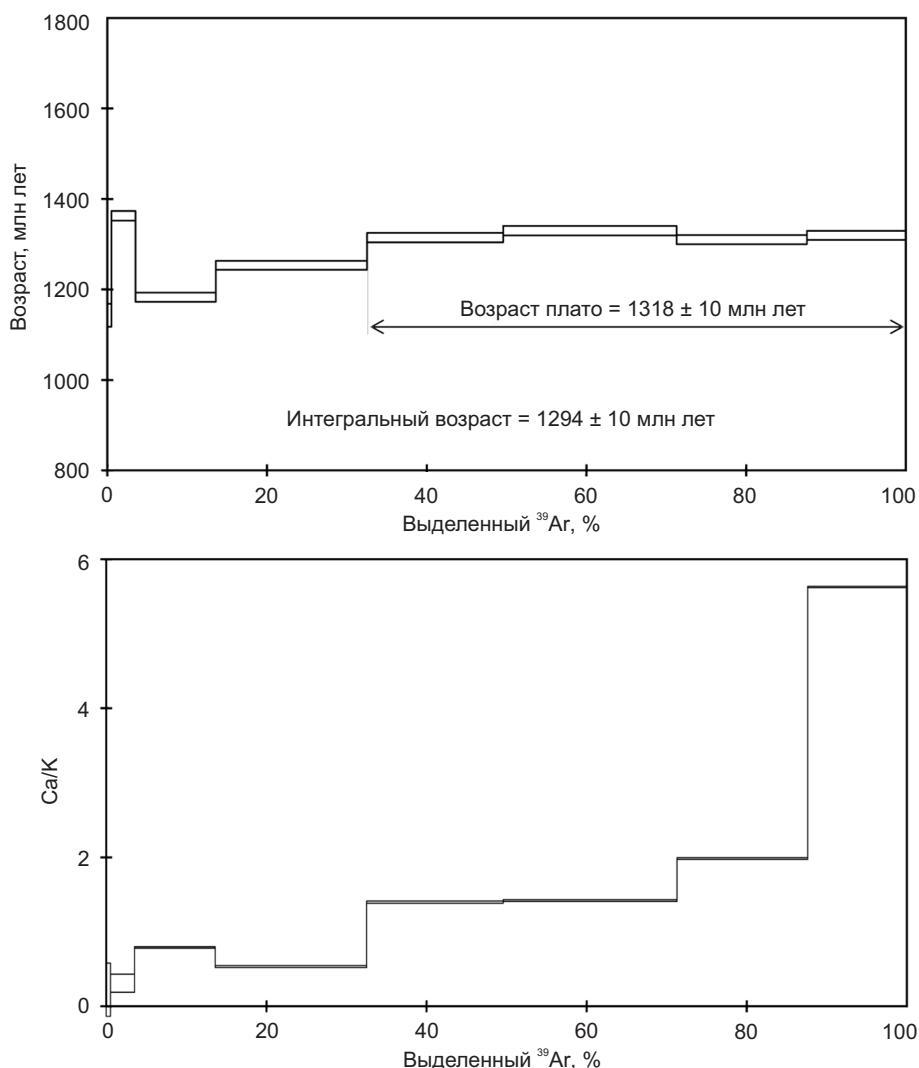
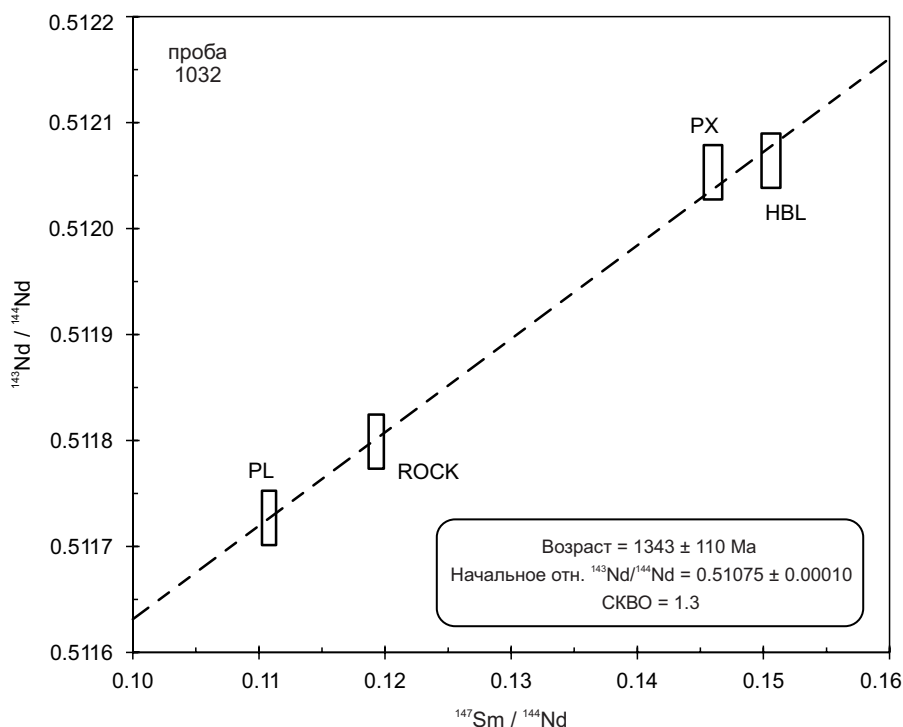


Рис. 3. Результаты Ar-Ar датирования пробы 1036 по монофракции биотита.

Fig. 3. Ar-Ar dating of sample 1036 based on the biotite monofraction.



**Рис. 4.** Изохрона для пробы 1036 в координатах  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} - ^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ . PL – плагиоклаз; PX – пироксен; HBL – роговая обманка; ROCK – валовая проба породы.

**Fig. 4.** Isochron for sample 1036 in the coordinates of  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} - ^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ . PL – plagioclase; PX – pyroxene; HBL – hornblende; ROCK – bulk rock sample.

цирконы (лаборатория ГИН РАН), и проведено их датирование U-Pb методом (SHRIMP II, датирование проведено в ЦИИ ВСЕГЕИ им. А.П. Карпинского). Результаты первой попытки определения возраста для данного тела (извлечение и датирование было проведено в ЦИИ ВСЕГЕИ) приведены в статье [Khotylev et al., 2018].

Проанализированные цирконы характеризуются высоким Th/U отношением – 0.96–1.65, что свойственно цирконам магматического генезиса. По 11 зернам была получена конкордантная датировка  $1365.6 \pm 6.6$  млн лет (СКВО=0.00083). Результаты замеров приведены в табл. 4 и на рис. 6.

Погрешности единичных анализов (отношений и возрастов) приводятся на уровне  $1\sigma$ , погрешности вычисленных возрастов, в том числе конкордантных, приводятся на уровне  $2\sigma$ . Построение графиков Аренса-Везерилла [Wetherill, 1956] с конкордией проводилось с использованием программы ISOPLOT/EX [Ludwig, 2003]. Коррекция на нерадиоогенный свинец проводилась по измеренному  $^{204}\text{Pb}$  и современному изотопному составу свинца в модели Стейси – Крамерса [Stacey, Kramers, 1975].

Геохимическая характеристика. Породы кургасского комплекса характеризуются 46–52 %  $\text{SiO}_2$ , 0.5–1.4 %  $\text{K}_2\text{O}$ , 1.0–2.8 %  $\text{Na}_2\text{O}$  и общей щелочностью до 4.5 % при неслышком преобладании  $\text{Na}_2\text{O}$  над  $\text{K}_2\text{O}$ , что в целом отвечает габбро нормальной и чуть повышенной щелочности. Комплекс отличается умеренно высоким и при этом неравномерным содержанием оксида титана (рис. 7):

для большинства входящих в него тел оно составляет 1.9–2.5 %, но для отдельных разностей составляет лишь 0.5–0.7 %  $\text{TiO}_2$ . Тела низкотитанистых габброидов на сегодняшний день не имеют изотопных датировок, но имеют очень схожую петрографическую характеристику и геологическое положение, что позволяет относить их тоже к кургасскому комплексу. Также для пород кургасского комплекса в целом характерно более высокое по сравнению с остальными габброидными комплексами содержание  $\text{MgO}$ : 6–8 % для большинства представителей и до 18 % в отдельных разностях. В породах аналогичных габбровых комплексов это значение составляет: повальненский 4–7 %, суимский 5–7 %, инзерский 3–8 %  $\text{MgO}$ . Содержания  $\text{MgO}$  и  $\text{TiO}_2$  связаны достаточно четкой отрицательной зависимостью (рис. 7).

Содержания прочих петрогенных оксидов находятся в пределах нормальных габбро: 9–17 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 9–10 %  $\text{FeO}_T$ , 0.1–0.2 %  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Содержание  $\text{CaO}$  невысокие – 2.5–11.0 %, видимо, за счет повышенной магнезиальности.

По характеру распределения редкоземельных и рассеянных элементов породы комплекса занимают промежуточное положение между E-MORB и OIB (рис. 8). Нормированные значения для тяжелых REE оказываются даже меньше, чем в базальтах COX и OIB, что может указывать на выплавление на значительных глубинах в зоне устойчивости граната, так как он концентрирует эти компоненты в себе. Неизменно присутствует отрицательная Ta-Nb аномалия, характерная для

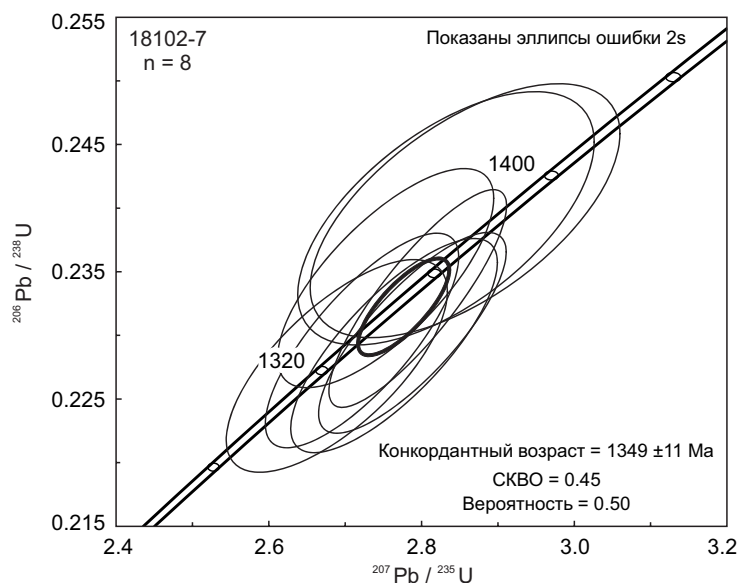


Рис. 5. Конкордия с замерами по цирконам для пробы 18102-7.

Fig. 5. Concordia with measurements on zircons for sample 18102-7.

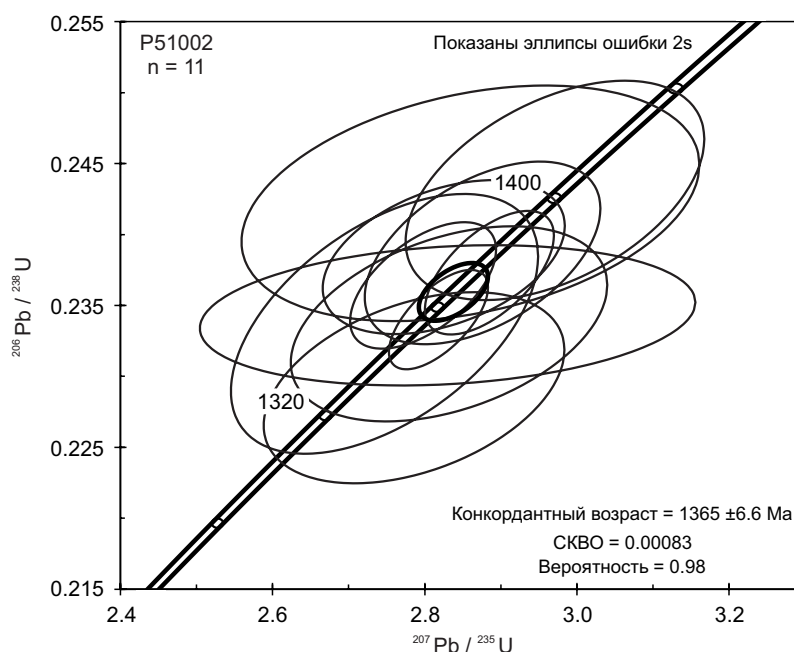


Рис. 6. Конкордия с замерами по цирконам для пробы P51002.

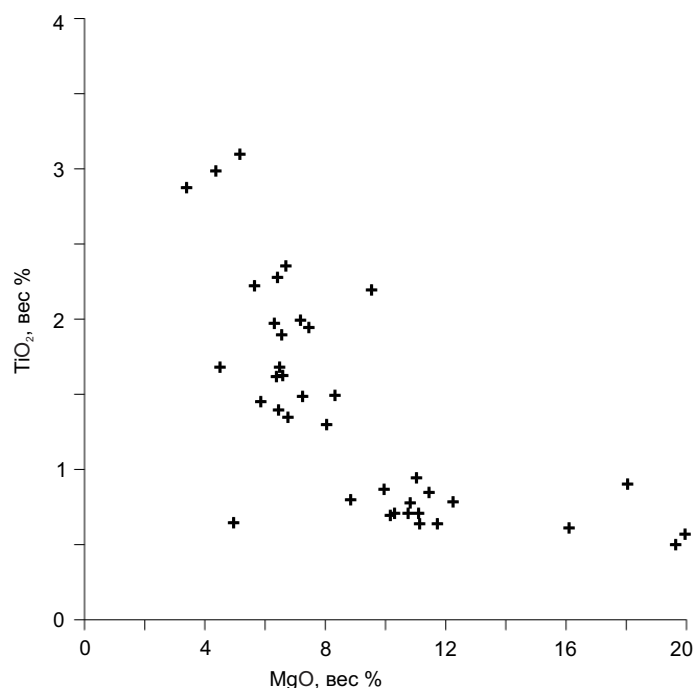
Fig. 6. Concordia with measurements on zircons for sample P51002.

подавляющего большинства габброидов Башкирского мегантиклинория [Nosova et al., 2012; Kovalev, 2008], а вот обеднение Zr и Hf проявлено крайне слабо. Обогащение свинцом и крупноионными элементами в части проб с большой вероятностью связано с привнесом из вмещающих пород – по авторским данным содержания этих компонентов даже в пределах одного тела без петрологической зональности могут изменяться на порядок [Khotylev, 2018]. Колебание содержаний стронция обычно регулируется количеством плагиоклаза. Резкое

обеднение ураном и обогащение барием ряда проб являются собой, скорее всего, результат метасоматоза.

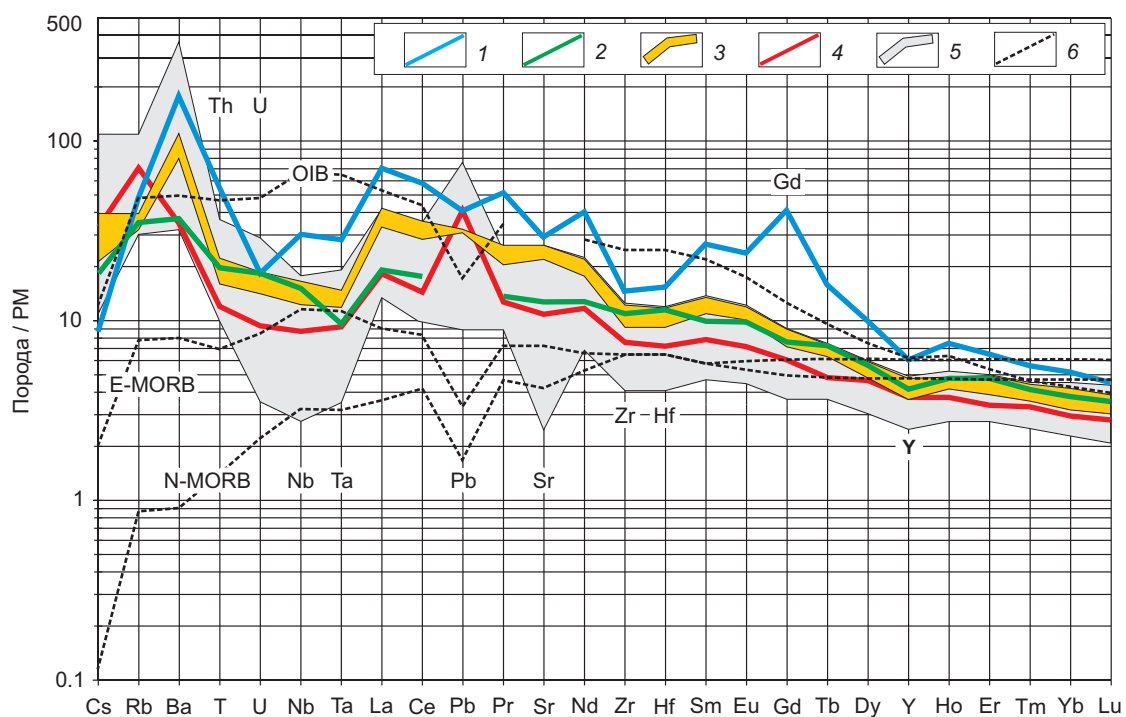
Разности с относительно высокими содержаниями оксида титана в большинстве случаев обогащены всем спектром рассеянных элементов и не имеют четко выраженной положительной аномалии свинца. В противоположность им, низкотитанистые, обогащенные оксидом магния породы относительно обеднены рассеянными элементами, чаще имеют положительную аномалию свинца, характеризуются более четкими, в сравнении





**Рис. 7.** Диаграмма MgO-TiO<sub>2</sub> для пород кургасского комплекса. Содержания компонентов в весовых процентах.

**Fig. 7.** MgO-TiO<sub>2</sub> plot for the rocks of the Kurgass complex. The contents of components are given in weight percentage.



**Рис. 8.** Мультиэлементная диаграмма для пород кургасского комплекса.

Содержания нормированы на примитивную мантию (PM). 1 – проба 1036; 2 – проба EQ-03-07; 3 – поле серии проб EQ-10; 4 – проба 18102-7; 5 – поле для тел кургасского комплекса без изотопных датировок; 6 – тренды эталонов E-MORB, N-MORB и OIB (подробнее см. в тексте). Эталоны E-MORB, N-MORB, OIB и PM по [Sun, McDonough, 1989], данные для проб EQ-03-07 и EQ-10 по [Ernst et al., 2006].

**Fig. 8.** Multi-element diagram for the rocks of the Kurgass complex.

The contents are normalized to primitive mantle (PM). 1 – sample 1036; 2 – sample EQ-03-07; 3 – field of a series of samples EQ-10; 4 – sample 18102-7; 5 – field for bodies of the Kurgass complex without isotopic dating; 6 – trends of E-MORB, N-MORB and OIB standards (for more details, see text). E-MORB, N-MORB, OIB and RM standards after [Sun, McDonough, 1989]. Data for EQ-03-07 and EQ-10 samples from [Ernst et al., 2006].

с высокотитанистыми, отрицательными аномалиями Ta, Nb, Zr и Hf.

Впервые было установлено, что в породах кургасского комплекса проявлена площадная зональность, выраженная устойчивым изменением ряда геохимических параметров в меридиональном направлении. Так, кремнекислотность пород закономерно уменьшается с севера на юг: для самых северных тел кургасского комплекса характерно 55–57 % SiO<sub>2</sub>, в то время как южнее, в Бакальском районе, широко распространены породы с содержанием от 42 до 50–51 % SiO<sub>2</sub>. В этом же направлении увеличивается содержание магния: от 2–5 % MgO в габброидах, секущих тараташский комплекс на севере, до 15 % и более в южных частях в районе Бакальского рудного поля (рис. 9).

Также с севера на юг уменьшается значение отношения La/Yb: от 20–30 на Тараташском выступе до 5–8 в Бакальском районе (рис. 10).

#### 4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

На сегодняшний день для тел кургасского комплекса есть пять прецизионных изотопных датировок, полученных современными методами: 1385±1.4 (U-Pb, бадделит), 1360±9 (<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar, биотит), 1318±10 (<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar, биотит), 1349±11 (U-Pb, циркон), 1365.6±6.6 (U-Pb, циркон) млн лет, то есть формирование комплекса пришлось на начало среднего рифея (авторами принят возраст нижней границы среднего рифея 1400 млн лет по [Puchkov et al., 2014a]). Таким образом, продолжительность всего рифтогенного процесса (если считать, что формирование кургасского комплекса на всем своем протяжении связано с машакским рифтингом) получается не менее 65 млн лет, что сопоставимо с длительностью всего кайнозоя.

Возможно, что рифтогенез и сопровождающий его магматизм действительно проявлялись на столь небольшом интервале времени. Однако развитие современной Восточно-Африканской континентальной рифтовой системы заняло лишь 30 млн лет [Ring, 2014; Chorowicz, 2005], что в два раза меньше. Более вероятной представляется такая ситуация: в раннем и среднем рифее было несколько относительно недолгих импульсов магматизма, самый интенсивный из которых пришелся на начало среднего рифея. Но в силу ничтожно малого количества изотопных данных (менее десяти изотопных датировок для нескольких тысяч даек на всей площади Башкирского мегантиклинория), нередко больших погрешностей при определении изотопного возраста и возможных нарушений изучаемых изотопных систем и складывается впечатление «длительного и непрерывного» магматизма в течение 50–60 млн лет.

Возможным способом разрешения этого вопроса является увеличение количества изотопных данных и более пристальный поиск иных признаков нескольких этапов магматизма – геологических, геохимических и петрографических, которые позволят разделять тела хотя бы на относительные этапы формирования.

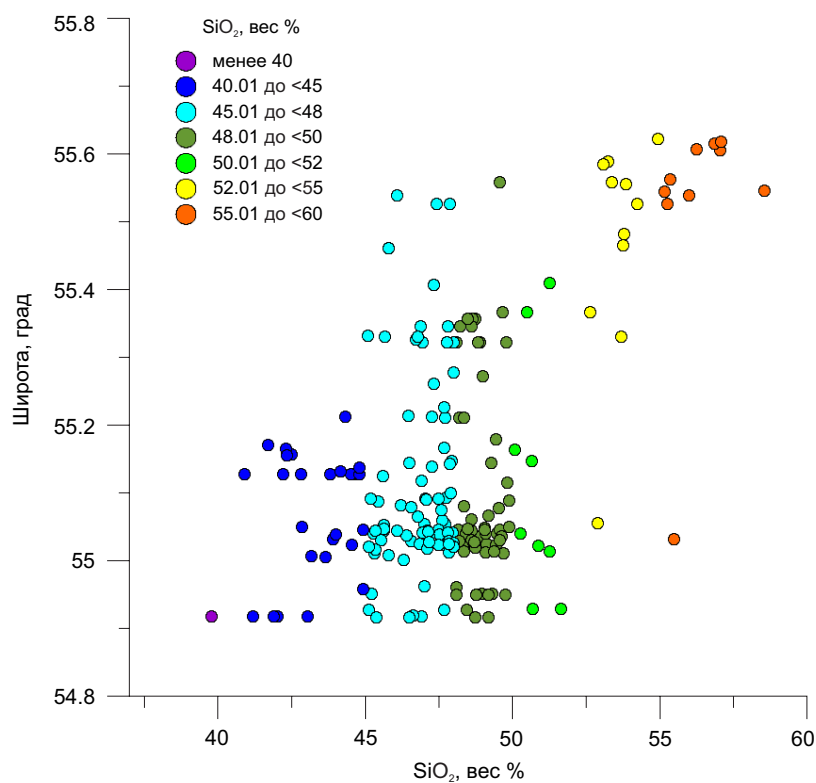
Косвенным признаком того, что в рифейской истории Башкирского мегантиклинория есть ряд неизвестных на сегодня этапов растяжения, сопровождавшихся формированием даек, являются достаточно достоверные изотопные датировки, которые не вписываются в общепринятые этапы магматической активизации этого региона, например 1415±11 млн лет (цирконы, U-Pb SHRIMP II) по дацитам на южном окончании Тараташского выступа [Tevelev et al., 2014] и ряд других [Krasnobaev et al., 2017; Puchkov et al., 2011, 2014b].

Возраст дайки, секущей Бердяушский массив (1349±11 млн лет), и ее взаимоотношения с вмещающими породами позволяют получить новые временные ограничения на длительность формирования массива и его постмагматическую эволюцию. Как обсуждалось во Введении, время формирования основных фаз Бердяушского массива определяется недавними датировками в диапазоне 1365–1382 млн лет. Вмещающие дайку мраморизованные карбонаты саткинской свиты и жилы гранитоидов рапакиви Бердяушского массива совместно деформированы с образованием реидных складок, в то время как дайки долеритов заполняют субпараллельные прямолинейные трещины и нарушены лишь единичными хрупкими субвертикальными разломами. Такие структурные соотношения долеритов с гранитоидами и доломитами указывают на то, что к моменту формирования дайковой серии Бердяушский массив не только сформировался, но и претерпел эксгумацию в приповерхностные горизонты коры. На это указывает и смена вязкопластических условий деформации на хрупкие и пойкилоофитовая структура долеритов изученной дайки. То есть этот процесс занял не более чем 15–30 млн лет, а если учесть погрешность определения возрастов, то, возможно, и меньше.

Породы кургасского комплекса представлены габбро и долеритами нормальной и повышенной щелочности и в большинстве своем характеризуются относительно высоким содержанием TiO<sub>2</sub> (1.5–2.5 %) и умеренным содержанием MgO (4–8 %), хотя и являются при этом более обогащенными оксидом магния, чем прочие дайковые комплексы Башкирского мегантиклинория [Khotylev et al., 2017; Kovalev et al., 2015]. При этом в составе комплекса присутствуют и высокомагнезиальные разности, для которых типично пониженное содержание TiO<sub>2</sub> (0.5–0.7 %), но значительное обогащение Cr (до 650 мкг/г) и Ni (до 500 мкг/г).

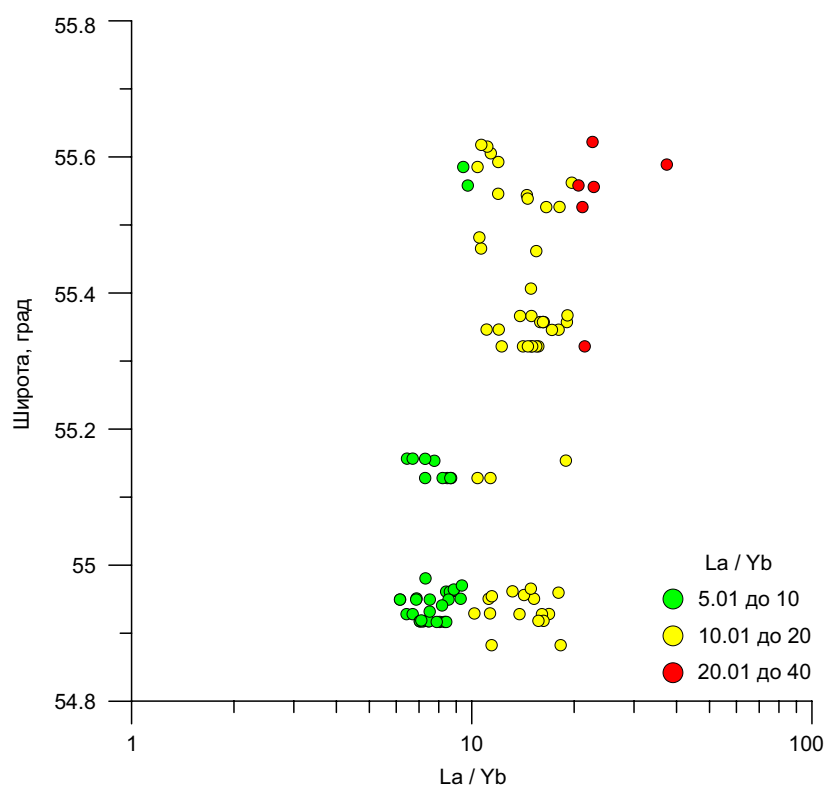
Высокотитанистые разности сильнее обогащены всем спектром рассеянных элементов и обычно не имеют свинцового максимума, в то время как породы, обогащенные магнием, отличаются обеднением рассеянными элементами, отчетливым свинцовым максимумом и более четкими отрицательными аномалиями Ta, Hf, Nb, Zr.

В породах кургасского комплекса было показано присутствие региональной геохимической зональности, которая выражена в уменьшении содержаний SiO<sub>2</sub> и увеличении количества MgO с севера на юг. Подобное изменение состава может быть связано с уменьшением



**Рис. 9.** Распределение содержания SiO<sub>2</sub> в породах кургасского комплекса в зависимости от широты. Содержание SiO<sub>2</sub> в весовых процентах.

**Fig. 9.** Distribution of the SiO<sub>2</sub> content in the rocks of the Kurgas complex depending on latitude. The SiO<sub>2</sub> content is given in weight percentage.



**Рис. 10.** Распределение отношения La/Yb в породах кургасского комплекса в зависимости от широты.

**Fig. 10.** Distribution of the La/Yb content in the rocks of the Kurgas complex depending on latitude.

степени дифференциации расплава в этом направлении: длительная дифференциация на севере привела к кристаллизации основных фаз в промежуточных очагах и накоплению в расплаве кремнезема, в то время как южнее расплавы поднимались с меньшим количеством промежуточных остановок и не дифференцировались. Изменение кремнекислотности отражается непосредственно в минеральном составе пород: количество гранофировых кварц-полевошпатовых сростаний увеличивается от 1–5 % на юге до 20–25 % на севере Башкирского мегантиклинория, формируя изменение химического состава.

Если учесть, что формирование кургасского комплекса происходило одновременно с накоплением контрастной базальт-риолитовой толщи машакской и кувашской свит юго-восточнее [Puchkov, 2013], то раскрытие рифта вполне объясняет выявленную зональность: в центральной части рифта утонение литосферы позволяет подниматься расплавам с меньшим количеством промежуточных остановок, а на северной окраине рифта литосфера, вероятно, была мощнее и расплавы претерпевали более продолжительную дифференциацию.

Дополнительным признаком того, что подобные вариации составов являются следствием именно разной степени кристаллизационной дифференциации, а не вариаций степени плавления, служит то, что отношение  $La/Yb$  с севера на юг изменяется не очень значительно (см. рис. 10), в то время как содержания оксидов магния и кремния меняются в значительных интервалах. Таким образом, содержания несовместимых элементов меняются незначительно, а совместимых – весьма сильно. Если бы изменялась степень частичного плавления, то картина была бы обратной.

Региональная геохимическая зональность среди тел пикритов была ранее установлена А.А. Носовой с коллегами [Nosova et al., 2012]. Этими исследователями было показано, что среди пикритов и пикродолеритов высокотитанистые разности преобладают в поле Тараташского блока и дальше широко распространены на юг примерно до южного окончания кузино-копанского комплекса. Южнее сначала появляются, а потом и преобладают низкотитанистые разности. А.А. Носова с коллегами объясняют подобное распределение тем, что в северных частях распространены производные плавления мантийного источника с участием пироксенитов, а при смещении на юг появляются производные пироксенитовых и перидотитовых источников, причем последние преобладают в самых южных участках. Авторы данной статьи считают, что и для долеритов, и для габброидов тоже возможно предполагать изменение состава протолита с севера на юг, что, впрочем, совершенно не противоречит предположению о различной степени дифференциации.

Машакское магматическое событие, приведшее к формированию изученных тел кургасского комплекса, представляет собой один из эпизодов глобальной эпохи мезопротерозойского анорогенного магматизма. Так, одновозрастные (в диапазоне 1.4–1.3 млрд лет назад)

проявления магматической активности известны в пределах Волго-Уральской антеклизы и Тимано-Печорской области [Puchkov et al., 2013], северной части Гренландии [Upton et al., 2005], Анабарского щита Сибирской платформы [Ernst et al., 2000, 2016], Северо-Китайской платформы [Yang et al., 2011], Западной Лаврентии и других континентальных блоков (см. обзоры [Ernst et al., 2008b; Puchkov et al., 2013]). Как правило, все эти проявления магматизма связывают с формированием крупной магматической провинции и распадом мезопротерозойского суперконтинента Колумбия [Rogers, Santosh, 2002] или Нуна [Evans, Mitchell, 2011].

В большинстве существующих реконструкций уральская окраина Восточно-Европейской платформы представляет собой пассивную окраину мезопротерозойского суперконтинента Колумбия без каких-либо крупных континентальных блоков в непосредственной близости [Rogers, Santosh, 2002; Zhao et al., 2004; Hou et al., 2008].

Однако существуют и альтернативные модели, в том числе предполагающие расположение уральской окраины вблизи северо-восточной, в современных координатах, окраины Сибири [Evans, Mitchell, 2011], составного блока «Great Steppe», представляющего собой коллаж террейнов Урало-Монгольского пояса [Yakubchuk, 2010], или даже Западной Африки [Zhang et al., 2012] или Австралии [Kuznetsov et al., 2012]. Для тестирования этих реконструкций необходим детальный анализ геологических комплексов, слагающих потенциально смежные блоки, а также получение надежных палеомагнитных данных для возрастного интервала, соответствующего машакскому магматизму. На данный момент можно заметить, что присутствие близких по возрасту дайковых комплексов в Гренландии, Сибири и на Восточно-Европейской платформе является аргументом в пользу пространственной близости этих блоков (реконструкция [Evans, Mitchell, 2011]).

При этом стоит отметить, что прямые геологические признаки, указывающие на формирование океанической коры в Машакской рифтовой структуре, на сегодняшний день неизвестны, что позволяет интерпретировать ее, в том числе, как внутриплитную рифтовую структуру, подобную Кенийской рифтовой зоне в Восточной Африке [Ardislamov et al., 2013].

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Кургасский комплекс представлен многочисленными дайками и силлами, широко распространенными на западном склоне Южного Урала, главным образом среди раннерифейских терригенно-карбонатных толщ. Тела сложены габброидами с характерным красноватым клинопироксеном и содержат до 15–20 % гранофировых кварц-полевошпатовых сростаний, что отличает их от даек прочих комплексов этой территории.

Преобладающее большинство пород характеризуются умеренно-высокими содержаниями  $TiO_2$  (до 2 %) и общим обогащением рассеянными элементами

до уровня, близкого к ОИВ. При этом прослеживается тенденция уменьшения содержаний  $\text{SiO}_2$  и рассеянных элементов и увеличения количества  $\text{MgO}$  с севера на юг. Это связано с уменьшением степени дифференциации расплавов и указывает на увеличение проницаемости литосферы в этом направлении, что логично соотносится с раскрытием в это время в Ямантауском антиклинории Машакской рифтовой структуры.

Комплекс формировался в течение длительного промежутка времени, как минимум с 1380 до 1318 млн лет. Этот этап магматической активности связан с растяжением на пассивной окраине суперконтинента Колумбия, во время которого формировались многочисленные вулканические и интрузивные комплексы, объединяемые в Машакскую магматическую провинцию и, возможно, имеющие плюмовую природу.

## 6. БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят В.М. Мосейчука за возможность проведения полевых исследований, С.Г. Ковалева, Б.Б. Шкурского, П.Л. Тихомирова и И.А. Кошелеву за помощь при обработке и осмыслении петрологических и геохимических данных, а также И.А. Прудникова, С.С. Попова и Е.А. Володину за содействие при полевых изысканиях в непростых условиях Южного Урала.

## 7. ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

Alekseev A.A., 1979. Different-Age Picritic and Diabase-Picritic Complexes of the Western Slope of the Southern Urals (Bashkirian Meganticlinorium). Reports of the USSR Academy of Sciences 248 (4), 935–939 (in Russian) [Алексеев А.А. Разновозрастные пикритовые и диабаз-пикритовые комплексы западного склона Южного Урала (Башкирский мегантиклинорий) // Доклады АН СССР. 1979. Т. 248. № 4. С. 935–939].

Alekseev A.A., 1984. Riphean-Vendian Magmatism of the Western Slope of the Southern Urals. Nauka, Moscow, 136 p. (in Russian) [Алексеев А.А. Рифейско-вендский магматизм западного склона Южного Урала. М.: Наука, 1984. 136 с.].

Alekseyev A.A., Shakurov R.K., 2008. Leucite Basalt from the Leuza-1 Borehole in the Southern Pre-Urals. Lithosphere (4), 99–103 (in Russian) [Алексеев А.А., Шакуров Р.К. Лейцитовый базальт из скважины Леуза-1 в Южном Предуралье // Литосфера. 2008. № 4. С. 99–103].

Ardislamov F.R., Saveliev D.E., Snachev A.V., Puchkov V.N., 2013. Geology of the Mashak Formation of the Yamantaus Anticlinorium (Southern Urals). DesignPress, Ufa, 216 p. (in Russian) [Ардисламов Ф.Р., Савельев Д.Е., Сначёв А.В., Пучков В.Н. Геология машакской свиты Ямантаусского антиклинория (Южный Урал). Уфа: ДизайнПресс, 2013. 216 с.].

Belyaev A.M., Neymark L.A., Shebanov A.D., Larin A.M., 1996. Age and Origin of Mafic Xenoliths from Rapakivi Granites of the Berdiaush Massif (S. Urals, Russia). In: Rapakivi Granites and Related Rocks: Correlation on a Global Scale. Abstract Volume of the IGCP-315 Symposium. Helsinki, Finland, p. 6.

Black L.P., Kamo S.L., Allen C.M., Aleinikoff J.N., Davis D.W., Korsch R.J., Foudoulis C., 2003. TEMORA 1: A New Zircon Standard for U-Pb Geochronology. Chemical Geology 200 (1–2), 155–170. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(03\)00165-7](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(03)00165-7).

Bychkova Y.V., Nikolaeva I.Y., Ermina O.S., Tskhovrebova A.R., Shubin I.I., Stennikov A.V., 2018. The Details of a Method for the Preparation of Solid Geological Samples for ICP-MS Multielement Analysis. Moscow University Geology Bulletin 73 (6), 520–526. <https://doi.org/10.3103/S0145875218060042>.

Bychkova Y.V., Sinitsyn M.Y., Petrenko D.B., Nikolaeva I.Y., Bugaev I.A., Bychkov A.Y., 2017. Method Peculiarities of Multi-element Analysis of Rocks with Inductively-Coupled Plasma Mass Spectrometry. Moscow University Geology Bulletin 72 (1), 56–62. <https://doi.org/10.3103/S0145875217010033>.

Chorowicz J., 2005. The East African Rift System. Journal of African Earth Sciences 43 (1–3), 379–410. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2005.07.019>.

Elmis R., Krupenin M.T., Bogatov V.I. et al., 2000. Early Riphean Age of the Main Generation of Diabase Dikes in the Lower Riphean Rocks of the Bakala Region (Southern Urals). In: Petrography at the turn of the 21st century. Materials of the Second All-Russia Petrographic Meeting. Vol. IV. Geoprint, Syktyvkar, p. 228–232 (in Russian) [Эльмис Р., Крупенин М.Т., Богатов В.И. и др. Раннерифейский возраст основной генерации диабазовых даек в нижнерифейских породах района Бакала (Южный Урал) // Петрография на рубеже XXI века: Материалы Второго Всероссийского петрографического совещания. Сыктывкар: Геопринт, 2000. Т. IV. С. 228–232].

Ernst R.E., Buchan K.L., Hamilton M.A., Okrugin A.V., Tomshin M.D., 2000. Integrated Paleomagnetism and U-Pb Geochronology of Mafic Dikes of the Eastern Anabar Shield Region, Siberia: Implications for Mesoproterozoic Paleolatitude of Siberia and Comparison with Laurentia. The Journal of Geology 108 (4), 381–401. <https://doi.org/10.1086/314413>.

Ernst R.E., Haines J.A., Puchkov V.N. et al., 2008a. Reconnaissance Ar-Ar Dating of Proterozoic Dolerite Dykes and Sills in Siberia and the Southern Urals: Identification of New Large Magmatic Provinces and Use of the Nuna Supercontinent (Colombia) During Reconstruction. In: Yu.V. Karyakin (Ed.), Materials of XLI Tectonic Meeting. Vol. 2. GEOS, Moscow, p. 492–496] (in Russian) [Эрнст Р.Э., Хейнс Дж.А., Пучков В.Н. и др. Рекогносцировочное Ar-Ar датирование протерозойских долеритовых даек и силлов в Сибири и на Южном Урале: идентификация новых крупных магматических провинций и использование при реконструкции суперконтинента Нуна (Колумбия) // Материалы XLI Тектонического совещания / Ред. Ю.В. Карякин. Т. 2. М.: ГЕОС, 2008. С. 492–496].

Ernst R.E., Okrugin A.V., Veselovskiy R.V., Kamo S.L., Hamilton M.A., Pavlov V., Söderlund U., Chamberlain K.R., Rogers C., 2016. The 1501 Ma Kuonamka Large Igneous Province of Northern Siberia: U-Pb Geochronology, Geochemistry, and Links with Coeval Magmatism on Other

Crustal Blocks. *Russian Geology and Geophysics* 57 (5), 653–671. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2016.01.015>.

Ernst R.E., Pease V., Puchkov V.N., Kozlov V.I., Sergeeva N.D., Hamilton M., 2006. Geochemical Characterization of Precambrian Magmatic Suites of the Southeastern Margin of the East European Craton, Southern Urals, Russia. In: V.N. Puchkov, R.F. Abdrakhmanov, I.B. Seravkin (Eds), *Geological collection 5*. Ufa, p. 1–45 [Геологический сборник / Ред. В.Н. Пучков, Р.Ф. Абдрахманов, И.Б. Серавкин. Уфа, 2006. № 5. С. 1–45].

Ernst R.E., Wingate M.T.D., Buchan K.L., Li Z.X., 2008b. Global Record of 1600–700Ma Large Igneous Provinces (LIPs): Implications for the Reconstruction of the Proposed Nuna (Columbia) and Rodinia Supercontinents. *Precambrian Research* 160 (1–2), 159–178. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2007.04.019>.

Evans D.A.D., Mitchell R.N., 2011. Assembly and Break-up of the Core of Paleoproterozoic-Mesoproterozoic Supercontinent Nuna. *Geology* 39 (5), 443–446. <https://doi.org/10.1130/g31654.1>.

Gorozhanin V.M., Sergeeva N.D., Gorozhanina E.N., Puchkov V.N., Kuznetsov N.B., Ratov A.A., 2013. Tectonic-sedimentation Models of the Formation of Volcanic-sedimentary Deposits of the Ai Formation in the Navysh Time (Southern Urals). In: V.N. Puchkov, R.F. Abdrakhmanov, I.B. Seravkin (Eds), *Geological Collection 10. Information Materials*. DesignPress, Ufa, p. 3–20 (in Russian) [Горожанин В.М., Сергеева Н.Д., Горожанина Е.Н., Пучков В.Н., Кузнецов Н.Б., Ратов А.А. Тектоно-седиментационные модели образования вулканогенно-осадочных отложений айской свиты в навышское время (Южный Урал) // Геологический Сборник. Информационные материалы / Ред. В.Н. Пучков, Р.Ф. Абдрахманов, И.Б. Серавкин. Уфа: ДизайнПресс, 2013. № 10. С. 3–20].

Hou G., Santosh M., Qian X., Lister G.S., Li J., 2008. Configuration of the Late Paleoproterozoic Supercontinent Columbia: Insights from Radiating Mafic Dyke Swarms. *Gondwana Research* 14 (3), 395–409. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2008.01.010>.

Khotylev A.O., 2018. The Evolution of Late Precambrian Magmatism in the Northern Part of the Bashkirian Meganticlinorium. PhD Thesis (Candidate of Geology and Mineralogy). Moscow, 210 p. (in Russian) [Хотылев А.О. Эволюция позднедокембрийского магматизма северной части Башкирского мегантиклинория: Дис. ... канд. геол.-мин. наук. Москва, 2018. 210 с.].

Khotylev A.O., Devisheva N.B., Tevelev A.V., Moseichuk V.M., 2018. The First Evidence for Mesozoic Magmatism on the Western Slope of the Southern Urals. *Moscow University Geology Bulletin* 73 (6), 494–503. <https://doi.org/10.3103/S0145875218060078>.

Khotylev A.O., Tevelev A.V., 2018. The Geochemical Characteristics of the Early Riphean Navysh Volcanic Complex (Southern Urals). *Moscow University Geology Bulletin* 73 (1), 24–30. <https://doi.org/10.3103/S0145875218010040>.

Khotylev A.O., Tevelev A.V., Moseichuk V.M., Bychkov A.Yu., Devisheva N.B., 2017. The Suim and Kurgas Riphean Dyke Complexes: Composition and Petrological Features (Southern

Urals, Bashkirian Meganticlinorium). *Bulletin of the Moscow Society of Naturalists. Geological Department* 92 (5), 3–14 (in Russian) [Хотылев А.О., Тевелев Ал.В., Мосейчук В.М., Бычков А.Ю., Девишева Н.Б. Суимский и кургаский рифейские дайковые комплексы: состав и петрологические особенности (Южный Урал, Башкирский мегантиклинорий) // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. 2017. Т. 92. № 5. С. 3–14].

Kovalev S.G., 2008. Late Precambrian Rifting in the Geological History of the Western Slope of the South Urals. *Geotectonics* 42 (2), 137–146. <https://doi.org/10.1134/s0016852108020040>.

Kovalev S.G., 2011. New Geochemical Data and Conditions of Formation of Diabase-Picritic Magmatism in the Southern Urals Western Slope. *Lithosphere* (2), 68–83 (in Russian) [Ковалев С.Г. Новые данные по геохимии диабаз-пикритового магматизма западного склона Южного Урала и условия его формирования // Литосфера. 2011. № 2. С. 68–83].

Kovalev S.G., Vysotsky S.I., Kovalev S.S., 2015. Petrogeochemistry of Igneous Complexes of the Western Slope of the Southern Urals and the East of the East European Platform. In: V.N. Puchkov, R.F. Abdrakhmanov, I.B. Seravkin (Eds), *Geological Collection 10. Information Materials*. Svoe Publishing House, Saint Petersburg, p. 117–137 (in Russian) [Ковалев С.Г., Высоцкий С.И., Ковалев С.С. Петрогеохимия магматических комплексов западного склона Южного Урала и востока Восточно-Европейской платформы // Геологический сборник / Ред. В.Н. Пучков, Р.Ф. Абдрахманов, И.Б. Серавкин. СПб.: Свое издательство, 2015. № 15. С. 117–137].

Kozlov V.I., Makushin A.A., Shalaginov V.V., 2001. Geological Map of the Russian Federation and the Adjacent Territory of the Republic of Kazakhstan N-40 (41) (Ufa). New Series. Map of Pre-Quaternary Formations. Scale 1:100000. Ed. V.I. Kozlov. VSEGEI, Saint Petersburg (in Russian) [Козлов В.И., Макушин А.А., Шалагинов В.В. Геологическая карта Российской Федерации и сопредельной территории Республики Казахстан N-40 (41) (Уфа). Новая серия. Карта дочетвертичных образований. Масштаб 1:100000 / Ред. В.И. Козлов. СПб.: ВСЕГЕИ, 2001].

Krasnobaev A.A., Kozlov V.I., Puchkov V.N., Busharina S.V., Sergeeva N.D., Paderin I.P., 2013. Zircon Geochronology of the Mashak Volcanic Rocks and the Problem of the Age of the Lower-middle Riphean Boundary (Southern Urals). *Stratigraphy and Geological Correlation* 21 (5), 465–481. <https://doi.org/10.1134/S0869593813050055>.

Krasnobaev A.A., Puchkov V.N., Sergeeva N.D., Shokal'ski S.P., Busharina S.V., 2017. Polychronous Zirconology of Syenites from the Avashla Intrusion in the Kurgass Anticline (Southern Urals). *Doklady Earth Sciences* 473 (1), 323–328. <https://doi.org/10.1134/S1028334X1703014X>.

Kuznetsov N.B., Romanyuk T.V., Shatsillo A.V., Golovanova I.V., Danukalov K.N., Meert J., 2012. The Age of Detrital Zircons from Asha Group, Southern Ural – Verification of Idea about the Spatial Conjugation of Baltica and Australia within the Rodinia Supercontinent (a Positive Test of

the «Australia Upside Down Conception»). *Litosfera* (Lithosphere) (4), 59–77 (in Russian) [Кузнецов Н.Б., Романюк Т.В., Шацилло А.В., Голованова И.В., Данукалов К.Н., Меерт Дж. Возраст детритных цирконов из ашинской серии Южного Урала – подтверждение пространственной сопряженности Уральского края Балтики и Квинслендского края Австралии в структуре Родинии («Australia Upside Down conception») // *Литосфера*. 2012. № 4. С. 59–77].

Lennykh V.I., Petrov V.I., 1978. Diabases of the Taratash Complex and its Framing. In: V.I. Lennykh, A.I. Belkovsky (Eds), *Volcanism, Metamorphism and Ferruginous Quartzites in the Framing of the Taratash Complex*. Ural SC of the USSR Acad. Sci., Sverdlovsk, p. 59–67 (in Russian) [Ленных В.И., Петров В.И. Диабазы тараташского комплекса и его обрамления // *Вулканизм, метаморфизм и железистые кварциты обрамления тараташского комплекса* / Ред. В.И. Ленных, А.И. Белковский. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1978. С. 59–67].

Ludwig K.R., 2001. *Squid 1.02: A User Manual*. Berkeley Geochronological Center Special Publication No. 2. Berkeley, USA, 19 p.

Ludwig K.R., 2003. *User's Manual for Isoplot/EX, Version 3.00. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel*. Berkeley Geochronology Center Special Publication No. 4. Berkeley, USA, 71 p.

Nosova A.A., Sazonova L.V., Kargin A.V., Larionova Y.O., Gorozhanin, V.M., Kovalev S.G., 2012. Mesoproterozoic Within-Plate Igneous Province of the Western Urals: Main Petrogenetic Rock Types and their Origin. *Petrology* 20 (4), 356–390. <https://doi.org/10.1134/s086959111204008x>.

Puchkov V.N., 2012. Dike Swarms and Related Igneous Complexes in the Urals. *Geotectonics* 46 (1), 37–46. <https://doi.org/10.1134/s0016852112010050>.

Puchkov V.N., 2013. Plumes in the Geological History of the Urals. *Bulletin of the Moscow Society of Naturalists. Geological Department* 88 (4), 64–73 (in Russian) [Пучков В.Н. Плюмы в геологической истории Урала // *Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический*. 2013. Т. 88. № 4. С. 64–73].

Puchkov V.N., Bogdanova S.V., Ernst R.E., Kozlov V.I., Krasnobaev A.A., Söderlund U., Sergeeva N.D., 2013. The ca. 1380 Ma Mashak Igneous Event of the Southern Urals. *Lithos* 174, 109–124. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2012.08.021>.

Puchkov V.N., Kozlov V.I., Krasnobaev A.A., 2011. Paleozoic U-Pb SHRIMP Dating of Igneous Rocks of the Bashkirian Meganticlinorium. In: V.N. Puchkov, R.F. Abdрахманов, I.B. Seravkin (Eds), *Geological Collection 9. Anniversary Issue. Information Materials*. Ufa, p. 36–43 (in Russian) [Пучков В.Н., Козлов В.И., Краснобаев А.А. Палеозойские U-Pb SHRIMP-датировки магматических пород Башкирского мегантиклинория // *Геологический сборник. № 9. Юбилейный выпуск. Информационные материалы* / Ред. В.Н. Пучков, Р.Ф. Абдрахманов, И.Б. Серавкин. Уфа, 2011. С. 36–43].

Puchkov V.N., Krasnobaev A.A., Sergeeva N.D., 2014a. The New Data on Stratigraphy of the Riphean Stratotype in the

Southern Urals, Russia. *Journal of Geoscience and Environment Protection* 2 (3), 108–116. <https://doi.org/10.4236/gep.2014.23015>.

Puchkov V.N., Krasnobaev A.A., Sergeeva N.D., Busharina S.V., Rodionov N.V., Bayanova T.B., 2014b. Archean Metabasic Rocks at the Base of the Riphean of the Bashkirian Meganticlinorium (Southern Urals). *Doklady Earth Sciences* 457 (1), 835–841. <https://doi.org/10.1134/S1028334X14070083>.

Puchkov V.N., Sergeeva N.D., Krasnobaev A.A., 2017. Stratigraphic Diagram of the Riphean Stratotype of the Southern Urals. In: *Geology. News of the Department of Earth Sciences and Natural Resources, Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan*, No. 23, p. 3–26 (in Russian) [Пучков В.Н., Сергеева Н.Д., Краснобаев А.А. Стратиграфическая схема стратотипа рифея Южного Урала // *Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов Академии наук Республики Башкортостан*. 2017. № 23. С. 3–26].

Ring U., 2014. The East African Rift System. *Austrian Journal of Earth Science* 107 (1), 132–146.

Rogers J.J.W., Santosh M., 2002. Configuration of Columbia, a Mesoproterozoic Supercontinent. *Gondwana Research* 5 (1), 5–22. [https://doi.org/10.1016/s1342-937x\(05\)70883-2](https://doi.org/10.1016/s1342-937x(05)70883-2).

Ronkin Y.L., Tichomirowa M., Maslov A.V., 2016. The Southern Urals Large Igneous Province with an Age of Approximately 1380 Ma: Precision U-Pb ID-TIMS Constraints. *Doklady Earth Sciences* 468 (2), 587–592. <https://doi.org/10.1134/S1028334X16060210>.

Rubatto D., 2017. Zircon: The Metamorphic Mineral. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 83 (1), 261–295. <https://doi.org/10.2138/rmg.2017.83.9>.

Rumyantseva N.A., 1963. Volcanism of the Western Slope of the Middle and Southern Urals. In: *Magmatism, Metamorphism and Metallogeny of the Urals. Ural Branch of the USSR Acad. Sci., Sverdlovsk, Vol. 2*, p. 123–130 (in Russian) [Румянцева Н.А. Вулканизм западного склона Среднего и Южного Урала // *Магматизм, метаморфизм, металлогения Урала*. Свердловск: УФАН СССР, 1963. Т. 2. С. 123–130].

Sazonova L.V., Nosova A.A., Larionova Yu.O., Kargin A.V., Kovalev S.G., 2011. Mesoproterozoic Picrites of the Eastern Margin of the East European Platform and the Bashkirian Meganticlinorium: Petrogenesis and Major- and Trace-Element Composition of Olivine and Clinopyroxene. *Lithosphere* (3), 64–83 (in Russian) [Сазонова Л.В., Носова А.А., Ларионова Ю.О., Каргин А.В., Ковалев С.Г. Мезопротерозойские пикриты восточной окраины Восточно-Европейской платформы и Башкирского мегантиклинория: петрогенезис и особенности составов оливина и клинопироксена // *Литосфера*. 2011. № 3. С. 64–83].

Shvetsov P.N., Kraev Yu.P., Shumikhin E.A., Yamaev F.A., 1976. Magmatic Formations of the Central Ural Uplift (Within the Territory of Bashkiria). In: *Magmatism, Metamorphism and Metallogeny of the Western Slope of the Urals. Bashkirian Branch of the USSR Acad. Sci*, p. 23–31 (in Russian) [Швецов П.Н., Краев Ю.П., Шумихин Е.А., Ямаев Ф.А.

Магматические формации Центрально-Уральского подъятия (в пределах Башкирии) // Магматизм, метаморфизм, металлогения западного склона Урала. Уфа: БФАН СССР, 1976. С. 23–31].

Sindern S., Ronkin Yu.L., Kramm U., Maslov A.V., Lepikhina O.P., 2003. Isotope Geochronology in Solving the Problems of Geodynamics and Ore Genesis. In: Materials of the II Russian Conference on Geochronology. Institute of Precambrian Geology and Geochronology, Saint Petersburg, p. 461–465 (in Russian) [Синдерн С., Ронкин Ю.Л., Крамм У., Маслов А.В., Лепихина О.П. Изотопная геохронология в решении проблем геодинамики и рудогенеза // Материалы II Российской конференции по геохронологии. СПб.: ИГГД РАН, 2003. С. 461–465].

Stacey J.S., Kramers J.D., 1975. Approximation of Terrestrial Lead Isotope Evolution by a Two-stage Model. *Earth and Planetary Science Letters* 26 (2), 207–221. [https://doi.org/10.1016/0012-821x\(75\)90088-6](https://doi.org/10.1016/0012-821x(75)90088-6).

Stratigraphic Code of Russia, 2019. Third Edition, Revised and Supplemented. VSEGEI, Saint Petersburg, 96 p. (in Russian) [Стратиграфический кодекс России. Издание третье, исправленное и дополненное. СПб.: ВСЕГЕИ, 2019. 96 с.].

Sun S.-S., McDonough W.F., 1989. Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts: Implications for Mantle Composition and Processes. *Geological Society, London, Special Publications* 42 (1), 313–345. <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1989.042.01.19>.

Tevelev A.I.V., Kosheleva I.A., Khotylev A.O., Tevelev Ark.V., Prudnikov I.A., 2014. Peculiarities of the Structure and Evolution of the Riphean Aï Volcanic Complex, South Urals. *Moscow University Geology Bulletin* 69 (5), 289–298. <https://doi.org/10.3103/S0145875214050111>.

Travin A.V., Yudin D.S., Vladimirov A.G., Khromykh S.V., Volkova N.I., Mekhonoshin A.S., Kolotilina T.B., 2009. Thermochronology of the Chernorud Granulite Zone, Ol'khon Region, Western Baikal Area. *Geochemistry International* 47 (11), 1107–1124. <https://doi.org/10.1134/s0016702909110068>.

Upton B.G.J., Rämö O.T., Heaman L.M., Blichert-Toft J., Kalsbeek F., Barry T.L., Jepsen H.F., 2005. The Mesoproterozoic Zig-Zag Dal Basalts and Associated Intrusions of Eastern North Greenland: Mantle Plume-lithosphere Interaction. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 149, 40–56. <https://doi.org/10.1007/s00410-004-0634-7>.

Wetherill G.W., 1956. Discordant Uranium-lead Ages, I. *Transactions, American Geophysical Union* 37 (3), 320–326. <https://doi.org/10.1029/tr037i003p00320>.

Wiedenbeck M., Allé P., Corfu F., Griffin W.L., Meier M., Oberli F., Von Quadt A., Roddick J.C., Spiegel W., 1995. Three Natural Zircon Standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, Trace Element and REE Analyses. *Geostandards Newsletter* 19 (1), 1–23. <https://doi.org/10.1111/j.1751-908X.1995.tb00147.x>.

Williams I.S., 1998. U-Th-Pb Geochronology by Ion Microprobe. In: M.A. McKibben, W.C. Shanks III, W.I. Ridley (Eds), *Applications of Microanalytical Techniques to Understanding Mineralizing Processes. Reviews in Economic Geology*, Vol. 7, p. 1–35.

Yakubchuk A., 2010. Restoring the Supercontinent Columbia and Tracing Its Fragments after Its Breakup: A New Configuration and a Super-Horde Hypothesis. *Journal of Geodynamics* 50 (3–4), 166–175. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2010.03.001>.

Yang K.-F., Fan H.-R., Santosh M., Hu F.-F., Wang K.-Y., 2011. Mesoproterozoic Mafic and Carbonatitic Dykes from the Northern Margin of the North China Craton: Implications for the Final Breakup of Columbia Supercontinent. *Tectonophysics* 498 (1–4), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2010.11.015>.

Zhang S., Li Z.-X., Evans D.A.D., Wu H., Li H., Dong J., 2012. Pre-Rodinia Supercontinent Nuna Shaping up: A Global Synthesis with New Paleomagnetic Results from North China. *Earth and Planetary Science Letters* 353–354, 145–155. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2012.07.034>.

Zhao G., Sun M., Wilde S.A., Li S., 2004. A Paleo-Mesoproterozoic Supercontinent: Assembly, Growth and Breakup. *Earth-Science Reviews* 67 (1–2), 91–123. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2004.02.003>.

#### ALEXEY O. KHOTYLEV

Candidate of Geology and Mineralogy  
M.V. Lomonosov Moscow State University  
1 Leninskie Gory, GSP-1, Moscow 119991, Russia  
e-mail: [akhotylev@gmail.com](mailto:akhotylev@gmail.com)  
ORCID: 0000-0002-5409-5012

#### ALEXANDER V. TEVELEV

Doctor of Geology and Mineralogy  
M.V. Lomonosov Moscow State University  
1 Leninskie Gory, GSP-1, Moscow 119991, Russia  
e-mail: [atevelev@rambler.ru](mailto:atevelev@rambler.ru)  
ORCID: 0000-0002-1059-7598

#### АЛЕКСЕЙ ОЛЕГОВИЧ ХОТЫЛЕВ

канд. геол.-мин. наук  
Московский государственный университет  
им. М.В. Ломоносова  
119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, Россия

#### АЛЕКСАНДР ВЕНИАМИНОВИЧ ТЕВЕЛЕВ

докт. геол.-мин. наук  
Московский государственный университет  
им. М.В. Ломоносова  
119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, Россия



**YANA V. BYCHKOVA**

Candidate of Geology and Mineralogy  
M.V. Lomonosov Moscow State University  
1 Leninskie Gory, GSP-1, Moscow 119991, Russia  
ORCID: [0000-0002-0931-9101](https://orcid.org/0000-0002-0931-9101)

**ANTON V. LATYSHEV**

Candidate of Geology and Mineralogy  
M.V. Lomonosov Moscow State University  
1 Leninskie Gory, GSP-1, Moscow 119991, Russia  
Schmidt Institute of Physics of the Earth of the RAS  
10-1 Bolshaya Gruzinskaya St, Moscow 123242, Russia  
e-mail: [anton.latyshev@gmail.com](mailto:anton.latyshev@gmail.com)  
ORCID: [0000-0003-1834-2095](https://orcid.org/0000-0003-1834-2095)

**МАИЯ В. АНОСОВА**

Post-graduate Student  
M.V. Lomonosov Moscow State University  
1 Leninskie Gory, GSP-1, Moscow 119991, Russia  
e-mail: [mai.anosova@yandex.ru](mailto:mai.anosova@yandex.ru)  
ORCID: [0000-0001-5279-7160](https://orcid.org/0000-0001-5279-7160)

**ЯНА ВЯЧЕСЛАВОВНА БЫЧКОВА**

канд. геол.-мин. наук  
Московский государственный университет  
им. М.В. Ломоносова  
119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, Россия

**АНТОН ВАЛЕРЬЕВИЧ ЛАТЫШЕВ**

канд. геол.-мин. наук  
Московский государственный университет  
им. М.В. Ломоносова  
119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, Россия  
Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН  
123242, Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1,  
Россия

**МАЙЯ БОРИСОВНА АНОСОВА**

аспирант  
Московский государственный университет  
им. М.В. Ломоносова  
119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, Россия