



AGE AND SOURCES OF DETRITAL MATERIAL FOR THE METASEDIMENTARY ROCKS OF THE NILAN TERRANE OF THE MONGOL-OKHOTSK OROGENIC BELT

V.A. Zaika ¹✉, A.A. Sorokin ¹, V.B. Khubanov ², V.P. Kovach³

¹ Institute of Geology and Nature Management, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 1 Relochniy ln, Blagoveshchensk 675000, Russia

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

³ Institute of Precambrian Geology and Geochronology, Russian Academy of Sciences, 2 Makarov Emb, Saint Petersburg, 199034, Russia

ABSTRACT. The paper presents the first results of U-Th-Pb (LA-ICP-MS) isotopic dating of detrital zircons from the Paleozoic (?) metasedimentary rocks of the Nilan Terrane of the Mongol-Okhotsk orogenic belt to refine the age estimates and determine their probable correlation with earlier dated sediments of this belt. It has been stated that the metasedimentary rocks of the Olga, Salarin and Rovnen formations and of the Sivak formation of the Nilan terrane are characterized by the almost complete absence of the Early Precambrian zircons, slightly negative $\epsilon_{\text{Nd}(t)}$ values, and Mesoproterozoic $t_{\text{Nd(DM)}}$ and $t_{\text{Nd(C)}}$ values. The isotope dataset obtained shows that most of the detrital sediments were carried from continental massifs of the Amur superterrane.

KEYWORDS: Mongol-Okhotsk Belt; U-Pb geochronology; Sm-Nd isotopic-geochemical studies; Nilan terrane; detrital zircons; source area

FUNDING: The study was done as part of the Russian Science Foundation grant 18-17-00002.

RESEARCH ARTICLE

Received: May 25, 2022

Revised: July 10, 2022

Accepted: July 13, 2022

Correspondence: Viktor A. Zaika, zaika_v_a_88@mail.ru

FOR CITATION: Zaika V.A., Sorokin A.A., Khubanov V.B., Kovach V.P., 2022. Age and Sources of Detrital Material for the Metasedimentary Rocks of the Nilan Terrane of the Mongol-Okhotsk Orogenic Belt. *Geodynamics & Tectonophysics* 13 (5), 0674. doi:10.5800/GT-2022-13-5-0674

ВОЗРАСТ И ИСТОЧНИКИ ОБЛОМОЧНОГО МАТЕРИАЛА МЕТАОСАДОЧНЫХ ПОРОД НИЛАНСКОГО ТЕРРЕЙНА МОНГОЛО-ОХОТСКОГО ОРОГЕННОГО ПОЯСА

В.А. Заика¹, А.А. Сорокин¹, В.Б. Хубанов², В.П. Ковач³

¹ Институт геологии и природопользования ДВО РАН, 675000, Благовещенск, пер. Речелный, 1, Россия

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

³ Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, 199034, Санкт-Петербург, наб. Макарова, 2, Россия

АННОТАЦИЯ. В статье представлены первые результаты U-Th-Pb (LA-ICP-MS) изотопных исследований зен детритовых цирконов из палеозойских(?) метаосадочных пород Ниланского террейна Монголо-Охотского орогенного пояса с целью уточнения их возраста, определения возможной корреляции с другими ранее исследованными отложениями этого пояса. Установлено, что метаосадочные породы олгинской, саларинской, ровненской толщ, а также сивакской свиты Ниланского террейна характеризуются практически полным отсутствием раннедокембрийских цирконов, слабоотрицательными значениями $\epsilon_{Nd(t)}$, мезопротерозойскими величинами $t_{Nd(DM)}$ и $t_{Nd(C)}$. Совокупность полученных изотопных данных указывает на то, что основной объем обломочного материала при осадконакоплении поступал со стороны континентальных массивов Амурского супертеррейна.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Монголо-Охотский пояс; U-Pb-геохронология; Sm-Nd изотопно-геохимические исследования; Ниланский террейн; детритовые цирконы; источники сноса

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 18-17-00002.

1. ВВЕДЕНИЕ

Монголо-Охотский орогенный пояс (рис. 1) является одним из значимых структурных элементов Восточной Азии. Он протягивается в виде узкой (до 300 км) полосы на 3000 км от Центральной Монголии до Удской губы Охотского моря. История формирования этого пояса привлекает к себе внимание нескольких поколений геологов, однако многие аспекты его эволюции до сих пор не ясны и вызывают острые споры [Khanchuk, 2006; Parfenov et al., 2001, 2003; Khanchuk et al., 2015; и др.]. Наиболее дискуссионными являются вопросы о возрасте и взаимосвязях геологических комплексов, участвующих в строении пояса, а также о времени и характере проявления аккреционных и коллизионных процессов.

В связи с весьма редкими и скудными находками ископаемой фауны и флоры в слабометаморфизованных осадочных породах Монголо-Охотского пояса ведущую роль в получении информации об их возрасте играют результаты U-Pb геохронологических исследований детритовых цирконов. Кроме того, эти результаты в совокупности с Lu-Hf и Sm-Nd изотопными данными позволяют решать достаточно широкий спектр задач в части установления источников сноса обломочного материала, направленности зон субдукции. Так, результаты исследований детритовых цирконов из осадочных комплексов Адаацагского (Adaatsag), Досчгол (Doschgol), Хангай-Хентей (Hangai-Hentei), Эреендава (Ereendava) террейнов западной части Монголо-Охотского пояса [Kelty et al., 2008; Bussien et al., 2011; Hara et al., 2013; Ruppen et al., 2014] позволили предположить существование в палеозойской и раннемезозойской

истории одноименного океана разнонаправленных зон субдукции. Аналогичный вывод был сделан для Янканского [Sorokin et al., 2015], Селемджинского и Токурского [Zaika, Sorokin, 2020c; Zaika et al., 2022] террейнов восточной части Монголо-Охотского пояса. В то же время в строении Тукурингского [Zaika et al., 2018; Sorokin et al., 2020], Джагдинского [Sorokin et al., 2020], Унья-Бомского [Sorokin et al., 2020] и Ульбанского [Zaika, Sorokin, 2020b] террейнов выявлены аккреционные комплексы, сформированные над зоной субдукции, направленной под северную окраину Амурского супертеррейна. Аккреционные комплексы Ланского и Галамского террейнов, напротив, сформировались над зоной субдукции, направленной под южную окраину Сибирского кратона [Zaika, Sorokin, 2020a, 2021].

Несмотря на значительный объем фактического материала, полученного в последнее время, его все еще недостаточно для создания непротиворечивой геодинамической модели формирования Монголо-Охотского пояса. В частности, существует значительная неопределенность во взаимосвязях восточной части Селемджино-Кербинского, Ниланского и Ульбанского террейнов (рис. 1, 2). Кроме того, выделение аккреционных призм в строении этих террейнов [Khanchuk, 2006; Khanchuk et al., 2015; Parfenov et al., 2001, 2003] находится в резком противоречии с представлениями о структурном единстве верхнепалеозойских и нижнемезозойских отложений [Zabrodin, 2009].

В данной работе представлены результаты U-Pb геохронологических исследований детритовых цирконов из палеозойских метаосадочных отложений Ниланского террейна, Sm-Nd изотопных исследований

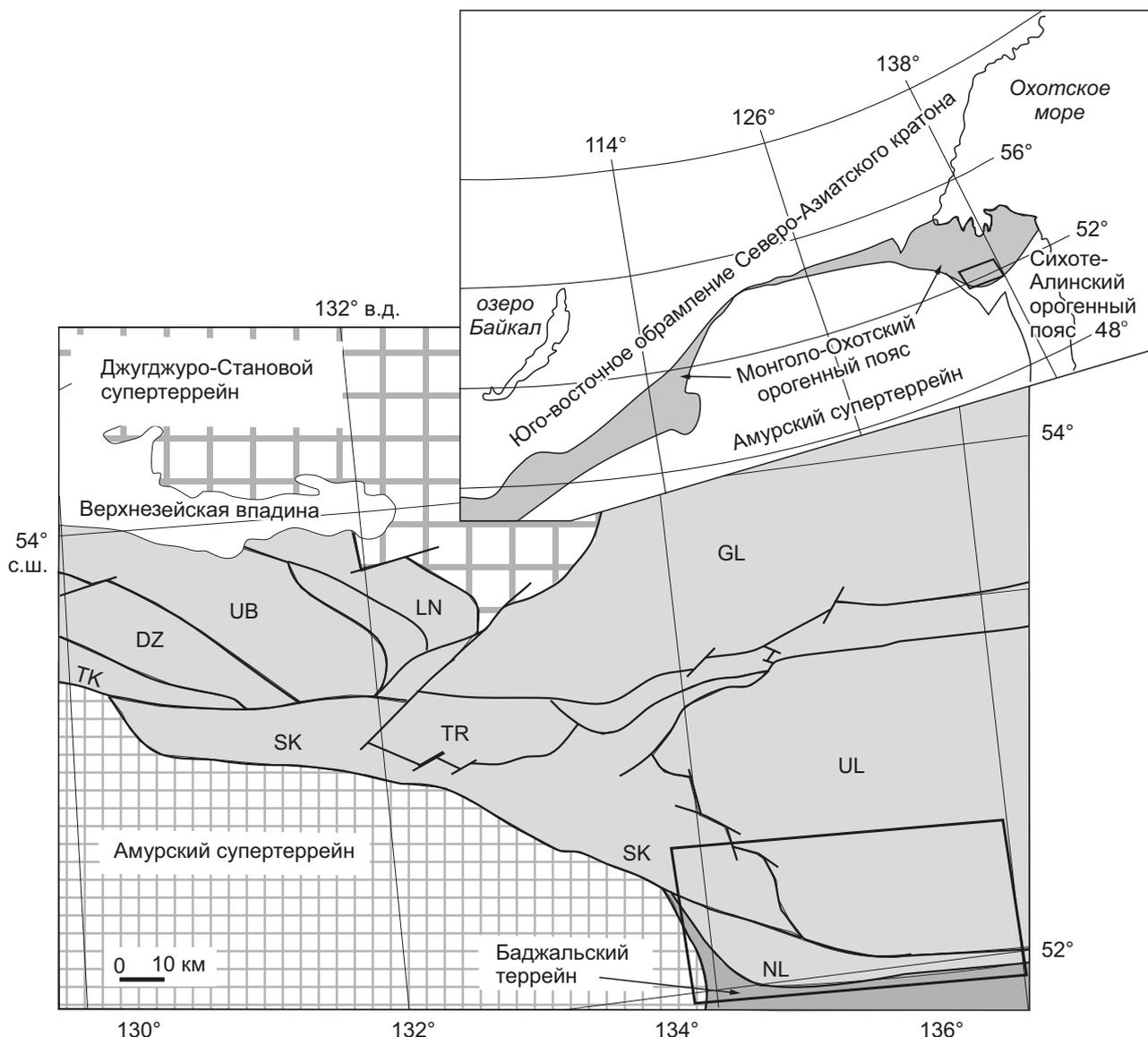


Рис. 1. Схема структурного районирования восточной части Монголо-Охотского складчатого пояса (по [Sorokin et al., 2003]). Прямоугольником показан район исследования. Буквами обозначены террейны: GL – Галамский, DZ – Джагдинский, LN – Ланский, NL – Ниланский, SK – Селемджино-Кербинский, TK – Тукурингрский, TR – Токурский, UL – Ульбанский, UB – Унья-Бомский.

Fig. 1. Scheme of structural zoning of the eastern Mongol-Okhotsk Fold Belt (after [Sorokin et al., 2003]). The rectangle shows the study area. The letters designate the terranes: GL – Galam, DZ – Dzhagdy, LN – Lan, NL – Nilan, SK – Selemdzha-Kerbi, TK – Tukuringra, TR – Tokur, UL – Ul’ban, UB – Un’ya-Bom.

этих пород с целью уточнения их возраста и источников обломочного материала, а также определения возможной корреляции отложений Селемджино-Кербинского, Ниланского и Ульбанского террейнов.

2. СТРОЕНИЕ НИЛАНСКОГО ТЕРРЕЙНА И КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для Монголо-Охотского пояса предложено значительное количество схем структурного районирования, среди которых в настоящее время наиболее часто используются схемы, разработанные на основе принципов террейнового анализа [Khanchuk, 2006; Natal’in,

1993; Nokleberg et al., 2005; Parfenov et al., 2001, 2003; и др.]. При этом они существенно отличаются друг от друга по количеству выделяемых террейнов и их конфигурации. Применительно к восточной части Монголо-Охотского пояса использована схема (см. рис. 1), опубликованная в работе [Sorokin et al., 2003], в которой границы террейнов в значительной степени соответствуют границам структурно-формационных зон (по [Martynyk et al., 1990; Geological Map, 1984a, 1984b, 1984c]). Согласно такому подходу, объекты данного исследования относятся к Ниланскому террейну (по [Sorokin et al., 2003]) или Ниланской структурно-формационной зоне (по [Martynyk et al., 1990; Geological

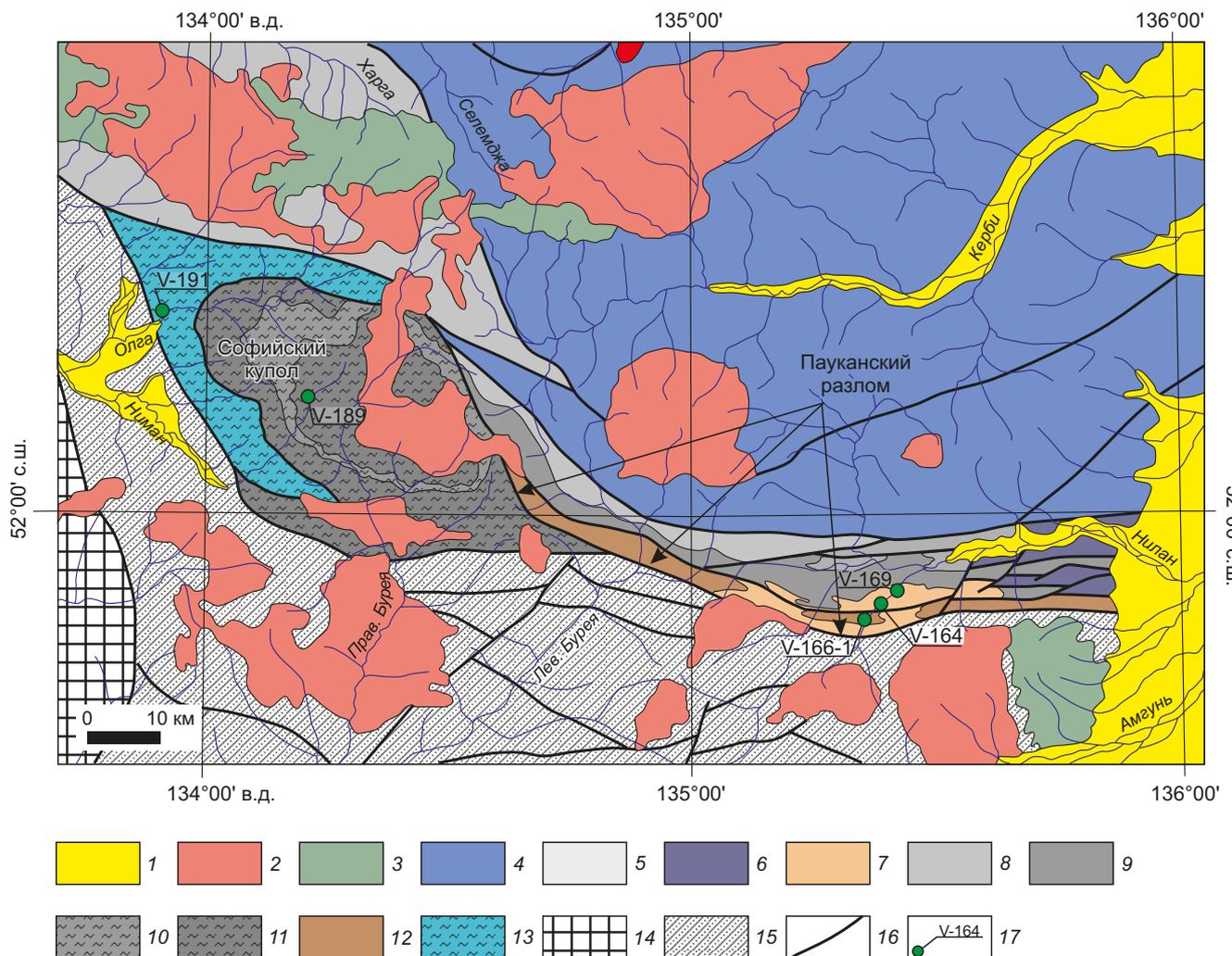


Рис. 2. Геологическая схема Ниланского террейна (по [State Geological Map..., 2007]).
 1 – кайнозойские рыхлые отложения; 2 – позднекрейдовские гранитоиды баджалло-дуссеалинского комплекса; 3 – позднекрейдовские вулканиды эзопского комплекса; 4 – юрские слабометаморфизованные терригенные образования Ульбанского террейна; 5 – палеозойские и нижнемезозойские слабометаморфизованные терригенные и вулканогенные образования Селемджино-Кербинского террейна; 6–12 метатерригенные образования Ниланского террейна: 6 – среднеюрские песчаники, филлиты, конгломераты, углисто-глинистые сланцы доглейской толщи, 7 – позднепермские алевролиты, песчаники, конгломераты ровненской толщи, 8 – раннекаменноугольные алевролиты, песчаники, зеленые сланцы, кремнисто-глинистые сланцы, известняки крестовой свиты, 9 – раннекаменноугольные(?) алевролиты, песчаники, зеленые сланцы, кремнистые сланцы берендинской толщи, 10 – раннекаменноугольные(?) альбит-мусковит-кварцевые, серицит-кварцевые, актинолит-хлорит-альбитовые сланцы, кварциты, мраморы ипатинской толщи, 11 – раннекаменноугольные(?) слюдяно-кварц-альбитовые порфиробластические, альбит-актинолитовые, альбит-эпидот-актинолитовые сланцы, мраморы саларинской толщи, 12 – раннедевонские песчаники, алевролиты, глинистые сланцы сивакской свиты; 13 – раннекембрийские(?) филлиты, песчаники, зеленые сланцы олгинской толщи; 14 – палеозойские интрузивные комплексы северной окраины Бурейнского массива; 15 – палеозойские и мезозойские терригенные и вулканогенные образования Баджалльского террейна; 16 – главные разломы; 17 – места отбора образцов для геохронологических исследований и их номера.

Fig. 2. Geological scheme of the Nilan terrane (after [State Geological Map..., 2007]).
 1 – Cenozoic loose deposits; 2 – Late Cretaceous granitoids of the Badzhal-Dussealin complex; 3 – Late Cretaceous volcanic rocks of the Ezop complex; 4 – Jurassic weakly metamorphosed terrigenous formations of the Ulban terrane; 5 – Paleozoic and Lower Mesozoic weakly metamorphosed terrigenous and volcanogenic formations of the Selemdzhino-Kerbi terrane; 6–12 – metaterrigenous formations of the Nilan terrane: 6 – Middle Jurassic sandstones, phyllites, conglomerates, carbonaceous-argillaceous shales of the Dogley formation, 7 – Late Permian siltstones, sandstones, conglomerates of the Rovnen formation, 8 – Early Carboniferous siltstones, sandstones, green shales, siliceous-argillaceous shales, limestones of the Krestov formation, 9 – Early Carboniferous(?) siltstones, sandstones, green shales, siliceous shales of the Berenda formation, 10 – Early Carboniferous(?) albite-muscovite-quartz, sericite-quartz, actinolite-chlorite-albite shales, quartzites, marbles of the Ipatin formation, 11 – Early Carboniferous(?) mica-quartz-albite porphyroblastic, albite-actinolite, albite-epidote-actinolite shales, marbles of the Salarin formation, 12 – Early Devonian sandstones, siltstones, argillaceous shales of the Sivak formation; 13 – Lower Cambrian(?) phyllites, sandstones, green shales of the Olga formation; 14 – Paleozoic intrusive complexes of the northern margin of the Bureya massif; 15 – Paleozoic and Mesozoic terrigenous and volcanogenic formations of the Badzhal terrane; 16 – main faults; 17 – geochronological sampling sites and sample numbers.

Map, 1984a, 1984b, 1984c]). Однако в последней генерации карт масштаба 1:1000000 вместо Ниланской зоны выделена «Зона Пауканского глубинного разлома и Софийский купол» [State Geological Map..., 2007, 2009], что подчеркивает сложность ее строения.

По существующим в настоящее время представлениям [State Geological Map..., 2007, 2009] в строении Ниланского террейна выделяется следующая стратиграфическая последовательность (снизу вверх): нижнекембрийская олгинская толща → нижнедевонская сивакская свита → нижнекаменноугольная(?) саларинская толща → нижнекаменноугольная(?) ипатинская толща → нижнекаменноугольная берендинская толща → нижнекаменноугольная крестовая толща → верхнепермская ровненская толща → среднеюрская доглейская толща.

Нижнекембрийская олгинская толща развита в северо-западной части Ниланского террейна (рис. 2). Она сложена [State Geological Map..., 2007] филлитизированными алевролитами, глинистыми сланцами, песчаниками, углеродсодержащими сланцами, кремнистыми породами, метабазами. Представления о возрасте толщи основываются на находках раннекембрийской микрофауны [State Geological Map..., 2007], хотя стратиграфический объем толщи, корреляция с другими стратонами остаются дискуссионными.

Нижнедевонская сивакская свита слагает ряд тектонических блоков в зоне Пауканского разлома (рис. 2) и сложена (по [State Geological Map..., 2007, 2009]) кварцевыми и кварц-полевошпатовыми песчаниками, известковистыми песчаниками, алевролитами и глинистыми сланцами с линзами мраморизованных известняков. Возраст отложений обоснован находками раннедевонских кораллов, брахиопод и криноидей.

В пределах «Софийского купола» (рис. 2) условно к нижнему карбону отнесены сложодислоцированные метаморфизованные саларинская и ипатинская толщи [State Geological Map..., 2007]. Саларинская толща сложена порфиробластическими слюдисто-кварц-альбитовыми порфиробластическими, альбит-актинолитовыми, альбит-эпидот-актинолитовыми сланцами с линзами мраморов. В составе ипатинской свиты преобладают слюдистые микрокварциты, актинолит-хлорит-альбитовые, эпидот-актинолит-альбитовые сланцы, метапесчаники, встречаются линзы мраморов. Приводятся данные (см. обзор в [State Geological Map..., 2007]) о том, что в пределах «Софийского купола» доминируют лежачие изоклинальные складки, в ядерных частях которых представлены порфиробластические сланцы ипатинской толщи. Какие-либо сведения о возрасте саларинской и ипатинской толщ отсутствуют. На основании исторической корреляции этих отложений с афанасьевской и талыминской свитами Селемджинского террейна принят их условно-раннекаменноугольный возраст [State Geological Map..., 2007].

Нижнекаменноугольные берендинская толща и согласно залегающая на ней крестовая толща слагают тектонические клинья в зоне Пауканского разлома (рис. 2).

Берендинская толща по [State Geological Map..., 2007, 2009] сложена метабазами, кремнистыми, кремнисто-глинистыми породами, реже – алевролитами. Представления о раннекаменноугольном возрасте берендинской толщи определяются тем, что она согласна перекрывается крестовой толщей, охарактеризованной фауной визейского возраста. Крестовая толща по набору пород близка к берендинской, но отличается доминированием терригенных пород (алевролитов и песчаников) и присутствием мраморов и мраморизованных известняков. Известняки содержат многочисленные остатки кораллов и брахиопод визейского возраста [State Geological Map..., 2007, 2009].

Верхнепермская ровненская толща (рис. 2) сложена преимущественно алевролитами и песчаниками при незначительном преобладании первых [State Geological Map..., 2009]. Она с размывом залегает на нижнедевонской сивакской свите. Позднепермский возраст (в стратиграфической шкале России) ровненской толщи принят на основании находок в алевролитовом цементе седиментационных брекчий раковин брахиопод. Среднеюрская доглейская толща представлена алевролитами, песчаниками, кремнисто-глинистыми породами и слагает небольшие тектонические клинья в зоне Пауканского разлома в восточной части Ниланского террейна (рис. 2). Возраст толщи обосновывается находками в кремнистых и кремнисто-глинистых породах среднеюрских радиолярий [State Geological Map..., 2009].

В строении Ниланского террейна также участвуют тела катаклазированных, метаморфизованных габброидов, пироксенитов, плагиогранитов, гранодиоритов, объединенных (по [State Geological Map..., 2007, 2009]) в составе габбро-плагиогранитового бурейкинского комплекса условно-позднекаменноугольного возраста.

Непосредственными объектами исследований авторов являлись:

- филлитизированный алевролит (обр. V-191) нижнекембрийской олгинской толщи;
- песчаник (обр. V-166-1) нижнедевонской сивакской свиты;
- слюдисто-кварц-альбитовый сланец (обр. V-189) условно-нижнекаменноугольной саларинской толщи;
- алевролиты (обр. V-164 и V-169) верхнепермской ровненской толщи.

Места отбора образцов показаны на рис. 2. Координаты мест отбора образцов и их краткое описание приведены в табл. 1.

3. АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДИКИ

Извлечение циркона выполнено в Аналитическом центре минералого-геохимических исследований Института геологии и природопользования ДВО РАН (г. Благовещенск) с применением тяжелых жидкостей. U-Th-Pb геохронологические исследования индивидуальных зерен выполнены в Геологическом институте СО РАН (г. Улан-Удэ). Перед анализом выделенные зерна циркона очищались в 5%-ном растворе HNO₃ и

Таблица 1. Краткое описание и места отбора образцов
Table 1. A brief description of samples and sampling sites

№ обр.	Координаты	Свита	Петрографическое описание
V-191	в.д. 133°54'57.4" с.ш. 52°15'13.8"	Олгинская толща	Серые средне- и мелкозернистые полевошпат-кварцевые филлитизированные алевролиты со средне-мелкопсаммитовой, цементационной структурой; обломочный материал 0.02–0.05 мм угловатой и полуугловатой формы: кварц 65–70 %, полевошпат – 20–25 %, обломки эффузивных пород кислого состава до 5 %, среди слюд отмечаются серицит и мусковит (до 5 %).
V-166-1	в.д. 135°21'15.1" с.ш. 51°51'48.3"	Сивакская свита	Светло-серые песчаники с мелкосреднезернистой структурой, массивной текстурой; обломочный материал 0.10–0.40 мм угловатой и полуокатанной формы: кварц (15–20 %) и полевые шпаты (25–30 %). Среди слюд отмечается биотит и мусковит (до 3 %), обломки пород (до 25 %).
V-189	в.д. 134°13'00.1" с.ш. 52°08'49.9"	Саларинская толща	Серые слюдисто-кварц-альбитовые сланцы с порфиробластовой структурой; обломочный материал 2–4 мм угловатой и полуугловатой формы: кварц 65–75 %, серицит 5–7 %, плагиоклаз – 3–5 %, углеродистое вещество – 1 %.
V-164	в.д. 135°23'09.8" с.ш. 51°52'27.1"	Ровненская толща	Темно-серые алевролиты с псаммитовой мелкозернистой структурой; обломочный материал 0.01–0.03 мм угловатой и полуокатанной формы: кварц (25–30 %), плагиоклаз (25–30 %), обломки пород (15–20 %), серицит (5–7 %).
V-169	в.д. 135°25'52.0" с.ш. 51°53'43.2"	Ровненская толща	Темно-серые алевролиты с псаммитовой мелкозернистой структурой; обломочный материал 0.02–0.05 мм угловатой и полуокатанной формы: кварц (45–50 %), обломки пород (10–15 %), плагиоклаз (20–25 %), серицит (3–5 %).

промывались дистиллированной водой в ультразвуковой ванне. Затем кристаллы имплантировали в эпоксидную смолу, шлифовали примерно на 1/3 их толщины и полировали. Собственно U-Th-Pb изотопные исследования выполнены с использованием системы лазерной абляции UP-213 New Wave Research и ICP-MS масс-спектрометра Element XR, Thermo Scientific Fisher. Диаметр лазерного луча составлял 30–40 мкм, плотность энергии лазерного излучения составляла около 3.5 Дж/см². Детальное описание аналитических процедур приведено в работе [Khubanov et al., 2016].

Конкордантный возраст (Concordia Age) рассчитан в программе Isoplot v. 4.15 [Ludwig, 2008], который и использовался для построения кривых относительной вероятности возраста. Из окончательных расчетов были исключены данные, для которых: 1) невозможно было рассчитать конкордантный возраст; 2) отношения ²⁰⁶Pb/²³⁸U и ²⁰⁷Pb/²³⁵U получены с ошибками >3 %. Для расчета значений пиков на кривых вероятностей возрастов использовалась программа Age-Pick [Arizona LaserChron Center, 2022].

Sm-Nd изотопные исследования выполнены в Институте геологии и геохронологии докембрия РАН (г. Санкт-Петербург). Навески около 100 мг растертых в пудру образцов, к которым был добавлен смешанный трассер ¹⁴⁹Sm–¹⁵⁰Nd, разлагались в тefлоновых бюксах в смеси HCl+HF+HNO₃ при температуре 110 °C. Полнота разложения проверялась под биноклем. Редкоземельные элементы были выделены посредством стандартной катионообменной хроматографии на колонках смолы BioRad AG1-X8 200–400 меш, а Sm и Nd – с помощью экстракционной хроматографии на колонках LN-Spec (100–150 меш) фирмы Eichrom. Изотопный состав Sm и Nd был измерен на многоколлекторном масс-спектрометре TRITON TI в статическом режиме. Измеренные отношения ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd нормализованы

к отношению ¹⁴⁶Nd/¹⁴⁴Nd=0.7219 и приведены к отношению ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd=0.512115 в Nd стандарте JNdi-1 [Tanaka et al., 2000]. Средневзвешенное значение ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd в Nd стандарте JNdi-1 за период измерений составило 0.512108±7 (n=10). Точность определения концентраций Sm и Nd составляет ±0.5 %, изотопных отношений ¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd ±0.5 %, ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd ±0.005 % (2σ). Уровень холостого опыта не превышал 0.2 нг Sm и 0.5 нг Nd. При расчете величин ε_{Nd(t)} и модельных возрастов t_{Nd(DM)} использованы современные значения однородного хондритового резервуара (CHUR) по [Jacobsen, Wasserburg, 1984] (¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd=0.512638, ¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd=0.1967) и DM по [Goldstein, Jacobsen, 1988] (¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd=0.513151, ¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd=0.21365). Для учета возможного фракционирования Sm и Nd во внутрикоровых процессах рассчитаны двустадийные Nd модельные возрасты t_{Nd(C)} [Keto, Jacobsen, 1987] с использованием среднекорового отношения ¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd=0.12 [Taylor, McLennan, 1985].

4. РЕЗУЛЬТАТЫ U-Pb ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЕТРИТОВЫХ ЦИРКОНОВ

Из филлитизированного алевролита **олгинской толщи** (обр. V-191) было проанализировано 120 зерен циркона, из которых для 88 получены конкордантные оценки возраста. Преобладающая часть зерен имеет палеозойский и раннемезозойский возраст со значениями пиков на графике относительной вероятности ~481, ~459, ~250 и ~212 млн лет; в подчиненном количестве присутствуют зерна с эдиакарским (пик ~743 млн лет) возрастом (рис. 3, а). Встречаются единичные зерна с мезопротерозойским и палеопротерозойским возрастом, не образующие статистически значимых популяций. Конкордантный возраст наиболее молодой популяции цирконов составляет 206±2 млн лет.

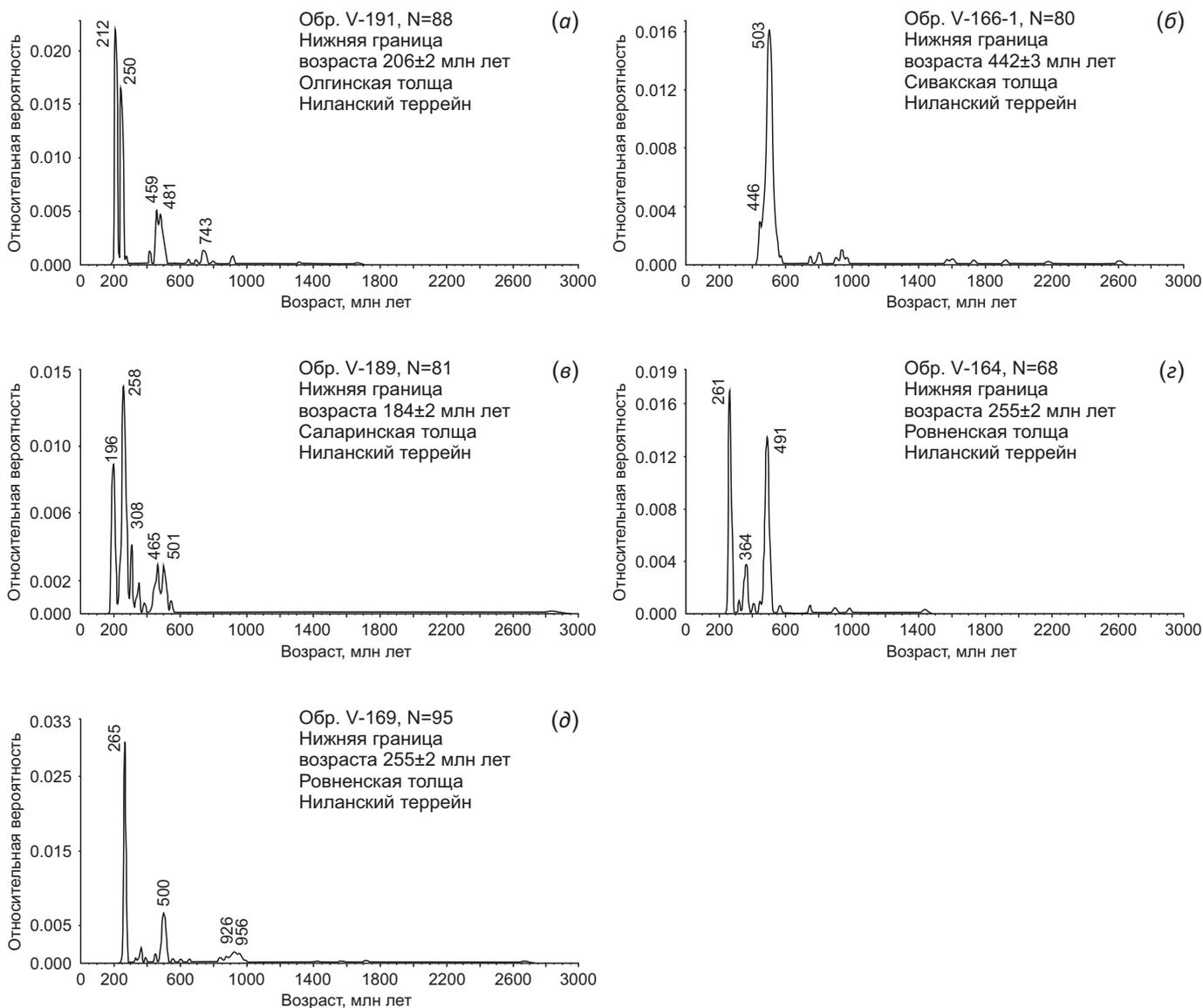


Рис. 3. Кривые относительной вероятности возрастов детритовых цирконов из (а) – алевролита олгинской толщи (обр. V-191), (б) – песчаника сивакской свиты (обр. V-166-1), (е) – слюдисто-кварц-альбитового сланца саларинской толщи (обр. V-189), (z) – алевролита ровненской толщи (обр. V-164), (д) – алевролита ровненской толщи (обр. V-169).

Fig. 3. Relative-age probability diagrams for detrital zircons from (a) – siltstone of the Olga formation (sample V-191), (б) – sandstone of the Sivak formation (sample V-166-1), (е) – mica-quartz-albite schist of the Salarin formation (sample V-189), (z) – siltstone of the Rovnen formation (sample V-164), (д) – siltstone of the Rovnen formation (sample V-169).

В процессе исследований из песчаника **сивакской свиты** (обр. V-166-1) было проанализировано 109 цирконов и для 81 из них получены конкордантные оценки возраста. Практически все зерна имеют палеозойский возраст со значениями пиков на графике относительной вероятности ~501, ~465, ~308, ~258 и ~196 млн лет (рис. 3, б). Присутствует одно зерно с палеопротерозойским, одно – с архейским возрастом. Конкордантный возраст наиболее молодой популяции цирконов составляет 442.4 ± 2.9 млн лет.

Из 110 изученных зерен детритовых цирконов из слюдисто-кварц-альбитового сланца **саларинской толщи** (обр. V-189) конкордантные оценки возраста

получены для 81 зерна. Подавляющее количество зерен имеет палеозойский и раннемезозойский возраст со значениями пиков на графике относительной вероятности ~501, ~465, ~308, ~258 и ~196 млн лет (рис. 3, в). Присутствует одно зерно с палеопротерозойским, одно – с архейским возрастом. Конкордантный возраст наиболее молодой популяции цирконов составляет 184 ± 2 млн лет.

При проведении исследований из алевролита **ровненской толщи** (обр. V-164) было изучено 110 зерен детритовых цирконов и для 68 зерен получены конкордантные оценки возраста. Большинство цирконов имеет палеозойский возраст со значениями пиков на графике относительной вероятности ~491, ~364 и

Таблица 2. Результаты изотопно-геохимических исследований метаосадочных пород Ниланского террейна
Table 2. Results of isotopic-geochemical study for the metasedimentary rocks of the Nilan terrane

No	Образец	Возраст, млн лет	Sm	Nd	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	Err	$\epsilon_{\text{Nd}}(0)$	$\epsilon_{\text{Nd}}(t)^*$	$t_{\text{Nd(DM)}}$	$t_{\text{Nd(C)}}^*$
1	V-165	442	2.41	15.12	0.0964	0.512124	5	-10.0	-4.4	1334	1558
2	V-165-1	442	2.49	14.90	0.1010	0.512159	6	-9.3	-3.9	1341	1523
3	V-169	255	5.11	26.59	0.11617	0.512396	9	-4.7	-2.1	1180	1217
4	V-189	370	7.84	41.69	0.1137	0.512430	8	-4.1	-0.1	1099	1148
5	V-189-3	370	4.21	20.97	0.1214	0.512433	3	-4.0	-0.4	1185	1173
6	V-191	370	5.21	28.85	0.1091	0.512357	2	-5.5	-1.3	1156	1248
7	V-191-2	370	4.01	20.83	0.1164	0.512374	5	-5.2	-1.4	1217	1250

Примечание. Величины ошибок (2σ) определения отношения $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ соответствуют последним значащим цифрам после точки.
 Note. The amounts of errors (2σ) in determining the ratio of ^{143}Nd to ^{144}Nd correspond to the last significant figures after the point.

~261 млн лет (рис. 3, г). Также присутствуют единичные зерна с неопротерозойским возрастом, не образующие статистически значимых популяций. Конкордантный возраст наиболее молодой популяции цирконов составляет 255 ± 2 млн лет.

Из метаалевролита ровненской толщи (обр. V-169) проанализировано 110 цирконов и для 95 из них получены конкордантные оценки возраста. Подавляющее количество зерен имеет палеозойский возраст со значениями двух главных пиков на графике относительной вероятности ~500 и ~265 млн лет (рис. 3, д). В подчиненном количестве присутствуют зерна с неопротерозойским возрастом (пики ~956 и ~926 млн лет). Также встречаются единичные зерна мезо-, палеопротерозойского и архейского возраста, не образующие статистически значимых популяций. Конкордантный возраст наиболее молодой популяции цирконов составляет 255 ± 2 млн лет.

5. РЕЗУЛЬТАТЫ Sm-Nd ИЗОТОПНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Sm-Nd изотопно-геохимические исследования выполнены для восьми образцов метаосадочных пород Ниланского террейна (табл. 2). Полученные результаты свидетельствуют о том, что все породы, вне зависимости от геологического возраста, характеризуются слабоотрицательными величинами $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ от -4.4 до -2.1 и мезопротерозойскими значениями Nd модельных возрастов $t_{\text{Nd(DM)}} = 1.34 - 1.10$ млрд лет, $t_{\text{Nd(C)}} = 1.56 - 1.16$ млрд лет.

6. ОБСУЖДЕНИЕ

Приступая к обсуждению полученных результатов, в первую очередь следует коснуться возраста пород исследованных стратиграфических подразделений.

Нижнекембрийская **олгинская толща**. Результаты выполненных геохронологических исследований детритовых цирконов свидетельствуют о том, что нижняя

возрастная граница филлитизированного алевролита олгинской толщи составляет ~206 млн лет (поздний триас). Это резко противоречит существующим представлениям о раннекембрийском возрасте толщи [State Geological Map..., 2007].

Нижнедевонская **сивакская свита**. Согласно полученным геохронологическим данным, нижняя граница возраста песчаника (обр. V-166-1) составляет ~442 млн лет (ранний силур). Это не противоречит представлениям о раннедевонском возрасте свиты, основанным на находках кораллов, брахиопод и криноидей [State Geological Map..., 2007].

Условно-нижнекаменноугольная **саларинская толща**. Согласно результатам геохронологических исследований, нижняя возрастная граница слюдисто-кварцальбитового сланца (обр. V-189) составляет ~184 млн лет (ранняя юра), что не соответствует существующим соображениям [State Geological Map..., 2007] о раннекаменноугольном возрасте отложений.

Верхнепермская **ровненская толща**. Согласно полученным авторами геохронологическим данным, нижний возраст алевролитов (обр. V-164 и V-169) составляет ~255 млн лет (лопингий). Эти результаты полностью согласуются с представлениями [State Geological Map..., 2007] о позднепермском возрасте (в стратиграфической шкале России) ровненской толщи на основании находок в алевролитовом цементе седиментационных брекчий раковин брахиопод.

Таким образом, нижние границы возраста сивакской свиты и ровненской толщи, определенные на основании геохронологических данных, и геологический возраст этих стратиграфических подразделений, установленный на основе палеонтологических данных, полностью соответствуют друг другу.

Противоречивая ситуация складывается для олгинской толщи. Как было отмечено выше, представления об ее геологическом возрасте основываются на находках раннекембрийской микрофауны, хотя повторные

попытки сбора фауны не увенчались успехом [State Geological Map..., 2007]. Последнее обстоятельство, а также дискуссионность стратиграфического объема толщи и корреляции с другими стратонами позволяют предполагать, что в контуре олгинской толщи на геологической карте последней генерации [State Geological Map..., 2007] объединены разновозрастные породы. Как минимум это две группы пород, а именно: с раннекембрийской фауной и с поздне триасовой нижней возрастной границей.

Еще одно противоречие отмечается для саларинской толщи. Так, согласно результатам геохронологических исследований детритовых цирконов, нижняя возрастная граница саларинской толщи составляет ~184 млн лет (ранняя юра). Это противоречит существующим представлениям [State Geological Map..., 2007] об ее условно раннекаменноугольном возрасте, однако такие представления не подтверждены какими-либо свидетельствами. В этой связи полученные авторами данные являются первыми сведениями о возрасте рассматриваемой толщи.

Кроме того, полученные результаты свидетельствуют об отсутствии прямой зависимости геологического возраста пород от степени их преобразований в пределах Ниланского террейна. Так, наиболее метаморфизованные породы (саларинская толща), степень преобразования которых достигает верхов зеленосланцевой фации, имеют наиболее молодой возраст.

Далее рассмотрим вопрос источников кластического материала для исследованных пород. Определяющее значение для этого имеют следующие закономерности:

- во всех проанализированных образцах архейские и палеопротерозойские цирконы либо полностью отсутствуют, либо не образуют статистически значимых популяций;
- большинство зерен имеют раннепалеозойский и позднепалеозойский возраст (рис. 3);
- в двух образцах (V-169 и V-191) в статистически значимых количествах присутствуют неопротерозойские цирконы;
- породы обладают слабоотрицательными значениями $\epsilon_{Nd(t)}$ от -3.9 до -2.1 и мезопротерозойскими значениями Nd модельных возрастов $t_{Nd(DM)}=1.34-1.10$ млрд лет, $t_{Nd(C)}=1.56-1.16$ млрд лет.

Анализ геологического строения региональных тектонических структур (см. обзор в работе [Sorokin et al., 2020; Zaika et al., 2022]) указывает на то, что основной объем обломочного материала при накоплении терригенных пород олгинской толщи, сивакской свиты, ровненской и саларинской толщ с указанными изотопными характеристиками мог поступать только с юга (в современных координатах), а именно со стороны континентальных массивов Амурского супертеррейна. Материал, который мог бы поступать с севера (в современных координатах) за счет разрушения магматических и метаморфических комплексов южной части Сибирского кратона, характеризуется совершенно

другими изотопными свойствами (см. обзор в [Velikoslavinskii et al., 2011, 2017; Sorokin et al., 2020]).

Еще одним аспектом данного исследования является оценка возможности корреляции отложений Селемджино-Кербинского, Ниланского и Ульбанского террейнов с учетом тесной пространственной сопряженности последних и отсутствия четких критериев отличия стратонов друг от друга.

Выше на основании полученных геохронологических данных авторы предположили, что в контуре олгинской толщи на геологической карте последней генерации [State Geological Map..., 2007] объединены разновозрастные породы: с раннекембрийской фауной, с одной стороны, и поздне триасовой нижней возрастной границей – с другой.

В отношении отложений с раннекембрийской фауной в Объяснительной записке к геологической карте последней генерации [State Geological Map..., 2007] отмечается, что «близкие по составу отложения как в пределах территории листа, так и на сопредельных территориях не известны». Однако на основании результатов исследований детритовых цирконов, выполненных нами ранее, мы можем констатировать [Zaika, Sorokin, 2020c; Zaika et al., 2022] присутствие в строении Селемджино-Кербинского террейна метаосадочных пород с эдиакарскими и кембрийскими нижними возрастными границами. В этой связи можно допустить, что отложения с раннекембрийской фауной в составе олгинской свиты Ниланского террейна и отложения с эдиакарскими и кембрийскими нижними возрастными границами в Селемджино-Кербинском террейне [Zaika, Sorokin, 2020c; Zaika et al., 2022] – это одно то же.

Переходя к отложениям с поздне триасовой нижней возрастной границей в составе олгинской толщи, можно отметить, что такие отложения установлены нами в Селемджино-Кербинском террейне. В частности, рис. 4, а, б, иллюстрирует практически полное сходство графиков относительной вероятности возрастов детритовых цирконов из филлитизированного алевролита (обр. V-191, данное исследование) олгинской толщи Ниланского террейна, с одной стороны, и из изученного ранее алевролита сагурской свиты (обр. V-94, [Zaika, Sorokin, 2020c]) – с другой. В этих же образцах наблюдаются и тождественные возрасты наиболее молодых популяций цирконов – 206 ± 2 и 202 ± 2 млн лет соответственно, а также близкие значения $\epsilon_{Nd(t)}$ и $t_{Nd(C)}$ (рис. 4, а, б).

Обратимся к кластическим породам саларинской толщи Ниланского террейна, для которых мы установили раннеюрскую нижнюю возрастную границу – 184 ± 2 млн лет (обр. V-189, рис. 4, в). Схожий график относительной вероятности возрастов детритовых цирконов, тождественный возраст наиболее молодой популяции – 180 ± 2 млн лет, наряду с близкими значениями $\epsilon_{Nd(t)}$ и $t_{Nd(C)}$, установлен для метаосадочных пород афанасьевской свиты (обр. V-73 [Zaika, Sorokin, 2020c]) Селемджино-Кербинского террейна (рис. 4, г). Тождественными

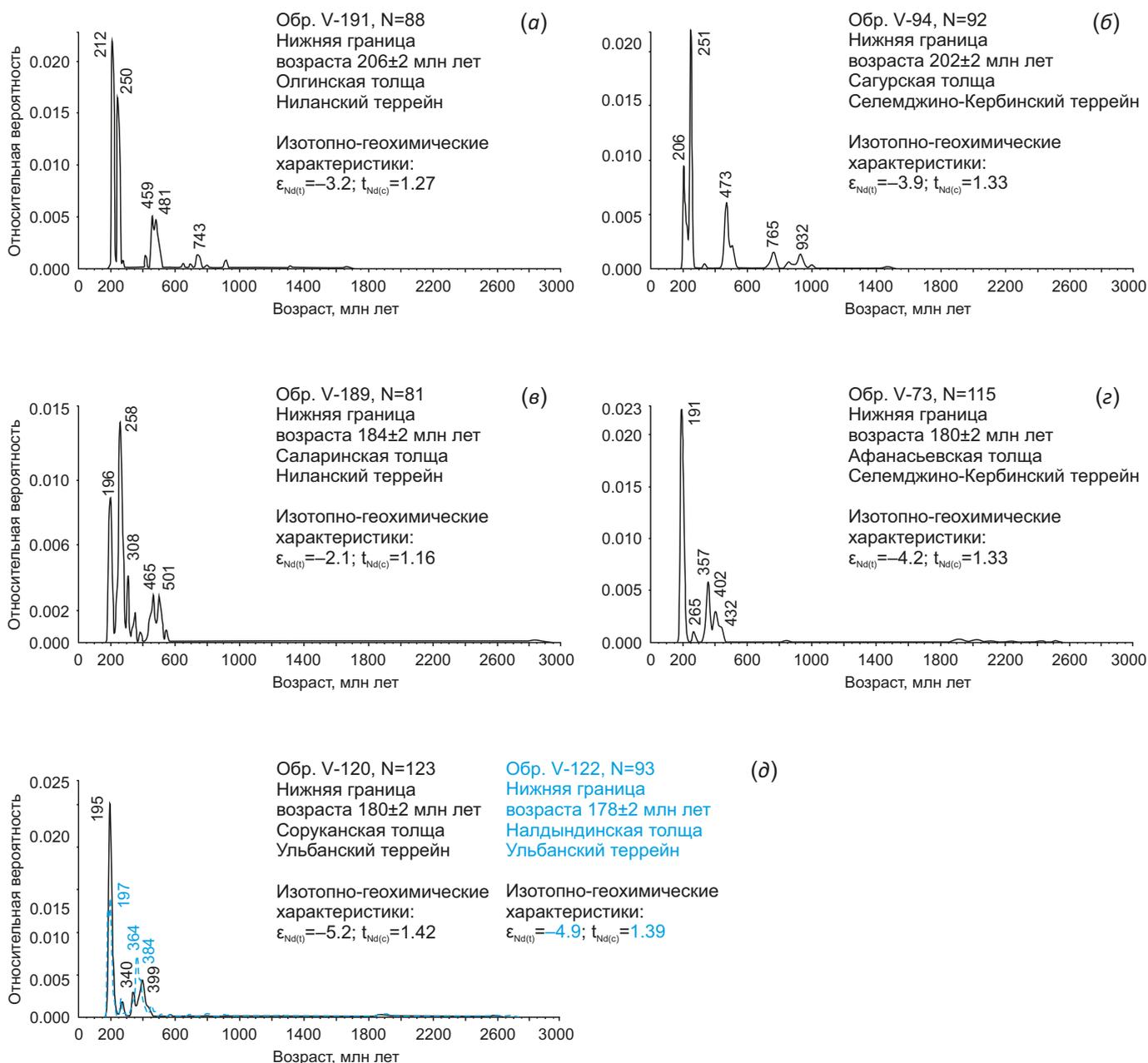


Рис. 4. Сравнение кривых относительной вероятности возрастов детритовых цирконов и изотопного состава Nd пород восточной части Монголо-Охотского пояса.

(а) – алевролит олгинской толщи (обр. V-191, данное исследование) Ниланского террейна, (б) – алевролит сагурской свиты (обр. V-94, [Zaika, Sorokin, 2020c; Zaika et al., 2022]) Селемджино-Кербинского террейна, (в) – слюдисто-кварц-альбитовый сланец саларинской толщи (обр. V-189, данное исследование) Ниланского террейна, (г) – слюдисто-кварц-альбитовый сланец афанасьевской свиты (обр. V-73 [Zaika, Sorokin, 2020c; Zaika et al., 2022]), (д) – алевролит соруканской свиты (обр. V-120) и песчаник налдындинской свиты (обр. V-122) Ульбанского террейна [Zaika, Sorokin, 2020b; неопубликованные данные авторов].

Fig. 4. Comparison of the relative-age probability diagrams for detrital zircons and the Nd isotopic composition of rocks from the eastern part of the Mongol-Okhotsk Belt.

(а) – siltstone of the Olga formation (sample V-191, present study) of the Nilan terrane, (б) – siltstone of the Sagur formation (sample V-94, [Zaika, Sorokin, 2020c; Zaika et al., 2022]) of the Selemdzha-Kerbi terrane, (в) – mica-quartz-albite schist of the Salarin formation (sample V-189, present study) of the Nilan terrane, (г) – mica-quartz-albite schist of the Afanas'evsk formation (sample V-73 [Zaika, Sorokin, 2020c; Zaika et al., 2022]), (д) – siltstone of the Sorukan formation (sample V-120) and sandstone of the Naldynda formation (sample V-122) of the Ulban terrane [Zaika, Sorokin, 2020b; unpublished data of the authors].

особенностями обладают также алевриты соруканской свиты (обр. V-120) и песчаники налдындинской свиты (обр. V-122) Ульбанского террейна с раннеюрскими нижними возрастными границами – 180 ± 2 и 178 ± 2 млн лет соответственно (рис. 4, д).

Таким образом, терригенные отложения, выделяемые в Ниланском террейне в качестве олгинской и саларинской толщ, коррелируют с отложениями, выделяемыми под другими названиями в Селемджино-Кербинском и Ульбанском террейнах. В настоящее время невозможно подтвердить или опровергнуть существование такой корреляции для сивакской свиты и ровненской толщи, однако это может объясняться недостаточной изученностью. В качестве альтернативного объяснения можно предположить, что девонские и пермские породы представляют собой блоки среди раннемезозойских пород.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты выполненных исследований позволяют сформулировать следующие выводы:

1. В контуре олгинской толщи в настоящее время объединены разновозрастные породы. Как минимум это две группы пород, а именно: с раннекембрийской фауной и с поздне триасовой нижней возрастной границей.

2. Нижняя возрастная граница саларинской толщи составляет ~184 млн лет (ранняя юра).

3. Нижние границы возраста сивакской свиты ~442 млн лет и ровненской толщи ~255 млн лет, определенные на основании геохронологических данных, не противоречат их возрасту, установленному на основе палеонтологических данных. В то же время нельзя исключать, что девонские и пермские породы представляют собой блоки среди раннемезозойских пород.

4. Метаосадочные породы олгинской, саларинской и ровненской толщ, сивакской свиты Ниланского террейна характеризуются доминированием ранне- и позднепалеозойских и присутствием неопротерозойских цирконов при практически полном отсутствии раннекембрийских цирконов со слабоотрицательными значениями $\epsilon_{Nd(t)}$ и мезопротерозойскими величинами $t_{Nd(DM)}$ и $t_{Nd(C)}$. Эти изотопные характеристики указывают на то, что основной объем обломочного материала при осадконакоплении поступал, скорее всего, со стороны континентальных массивов Амурского супертеррейна.

5. Терригенные отложения, выделяемые в Ниланском террейне в качестве олгинской и саларинской толщ, коррелируют с отложениями, выделяемыми под другими названиями в Селемджино-Кербинском и Ульбанском террейнах.

8. БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность сотрудникам Аналитического центра минералого-геохимических исследований Института геологии и природопользования ДВО РАН (г. Благовещенск) Е.Н. Воропаеву, О.Г. Медведеву,

С.Г. Некрасову за подготовку мономинеральных фракций циркона, персонал ЦКП «Аналитический центр минералого-геохимических и изотопных исследований Геологического института СО РАН» (г. Улан-Удэ) – за проведение U-Pb изотопных исследований и лабораторию изотопной геологии Института геологии и геохронологии докембрия РАН – за выполнение Sm-Nd изотопных исследований. Авторы выражают искреннюю признательность рецензентам чл.-корр. РАН Е.В. Складарову и к.г.-м.н. С.И. Дрилю за внимательный анализ рукописи, дискуссию и рекомендации.

9. ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ / CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

The authors contributed equally to this article.

10. КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTERESTS

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов. Все авторы прочитали рукопись и согласны с опубликованной версией.

The authors have no conflicts of interest to declare. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

11. ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Arizona LaserChron Center, 2022. Available from: <https://sites.google.com/laserchron.org/arizonalaserchroncenter/home?pli=1> (Last Accessed August 9, 2022).

Bussien D., Gombojav N., Winkler W., Quadt A., 2011. The Mongol-Okhotsk Belt in Mongolia – An Appraisal of the Geodynamic Development by the Study of Sandstone Provenance and Detrital Zircons. *Tectonophysics* 510 (1–2), 132–150. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2011.06.024>.

Geological Map of the Baikal-Amur Railroad Region, 1984a. Scale 1:500000. Sheet N-52-B. Explanatory Note. VSEGEI, Leningrad, 89 p. (in Russian) [Геологическая карта региона БАМ. Масштаб 1:500000. Лист N-52-B: Объяснительная записка. Л.: ВСЕГЕИ, 1984. 89 с.].

Geological Map of the Baikal-Amur Railroad Region, 1984b. Scale 1:500000. Sheet N-52-G. Explanatory Note. VSEGEI, Leningrad, 93 p. (in Russian) [Геологическая карта региона БАМ. Масштаб 1:500000. Лист N-52-G: Объяснительная записка. Л.: ВСЕГЕИ, 1984. 93 с.].

Geological Map of the Baikal-Amur Railroad Region, 1984c. Scale 1:500000. Sheet N-53-B. Explanatory Note. VSEGEI, Leningrad, 75 p. (in Russian) [Геологическая карта региона БАМ. Масштаб 1:500000. Лист N-53-B: Объяснительная записка. Л.: ВСЕГЕИ, 1984. 75 с.].

Goldstein S.J., Jacobsen S.B., 1988. Nd and Sr Isotopic Systematics of Rivers Water Suspended Material: Implications for Crustal Evolution. *Earth and Planetary Science Letters* 87, 249–265. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(88\)90013-1](https://doi.org/10.1016/0012-821X(88)90013-1).

Hara H., Kurihara T., Tsukada K., Kon Y., Uchino T., Suzuki T., Takeuchi M., Nakane Y., Nuramkhaan M., Chuluun M., 2013. Provenance and Origins of a Late Paleozoic Accretionary

Complex within the Khangai–Khentei Belt in the Central Asian Orogenic Belt, Central Mongolia. *Journal of Asian Earth Sciences* 75, 141–157. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2013.07.019>.

Jacobsen S.B., Wasserburg G.J., 1984. Sm–Nd Evolution of Chondrites and Achondrites. *Earth and Planetary Science Letters* 67 (2), 137–150. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(84\)90109-2](https://doi.org/10.1016/0012-821X(84)90109-2).

Kelty T.K., Yin A., Dash B., Gehrels G.E., Ribeiro A.E., 2008. Detrital–Zircon Geochronology of Paleozoic Sedimentary Rocks in the Hangay–Hentey Basin, North-Central Mongolia: Implications for the Tectonic Evolution of the Mongol–Okhotsk Ocean in Central Asia. *Tectonophysics* 451 (1–4), 290–311. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2007.11.052>.

Keto L.S., Jacobsen S.B., 1987. Nd and Sr Isotopic Variations of Early Paleozoic Oceans. *Earth and Planetary Science Letters* 84 (1), 27–41. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(87\)90173-7](https://doi.org/10.1016/0012-821X(87)90173-7).

Khanchuk A.I. (Ed.), 2006. *Geodynamics, Magmatism and Metallogeny of the Eastern Regions of Russia. Book 1. Dal'nauka, Vladivostok, 572 p. (in Russian) [Геодинамика, магматизм и металлогения востока России / Ред. А.И. Ханчук. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. 572 с.]*.

Khanchuk A.I., Didenko A.N., Popeko L.I., Sorokin A.A., Shevchenko B.F., 2015. Structure and Evolution of the Mongol–Okhotsk Orogenic Belt. The Central Asian Orogenic Belt. In: A. Kröner (Ed.), *Geology, Evolution, Tectonics, and Models*. Schweizerbart Science Publishers, Stuttgart, p. 211–234.

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>.

Ludwig K.R., 2008. *ISOPLOT 3.6. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. User's Manual*. Berkeley Geochronology Center Special Publication 4, 77 p.

Martynyk M.V., Ryamov S.A., Kondrat'eva V.A., 1990. Explanatory Note to the Scheme of Correlation of Igneous Complexes of the Khabarovsk Territory and the Amur Region. *Khabarovsk, Dal'geologiya*, 215 p. (in Russian) [Мартынюк М.В., Рямов С.А., Кондратьева В.А. Объяснительная записка к схеме корреляции магматических комплексов Хабаровского края и Амурской области. Хабаровск: ПГО Дальгеология, 1990. 215 с.]

Natal'in B.A., 1993. History and Modes of Mesozoic Accretion in Southeastern Russia. *Island Arc* 2 (1), 15–34. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1738.1993.tb00072.x>.

Nokleberg W.J., Bundtzen T.K., Eremin R.A., Ratkin V.V., Dawson K.M., Shpikerman V.I., Goryachev N.A., Byalobzhesky S.G., Frolov Y.F., Khanchuk A.I., Koch R.D. et al., 2005. Metallogeny and Tectonics of the Russian Far East, Alaska, and the Canadian Cordillera. *USGS Professional Paper* 1697. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, 397 p.

Parfenov L.M., Berzin N.A., Khanchuk A.I., Badarch G., Belichenko V.G., Bulgatov A.N., Dril S.I., Kirillova G.L. et al., 2003. Model of the Formation of Orogenic Belts in Central and North-East Asia. *Pacific Geology* 22 (6), 7–41 (in Russian)

[Парфенов Л.М., Берзин Н.А., Ханчук А.И., Бадарч Г., Беличенко В.Г., Булгапов А.Н., Дрил С.И., Кириллова Г.Л. и др. Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии // Тихоокеанская геология. 2003. Т. 22. № 6. С. 7–41].

Parfenov L.M., Popeko L.I., Tomurtogoo O., 2001. Problems of Tectonics of the Mongol–Okhotsk Orogenic Belt. *Geology of Pacific Ocean* 16 (5), 797–830.

Ruppen D., Knaf A., Bussien D., Winkler W., Chimedtsersen A., Quadt A., 2014. Restoring the Silurian to Carboniferous Northern Active Continental Margin of the Mongol–Okhotsk Ocean in Mongolia: Hangay–Hentey Accretionary Wedge and Seamount Collision. *Gondwana Research* 25 (4), 1517–1534. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2013.05.022>.

Sorokin A.A., Kolesnikov A.A., Kotov A.B., Sorokin A.P., Kovach V.P., 2015. Sources of Detrital Zircons from Terrigenous Deposits in the Yankan Terrane of the Mongolian–Okhotsk Mobile Belt. *Doklady Earth Sciences* 462, 621–625. <https://doi.org/10.1134/S1028334X15060161>.

Sorokin A.A., Sorokin A.P., Kudryashov N.M., Rublev A.G., Levchenkov O.A., Kotov A.B., Sal'nikova E.B., Kovach V.P., 2003. Geochronology, Geochemistry, and Geodynamic Setting of Paleozoic Granitoids in the Eastern Segment of Mongol–Okhotsk Belt. *Doklady Earth Sciences* 393 (8), 1136–1140.

Sorokin A.A., Zaika V.A., Kovach V.P., Kotov A.B., Xu W., Yang H., 2020. Timing of Closure of the Eastern Mongol–Okhotsk Ocean: Constraints from U–Pb and Hf Isotopic Data of Detrital Zircons from Metasediments along the Dzhangdy Transect. *Gondwana Research* 81, 58–78. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2019.11.009>.

Tanaka T., Togashi S., Kamioka H., Amakawa H., Kagami H., Hamamoto T., Yuhara M., Orihashi Y. et al., 2000. JNdi-1: A Neodymium Isotopic Reference in Consistency with Lajolla Neodymium. *Chemical Geology* 168 (3–4), 279–281. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(00\)00198-4](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(00)00198-4).

Taylor S.R., McLennan S.M., 1985. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. Blackwell, Oxford, 312 p.

State Geological Map of the Russian Federation, 2007. Far Eastern Series. Scale 1:1000000. Sheet N-53 (Shantar Islands). Explanatory Note. VSEGEI Publishing House, Saint Petersburg, 448 p. (in Russian) [Государственная геологическая карта Российской Федерации. Серия Дальневосточная. Масштаб 1:1000000. Лист N-53 (Шантарские острова): Объяснительная записка. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2007. 448 с.]

State Geological Map of the Russian Federation, 2009. Far Eastern Series. Scale 1:1000000. Sheet M-53 (Khabarovsk). Explanatory Note. VSEGEI Publishing House, Saint Petersburg, 376 p. (in Russian) [Государственная геологическая карта Российской Федерации. Серия Дальневосточная. Масштаб 1:1000000. Лист M-53 (Хабаровск): Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2009. 376 с.]

Velikoslavinskii S.D., Kotov A.B., Kovach V.P., Tolmacheva E.V., Sorokin A.A., Sal'nikova E.B., Larin A.M., Zagornaya N.Y., Wang K.L., Chung S.-L., 2017. Age and Tectonic Position of the Stanovoi Metamorphic Complex in the Eastern Part of the Central Asian Foldbelt. *Geotectonics* 51, 341–352. <https://doi.org/10.1134/S0016852117040070>.

Velikoslavinskii S.D., Kotov A.B., Sal'nikova E.B., Larin A.M., Sorokin A.A., Sorokin A.P., Kovach V.P., Tolmacheva E.V., Gorokhovskii B.M., 2011. Age of the Ilikan Sequence from the Stanovoi Complex of the Dzhugdzhur-Stanovoi Superterrane, Central-Asian Fold Belt. *Doklady Earth Sciences* 438, 612–616. <https://doi.org/10.1134/S1028334X11050400>.

Zabrodin V.Yu., 2009. Reconstructions of the Mesozoide Structures in the Eastern Amur-Okhotsk Fold System, Far East. *Russian Journal of Pacific Geology* 3, 260–268. <https://doi.org/10.1134/S1819714009030063>.

Zaika V.A., Kadashnikova A.Y., Sorokin A.A., 2022. Taking a Fresh Look at the Stratigraphy of the Selemdzha and Tokur Terranes of the Mongol-Okhotsk Belt: The Results of U-Pb, Lu-Hf, and Sm-Nd Isotope Studies. *Russian Journal of Pacific Geology* 16, 300–316. <https://doi.org/10.1134/S181971402204008X>.

Zaika V.A., Sorokin A.A., 2020a. Age and Sources of the Sedimentary Rocks of the Lan Terrane of the Mongol-Okhotsk Fold Belt: Results of the U-Pb and Lu-Hf Isotope Studies. *Russian Journal of Pacific Geology* 14, 193–205. <https://doi.org/10.1134/S1819714020030070>.

Zaika V.A., Sorokin A.A., 2020b. Tectonic Nature of the Ul'ban Terrane (Mongol-Okhotsk Fold Belt): Results of U-Pb and Lu-Hf Isotope Studies of Detrital Zircons. *Doklady Earth Sciences* 492, 297–301. <https://doi.org/10.1134/S1028334X20050232>.

Zaika V.A., Sorokin A.A., 2020c. Two Types of Accretionary Complexes in the Eastern Mongol-Okhotsk Belt: Constraints from U-Pb and Hf Isotopic Data of Detrital Zircons from Metasedimentary Rocks of the Selemdzha and Tokur Terranes. *Journal of Asian Earth Sciences* 201, 104508. <https://doi.org/10.1016/j.jseae.2020.104508>.

Zaika V.A., Sorokin A.A., 2021. Age and Sources of Metasedimentary Rocks of the Galam Terrane in the Mongol-Okhotsk Fold Belt: Results of U-Pb Age and Lu-Hf Isotope Data from Detrital Zircons. *Geotectonics* 55, 779–794. <https://doi.org/10.1134/S001685212106008X>.

Zaika V.A., Sorokin A.A., Xu B., Kotov A.B., Kovach V.P., 2018. Geochemical Features and Sources of Metasedimentary Rocks of the Western Part of the Tukuringra Terrane of the Mongol-Okhotsk Fold Belt. *Stratigraphy and Geological Correlation* 26, 157–178. <https://doi.org/10.1134/S0869593818020077>.