

**POSITION OF THE ANAI FORMATION IN THE PROTEROZOIC SECTION
OF THE BAIKAL SALIENT OF THE SIBERIAN PLATFORM BASEMENT**U.S. Efremova ¹✉, T.V. Donskaya ¹, A.M. Mazukabzov ¹, D.P. Gladkochub ¹, V.B. Khubanov ²

¹ Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 128 Lermontov St, Irkutsk 664033, Russia

² Dobretsov Geological Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 6a Sakhyanova St, Ulan-Ude 670047, Republic of Buryatia, Russia

ABSTRACT. The paper presents the first U-Pb (LA-ICP-MS) dating results for detrital zircons from the quartz-sericite-chlorite schist of the Anai formation within the Baikal salient of the Siberian platform basement. During the study the detrital zircons showed a major age peak at 1.86 Ga, which indicates that the rocks of the Anai formation were accumulated after the development of magmatic rocks of the South Siberian post-collisional magmatic belt with an age of 1.88–1.84 Ga. This fact makes it possible to reconsider a point of view on the belonging of the Anai formation to the section of the Paleoproterozoic Sarma group whose rocks were intruded by granitoids of the South Siberian magmatic belt. It is shown that the rocks of the Anai formation can be considered as age and facial equivalents of the Proterozoic sediments of the Purpol formation of the Patom zone. Taking into account the Anai formation sediments intruded by sills and dikes of the Neoproterozoic (~720 Ma) dolerites, it can be concluded that the rocks of this formation were presumably accumulated in the Early Neoproterozoic time.

KEYWORDS: detrital zircons; Anai formation; Sarma group; Proterozoic; Western Transbaikalia

FUNDING: The geochemical and geochronological studies were supported by the Russian Science Foundation (grant 18-17-00101), the geological studies – by the Russian Government grant 075-15-2022-1100. The analytical studies were done using the equipment and infrastructure of the Centre for Geodynamics and Geochronology of the Institute of the Earth's Crust SB RAS whose development is conducted as part of grant of the Ministry of Education and Science of Russian Federation 075-15-2021-682.

**RESEARCH ARTICLE**

Correspondence: Ulyana S. Efremova, uefremova@crust.irk.ru

Received: July 21, 2022

Revised: November 22, 2022

Accepted: December 12, 2022

FOR CITATION: Efremova U.S., Donskaya T.V., Mazukabzov A.M., Gladkochub D.P., Khubanov V.B., 2023. Position of the Anai Formation in the Proterozoic Section of the Baikal Salient of the Siberian Platform Basement. *Geodynamics & Tectonophysics* 14 (2), 0695. doi:10.5800/GT-2023-14-2-0695

ПОЛОЖЕНИЕ АНАЙСКОЙ СВИТЫ В РАЗРЕЗЕ ПРОТЕРОЗОЯ БАЙКАЛЬСКОГО ВЫСТУПА ФУНДАМЕНТА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

У.С. Ефремова¹, Т.В. Донская¹, А.М. Мазукабзов¹, Д.П. Гладкочуб¹, В.Б. Хубанов²

¹ Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия

² Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а, Республика Бурятия, Россия

АННОТАЦИЯ. В статье представлены первые результаты U-Pb (LA-ICP-MS) датирования детритовых цирконов из кварц-серицит-хлоритового сланца анайской свиты, располагающейся в пределах Байкальского выступа фундамента Сибирской платформы. Проведенные исследования показали, что основной пик возраста детритовых цирконов фиксируется на отметке 1.86 млрд лет, что свидетельствует о том, что породы анайской свиты накапливались после формирования магматических пород Южно-Сибирского постколлизийного магматического пояса, возраст которых составляет 1.88–1.84 млрд лет. Данный факт позволяет пересмотреть точку зрения о принадлежности анайской свиты к разрезу палеопротерозойской сарминской серии, породы которой интродуцированы гранитоидами Южно-Сибирского магматического пояса. Показано, что породы анайской свиты могут рассматриваться в качестве возрастных и фациальных аналогов протерозойских отложений пурпольской свиты Патомской зоны Саяно-Байкало-Патомского пояса. Принимая во внимание прорывание отложений анайской свиты силлами и дайками неопротерозойских (~720 млн лет) долеритов, можно сделать вывод о том, что накопление пород этой свиты имело место, предположительно, в раннепротерозойское время.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: детритовые цирконы; анайская свита; сарминская серия; протерозой; Западное Прибайкалье

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Геохимические и геохронологические исследования выполнены при поддержке Российского научного фонда (грант № 18-17-00101), геологические исследования – при поддержке гранта Правительства Российской Федерации № 075-15-2022-1100. При выполнении аналитических исследований было использовано оборудование и инфраструктура ЦКП «Геодинамика и геохронология» Института земной коры СО РАН, развитие которого осуществляется в рамках гранта Минобрнауки России № 075-15-2021-682.

1. ВВЕДЕНИЕ

Положение протерозойских метаморфических толщ в структурах фундамента докембрийских платформ зачастую не имеет однозначной и надежно подтвержденной трактовки. Связано это как с отсутствием надежных геохронологических данных по этим породам, так и с их вовлеченностью в последующие этапы тектонометаморфической переработки. В центральной части Байкальского выступа фундамента Сибирской платформы одной из протерозойских свит, которая долгое время не имела однозначно доказанного стратиграфического положения в разрезе, является анайская свита.

Породы анайской свиты распространены преимущественно в Западном Прибайкалье в пределах Приморского хребта в междуречье Анги, Сармы и Курмы [State Geological Map..., 2009] (рис. 1, а). Согласно данным предшественников [Mats, 1983; Ustinov, Rybakov, 1983; Fedorovsky, 1985; Aleksandrov et al., 1989], к отложениям анайской свиты также относят породы Анайского гольцового массива, расположенного в юго-западной части Байкальского хребта (рис. 1, а), где и выделяется стратотип анайской свиты.

По материалам геологического картирования [State Geological Map..., 2009] и опубликованным стратиграфическим схемам [Mats, 1983; Ustinov, Rybakov, 1983;

Aleksandrov et al., 1989] анайская свита со стратиграфическим несогласием залегает на раннепротерозойских породах сарминской и акитканской серий (рис. 2) и перекрывается позднерифейскими (вендскими) отложениями байкальской серии. По другой гипотезе [Golovenok, 1977] нижние части ее разреза соответствуют верхним горизонтам акитканской серии, а именно чайской свите. Существует еще одна точка зрения, согласно которой анайская свита и акитканская серия являются фациальными аналогами (рис. 2) [Salop et al., 1974]. Кроме того, основываясь на изучении береговых обнажений оз. Байкал, В.С. Федоровский [Fedorovsky, 1985] пришел к выводу, что нижние пачки нижней под-свиты анайской свиты могут рассматриваться в качестве аналогов верхней части разреза иликтинской свиты, которая входит в состав раннепротерозойской сарминской серии, таким образом указывая на то, что анайская и иликтинская свиты являются компонентами единого разреза сарминской серии, имеют близкий возраст и перекрываются отложениями акитканской серии (рис. 2).

Таким образом, по имеющимся к настоящему времени опубликованным данным о положении анайской свиты в стратиграфическом разрезе протерозоя Западного Прибайкалья предлагаются как минимум три абсолютно разные схемы.

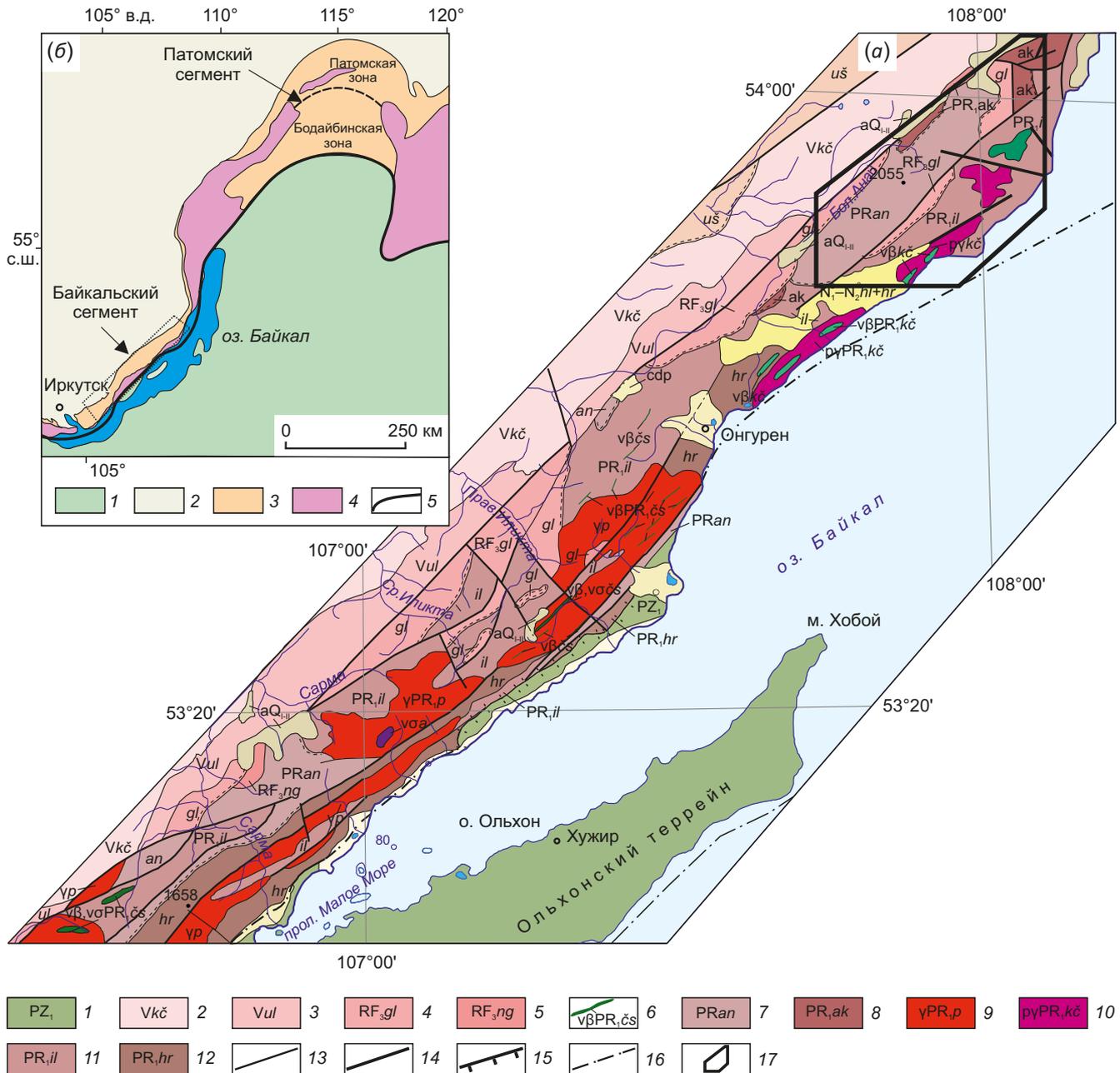


Рис. 1. Геологическое строение Западного Прибайкалья [State Geological Map..., 2009, с дополнениями авторов] (a) и схема геологического строения южной части Сибирской платформы [Gladkochub et al., 2019b] (б).
 (a): 1 – раннепалеозойский Ольхонский террейр Центрально-Азиатского складчатого пояса (ЦАСП); 2–12 – Сибирская платформа: 2–4 – терригенно-карбонатные отложения байкальской серии: 2 – качергатская свита, 3 – улунтуйская свита, 4 – голоустенская свита; 5 – нуганская свита, 6 – дайки долеритов, 7 – анайская свита, 8 – акитканская серия, 9 – гранитоиды приморского комплекса, 10 – гранитоиды кочериковского комплекса, 11–12 – сарминская серия: 11 – иликтинская свита, 12 – харгитуйская свита; 13 – разломы достоверные; 14 – коллизионный шов, отделяющий фундамент Сибирской платформы от ЦАСП; 15 – надвиги; 16 – разломы предполагаемые; 17 – контур участка Анайского гольцового массива.
 (б): 1 – ЦАСП; 2–4 – Сибирская платформа: 2 – фанерозойский чехол, 3 – позднедокембрийские осадочные толщи Саяно-Байкало-Патомского пояса (СБПП), 4 – раннедокембрийский фундамент; 5 – граница между Сибирским кратоном и ЦАСП.
Fig. 1. Geological structure of the Western Pribaikalye [State Geological Map..., 2009, with additions by the authors] (a), and a scheme of the geological structure of the southern Siberian platform [Gladkochub et al., 2019b] (b).
 (a): 1 – Early Paleozoic Olkhon terrain of the Central Asian foldbelt (CAFB); 2–12 – Siberian platform: 2–4 – terrigenous-carbonate deposits of the Baikal group: 2 – Kachergat formation, 3 – Uluntui formation, 4 – Goloustnaya formation; 5 – Nugan formation, 6 – dolerite dikes, 7 – Anai formation, 8 – Akitkan group, 9 – granitoids of the Primorsky complex, 10 – granitoids of the Kocherikovskiy complex, 11–12 – Sarma group: 11 – Iliktin formation, 12 – Khargitui formation; 13 – identified faults; 14 – collisional suture separating the Siberian platform basement from CAFB; 15 – thrusts; 16 – inferred faults; 17 – contours of the Anai bald mountains.
 (b): 1 – CAFB; 2–4 – Siberian platform: 2 – Phanerozoic cover, 3 – Late Precambrian sedimentary strata of the Sayan-Baikalo-Patomn belt (SBPB), 4 – Early Precambrian basement; 5 – boundary between the Siberian craton and CAFB.

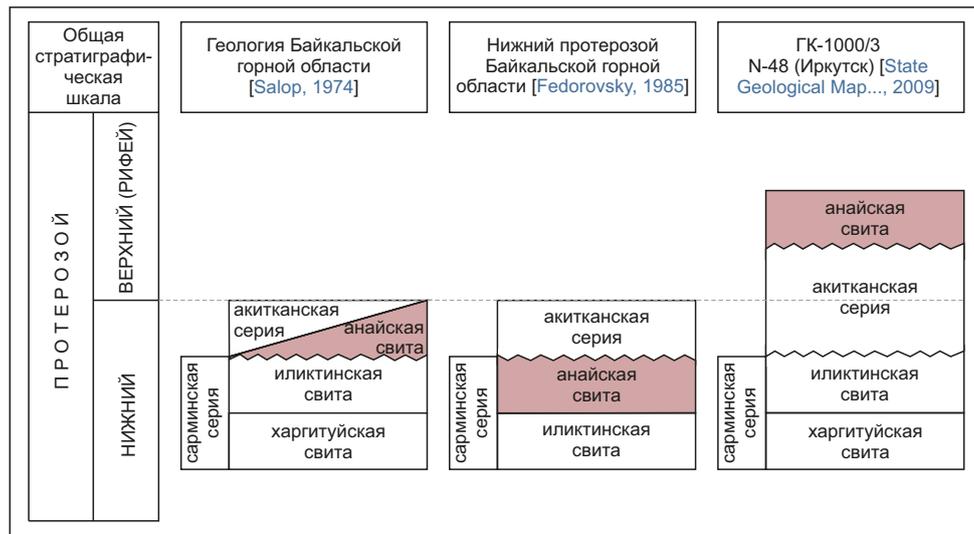


Рис. 2. Схема расположения анайской свиты в разрезе протерозоя Западного Прибайкалья по данным [Salop et al., 1974; Fedorovsky, 1985; State Geological Map..., 2009].

Fig. 2. A schematic location of the Anai formation in the cross-section of the Proterozoic Western Transbaikalia after [Salop et al., 1974; Fedorovsky, 1985; State Geological Map..., 2009].

Для решения вопроса о положении анайской свиты в разрезе протерозоя Западного Прибайкалья был определен возраст детритовых цирконов из пород анайской свиты и выполнена корреляция полученных данных с аналогичными результатами, имеющимися по протерозойским породам различных геологических комплексов Прибайкалья.

2. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ РАЙОНА РАЗВИТИЯ ПОРОД АНАЙСКОЙ СВИТЫ

Байкальский выступ фундамента Сибирской платформы (см. рис. 1, б) обнажается в пределах Аkitканского складчатого пояса, который был образован на временном интервале 2.00–1.95 млрд лет посредством объединения Анабарского и Алданского супертеррейнов в единую структуру Сибирского кратона [Rosen, 2003; Donskaya, 2020]. Аkitканский складчатый пояс подразделяется на Голоустенскую, Сарминскую, Чуйскую и Тонодскую зоны, которые после завершающей стадии сборки Сибирского кратона имели единую историю развития [Donskaya, 2020].

В пределах Сарминской зоны Аkitканского складчатого пояса самыми древними породами являются гранитоиды тоналит-трондьемитовой серии с возрастом 2884 ± 12 млн лет [Donskaya et al., 2009], распространенные к северу от Анайских гольцов. Среди осадочных толщ в качестве наиболее древнего подразделения выделяются метаморфизованные вулканогенно-осадочные породы палеопротерозойской сарминской серии, общая мощность которой оценивается в 4–6 км. Сарминская серия подразделяется на иликтинскую и анайскую свиты по данным В.С. Федоровского [Fedorovsky, 1985] или на харгитуйскую и иликтинскую свиты по результатам исследований Л.И. Салопа [Salop et al., 1974] и Т.Ф. Галимовой с соавторами [State Geological Map...,

2009]. Породы харгитуйской свиты по сравнению с иликтинской свитой интенсивно метаморфизованы (до амфиболитовой фации), и для них был определен возраст метаморфизма, соответствующий значению 1.95 млрд лет [Savelyeva et al., 2019]. Согласно данным геологического картирования [State Geological Map..., 2009], породы сарминской серии прорываются гранитоидами кочериковского комплекса с возрастом 1.91 млрд лет [Bibikova et al., 1987], локально распространенными в районе п. Онгурен и п. Кочериково, а также гранитоидами приморского и ирельского комплексов и перекрываются осадочно-вулканогенными породами аkitканской серии Северо-Байкальского вулканоплутонического пояса, которые совместно с гранитоидами приморского и ирельского комплексов входят в состав Южно-Сибирского постколлизийного магматического пояса [Larin et al., 2003; Donskaya et al., 2008; Donskaya, Gladkochub, 2021]. Все рассмотренные выше раннедокембрийские осадочные породы интродуцированы дайками долеритов, которые в данном регионе выделяются в составе чайского (возраст ~1750 млн лет [Gladkochub et al., 2019a]) и условно нерсинского (возраст 725–715 млн лет [Gladkochub et al., 2007; Ernst et al., 2016]) комплекса. Завершают протерозойский разрез Сарминской зоны позднерифейские терригенные породы нуганской свиты и карбонатно-терригенные породы байкальской серии в составе голоустенской, улунтуйской и качергатской свит, которые со стратиграфическим несогласием или по зонам разломов контактируют с отложениями сарминской серии и с породами Южно-Сибирского постколлизийного магматического пояса [Stanevich et al., 2007; Mazukabzov et al., 2018; Gladkochub et al., 2013, 2019b].

Анайская свита, представленная породами песчано-кварцито-сланцевого состава, в разрезе протерозоя

Западного Прибайкалья не имеет однозначно доказанной геологической позиции. В зависимости от понимания строения анайской свиты и расшифровки ее структуры в районе Анайских гольцов, положение свиты в разрезе интерпретируется по-разному. По мнению ряда исследователей [Mats, 1983; Ustinov, Rybakov, 1983; Aleksandrov et al., 1989], анайская свита образует простую синклинальную структуру и залегает выше терригенно-вулканогенных пород акитканской серии, которые обнажаются на северном участке центриклинального замыкания Анайской структуры. В связи с этим анайская свита оказывается более молодой, чем акитканская серия. В.С. Федоровский [Fedorovsky, 1985] также описывает Анайскую структуру как синклинальную складку, однако, ссылаясь на общность литологического состава верхней части иликтинской свиты и нижней части анайской свиты, а также на схожесть метаморфической переработки пород обеих свит, предполагает, что анайская свита согласно залегает на породах иликтинской свиты, входит в состав раннепротерозойской сарминской серии и перекрывается отложениями акитканской серии. Других взглядов на структуру Анайских гольцов придерживается Л.И. Салоп с соавторами [Salop et al., 1974]. Они пришли к заключению об антиклинорном строении Анайских гольцов и считают, что в этом районе анайская свита фациально замещает акитканскую серию.

В последние годы на основании геохронологических и геологических данных был определен возраст и положение в разрезе Западного Прибайкалья пород акитканской серии и иликтинской свиты сарминской серии. U-Pb датирование цирконов из вулканитов акитканской серии позволило оценить ее возраст как 1.88–1.85 млрд лет [Neymark et al., 1991; Larin et al., 2003; Donskaya et al., 2007, 2008], при этом возраст кислых вулканитов ее верхней – чайской – свиты составил 1863 ± 9 млн лет [Donskaya et al., 2007]. Акитканская серия совместно с гранитоидами ирельского, приморского и других близких по возрасту комплексов вошла в структуру Южно-Сибирского постколлизийного магматического пояса с возрастом 1.88–1.84 млрд лет [Larin et al., 2003; Donskaya et al., 2007, 2008; Donskaya, Gladkochub, 2021]. Что касается иликтинской свиты сарминской серии, то по результатам геологического картирования надежно установлено ее прорывание гранитоидами приморского комплекса с возрастом 1.86 млрд лет [Donskaya et al., 2003], а слабая степень метаморфической переработки пород иликтинской свиты показывает, что формирование осадочных протолитов пород свиты имело место после завершения региональных метаморфических событий, возраст которых соответствует интервалу 1.98–1.95 млрд лет [Donskaya et al., 2016; Savelyeva et al., 2019; Donskaya, 2020; Efremova et al., 2022]. Таким образом, иликтинская свита сарминской серии и акитканская серия занимают совершенно разное стратиграфическое положение в разрезе Западного Прибайкалья, что делает положение анайской свиты еще более неопределенным.

3. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Геологические, петрографические, геохимические и геохронологические исследования были проведены для сланцев анайской свиты в районе Анайских гольцов (рис. 3).

Определение содержаний главных элементов выполнено методом силикатного анализа в ЦКП «Геодинамика и геохронология» ИЗК СО РАН (г. Иркутск). Определение содержаний редких и редкоземельных элементов выполнено методом ICP-MS в Лимнологическом институте СО РАН, ЦКП «Ультрамикроанализ», на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7500ce (Agilent Technologies Inc., США) (аналитик С.В. Пантева). Концентрации элементов в образцах рассчитаны относительно международных стандартов BHO-2, BCR-2, G-2, GSP-2. Химическое разложение проб для ICP-MS анализа проведено в ЦКП «Геодинамика и геохронология» ИЗК СО РАН методом сплавления с метаборатом лития по методике [Panteeva et al., 2003], что позволило достичь полного растворения всех минералов. Ошибка определений содержаний редких и редкоземельных элементов методом ICP-MS составляла $\leq 5\%$.

Для проведения геохронологических исследований из сланца анайской свиты была выделена тяжелая фракция посредством сепарационного столика и тяжелых жидкостей. Из тяжелой фракции вручную (под биноклем) отбирались зерна циркона. Цирконы погружали в шайбу стандартного размера, которую наполняли эпоксидной смолой, и после застывания смолы подвергали полировке. При анализе проводили измерение изотопных отношений в зернах циркона без какого-либо их предварительного отбора по размеру или морфологии. Изучение зерен циркона проводилось в ЦКП «Геоспектр» Геологического института им. Н.Л. Добрецова СО РАН (г. Улан-Удэ). U-Pb изотопный анализ циркона выполнен методом лазерной абляции на масс-спектрометре высокого разрешения Element XR (Thermo Fisher Scientific), соединенном с приставкой для лазерного прибора UP-213 с длиной волны излучения 213 нм (New Wave Research) по методике, опубликованной в работах [Khubanov et al., 2016; Buyantuev et al., 2017]. Диаметр лазерного пучка при абляции составлял 30 мкм. Калибровка проводилась с использованием стандартного циркона 91500, имеющего возраст 1065.4 ± 0.6 млн лет [Wiedenbeck et al., 2004]. Цирконовые стандарты Plešovice (337.1 ± 0.4 млн лет [Sláma et al., 2008]) и GJ-1 (608.5 ± 0.4 млн лет [Jackson et al., 2004]) использовались для контроля качества данных. Обработка выполненных измерений проводилась в программах GLITTER [Griffin et al., 2008] и ISOPLOT [Ludwig, 2012]. В интерпретации учитывались только оценки возраста, дискордантность (D) которых не превышает 10 %, для цирконов >1 млрд лет $D = ((^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})_{\text{age}} / (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U})_{\text{age}} - 1) \times 100\%$. Гистограммы и кривые относительной вероятности построены с ошибкой 1σ.

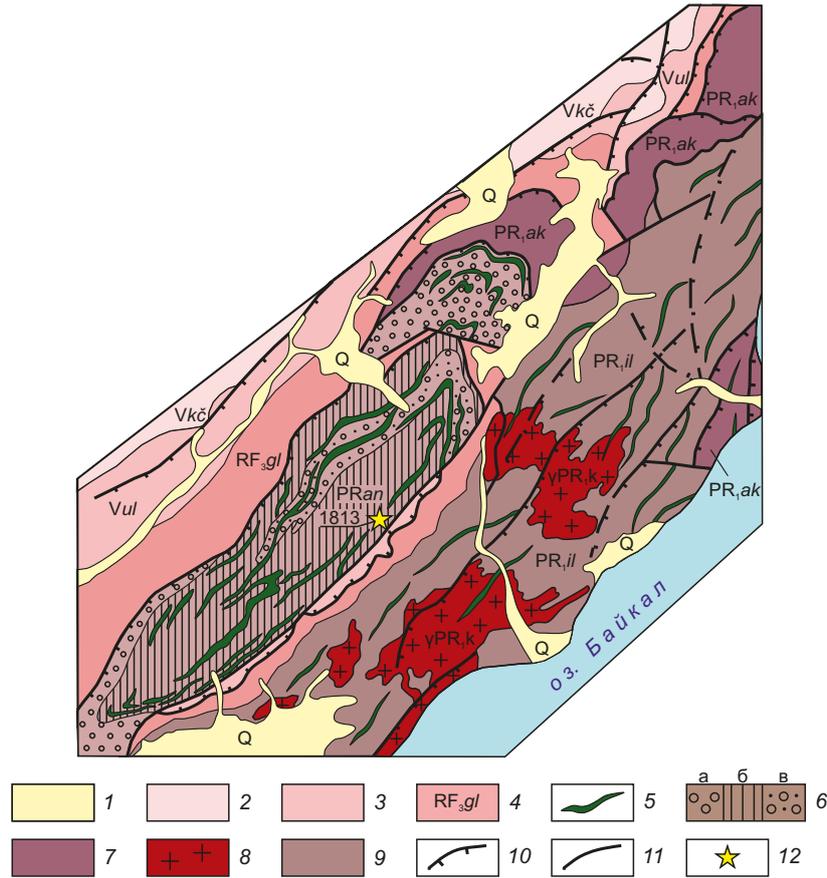


Рис. 3. Схема геологического строения Анайских гольцов [Aleksandrov et al., 1989].

1 – четвертичные отложения; 2–4 – байкальская серия: 2 – качергатская, 3 – улунтуйская, 4 – голоуспенская свита; 5 – силлы и дайки долеритов; 6 – анайская свита: а – нижняя подсвита (конгломераты, гравелиты, песчаники полимиктовые, кварциты), б – средняя подсвита (хлоритоид-серицитовые сланцы и кварциты), в – верхняя подсвита (кварциты с прослоями хлоритоидных сланцев); 7 – акитканская серия; 8 – гранитоиды кочериковского комплекса; 9 – иликтинская свита; 10 – надвижки; 11 – разломы; 12 – точка отбора пробы 1813.

Fig. 3. The schematic geological structure of the Anai bald mountains [Aleksandrov et al., 1989].

1 – Quaternary deposits; 2–4 – Baikalskaya group: 2 – Kachergat, 3 – Uluntui, 4 – Goloustnaya formations; 5 – dolerite sills and dikes; 6 – Anai formation: а – lower sub-formation (conglomerates, gravelites, polymictic sandstones, quartzites), б – middle sub-formation (chloritoid-sericite schists and quartzites), в – upper sub-formation (quartzites interlayered with chloritoid schists); 7 – Akitkan group; 8 – granitoids of the Kocherikovsky complex; 9 – Ilikta formation; 10 – thrusts; 11 – faults; 12 – a site where sample 1813 was taken.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ

4.1. Геологическое строение Анайских гольцов

В районе Анайских гольцов разрез анайской свиты представлен наиболее полно и имеет трехчленное строение (рис. 3, 4). Нижнюю часть слагают конгломераты, гравелиты, полимиктовые песчаники с прослоями пестроцветных глинистых и алевритовых сланцев, а также кварциты, среднюю часть – хлоритоид-серицит-пирофиллитовые, хлоритоид-серицитовые сланцы и кварциты, среди которых встречаются субогласные тела долеритов небольшой мощности, а верхняя свита отличается преобладанием кварцитов с редкими прослоями хлорит-серицитовых сланцев (рис. 4) [Fedorovsky, 1985]. Все породы интродуцированы многочисленными силлами и дайками долеритов (см. рис. 3), возраст которых на данной территории не установлен, но по аналогии с дайками долеритов Прибайкальского дайкового поля Западного Прибайкалья их возраст

может оцениваться как неопротерозойский [Gladkochub et al., 2007]. По зонам тектонических нарушений анайская свита контактирует с позднерифейскими породами байкальской серии (см. рис. 2). По мнению В.К. Александра с соавторами [Aleksandrov et al., 1989], подобное геологическое строение обусловлено тем, что Анайская структура представляет собой тектонический останец, надвинутый на породы байкальской серии, которые погружаются под анайскую свиту и находятся в ее автохтоне. На северной оконечности Анайской структуры (в ее центриклинальном замыкании) обнажены породы акитканской серии, которые залегают гипсометрически выше пород байкальской серии, но ниже отложений анайской свиты. В восточной части анализируемого участка широко распространены породы иликтинской свиты, которые также интродуцированы дайками долеритов и гранитоидами кочериковского комплекса. Для проведения детальных

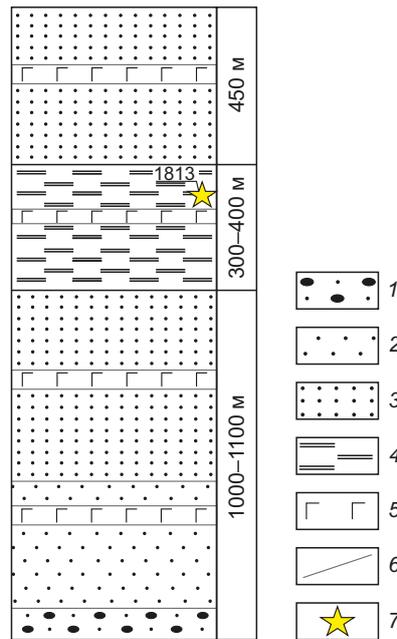


Рис. 4. Стратиграфическая колонка анайской свиты (по данным [Fedorovsky, 1985], с дополнениями авторов).

1 – гравелиты и конгломераты; 2 – песчаники кварцевые и полимиктовые; 3 – кварциты; 4 – хлоритоид-серицитовые сланцы; 5 – долериты; 6 – границы между разновидностями пород внутри подсвит; 7 – точка отбора пробы 1813.

Fig. 4. A stratigraphic column of the Anai formation (after [Fedorovsky, 1985] with additions by the authors).

1 – gravelites and conglomerates; 2 – quartz and polymictic sandstones; 3 – quartzites; 4 – chloritoid-sericite schists; 5 – dolerites; 6 – boundaries between the rock varieties within sub-formations; 7 – a site where sample 1813 was taken.

исследований был отобран образец из средней части разреза анайской свиты.

4.2. Состав породы

Проведенные петрографические исследования показали, что отобранный образец анайской свиты представляет собой тонкозернистый кварц-серицит-хлоритовый сланец (рис. 5, а, б).

Основная масса породы сложена мелкими чешуйками серицита (31 %) и хлорита (50 %), в расположении которых прослеживается однонаправленная ориентировка, за счет чего порода характеризуется слабоориентированной текстурой. В породе также отмечается кварц (17 %) в виде мелких зерен с волнистым погасанием, а также в виде ксеноморфных выделений, по которым развиты чешуйки хлорита и серицита. В виде мелкой точечной вкрапленности присутствует рудный минерал (2 %). В качестве акцессорного минерала отмечается циркон. Вторичные изменения выражены интенсивным развитием гидроокислов железа. Согласно расчету нормативного минерального состава с использованием программы MINLITH [Rosen et al., 2000] установлено, что в неметаморфизованном состоянии порода состояла из иллита (52 %), кварца (25 %), хлорита (18 %), а также небольшого количества полевых шпатов (5 %).

Кварц-серицит-хлоритовый сланец характеризуется содержанием $\text{SiO}_2=57.5$ мас. % и обогащен глиноземом ($\text{Al}_2\text{O}_3=21.8$ мас. %) (Прил. 1, табл. 1.1). Согласно классификации А.Н. Неелова [Neelov, 1980],

используемой для метаморфизованных осадочных пород, порода отвечает по составу пелитовому аргиллиту. Рассчитанные значения $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)=0.42$ и $\log(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})=-0.37$ позволяют также классифицировать исследуемую породу как глинистый сланец [Herron, 1988].

Анализируемый сланец характеризуется фракционированным спектром распределения редкоземельных элементов ($(\text{La}/\text{Yb})_n=12$) и хорошо выраженной отрицательной европиевой аномалией ($\text{Eu}/\text{Eu}^*=0.53$) (Прил. 1, табл. 1.1; рис. 5, в). Индикаторные значения отношений $\text{La}/\text{Sc}=4.64$ и $\text{Th}/\text{Co}=1.31$ [Cullers, 2002] в совокупности с отрицательной европиевой аномалией позволяют предполагать, что основным источником сноса для протолита кварц-серицит-хлоритового сланца были магматические породы кислого состава.

4.3. U-Pb (LA-ICP-MS) возраст детритовых цирконов

Геохронологические исследования проводились по 77 зернам детритового циркона, выделенным из кварц-серицит-хлоритового сланца (образец 1813). Конкордантные значения были получены для 53 зерен (Прил. 1, табл. 1.2). Проведенные измерения показали, что для большинства зерен детритового циркона (44 зерна) возраст соответствует диапазону 1.88–1.84 млрд лет, а основной пик фиксируется на отметке в 1.86 млрд лет. Возраст наиболее древнего зерна циркона составляет 2.73 млрд лет, а наиболее молодого – 1.80 млрд лет (рис. 6).

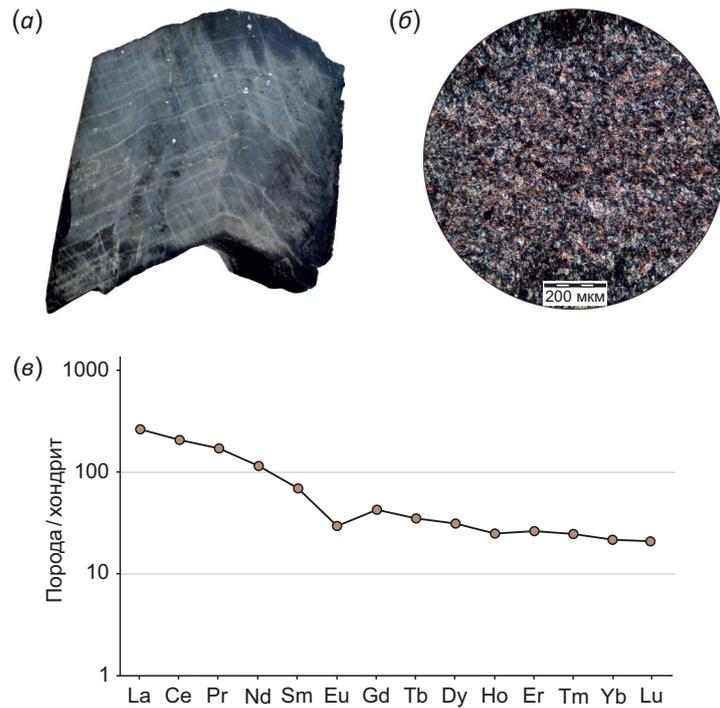


Рис. 5. Фото отобранного образца 1813 (а), фото шлифа в скрещенных николях (б), спектр распределения РЗЭ, нормализованных по хондриту [Wakita et al., 1971] (в).

Fig. 5. A photo of collected sample 1813 (a), a photo of the thin section in crossed nicols (b), distribution spectra of chondrite-normalized REE [Wakita et al., 1971] (c).

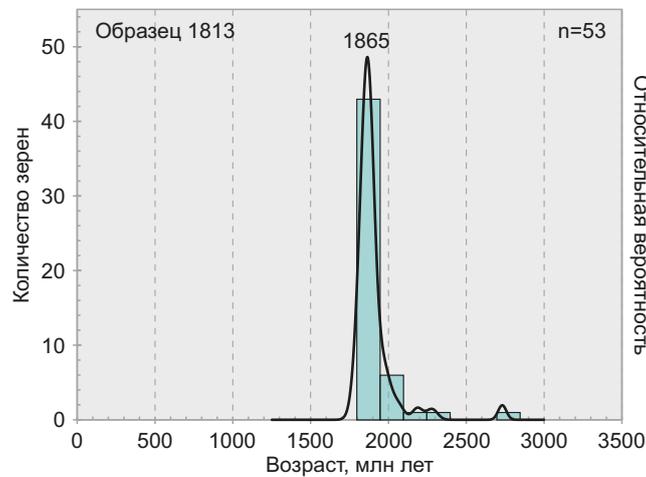


Рис. 6. Гистограмма и кривая относительной вероятности возраста детритовых цирконов из кварц-серицит-хлоритового сланца анайской свиты.

Fig. 6. Histograms and a relative probability curve for the age of detrital zircons from the quartz-sericite-chlorite schist of the Anai formation.

5. ПОЛОЖЕНИЕ АНАЙСКОЙ СВИТЫ В РАЗРЕЗЕ ПРОТЕРОЗОЯ ЗАПАДНОГО ПРИБАЙКАЛЯ

Полученные оценки возраста детритовых цирконов свидетельствуют о том, что породы анайской свиты накапливались после формирования пород Южно-Сибирского постколлизийного магматического пояса, т.е. позднее 1.84 млрд лет, а богатые цирконом гранитоиды и кислые вулканиты, входящие в его состав, вероятно, являлись основными поставщиками

терригенного материала в бассейны седиментации. Новые надежные геохронологические данные противоречат ранее высказанной гипотезе В.С. Федоровского [Fedorovsky, 1985] о том, что породы анайской свиты могут быть отнесены к раннепротерозойской сарминской серии, образование которой имело место до начала формирования Южно-Сибирского постколлизийного магматического пояса. Кроме этого, значения возраста детритовых цирконов в породах анайской

свиты дают основание пересмотреть выводы Л.И. Салопа с соавторами [Salop et al., 1974] о том, что анайская свита и акитканская серия могут быть фаціальными аналогами, а также заключения В.К. Головенка [Golovenok, 1977], что нижние части разреза анайской свиты соответствуют чайской свите акитканской серии, так как возраст всех вулканических пород акитканской серии составляет 1.88–1.84 млрд лет [Larin et al., 2003; Donskaya et al., 2007, 2008; Donskaya, Gladkochub, 2021]. Таким образом, полученные данные по возрасту детритовых цирконов в породах анайской свиты подтвердили стратиграфические схемы Западного Прибайкалья, согласно которым анайская свита располагается в разрезе выше раннепротерозойских образований сарминской и акитканской серий [Mats, 1983; Ustinov, Rybakov, 1983; Aleksandrov et al., 1989; State Geological Map..., 2009].

Относительно возможного соотношения отложений анайской свиты с терригенными породами нуганской свиты и голоуспенской свиты байкальской серии Западного Прибайкалья стоит обратить внимание на следующее обстоятельство – полученные пики возраста детритовых цирконов в породах анайской свиты схожи с возрастными пиками, характерными для пород нуганской свиты и голоуспенской свиты байкальской серии (рис. 7) [Mazukabzov et al., 2018; Gladkochub et al., 2013, 2019b]. С породами нуганской свиты анайская свита обнаруживает также общие черты и в составе пород [State Geological Map..., 2009; Mazukabzov et al., 2018], что может свидетельствовать о том, что они могли рассматриваться в качестве возрастных аналогов. Однако в Западном Прибайкалье, в местах распространения пород нуганской свиты и голоуспенской свиты байкальской серии, не было установлено прорывания пород этих свит дайками или силлами долеритов, относимых, на основании геологосъемочных работ, к аналогам нерсинского комплекса Присяянья и имеющих неопротерозойский возраст (725–715 млн лет) [Gladkochub et al., 2007; Ernst et al., 2016]). Этот факт указывает на то, что рассмотренные выше стратоподразделения формировались позже внедрения неопротерозойских даек, и не позволяет коррелировать породы анайской свиты с отложениями нуганской и голоуспенской свит.

По составу пород, геологическому положению и основным пикам возраста детритовых цирконов (рис. 7) анайская свита обнаруживает сходство с породами пурпольской свиты, которые распространены в Патомской зоне Саяно-Байкало-Патомского пояса [State Geological Map..., 2012; Powerman et al., 2015] (см. рис. 1, б). Пурпольская свита подобно анайской свите имеет трехчленное строение. В ее нижней части выделяются гравелиты, мелкогалечные конгломераты и кварцевые песчаники, в средней части развиты высокоглиноземистые (хлоритоидные) сланцы, а завершают разрез кварцевые песчаники с прослоями глиноземистых сланцев [State Geological Map..., 2012]. Породы пурпольской свиты рассматриваются как переотложенные

продукты химического выветривания, формировавшиеся в рифтогенных бассейнах в неопротерозое (тонийское время) после длительного периода высокого стояния кратона [Sovetov, 2022]. Также Н.Н. Митрофанова с соавторами [State Geological Map..., 2012] указывают, что отложения пурпольской свиты согласно перекрываются породами медвежьей свиты, для вулканитов которой, по данным А.В. Шацилло с соавторами

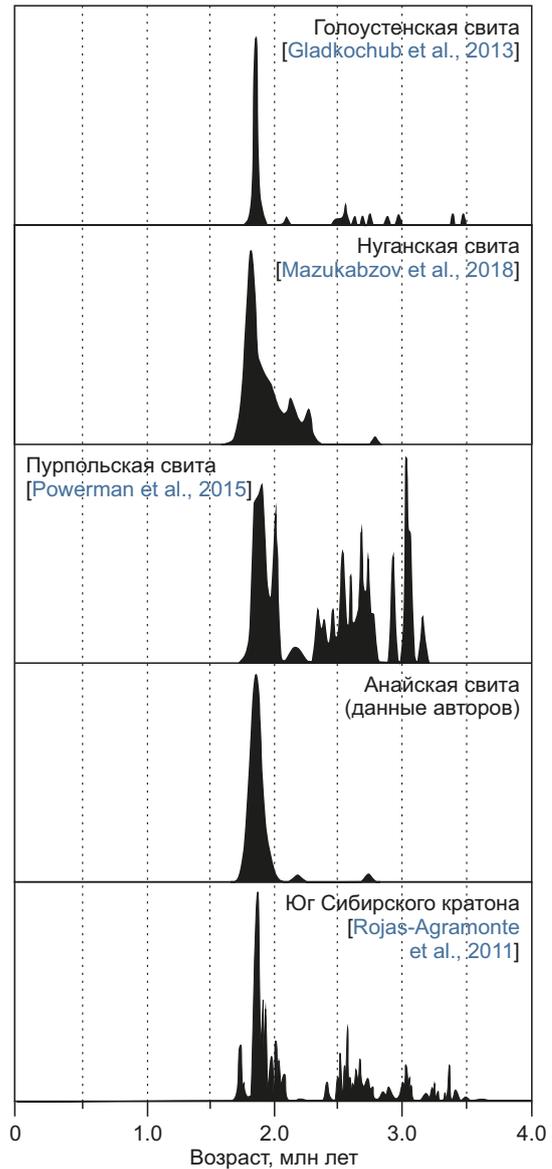


Рис. 7. Корреляция возрастных спектров детритовых цирконов пород анайской, нуганской [Mazukabzov et al., 2018], голоуспенской [Gladkochub et al., 2013] и пурпольской [Powerman et al., 2015] свит, а также возрастных спектров цирконов магматических и метаморфических комплексов южной части Сибирского кратона [Rojas-Agramonte et al., 2011].

Fig. 7. A correlation between the age spectra of detrital zircons from the rocks of the Anai, Nugan [Mazukabzov et al., 2018], Goloustnaya [Gladkochub et al., 2013] and Purpol [Powerman et al., 2015] formations and between the age spectra of zircons from magmatic and metamorphic complexes in the southern Siberian craton [Rojas-Agramonte et al., 2011].

[Shatsillo et al., 2020], допускается возраст ~720 млн лет. Если опираться на эти данные, то при попытке корреляции пород анайской свиты с породами пурпольской свиты процесс накопления отложений обеих свит, по-видимому, имел место на определенном отрезке геологической истории Земли, вероятнее всего в раннем неопротерозое. Этот же возрастной диапазон представляется наиболее обоснованным, если принять во внимание прорывание отложений анайской свиты силлами и дайками неопротерозойских долеритов (725–715 млн лет), относимых к аналогам нерсинского комплекса Присаянья [Gladkochub et al., 2007; Ernst et al., 2016].

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании результатов, полученных в ходе проведенных исследований, можно сделать следующие выводы:

1. Основной пик возраста детритовых цирконов из кварц-серицит-хлоритового сланца анайской свиты соответствует отметке 1.86 млрд лет, что свидетельствует о накоплении пород этой свиты после формирования магматических пород Южно-Сибирского постколлизийного магматического пояса, имеющих возраст 1.88–1.84 млрд лет, которые, вероятно, и явились основными поставщиками терригенного материала в бассейн седиментации отложений анайской свиты. Эти данные являются основанием для того, чтобы исключить возможность отнесения анайской свиты к раннепротерозойской сарминской серии, и свидетельствуют об их более молодой позиции в разрезе Западного Прибайкалья относительно раннепротерозойских образований сарминской и акитканской серий.

2. На основании корреляции пород анайской свиты со схожими по составу и геологическому положению породами пурпольской свиты Патомской зоны Саяно-Байкало-Патомского пояса, а также принимая во внимание их прорывание дайками долеритов, относимых к аналогам неопротерозойского нерсинского комплекса Присаянья, можно предполагать накопление отложений анайской свиты на определенном фрагменте докембрийской эволюции южного фланга Сибирского кратона в раннем неопротерозое.

7. ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ / CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку рукописи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

All authors made an equivalent contribution to this article, read and approved the final manuscript.

8. РАСКРЫТИЕ ИНФОРМАЦИИ / DISCLOSURE

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанного с этой рукописью.

The authors declare that they have no conflicts of interest relevant to this manuscript.

9. ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Aleksandrov V.K., Mazukabzov A.M., Boyko Yu.I., Bogarev G.A., Kalinina V.I., 1989. Anai Structure of the Western Baikal Region. Bulletin of the USSR Academy of Sciences. Geological Series 6, 71–79 (in Russian) [Александров В.К., Мазукабзов А.М., Бойко Ю.И., Богарев Г.А., Калинина В.И. Анайская структура Западного Прибайкалья // Известия АН СССР. Серия геологическая. 1989. № 6. С. 71–79].

Bibikova E.V., Korikovskiy S.P., Kirnozova T.I., Sumin L.V., Arakelyants M.M., Fedorovskiy V.S., Petrova Z.I., 1987. Age Determination of Rocks from the Baikal-Vitim Greenstone Belt by Isotope-Geochronological Methods. In: Isotope Dating of the Processes of Metamorphism and Metasomatism. Nauka, Moscow, p. 154–164 (in Russian) [Бибикина Е.В., Кориковский С.П., Кирнозова Т.И., Сумин Л.В., Аракелянц М.М., Федоровский В.С., Петрова З.И. Определения возраста пород Байкало-Витимского зеленокаменного пояса изотопно-геохронологическими методами // Изотопное датирование процессов метаморфизма и метасоматоза. М.: Наука, 1987. С. 154–164].

Buyantuev M.D., Khubanov V.B., Vrublevskaya T.T., 2017. U-Pb LA-ICP-MS Dating of Zircons from Subvolcanics of the Bimodal Dyke Series of the Western Transbaikalia: Technique, and Evidence of the Late Paleozoic Extension of the Crust. Geodynamics & Tectonophysics 8 (2), 369–384 (in Russian) [Буянтуев М.Д., Хубанов В.Б., Врублевская Т.Т. U-Pb LA-ICP-MS датирование цирконов из субвулканитов бимодальной дайковой серии Западного Забайкалья: методика, свидетельства позднепалеозойского растяжения земной коры // Геодинамика и тектонофизика. 2017. Т. 8. № 2. С. 369–384]. <https://doi.org/10.5800/GT-2017-8-2-0246>.

Cullers R.L., 2002. Implications of Elemental Concentrations for Provenance, Redox Conditions, and Metamorphic Studies of Shales and Limestones near Pueblo, CO, USA. Chemical Geology 191 (4), 305–327. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(02\)00133-X](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(02)00133-X).

Donskaya T.V., 2020. Assembly of the Siberian Craton: Constraints from Paleoproterozoic Granitoids. Precambrian Research 348, 105869. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2020.105869>.

Donskaya T.V., Bibikova E.V., Gladkochub D.P., Mazukabzov A.M., Bayanova T.B., De Waele B., Bukharov A.A., Kirnozova T.I., 2008. Petrogenesis and Age of the Felsic Volcanic Rocks from the North Baikal Volcanoplutonic Belt, Siberian Craton. Petrology 16, 422–447. <https://doi.org/10.1134/S0869591108050020>.

Donskaya T.V., Bibikova E.V., Mazukabzov A.M., Kozakov I.K., Gladkochub D.P., Kirnozova T.I., Plotkina Yu.V., Reznitsky L.Z., 2003. The Primorsky Granitoid Complex of Western Cisbaikalia: Geochronology and Geodynamic Typification. Russian Geology and Geophysics 44 (10), 1006–1016.

Donskaya T.V., Gladkochub D.P., 2021. Post-Collisional Magmatism of 1.88–1.84 Ga in the Southern Siberian Craton: An Overview. Precambrian Research 367, 106447. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2021.106447>.

Donskaya T.V., Gladkochub D.P., Mazukabzov A.M., Lepekhina E.N., 2016. Age and Sources of the Paleoproterozoic

Premetamorphic Granitoids of the Goloustnaya Block of the Siberian Craton: Geodynamic Applications. *Petrology* 24, 543–561. <https://doi.org/10.1134/S0869591116050040>.

Donskaya T.V., Gladkochub D.P., Pisarevsky S.A., Poller U., Mazukabzov A.M., Bayanova T.B., 2009. Discovery of Archaean Crust within the Akitkan Orogenic Belt of the Siberian Craton: New Insight into Its Architecture and History. *Precambrian Research* 170 (1–2), 61–72. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2008.12.003>.

Donskaya T.V., Mazukabzov A.M., Bibikova E.V., Gladkochub D.P., Didenko A.N., Kirnozova T.I., Vodovozov V.Yu., Stanevich A.M., 2007. Stratotype of the Chaya Formation of the Akitkan Group in the North Baikal Volcanoplutonic Belt: Age and Time of Sedimentation. *Russian Geology and Geophysics* 48 (9), 707–710. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2007.08.001>.

Efremova U.S., Donskaya T.V., Gladkochub D.P., Mazukabzov A.M., Bryansky N.V., 2022. Composition, U-Pb Age of Detrital Zircons and Sources of Terrigenous Rocks of the Pliktka Formation (Western Baikal Region). In: *Geodynamic Evolution of the Lithosphere of the Central Asian Mobile Belt (from Ocean to Continent). Proceedings of Scientific Meeting (October 18–21, 2022)*. Iss. 20. IEC SB RAS, Irkutsk, p. 101–104 (in Russian) [Ефремова У.С., Донская Т.В., Гладкочуб Д.П., Мазукабзов А.М., Брянский Н.В. Состав, U-Pb возраст детритовых цирконов и источники вещества терригенных пород иликтинской свиты (Западное Прибайкалье) // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы научного совещания (18–21 октября 2022 г.). Иркутск: ИЗК СО РАН, 2022. Вып. 20. С. 101–104].

Ernst R.E., Hamilton M.A., Söderlund U., Hanes J.A., Gladkochub D.P., Okrugin A.V., Kolotilina T., Mekhonoshin A.S. et al., 2016. Long-Lived Connection between Southern Siberia and Northern Laurentia in the Proterozoic. *Nature Geoscience* 9, 464–469. <https://doi.org/10.1038/ngeo2700>.

Fedorovsky V.S., 1985. Lower Proterozoic of Baikal Mountains (Geology and Conditions of the Continental Crust Formation in the Early Precambrian). *Proceedings of the Geological Institute of the USSR Academy of Science*. Iss. 400. Nauka, Moscow, 200 p. (in Russian) [Федоровский В.С. Нижний протерозой Байкальской горной области (геология и условия формирования континентальной коры в раннем докембрии) // Труды ГИН АН СССР. М.: Наука, 1985. Вып. 400. 200 с.]

Gladkochub D.P., Donskaya T.V., Ernst R.E., Söderlund U., Mazukabzov A.M., Shokhonova M.N., 2019a. Enlargement of the Area of the Timp-ton Large Igneous Province (ca. 1.75 Ga) of the Siberian Craton. *Geodynamics and Tectonophysics* 10 (4), 829–839 (in Russian) [Гладкочуб Д.П., Донская Т.В., Эрнст Р.Е., Седерлунд У., Мазукабзов А.М., Шохонова М.Н. Расширение ареала Тимптонской крупной магматической провинции (~1.75 млрд лет) Сибирского кратона. Геодинамика и тектонофизика. 2019. Т. 10. № 4. С. 829–839]. <https://doi.org/10.5800/GT-2019-10-4-0444>.

Gladkochub D.P., Donskaya T.V., Mazukabzov A.M., Stanevich A.M., Sklyarov E.V., Ponomarchuk V.A., 2007. Signature of Precambrian Extension Events in the Southern Siberia Craton. *Russian Geology and Geophysics* 48 (1), 22–41. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2006.12.001>.

Gladkochub D.P., Donskaya T.V., Stanevich A.M., Pisarevsky S.A., Zhang S., Motova Z.L., Mazukabzov A.M., Li H., 2019b. U-Pb Detrital Zircon Geochronology and Provenance of Neoproterozoic Sedimentary Rocks in Southern Siberia: New Insights into Breakup of Rodinia and Opening of Paleo-Asian Ocean. *Gondwana Research* 65, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2018.07.007>.

Gladkochub D.P., Stanevich A.M., Mazukabzov A.M., Donskaya T.V., Pisarevsky S.A., Nicoll G., Motova Z.L., Kornilova T.A., 2013. Early Evolution of the Paleoasian Ocean: LA-ICP-MS Dating of Detrital Zircon from Late Precambrian Sequences of the Southern Margin of the Siberian Craton. *Russian Geology and Geophysics* 54 (10), 1150–1163. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2013.09.002>.

Golovenok V.K., 1977. High-Alumina Precambrian Formations. Nedra, Leningrad, 266 p. (in Russian) [Головенко В.К. Высокоглиноземистые формации докембрия. Л.: Недра, 1977. 266 с.]

Griffin W.L., Powell W.J., Pearson N.J., O'Reilly S.Y., 2008. GLITTER: Data Reduction Software for Laser Ablation ICP-MS. In: P.J. Sylvester (Ed.), *Laser Ablation ICP-MS in the Earth Sciences: Current Practices and Outstanding Issues*. Mineralogical Association of Canada Short Course Series. Vol. 40. Vancouver, p. 308–311.

Herron M.M., 1988. Geochemical Classification of Terrigenous Sands and Shales from Core or Log Data. *Journal of Sedimentary Research* 58 (5), 820–829. <https://doi.org/10.1306/212F8E77-2B24-11D7-8648000102C1865D>.

Jackson S.E., Pearson N.J., Griffin W.L., Belousova E., 2004. The Application of Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry to in situ U-Pb Zircon Geochronology. *Chemical Geology* 211 (1–2), 47–69. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2004.06.017>.

Khubanov V.B., Buyantuev M.D., Tsygankov A.A., 2016. U-Pb Dating of Zircons from PZ₃-MZ Igneous Complexes of Transbaikalia by Sector-Field Mass Spectrometry with Laser Sampling: Technique and Comparison with SHRIMP. *Russian Geology and Geophysics* 57 (1), 190–205. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2016.01.013>.

Larin A.M., Sal'nikova E.B., Kotov A.B., Kovalenko V.I., Rytsk E.Yu., Yakovleva S.Z., Berezhnaya N.G., Kovach V.P., Buldygerov V.V., Sryvtsev N.A., 2003. The North Baikal Volcanoplutonic Belt: Age, Formation Duration, and Tectonic Setting. *Doklady Earth Sciences* 392 (7), 963–967.

Ludwig K.R., 2012. ISOPLOT 3.75. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. User's Manual. Berkeley Geochronology Center Special Publication 5, 75 p.

Mats V.D., 1983. The Boundary of the Lower Proterozoic and Riphean within the Western Margin of the Baikal Mountain Region. In: F.P. Mitrofanov, A.A. Shafeev (Eds), *Precambrian Stratigraphy of the Mid-Siberian Region*. Nauka, Leningrad, p. 78–85 (in Russian) [Мац В.Д. Граница нижнего протерозоя и рифея на западной окраине Байкальской

горной области // Стратиграфия докембрия региона Средней Сибири / Ред. Ф.П. Митрофанов, А.А. Шафеев. Л.: Наука, 1983. С. 78–85].

Mazukabzov A.M., Stanevich A.M., Gladkochub D.P., Donskaya T.V., Khubanov V.B., Motova Z.L., Kornilova T.A., 2018. Rift-Related Sediments of the Passive Continental Margin of the Paleo-Asian Ocean (Baikal Segment). *Doklady Earth Sciences* 478, 171–174. <https://doi.org/10.1134/S1028334X18020150>.

Neelov A.N., 1980. Petrochemical Classification of Metamorphosed Sedimentary and Volcanic Rocks. Nauka, Leningrad, 100 p. (in Russian) [Неелов А.Н. Петрохимическая классификация метаморфизованных осадочных и вулканических пород. Л.: Наука, 1980. 100 с.].

Neymark L.A., Larin A.M., Yakovleva S.Z., Sryvtsev N.A., Buldygerov V.V., 1991. New Data on the Age of Rocks of the Akitkan Group of the Baikal-Patom Folded Region Based on the Results of U-Pb Zircons Dating. *Doklady of the USSR Academy of Sciences* 320 (1), 182–186 (in Russian) [Неймарк Л.А., Ларин А.М., Яковлева С.З., Срывцев Н.А., Булдыгеров В.В., Новые данные о возрасте пород акитканской серии Байкало-Патомской складчатой области по результатам U-Pb датирования цирконов // Доклады АН СССР. 1991. Т. 320. № 1. С. 182–186].

Panteeva S.V., Gladkochub D.P., Donskaya T.V., Markova V.V., Sandimirova G.P., 2003. Determination of 24 Trace Elements in Felsic Rocks by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry after Lithium Metaborate Fusion. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy* 58 (2), 341–350. [https://doi.org/10.1016/S0584-8547\(02\)00151-9](https://doi.org/10.1016/S0584-8547(02)00151-9).

Powerman V., Shatsillo A., Chumakov N., Kapitonov I., Hourigane J., 2015. Interaction between the Central Asian Orogenic Belt (CAOB) and the Siberian Craton as Recorded by Detrital Zircon Suites from Transbaikalia. *Precambrian Research* 267, 39–71. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2015.05.015>.

Rojas-Agramonte Y., Kröner A., Demoux A., Xia X., Wang W., Donskaya T., Liu D., Sun M., 2011. Detrital and Xenocrystic Zircon Ages from Neoproterozoic to Palaeozoic Arc Terranes of Mongolia: Significance for the Origin of Crustal Fragments in the Central Asian Orogenic Belt. *Gondwana Research* 19 (3), 751–763. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2010.10.004>.

Rosen O.M., 2003. Siberian Craton: Tectonic Zoning, Stages of Evolution. *Geotectonics* 3, 3–21 (in Russian) [Розен О.М. Сибирский кратон: тектоническое районирование, этапы эволюции // Геотектоника. 2003. № 3. С. 3–21].

Rosen O.M., Abbyasov A.A., Migdisov A.A., Yaroshevskii A.A., 2000. MINLITH – A Program to Calculate the Normative Mineralogy of Sedimentary Rocks: The Reliability of Results Obtained for Deposits of Old Platforms. *Geochemistry International* 38 (4), 388–400.

Salop L.I., Travin L.V., Shalek E.A., 1974. Stratigraphy and Tectonics of the Precambrian in the Southern Part of the Baikal Ridge (On the Position of the Anai Formation in the Precambrian Section of the Western Baikal Region). In: *Problems of Precambrian Geology of the Siberian Platform and*

Its Folded Framing. VSEGEI Publishing House, Leningrad, p. 144–172 (in Russian) [Салоп Л.И., Травин Л.В., Шалек Е.А. К стратиграфии и тектонике докембрия южной части Байкальского хребта (о положении анайской свиты в разрезе докембрия Западного Прибайкалья) // Проблемы геологии докембрия Сибирской платформы и ее складчатого обрамления. Л.: ВСЕГЕИ, 1974. С. 144–172].

Savelyeva V.B., Danilova Yu.V., Shumilova T.G., Ivanov A.V., Danilov B.S., Bazarova E.P., 2019. Epigenetic Graphitization in the Basement of the Siberian Craton as Evidence of the Migration of Hydrocarbon-Enriched Fluids in the Paleoproterozoic. *Doklady Earth Sciences* 486, 498–502. <https://doi.org/10.1134/S1028334X19050155>.

Shatsillo A.V., Rudko D.V., Latysheva I.V., Fedyukin I.V., 2020. The First Paleomagnetic Data on the Neoproterozoic of the Eastern Slope of the Longdor Rise (Siberian Platform). In: *Geodynamic Evolution of the Lithosphere of the Central Asian Mobile Belt (from Ocean to Continent)*. Proceedings of Scientific Meeting (October 20–23, 2020). Iss. 18. IEC SB RAS, Irkutsk, p. 391–394 (in Russian) [Шацилло А.В., Рудько Д.В., Латышева И.В., Федюкин И.В. Первые палеомагнитные данные по неопротерозою восточного склона Лонгдорского поднятия (Сибирская платформа) // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы научного совещания (20–23 октября 2020 г.). Иркутск: ИЗК СО РАН, 2020. Вып. 18. С. 391–394].

Sláma J., Košler J., Condon D.J., Crowley J.L., Gerdes A., Hanchar J.M., Horstwood M.S.A., Morris G.A. et al., 2008. Plešovice Zircon – A New Natural Reference Material for U-Pb and Hf Isotopic Microanalysis. *Chemical Geology* 249 (1–2), 1–35 <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2007.11.005>.

Sovetov Yu.K., 2022. Geological History of the Southern Part of the Siberian Craton in the Late Neoproterozoic – Early Cambrian: From Ocean to Ocean (Experience of Studying Sedimentary Basins). In: *Geodynamic Evolution of the Lithosphere of the Central Asian Mobile Belt (from Ocean to Continent)*. Proceedings of Scientific Meeting (October 18–21, 2022). Iss. 20. IEC SB RAS, Irkutsk, p. 278–280 (in Russian) [Советов Ю.К. Геологическая история южной части Сибирского кратона в позднем неопротерозое – раннем кембрии: от океана до океана (опыт изучения осадочных бассейнов) // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы научного совещания (18–21 октября 2022 г.). Иркутск: ИЗК СО РАН, 2022. Вып. 20. С. 278–280].

Stanevich A.M., Mazukabzov A.M., Postnikov A.A., Nemerov V.K., Pisarevsky S.A., Gladkochub D.P., Donskaya T.V., Kornilova T.A., 2007. Northern Segment of the Paleoasian Ocean: Neoproterozoic Deposition History and Geodynamics. *Russian Geology and Geophysics* 48 (1), 46–60. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2006.12.005>.

State Geological Map of the Russian Federation, 2009. Angara-Yenisei Series. Scale 1:1000000. Sheet N-48 (Irkutsk). Explanatory Note. VSEGEI Publishing House, Saint Petersburg, 574 p. (in Russian) [Государственная геологическая

карта Российской Федерации. Серия Ангаро-Енисейская. Масштаб 1:1000000. Лист N-48 (Иркутск): Объяснительная записка. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. 574 с.].

State Geological Map of the Russian Federation, 2012. Aldan-Transbaikalia Series. Scale 1:1000000. Sheet O-49 (Kirensk). Explanatory Note. VSEGEI Publishing House, Saint Petersburg, 607 p. (in Russian) [Государственная геологическая карта Российской Федерации. Серия Алдано-Забайкальская. Масштаб 1:1000000. Лист O-49 (Киренск): Объяснительная записка. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2012. 607 с.].

Ustinov V.I., Rybakov V.G., 1983. On the Stratigraphy of the Lower Proterozoic of the Central Part of the Western Baikal Region. In: F.P. Mitrofanov, A.A. Shafeev (Eds), Precambrian Stratigraphy of the Mid-Siberian Region. Leningrad,

Nauka, p. 60–67 (in Russian) [Устинов В.И., Рыбаков В.Г. К стратиграфии нижнего протерозоя средней части Западного Прибайкалья // Стратиграфия докембрия региона Средней Сибири / Ред. Ф.П. Митрофанов, А.А. Шафеев. Л.: Наука, 1983. С. 60–67].

Wakita H., Rey P., Schmitt R.A., 1971. Abundances of the 14 Rare-Earth Elements and 12 Other Trace Elements in Apollo 12 Samples: Five Igneous and One Breccia Rocks and Four Soils. In: Proceedings of the Second Lunar Science Conference. Vol. 2. MIT Press, Cambridge, p. 1319–1329.

Wiedenbeck M., Hancher J.M., Peck W.H., Sylvester P., Valley J., Whitehouse M., Kronz A., Morishita Y. et al., 2004. Further Characterisation of the 91500 Zircon Crystal. *Geostandards and Geoanalytical Research* 28 (1), 9–39. <https://doi.org/10.1111/j.1751-908X.2004.tb01041.x>.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 / APPENDIX 1

Таблица 1.1. Химический состав кварц-серицит-хлоритового сланца анайской свиты (обр. 1813) (окислы в мас. %, редкие и редкоземельные элементы в г/т)**Table 1.1.** Chemical composition of the quartz-sericite-chlorite schist of the Anai formation (sample 1813) (oxides are in mass percentages, trace and rare-earth elements – in g/t)

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O	CO ₂	п.п.п.	Сумма
57.53	1.06	21.84	2.23	6.10	0.09	1.63	0.02	0.17	5.20	0.07	0.03	0.29	3.96	100.22
Rb	Ba	Sr	Y	Zr	Hf	Nb	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu		
241.04	929.44	34.97	55.78	325.37	8.64	33.99	88.23	186.52	20.59	73.37	13.51	2.16		
Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Th	U	Ni	Co	Sc		
10.98	1.63	9.22	1.92	5.25	0.79	4.72	0.71	26.34	6.81	26.63	20.13	19		

Таблица 1.2. LA-ICP-MS U-Pb изотопные отношения и конкордантные U-Pb значения возраста детритового циркона из кварц-серицит-хлоритового сланца анайской свиты (обр. 1813)**Table 1.2.** LA-ICP-MS U-Pb isotopic ratios and concordant U-Pb ages of detrital zircons from the quartz-sericite-chlorite schist of the Anai formation (sample 1813)

№	Изотопные отношения							Rho	Возраст, млн лет					D, %	
	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ (абс.)	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ Pb	1σ (абс.)	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ (абс.)		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ Pb	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		1σ
PRB001	0.56	0.1238	0.0027	5.4274	0.1207	0.3182	0.0043	0.32	2012	38	1889	19	1781	21	13
PRB002	0.47	0.1135	0.0018	5.3249	0.0894	0.3406	0.0041	0.72	1856	29	1873	14	1890	20	-1
PRB003	0.82	0.1141	0.0018	5.3059	0.0886	0.3377	0.0041	0.73	1865	28	1870	14	1876	20	0
PRB004	0.41	0.1156	0.0019	5.3599	0.0934	0.3365	0.0041	0.70	1890	30	1879	15	1870	20	0
PRB006	0.63	0.1151	0.0020	5.3381	0.0946	0.3366	0.0042	0.70	1882	30	1875	15	1870	20	0
PRB007	0.46	0.1134	0.0021	5.2172	0.0976	0.3339	0.0042	0.67	1855	32	1855	16	1858	20	0
PRB008	0.58	0.1207	0.0022	5.5956	0.1049	0.3366	0.0042	0.67	1966	32	1915	16	1870	20	2
PRB009	0.67	0.1151	0.0020	5.3581	0.0944	0.3381	0.0042	0.70	1881	30	1878	15	1877	20	0
PRB010	0.27	0.2717	0/0052	4.0120	0.0770	0.1072	0.0014	0.35	3316	30	1637	16	656	8	405
PRB011	0.63	0.1154	0.0020	5.3077	0.0962	0.3339	0.0041	0.68	1886	31	1870	15	1857	20	1
PRB012	0.57	0.1322	0.0023	5.5015	0.0975	0.3020	0.0037	0.40	2128	30	1901	15	1701	18	25
PRB013	0.23	0.1145	0.0023	5.3158	0.1104	0.3369	0.0044	0.63	1873	36	1871	18	1872	21	0
PRB014	0.37	0.1172	0.0020	5.3388	0.0934	0.3306	0.0040	0.69	1914	30	1875	15	1841	20	2
PRB015	0.64	0.1122	0.0020	5.1864	0.0958	0.3356	0.0042	0.67	1835	32	1850	16	1866	20	-1
PRB016	0.45	0.3264	0.0081	6.3247	0.1504	0.1407	0.0022	0.27	3600	37	2022	21	849	13	324
PRB017	0.38	0.1579	0.0051	2.4374	0.0758	0.1120	0/0018	0.20	2434	53	1254	22	685	11	256
PRB018	0.56	0.1164	0.0023	5.2905	0.1047	0.3300	0.0042	0.64	1901	34	1867	17	1838	20	2
PRB019	0.78	0.1179	0.0022	5.5648	0.1057	0.3427	0.0043	0.66	1924	33	1911	16	1900	21	1
PRB020	0.63	0.1121	0.0020	5.1961	0.0949	0.3365	0.0041	0.67	1834	32	1852	16	1870	20	-1
PRB021	0.53	0.1010	0.0018	2.4874	0.0453	0.1787	0.0022	0.38	1643	32	1268	13	1060	12	55
PRB022	0.45	0.1144	0.0024	5.2769	0.1119	0.3348	0.0043	0.61	1871	37	1865	18	1861	21	0
PRB023	0.60	0.1164	0.0030	5.4818	0.1415	0.3417	0.0049	0.55	1902	46	1898	22	1895	23	0
PRB024	0.60	0.1135	0.0020	5.2600	0.0976	0.3366	0.0041	0.66	1855	32	1862	16	1870	20	0
PRB025	0.74	0.1153	0.0021	5.2998	0.0981	0.3337	0.0041	0.66	1884	32	1869	16	1856	20	1
PRB026	0.73	0.1139	0.0021	5.2334	0.0971	0.3335	0.0041	0.66	1863	32	1858	16	1855	20	0
PRB027	0.54	0.1110	0.0022	5.1875	0.1055	0.3391	0.0043	0.62	1817	36	1851	17	1882	21	-2
PRB028	0.71	0.1101	0.0021	5.0962	0.0977	0.3360	0.0042	0.65	1801	34	1836	16	1868	20	-2
PRB029	0.70	0.1159	0.0023	5.2534	0.1076	0.3291	0.0042	0.62	1893	36	1861	17	1834	20	1

Таблица 1.2 (продолжение)

Table 1.2 (continued)

№	Изотопные отношения							Rho	Возраст, млн лет						D, %
	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ (абс.)	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ Pb	1σ (абс.)	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ (абс.)		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ Pb	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	
PRB030	0.56	0.1129	0.0022	5.2376	0.1035	0.3368	0.0042	0.63	1846	35	1859	17	1871	20	-1
PRB031	0.46	0.1121	0.0022	5.1639	0.1036	0.3343	0.0042	0.62	1834	35	1847	17	1859	20	-1
PRB032	0.47	0.1144	0.0024	5.2687	0.1109	0.3344	0.0043	0.61	1870	37	1864	18	1860	21	0
PRB033	0.11	0.1224	0.0023	2.4486	0.0476	0.1453	0.0018	0.35	1991	34	1257	14	874	10	128
PRB034	0.47	0.1367	0.0026	7.5908	0.1488	0.4029	0.0050	0.63	2186	33	2184	18	2182	23	0
PRB035	0.61	0.1209	0.0024	5.9357	0.1206	0.3562	0.0045	0.62	1970	35	1967	18	1964	21	0
PRB036	0.67	0.1153	0.0024	5.3559	0.1134	0.3372	0.0043	0.60	1884	37	1878	18	1873	21	0
PRB037	0.45	0.2093	0.0049	8.2085	0.1896	0.2846	0.0039	0.29	2900	37	2254	21	1615	20	80
PRB038	0.69	0.1126	0.0023	5.1587	0.1084	0.3324	0.0042	0.60	1842	37	1846	18	1850	20	0
PRB040	0.41	0.1124	0.0024	5.1878	0.1122	0.3349	0.0043	0.589	1839	38	1851	18	1862	21	-1
PRB041	0.56	0.1126	0.0023	5.2776	0.1110	0.3400	0.0043	0.596	1843	37	1865	18	1887	20	-1
PRB042	1.11	0.1138	0.0030	4.5501	0.1174	0.2901	0.0040	0.26	1861	46	1740	21	1642	20	13
PRB043	6.67	0.2900	0.0067	8.0792	0.1848	0.2022	0.0027	0.29	3418	35	2240	21	1187	25	188
PRB044	0.53	0.1555	0.0044	5.3989	0.1520	0.2520	0.0038	0.24	2407	48	1885	24	1449	19	66
PRB045	0.63	0.1126	0.0025	5.2169	0.1173	0.3361	0.0043	0.570	1842	40	1855	19	1868	21	-1
PRB046	0.56	0.1107	0.0025	5.2026	0.1195	0.3409	0.0044	0.563	1812	41	1853	20	1891	21	-2
PRB048	0.43	0.1205	0.0027	5.9458	0.1353	0.3581	0.0046	0.564	1963	40	1968	20	1973	22	0
PRB049	0.66	0.1114	0.0026	5.1973	0.1217	0.3385	0.0044	0.555	1822	42	1852	20	1880	21	-1
PRB050	0.86	0.1112	0.0025	5.1870	0.1181	0.3386	0.0043	0.562	1819	41	1851	19	1880	21	-2
PRB052	0.83	0.1113	0.0026	5.1485	0.1214	0.3357	0.0043	0.547	1821	42	1844	20	1866	21	-1
PRB053	0.77	0.1135	0.0036	5.1122	0.1604	0.3268	0.0050	0.487	1856	56	1838	27	1823	24	1
PRB054	0.61	0.3193	0.0084	6.7172	0.1736	0.1527	0.0022	0.24	3566	40	2075	23	916	12	289
PRB055	0.60	0.1128	0.0028	5.2151	0.1267	0.3356	0.0044	0.537	1844	43	1855	21	1865	21	-1
PRB057	1.08	0.1887	0.0031	12.9929	0.2227	0.4998	0.0062	0.725	2731	27	2679	16	2613	27	3
PRB058	0.47	0.1143	0.0019	5.3004	0.0930	0.3365	0.0042	0.705	1870	30	1869	15	1870	20	0
PRB059	0.05	0.1417	0.0023	6.2253	0.1064	0.3189	0.0039	0.43	2248	28	2008	15	1784	19	26
PRB060	0.25	0.2344	0.0038	9.1967	0.1558	0.2848	0.0035	0.43	3038	25	2358	16	1615	18	91
PRB061	0.39	0.1718	0.0034	6.1703	0.1240	0.2607	0.0034	0.36	2576	33	2000	18	1493	18	72
PRB063	0.70	0.1152	0.0022	5.3264	0.1040	0.3357	0.0043	0.653	1883	34	1873	17	1866	21	0
PRB064	0.62	0.1305	0.0023	3.1231	0.0565	0.1737	0.0022	0.40	2105	30	1438	14	1033	12	104
PRB065	0.17	0.1603	0.0027	3.4599	0.0617	0.1567	0.0019	0.41	2459	28	1518	14	938	11	162
PRB066	1.16	0.1443	0.0031	6.8747	0.1487	0.3458	0.0046	0.34	2279	36	205	19	1915	22	19
PRB067	0.66	0.1333	0.0027	5.4400	0.1131	0.2963	0.0039	0.35	2142	35	1891	18	1673	19	28
PRB068	0.68	0.1142	0.0024	5.3168	0.1131	0.3379	0.0044	0.612	1868	37	1872	18	1877	21	0
PRB070	0.83	0.1281	0.026	5.7297	0.1207	0.3248	0.0042	0.35	2017	36	1936	18	1813	20	14
PRB071	0.56	0.1133	0.0024	5.3267	0.1167	0.3412	0.0044	0.593	1854	38	1873	19	1892	21	-1
PRB072	0.73	0.1143	0.0026	5.3275	0.1226	0.3384	0.0045	0.577	1869	40	1873	20	1879	22	0
PRB073	0.80	0.1160	0.0027	5.3260	0.1252	0.3333	0.0045	0.568	1895	41	1873	20	1855	22	1
PRB074	0.46	0.1231	0.0029	5.6352	0.1351	0.3322	0.0045	0.562	2002	41	1922	21	1849	22	4
PRB076	0.62	0.1145	0.0027	5.3118	0.1264	0.3368	0.0045	0.560	1872	42	1871	20	1871	22	0

Примечание. Для вычисления возраста использованы отношения ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb (возраст ≥1 млрд лет). D – дискордантность датировок, вычислялась как D=(возраст (²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb)/возраст (²⁰⁶Pb/²³⁸Pb)-1)·100 %. Обычным шрифтом обозначены конкордантные значения возраста (D<10 %), полужирным – значения возраста с D>10 %.

Note. Age determination involved ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb ratios (age ≥1 Ga). D is discordant dating whose calculation was based on D=(age (²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb)/age (²⁰⁶Pb/²³⁸Pb)-1)·100 %. Concordant ages (D<10 %) are shown in regular type, ages with D>10 % are shown in bold.