

## МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОЛОГИЯ

УДК 551.263.22

### ВОЗРАСТ ПИТАЮЩИХ ПРОВИНЦИЙ ГОРЛОВСКОГО ПЕРЕДОВОГО ПРОГИБА: РЕЗУЛЬТАТЫ ДАТИРОВАНИЯ ДЕТРИТОВЫХ ЦИРКОНОВ ИЗ ПЕСЧАНИКОВ БАЛАХОНСКОЙ СЕРИИ

Ф.И. Жимулев<sup>1</sup>, Дж. Гиллесп<sup>2</sup>, С. Глорие<sup>2</sup>, Е.В. Ветров<sup>3, 1</sup>, В.И. Борискина<sup>1</sup>,  
Е.А. Караковский<sup>1</sup>, Й. Де Граве<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> Tectonics, Resources and Exploration (TraX), Department of Earth Sciences, University of Adelaide, Adelaide, Australia

<sup>3</sup> Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск, Россия

<sup>4</sup> Laboratory for Mineralogy and Petrology, Department of Geology, Ghent University, Ghent, Belgium

В результате U/Pb LA-ICP-MS датирования детритовых цирконов из пермских песчаников балахонской серии в Горловском передовом прогибе были выявлены следующие возрастные популяции цирконов: неопротерозойская (840–710 млн лет, 14%), кембрийско-раннеордовикская (530–460 млн лет с максимумом на 498 млн лет, 28%) и каменноугольно-пермская (380–280 млн лет с максимумом на 322 млн лет, 50%).

**Ключевые слова:** U/Pb геохронология, Западная Сибирь, циркон, форландовый бассейн, моласса.

#### Введение

Уран-свинцовое датирование обломочного циркона из осадочных последовательностей является широко распространенным методом изучения истории геологического развития осадочных бассейнов и складчатых областей. Данный метод позволяет определять время главных этапов магматической активности в питающих провинциях, делать предположения об относительном положении различных блоков земной коры, устанавливать время эрозионного вскрытия плутонов, ограничивать сверху возраст самих осадочных толщ, устанавливать палеотектонические условия формирования осадочных бассейнов (напр., [Safonova et al., 2010; Wang et al., 2011; Choulet et al., 2012; Gladkochub et al., 2013; Letnikova et al., 2013; Kovach et al., 2016; Chen et al., 2016a] и др.).

В пределах Алтае-Саянской складчатой области (АССО) подобные исследования стали проводиться только в последнее десятилетие [Glorie et al., 2014; Chen et al., 2015, 2016b]. В настоящее время данные о возрасте детритовых цирконов отсутствуют для многих складчатых зон и палеобассейнов АССО, что затрудняет историко-геологические реконструкции этого сложного региона.

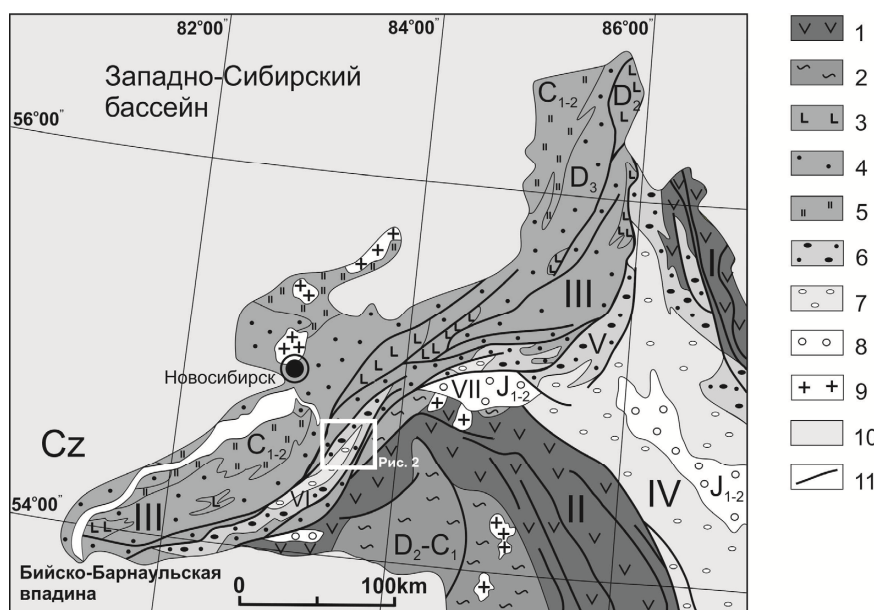
Целью данной работы является определение питающих провинций и палеотектонических условий формирования Горловского угленосного бассейна, расположенного в зоне сочленения каледонских и герцинских складчатых систем АССО (рис. 1). Каледонские структуры рассматриваемого региона представлены Салаирской, а герцинские – Колывань-Томской складчатыми зонами (КТСЗ) [Матвеевская

1969; Врублевский и др., 1987; Zonenshain et al., 1990; Росляков и др., 2001].

Тектоническая эволюция Горловского прогиба является результатом позднепалеозойских коллизионных процессов, приведших к формированию чешуйчато-покровной структуры КТСЗ. КТСЗ рассматривается как внешняя, периконтинентальная часть более крупной Центрально-Западносибирской складчатой системы, внутренние области которой перекрыты чехлом Западно-Сибирской плиты (ЗСП) [Сотников и др., 1999]. Геохронологические исследования обломочного циркона из синколлизонного Горловского бассейна позволят установить возраст магматических образований, не обнаженных внутренних областей Центрально-Западносибирской складчатой системы, датировать главные этапы тектонического развития северного Салаира и охарактеризовать палеотектонические условия образования Горловского палеобассейна. В настоящей работе приведены результаты датирования детритовых цирконов из песчаников верхнекарбон-нижне-пермской балахонской серии, которая слагает осевую часть Горловского передового прогиба и рассматривается как угленосная континентальная моласса.

#### Геологическое строение Горловского прогиба

Горловский прогиб является юго-западной частью Горлово-Зарубинского прогиба, протягивающегося вдоль фронта надвигов КТСЗ примерно на 450 км. Горлово-Зарубинский прогиб распадается на два изолированных бассейна – Горловский и Зарубинский, разделенные северо-западной частью Салаирского неотектонического поднятия.



**Рис. 1. Геологическая позиция Горловского прогиба (по: [Geological map... 2008] с упрощениями)**

1 – Каледониды Салаира и Кузнецкого Алатау нерасчлененные; 2 – среднедевонско-раннекарбоновые отложения, деформированный чехол эпикаледонских впадин; 3 – среднедевонские вулканогенные и вулканомиктовые отложения Колывань-Томской складчатой зоны (КТСЗ), буготакская, тогучинская и митрофановская свиты; 4 – верхнедевонские терригенные отложения КТСЗ, пачинская и юргинская свиты; 5 – нижнекарбоновые отложения КТСЗ, инская серия; 6 – карбон-нижнепермские отложения Горловского, Зарубинского и Кузнецкого прогибов; 7 – средне-верхнепермские отложения Горловского, Зарубинского и Кузнецкого прогибов; 8 – ранне-среднеюрские отложения наложенных впадин; 9 – гранитоидные интрузии; 10 – мел-кайнозойские отложения чехла Западно-Сибирской плиты; 11 – главные разломы и надвиги.

Римскими цифрами обозначены главные тектонические единицы: I – Кузнецкий Алатау, II – Салаирский кряж, III – Колывань-Томская складчатая зона, IV – Кузнецкий прогиб, V – Зарубинский прогиб, VI – Горловский прогиб, VII – Доронинская впадина, VIII – Западно-Сибирская плита

**Fig. 1. Geological position of the Gorlovo basin (simplified after [Geological map... 2008])**

1 – Early Paleozoic (Caledonian) Salair and Kuznetsk Alatau terranes; 2 – Middle Devonian – lower Carboniferous deposits, deformed sedimentary cover of the basins overprinted at the Caledonian basement; 3 – Middle Devonian volcanics and sediments of the KTFZ (bugotak, mitrofanovo and toguchin formations); 4 – Upper Devonian terrigenous and carbonate deposits of the KTFZ (pacha and yurga formations); 5 – Early Carboniferous deposits of the KTFZ, shales and limestones, Inya Group; 6 – Carboniferous – lower Permian deposits of the Gorlovo, Zarubin and Kuznetsk basins; 7 – Middle-upper Permian deposits of the Gorlovo, Zarubin and Kuznetsk basins; 8 – Early-Middle Jurassic deposits of the overprinted basins; 9 – Granite intrusions; 10 – Cretaceous – Cenozoic deposits, sedimentary cover of the West Siberian basin; 11 – main faults and thrusts.

Tectonic units I – Kuznetsk Alatau terrane; II – Salair terrane; III – Kuznetsk basin; IV – Kuznetsk basin; V – Zarubin basin; VI – Gorlovo basin; VII – Doronin basin; VIII – West Siberian basin

Данное поднятие наследует древний структурный план зоны сочленения каледонид Салаира и герцинид КТСЗ, в пределах Горлово-Зарубинского прогиба ему соответствует зона воздымания шарнира. Переходим в поле распространения карбоновых континентальных моласс, выполняющих прогибы, подчеркивается сочленением двух выпуклых к юго-востоку структурных дуг, образованных фронтальным надвигом КТСЗ. Поднятие северо-западной части Салаира образует северо-восточное замыкание Горловского прогиба, расположенное примерно на 84-м градусе в.д. Юго-западное замыкание Горловского прогиба скрыто под кайнозойскими осадками Бийско-Барнаульской впадины.

Горловский прогиб в плане имеет форму линзы, выпуклой в юго-восточном направлении, согласно дугообразному изгибу КТСЗ (рис. 1). Длина прогиба превышает 200 км, ширина составляет 13–18 км. В

структурном отношении Горловский прогиб представляет собой резко асимметричную грабен-синклиналь юго-восточной вергентности (рис. 2). Для северо-западного крыла, обращенного к аллохтонам КТСЗ, характерно крутое залегание (70–80°), иногда переходящее в вертикальное или запрокинутое. При общем конформном положении Горловского прогиба по отношению к КТСЗ контакты стратиграфических подразделений, выделяемых в прогибе, срезаются фронтальным надвигом КТСЗ. Надвиговый фронт КТСЗ образован зоной Каменско-Митрофановского надвига [Бабин и др., 2014]. Юго-восточное крыло Горловского прогиба более пологое. Юго-восточная граница Горловского прогиба представлена зоной Томско-Каменского надвига юго-восточной вергентности, по которой осадочные комплексы Горловского прогиба надвинуты на каледониды Салаира, перекрытые прерывистым чехлом девонско-нижнекарбонового возраста.



Елбашинская свита представлена алевролитами, аргиллитами, в том числе углистыми, песчаниками с линзами мелкогалечных конгломератов. Балахонская серия сложена песчаниками, алевролитами, аргиллитами и содержит пласты каменных углей, представляющие промышленный интерес. Кольчугинская серия образована чередованием аргиллитов, алевролитов и песчаников, и только в нижней части включает редкие и маломощные прослои каменных углей, не имеющие практического значения. Елбашинская свита интерпретируется как морская, а балахонская и кольчугинская серии – как континентальная моласса [Сотников и др., 1999].

Нижняя часть осадочного выполнения Горловского прогиба хорошо сопоставляется с разрезом КТСЗ, Вулканогенные отложения укропской свиты являются аналогом тогучинской и верхней части буготакской свиты, возраст которой по последним данным является позднеживетским [Язиков и др., 2015]. В пределах Горловского прогиба верхнедевонско-турнейские отложения характеризуются меньшими мощностями и более мелководными фациями. Например, терригенным и терригенно-карбонатным отложениям подонинской и ургунской свит, имеющим суммарную мощность не более 300 м, в КТСЗ соответствует полуторакилометровая толща флиша – юргинская свита. В визейское время депоцентр осадконакопления смещается по направлению к континенту, из КТСЗ в Горловский прогиб, а карбонатное осадконакопление турнея – раннего визе в пределах прогиба сменяется терригенным (поздневизейская выдрихинская свита). К моменту начала накопления молассы Горловского прогиба осадконакопление в пределах КТСЗ полностью прекращается. Именно верхний структурный ярус Горловского прогиба, сложенный угленосной молассой и не имеющий стратиграфических аналогов в смежных тектонических зонах, образует структуру глубокого линейного прогиба.

Внутренняя структура Горловской грабен-синклинали характеризуется интенсивной разнопорядковой складчатостью и разломной тектоникой [Марус, Музыка, 1979]. Общая ориентировка внутренних структур прогиба конформна его границам и повторяет их дугообразный изгиб. Продольными нарушениями прогиб расчленен на приподнятые северо-западное и юго-восточное крылья и погруженную центральную часть. Ось прогиба ундулирует, что приводит к расширению и сужению поля распространения моласс, слагающих ядро структуры. Отложения прогиба собраны в многочисленные разнопорядковые линейные складки. Складчатость представлена дисгармоничными сжатыми асимметричными складками с острыми замками, крутым (60–80°) падением крыльев и возрастанием мощности слоев в зонах шарниров. Складки почти всегда имеют отчетливую юго-восточную вергентность, часто встречаются опрокинутые в юго-восточном

направлении формы (рис. 3, а). Складчатые структуры осложнены продольными разрывными нарушениями надвиговой и взбросо-надвиговой кинематики, а также мелкой гофрировкой. Породы интенсивно расланцеваны, часто встречаются зоны дробления. Угли Горловского бассейна представлены антрацитами, что свидетельствует о высокой степени катагенетических преобразований. Складчатость северо-западной прибортовой части бассейна более напряженная, нежели складчатость противоположной стороны.

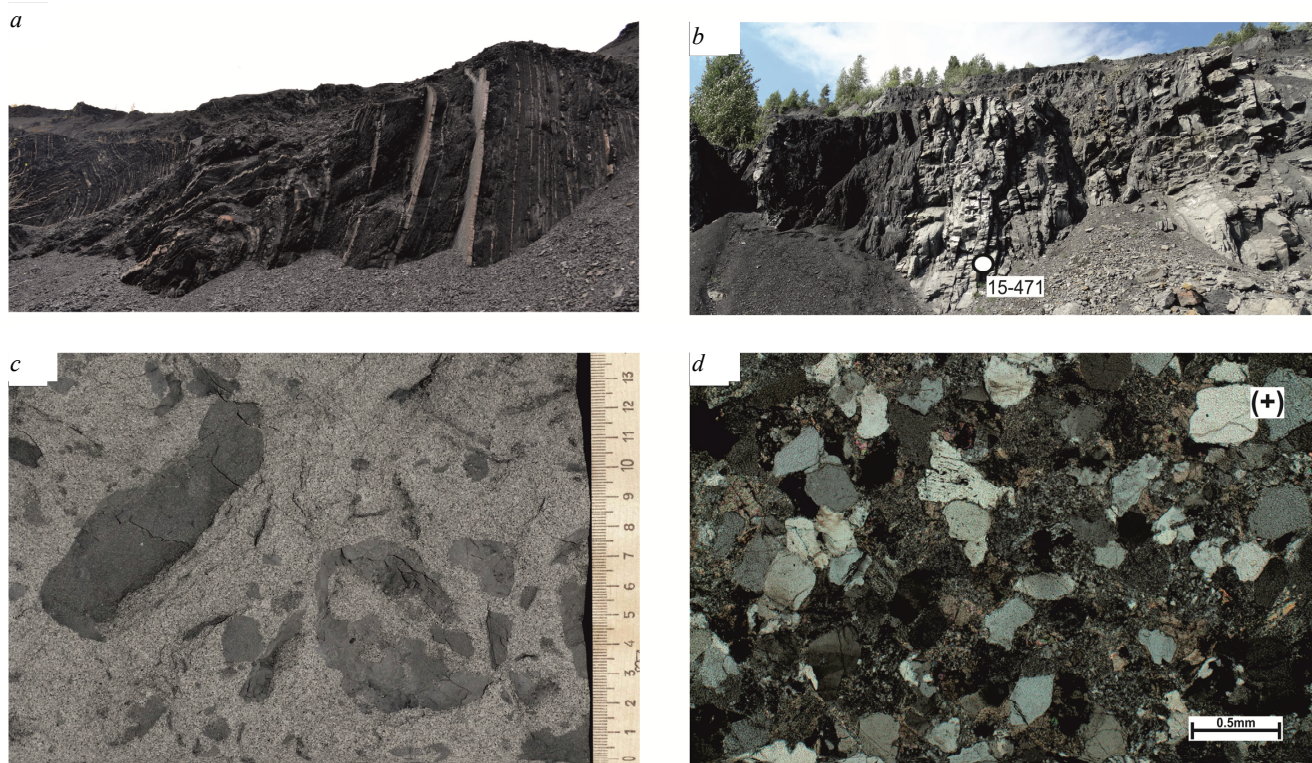
Для Горловского прогиба характерно пониженное значение гравитационного поля [Казеннов и др., 1978; Бабин и др., 2015]. Изоаномалы на карте гравитационных аномалий очень хорошо коррелируют с геологическими границами прогиба и элементами внутренней структуры его осадочного выполнения. Области погружения шарнира Горловской грабен-синклинали структуры, в которых мощность осадочного выполнения возрастает за счет присутствия в разрезе наиболее молодых отложений, соответствуют глубоким минимумам силы тяжести. Интенсивность гравитационных аномалий обнаруживает прямую зависимость от мощности осадочного выполнения прогиба, достигая в осевой его части значений –40...–45 мГал [Котельников и др., 2008].

Структурное положение, морфология, характер осадочного выполнения и внутренней структуры прогиба, а также наличие соответствующей отрицательной гравитационной аномалии свидетельствуют, что Горловский прогиб является типичным форландовым бассейном (краевым прогибом), согласно признакам, изложенным в работе [Beaumont et al., 1982]. Данная тектоническая интерпретация является для Горловского прогиба традиционной и принята большинством исследователей [Сотников и др., 1999]. Образование форланда, выполненного молассами, объясняется коллизийными процессами, приведшими к расчешиванию и надвиганию девон-карбонных отложений КТСЗ, формировавшихся в пределах континентального шельфа и склона в направлении континента.

### Описание образца

Для проведения геохронологических исследований нами был отобран образец песчаников балахонской серии из Горловского угольного карьера (рис. 3, а–д), координаты места отбора N 54°34'22.80", E 83°35'20.31". В геолого-структурном отношении изученный разрез представляет собой субвертикально падающее северо-западное крыло синклинали складки второго порядка, которая осложняет юго-восточное крыло Ливинской синклинали. Данная часть разреза характеризуется высокой насыщенностью угольными пластами, что характерно для верхней части балахонской серии, поэтому стратиграфический уровень места отбора образца можно с долей условности определить кунгурским ярусом нижней перми (283–272 млн лет).





**Рис. 3. Отложения балахонской серии в Горловском угольном разрезе**

*a–c* – фото обнажений: *a* – запрокинутые в юго-восточном направлении складки в углистых алевролитах; *b* – место отбора образца 15-471, нижняя часть пачки песчаников; *c* – грубозернистые серые песчаники с интракластами нижележащих углистых алевролитов; *d* – фото шлифа изученного песчаника, николи скрещены

**Fig. 3. Deposits of the Balakhon Group in the Gorlovo coal open pit**

*a–c* – photos of outcrops: *a* – folds in carbonaceous siltstones, overturned in southeastern direction; *b* – sampling site of sample 15-471, lower part of sandstone layer; *c* – coarse-grained gray sandstones with intraclasts of underlying carbonaceous siltstones; *d* – thin-section photo, sandstone

Разрез балахонской серии в стенке карьера представлен чередованием пачек алевролитов и мелкозернистых песчаников, углей, а также грубо- и крупнозернистых песчаников (рис. 3, *b*). Пачки песчано-алевролитового состава представлены чередованием черных углистых алевролитов (20–30 см) и мелкозернистых темно-серых плоскопараллельно слоистых песчаников (3–7 см). В алевролитах наблюдаются отпечатки листовой флоры. В разрезе встречаются замещенные сидеритом древесные стволы, а также карбонатные стяжения. Мощность пачек 5–15 м. Угольные пласты мощностью 1–5 м сложены блестящими антрацитами. Светло-серые грубо- и крупнозернистые песчаники образуют пачки мощностью 10–20 м, с четкими, ровными контактами. Для данных пачек характерно уменьшение зернистости пород вверх по разрезу. Грубозернистые массивные песчаники образуют нижнюю часть пачки мощностью 1,5–3 м. Выше они сменяются крупнозернистыми песчаниками с грубой косой слоистостью и, далее, среднезернистыми горизонтально слоистыми песчаниками с прослоями алевролитов. Косая слоистость вверх по разрезу пачки сменяется

горизонтальной. Песчаники содержат многочисленные плохо окатанные интракласты углистых алевролитов (рис. 3, *c*). Отложения балахонской серии формировались в пределах аллювиальной равнины [Davies et al., 2010], пачки мелкозернистых пород соответствуют пойменной, а грубозернистые песчаники – русловой фации аллювия.

Образец № 15-471 для проведения геохронологических исследований был отобран из средней части пачки грубозернистых песчаников русловой фации. Песчаник сложен плохо окатанными и довольно хорошо сортированными зернами кварца (85%) и обломков пород (15%), главным образом углистых аргиллитов и алевролитов (рис. 3, *d*). В составе акцессорных минералов присутствуют обломочные циркон, магнетит, а также новообразованный пирит. Матрикс отсутствует, цемент поровый, представлен карбонатным материалом. Химический состав песчаника (массовые проценты):  $\text{SiO}_2$  – 82,1;  $\text{TiO}_2$  – 0,23;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 1,79;  $\text{MnO}$  – 0,02;  $\text{MgO}$  – 0,71;  $\text{CaO}$  – 1,28;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 0,87;  $\text{K}_2\text{O}$  – 1,43;  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 0,05. По минеральному и химическому составу песчаник может быть отнесен к лититовым аренитам [Pettijohn et al., 1987] с

повышенными, относительно средних значений данной группы, содержаниями кварца и кремнезема.

### Методы исследований

**U/Pb датирование.** Дробление образца и выделение цирконов производилось в ИГМ СО РАН. Зерна циркона были отобраны вручную, помещены в шайбу стандартного размера, залиты эпоксидной смолой и после застывания смолы приполированы. Католюминесцентные изображения цирконов были получены на сканирующем электронном микроскопе FEI Quanta600 в Аделаиде. U–Pb датирование проводилось на установке LA-ICP-MS в Университете Аделаиды с использованием масс-спектрометра Agilent 7900, связанного с системой абляции New Wave UP-213. Диаметр пучка лазера составлял 30 мкм, частота 5 Гц, время облучения одной точки 30 с. Стандарт GJ-циркона ( $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} = 608,5 \pm 0,4 \text{ Ma}$  [Jackson et al., 2004]) использовался для коррекции фракционирования U–Pb, стандарт Plešovice ( $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} = 337,13 \pm 0,37 \text{ Ma}$  [Sláma et al., 2008]) использовался в качестве вторичного стандарта. Девятнадцать анализов этого стандарта в ходе аналитической сессии дали средневзвешенный возраст  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$   $340,3 \pm 1,6$  млн лет (СКВО = 1,8). Расчет U–Pb возрастов проводился с использованием программного пакета Iolite [Paton et al., 2011].

**Nd систематика.** Было проведено изучение Sm/Nd изотопной систематики образца песчаников, отобранного с целью датирования детритовых цирконов. Содержания редких и редкоземельных элементов определялись методом ICP-MS в ЦКП многоэлементных и изотопных исследований СО РАН (г. Новосибирск). Определения содержаний и изотопных составов Sm и Nd выполнены в ГИ КНЦ РАН (г. Апатиты) по методикам, описанным в работе [Баянова, 2004]. При расчете величин  $\epsilon\text{Nd}(t)$  и модельных возрастов TNd(DM) использованы современные значения CHUR (по: [Jacobsen, Wasserburg, 1984] ( $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,512638$ ,  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0,1967$ )) и DM (по: [Goldstein, Jacobsen, 1988] ( $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,513151$ ,  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0,2136$ )).

Для учета возможного фракционирования Sm и Nd во внутрикоровых процессах для исследованных пород были рассчитаны двустадийные Nd модельные возрасты TNd(DM-2st) [Keto, Jacobsen, 1987] с использованием среднекорового отношения  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0,12$  [Taylor, McLennan, 1985].

### Результаты

Из образца песчаников было датировано 84 зерна циркона, из которых 78 зерен имеют дискордантность менее 10%, только они использованы для построения диаграмм относительной вероятности возрастов. Диаграммы относительной вероятности возрастов (возрастные спектры) для проанализированных проб были построены по  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  для зерен моложе 1 млрд лет и по  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  для зерен древнее 1 млрд лет (таблица, рис. 4). Возрастной спектр образца 15–471 включает три значимых возрастных популяции – неопротерозойская (840–710 млн лет, без контрастного максимума), кембрийско-ранне-ордовикская (530–460 млн лет с максимумом на 498 млн лет) и каменноугольно-пермская (380–280 млн лет с максимумом на 322 млн лет). Неопротерозойские цирконы составляют 14% от всех конкордантных значений, раннепалеозойские – 28%, а позднепалеозойские – 50%, также 5% приходится на древние цирконы с возрастными 2,7–1,8 млрд лет. Самое древнее зерно имеет возраст 2 718 млн лет, самое молодое – 282 млн лет.

В католюминесцентных лучах цирконы палеозойского возраста имеют четкую осцилляторную зональность, среди популяции неопротерозойского возраста встречаются незональные зерна с однородным или блоковым внутренним строением (рис. 5). Палеозойские цирконы, как правило, представлены хорошо ограненными зернами, зерна докембрийских цирконов часто хорошо окатаны. Th/U отношение для всех зерен лежит в диапазоне 0,2–1,56, в среднем составляя 0,73; каких-либо закономерных изменений Th/U отношения в разных популяциях не наблюдается. Результаты датирования приведены в таблице.

**Конкордантные ( $\pm 10\%$ ) U–Pb оценки возраста цирконов из пород балахонской серии Горловского прогиба, млн лет**

**Concordant (10%) U–Pb ages of zircon (Ma) from the rocks of the Balakhon Group from the Gorlovo basin**

№	Дискордантность, %	$\text{Pb}^{207}/\text{U}^{235}$ возраст	$\pm 2\sigma$	$\text{Pb}^{206}/\text{U}^{238}$ возраст	$\pm 2\sigma$	$\text{Pb}^{208}/\text{Th}^{232}$ возраст	$\pm 2\sigma$	$\text{Pb}^{206}/\text{Pb}^{207}$ возраст	$\pm 2\sigma$	U/Th
1	101	631	16	638,5	9,5	624	14	567	70	1,03
2	101	2741	16	2771	37	2798	70	2718	25	0,56
3	96	2244	32	2161	35	2050	120	2314	54	0,43
4	105	484	24	507	11	475	24	320	130	0,98
5	99	474	13	467,7	7,9	464	14	477	67	0,64
6	101	492	14	495,9	9	459	16	437	75	0,56
7	102	486	26	497	12	482	54	370	130	0,20
8	98	516	13	504	7,5	502	21	549	74	0,37
9	101	867	20	875	15	871	26	826	67	0,78
10	97	2321	17	2243	29	2206	38	2382	27	1,20
11	101	736	23	744	14	723	27	670	94	1,08
12	94	1104	15	1043	16	1079	39	1215	40	0,20

№	Дискордантность, %	$Pb^{207}/U^{235}$ возраст	$\pm 2\sigma$	$Pb^{206}/U^{238}$ возраст	$\pm 2\sigma$	$Pb^{208}/Th^{232}$ возраст	$\pm 2\sigma$	$Pb^{206}/Pb^{207}$ возраст	$\pm 2\sigma$	U/Th
13	95	323	19	306,8	7,1	320	22	350	140	0,55
14	90	385	12	347,2	5,8	393	16	562	89	0,66
15	93	372	35	345	11	344	26	380	210	1,13
16	99	482	15	478,7	8,1	455	19	452	80	0,57
17	104	329	19	341,2	7,3	319	18	200	140	0,81
18	101	521	26	527	10	519	49	430	140	0,26
19	100	309	18	307,5	6,3	309	15	250	130	1,04
20	97	1785	22	1736	28	1704	50	1839	50	0,76
21	97	504	22	490	10	481	21	500	120	1,05
22	108	457	41	494	15	450	66	210	210	0,31
23	100	834	25	833	16	809	22	806	92	1,56
24	93	359	17	335,2	6	364	19	430	110	0,56
25	102	332	9,7	340,2	5,9	336	9,5	277	71	0,91
26	98	314	17	306,2	7,3	313	16	300	130	1,03
27	101	313	15	316	6,6	311	11	250	120	1,26
28	100	483	26	485	10	475	35	390	140	0,51
29	98	331	18	325,4	8,2	343	18	320	140	1,02
30	103	336	16	346,8	6,8	346	17	220	110	0,75
31	98	333	29	325	10	333	33	260	190	0,64
32	101	493	23	496,1	8,7	485	19	400	120	0,96
33	94	341	15	321,2	5,9	339	17	430	110	0,63
34	98	351	12	345,3	6	366	13	344	89	0,72
35	103	308	13	316,1	5,5	321	10	220	110	1,02
36	100	312	11	312,6	5,3	310	14	265	90	0,57
37	90	394	24	352,9	8	371	20	560	150	1,30
38	99	760	26	754	13	734	31	720	110	0,90
39	92	390	20	357,2	7,6	362	20	500	130	0,65
40	99	385	18	380,6	8,1	396	24	340	120	0,44
41	104	806	26	837	16	845	34	670	98	0,81
42	95	297	19	281,9	6	307	18	310	150	0,69
43	100	483	18	482,1	8,2	475	24	432	96	0,40
44	98	343	17	337	6,6	339	14	320	120	1,20
45	102	815	28	828	15	794	42	730	100	0,66
46	97	737	39	712	17	696	44	710	150	0,82
47	93	374	15	346,8	6,6	333	13	490	100	0,80
48	93	377	19	349,1	6,5	380	27	460	130	0,37
49	99	344	11	341,2	4,7	331,9	8,7	321	83	1,07
50	96	351	21	338,3	6,7	355	28	330	150	0,47
51	97	369	17	357	6,1	366	16	390	120	1,08
52	98	744	32	726	15	716	32	720	130	1,37
53	100	500	12	499,8	6,1	500	20	464	68	0,34
54	90	361	13	323,4	5,3	339	11	555	95	0,90
55	99	328	16	325,1	7	315	14	290	120	0,78
56	102	458	16	466	7,5	458	16	371	89	0,67
57	99	382	15	379,9	7	397	21	340	100	0,47
58	95	340	20	321,7	7,1	326	22	390	140	0,68
59	99	521	14	514,5	7,8	495	15	509	68	0,43
60	97	507	16	493,6	9,4	497	21	532	88	0,71
61	95	348	15	332,2	6,5	327	15	390	110	0,65
62	99	319	19	317,2	7,3	319	16	270	140	0,79
63	99	324	19	320,7	7,3	322	16	270	140	0,76
64	95	480	21	457,1	9	464	26	520	110	0,54
65	93	354	13	330,2	6,7	347	15	475	95	0,74
66	103	794	32	814	18	831	47	680	120	0,59
67	103	313	22	322,2	8,6	329	27	200	160	0,54
68	98	328	16	320	6,9	345	21	320	120	0,47
69	99	359	12	355,3	6,5	347	11	340	83	0,85
70	101	320	13	322,3	7	318	14	273	97	0,47
71	101	498	13	500,8	7,6	493	16	452	63	0,42
72	100	498	12	496,5	8,7	498	15	470	65	0,66
73	102	487	26	496	10	533	43	380	130	0,31
74	100	323	13	324,4	6,1	323,9	9,7	280	100	1,23
75	98	512	19	504	10	525	27	500	100	0,58
76	101	555	33	559	14	557	48	450	150	0,33
77	98	788	24	773	15	766	31	782	95	0,79
78	98	804	21	786	13	776	27	810	82	0,76

15-471 Balakhon Group  
n=78/84 (discordance  $\leq 10\%$ )

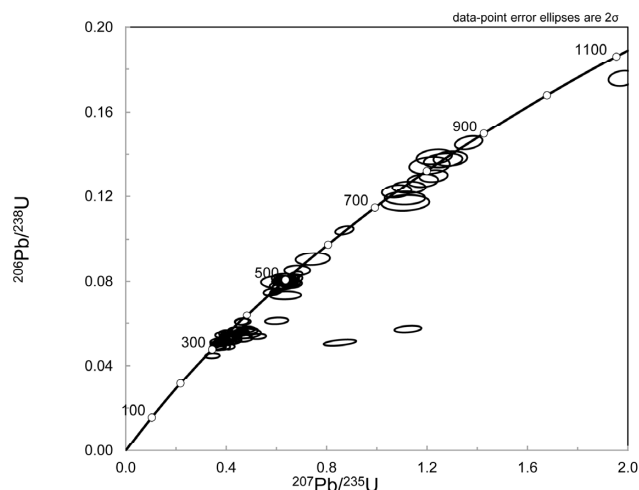
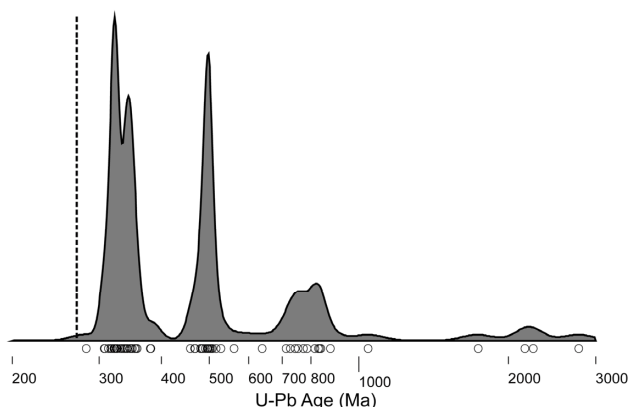


Рис. 4. U–Pb (< 1 млрд лет), Pb–Pb (> 1 млрд лет) кривые относительной вероятности возраста (слева) и диаграмма с конкордией (справа) для детритовых цирконов из песчаников балахонской серии

Fig. 4. U–Pb (<1 Ga) and Pb–Pb (>1 Ga) relative age probability curves (on the left) and concordia diagram (on the right) for detrital zircons from sandstones of the Balakhon Group



Рис. 5. Католюминесцентные изображения датированных цирконов различных возрастных популяций

Fig. 5. CL-images of the dated zircons, different age populations

Содержание Sm в породе составляет 4,30 ppm; Nd – 24,29 ppm;  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0,1071$ ;  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,5124$ ;  $\epsilon\text{Nd}(0) = -4,53$ ;  $\epsilon\text{Nd}(T) = -1,33$  (для возраста 280 млн лет). Неодимовый модельный возраст  $\text{TNd}(\text{DM})$  составляет 1066 млн лет, рассчитанный по двухстадийной модели  $\text{TNd}(\text{DM}-2\text{st}) = 1174$  млн лет.

### Обсуждение результатов

Результаты изучения возрастных спектров детритовых цирконов в песчаниках балахонской серии Горловского прогиба позволяют сделать выводы об источниках обломочного материала и возрасте главных магматических событий в пределах питающих провинций.

Первой особенностью возрастного спектра является крайне малое количество (5%) цирконов с возрастaми древнее 1 млрд лет, в том числе характерных для Сибирского кратона, популяций с возраста-

ми 1,9–1,7 млрд лет [Poller et al., 2005; Gladkochub et al., 2010; Letnikova et al., 2013].

Отсутствие в составе питающих провинций блоков древней континентальной коры также подтверждается результатами самарий-неодимовой систематики пород. Терригенные отложения Горловского прогиба имеют  $\text{T}(\text{DM})$  около 1,1–1,0 млрд лет. Подобные модельные возрасты являются типичными для осадочных, магматических и метаморфических пород западной части ACCO [Плотников и др., 2003; Kruk et al., 2010; Kruk, 2015]. Модельные возрасты ~ 1,2 млрд лет получены по верхнедевонским песчано-сланцевым породам такырской свиты Рудно-Алтайской складчатой системы [Плотников и др., 2003]. Такырская свита рассматривается как фациальный аналог верхнедевонских терригенных отложений КТСЗ. Учитывая, что крупных корообразующих событий этого возраста в регионе не выявлено, а цирконы с подобными возрастaми отсутствуют в



изученном образце песчаников, предполагаем, что модельный возраст отражает смещение относительно молодого источника, каким могли быть каледонские комплексы Салаирского кряжа и, возможно, герцинские островодужные комплексы фундамента Западно-Сибирской плиты с небольшим вкладом древнего источника, каким могли быть породы Сибирского континента. Относительно высокое для хорошо дифференцированных континентальных осадков значение  $\epsilon\text{Nd(T)}$  свидетельствует, что источником сноса служили ювенильные палеозойские магматические комплексы, а вклад пород древней континентальной коры был незначителен.

Поскольку магматические комплексы неопротерозойского возраста отсутствуют в пределах геологических структур, ограничивающих Горловский бассейн, можно предположить, что цирконы этого возраста рециклированы из раннепалеозойских толщ, накопление которых происходило вблизи неопротерозойских микроконтинентов. Первичным источником неопротерозойских цирконов могли служить микроконтиненты, входящие в состав фундамента Западно-Сибирской плиты, Алтае-Саянской складчатой области (Тувинно-Монгольский и Алтае-Монгольский) или Центрального Казахстана (Актау-Джунгарский, Улутаусский блоки), где данный возрастной рубеж проявлен достаточно широко [Kuzmichev et al., 2001; Salnikova et al., 2001; Kuzmichev, Larionov, 2013; Dmitrieva et al., 2016; Chen et al., 2015, 2016b].

Только одно зерно имеет возраст 638 млн лет. Отсутствие пика 630–600 млн лет, характерного для пород южной окраины Сибири [Glorie et al., 2014], указывает на то, что зона проявления эдиакарского аккреционного события на южной границе Сибирского кратона [Nozhkin et al., 2007] находилась вне территории источников сноса.

Большая часть детритовых цирконов образует два четко выраженных пика: раннепалеозойский (с максимумом ~ 500 млн лет) и позднепалеозойский (с максимумом ~ 320 млн лет).

Учитывая геологическое положение Горловского прогиба, на стыке раннепалеозойского Салаирского блока и КТСЗ, сложенной девон-карбонными осадочными отложениями, можно сделать вывод, что источником раннепалеозойских цирконов служили вулканические и субвулканические комплексы Салаира. Салаир сложен вулканическими и субвулканическими породами кембрия – раннего ордовика (печеркинская свита, зелено-фиолетовая формация), которые рассматриваются как комплексы ювенильных энсиматических островных дуг [Zonenshain et al., 1990; Берзин и др., 1994; Берзин и Кунгурцев, 1996; Бабин и др., 2014]. Наши данные подтверждают отсутствие в фундаменте Салаира блоков древней континентальной коры. Магматическая актив-

ность в области сноса укладывается в весьма узкий интервал 550–460 млн лет, при этом большая часть цирконов имеет возраст 510–480 млн лет, что, видимо, является временем наибольшей магматической активности на Салаире и соответствует времени формирования андезитов зелено-фиолетовой серии [Бабин и др., 2014]. Позднекембрийско-раннеордовикский рубеж гранитного магматизма имеет крайне широкое распространение в пределах АССО [Руднев и др., 2004; De Grave et al., 2011; Руднев 2013; Vrublevskii et al., 2016].

Между ранне- и позднепалеозойским пиками на возрастном спектре наблюдается разрыв, соответствующий возрастному интервалу 450–380 млн лет (поздний ордовик – ранний девон). По-видимому, в пределах питающих провинций Горловского бассейна данный возрастной интервал был амагматичным. В некотором противоречии с этим утверждением находятся данные о силурийском возрасте части гранитоидов Северного Салаира, образующих улантовский комплекс [Сотников и др., 1999; Росляков и др., 2001]. С нашей точки зрения, становление гранитов улантовского комплекса происходило после завершения орогенических процессов на Салаире и к моменту начала герцинского орогенеза они еще не были выведены на дневную поверхность. Возрастной рубеж в 380 млн лет соответствует началу бимодального вулканизма буготакского комплекса, образующего основание КТСЗ [Кунгурцев и др., 1998; Сотников и др., 1999; Язиков и др., 2015]. Магматические образования буготакского комплекса возникли в обстановке растяжения и, по-видимому, маркируют заложение позднепалеозойского морского бассейна, закрытие которого привело к формированию Горловского прогиба и покровной структуры КТСЗ.

Пустому интервалу на возрастном спектре детритовых цирконов соответствует крупный перерыв в осадочном разрезе сопредельных с Горловским бассейном районов. На Северном Салаире позднеордовикские и силурийские стратифицированные образования полностью отсутствуют, а раннедевонские распространены фрагментарно, слагая основание девонского карбонатно-терригенного чехла. В позднем ордовике – раннем девоне Северный Салаир находился в субплатформенном тектоническом режиме.

Наибольшее количество цирконов (50%) имеет позднепалеозойский возраст (380–282 млн лет), большая часть возрастов укладывается в интервал 350–300 млн лет. Позднепалеозойский пик имеет характерную асимметричную форму с очень резким ограничением в сторону омоложения возраста и более пологим «склоном» в направлении древних значений. Большая часть цирконов имеет возраст, крайне близкий ко времени накопления балахонской



серии. Эти особенности могут быть объяснены привнесением циркона из вулканических толщ, формировавшихся непосредственно до и во время накопления балахонской серии, а также высокой скоростью эксгумации гранитоидных тел в питающей провинции. Позднедевонско-карбоновые вулканические породы отсутствуют в составе обнаженной части КТСЗ и Салаира, но широко развиты в осевой части Обь-Зайсанской складчатой системы, комплексы которой обнажены в Восточном Казахстане и Рудном Алтае [Владимиров и др., 2001; Glorie et al., 2012], а также слагают фундамент Западно-Сибирской плиты к западу и северо-западу от КТСЗ [Исаев, 2009; Кунгурцев и др., 1998; Иванов и др., 2005; Ivanov et al., 2016]. Карбоновые вулканические толщи Восточного Казахстана рассматриваются как образования Рудно-Алтайской островодужной системы [Zonen-shain et al., 1990; Берзин, Кунгурцев, 1996].

Таким образом, в раннепермское время снос в Горловский прогиб происходил преимущественно с северо-запада, со стороны растущего орогена, сложенного магматическими комплексами островной дуги карбонового возраста. Весьма вероятно, что большая часть «салаирских» цирконов имеет рециклированную природу. Они могли поступить в Горловский прогиб также с северо-запада, в результате размытия позднедевонских – раннекарбоновых флишевых толщ КТСЗ, отлагавшихся на континентальной окраине северного Салаира.

## Выводы

Источники сноса для Горловского прогиба охватывали только сопредельные регионы – каледониды Салаирского кряжа и герциниды Обь-Зайсанской складчатой системы. Главной питающей провинцией для Горловского прогиба во время отложения балахонской серии служили вулканические образования карбона – ранней перми, в настоящее время перекрытые чехлом Западно-Сибирской плиты. Карбоновые вулканические комплексы широко распространены в составе фундамента юго-восточной части ЗСП и, вероятно, имеют островодужную природу.

В составе питающих провинций отсутствовали какие-либо блоки с раннедокембрийской континентальной корой, но присутствовали неопротерозойские террейны.

Во время накопления отложений балахонской серии в Горловском прогибе снос происходил преимущественно с северо-запада, с растущего коллизионного орогена Колывань-Томской тектонической зоны, что подтверждает интерпретацию Горловского прогиба в позднем карбоне – перми, как форландового бассейна.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, проект № 16-35-00010.*

## ЛИТЕРАТУРА

- Бабин Г.А., Черных А.И., Головина А.Г., Жигалов С.В., Долгушин С.С., Ветров Е.В., Кораблева Т.В., Бодина Н.А., Светлова Н.А., Федосеев Г.С., Хилько А.П., Епифанов В.А., Лоскутов Ю.И., Лоскутов И.Ю., Михаревич М.В., Пихутин Е.А. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Алтай-Саянская. Лист N-44. Новосибирск: Объяснительная записка. СПб., 2015. 181 с.
- Баянова Т.Б. Возраст реперных геологических комплексов Кольского региона и длительность процессов магматизма. СПб. : Наука, 2004. 173 с.
- Берзин Н.А., Колман Р.Г., Добрецов Н.Л., Зоненшайн Л.П., Сяо Сючань Чанг Э.З. Геодинамическая карта западной части Палеоазиатского океана // Геология и геофизика. 1994. Т. 35, № 7–8. С. 8–28.
- Берзин Н.А., Кунгурцев Л.В. Геодинамическая интерпретация геологических комплексов Алтае-Саянской области // Геология и геофизика. 1996. Т. 37, № 1. С. 63–81.
- Владимиров А.Г., Козлов М.С., Шокальский С.П., Халилов В.А., Руднев С.Н., Крук Н.Н., Выставной С.А., Борисов С.М., Березиков Ю.К., Мещнер А.Н., Бабин Г.А., Мамлин А.Н., Мурзин О.М., Назаров Г.В., Макаров В.А. Основные возрастные рубежи интрузивного магматизма Кузнецкого Алатау, Алтая и Калбы (по данным U–Pb изотопного датирования) // Геология и геофизика. 2001. Т. 42, № 8. С. 1157–1178.
- Врублевский В.А., Нагорный М.П., Рубцов А.Ф., Эрвье Ю.Ю. Геологическое строение области сопряжения Кузнецкого Алатау и Колывань-Томской складчатой зоны. Томск : Изд-во Том. ун-та, 1987. 96 с.
- Иванов К.С., Федоров Ю.Н., Ронкин Ю.Л., Ерохин Ю.В. Геохронологические исследования Западно-Сибирского нефтегазоносного мегабассейна; итоги 50 лет изучения // Литосфера. 2005. № 3. С. 117–135.
- Исаев Г.Д. Стратиграфия и геологическое строение палеозоя Томь-Колыванской структурно-фациальной зоны Западно-Сибирской плиты // Ученые записки Казанского государственного университета. 2009. Т. 151, кн. 3. С. 192–204.
- Казеннов А.И., Мисюк В.Д., Тимофеев В.А. Геологическое строение и полезные ископаемые юго-западной части Горловского каменноугольного бассейна и его обрамления. Отчет Горловской партии по результатам опытно-производственной групповой геологической съемки масштаба 1:50 000 площади листов N-44-59-B;-69-G;-70-A, Б, В;-81-A, Б;-82-A, проведенной в 1972–1978 гг. Новосибирск, 1978. ФБУ ТФГИ по СФО.
- Котельников А.Д., Максимов С.В., Котельников И.В., Макаренко Н.А., Субботин К.С. Объяснительная записка к листу N-44-XVIII (Черепаново) геологической карты Российской Федерации масштаба 1 : 200 000 (второе издание). 2008. 202 с.
- Кунгурцев Л.В., Федосеев Г.С., Широких В.А., Оболенский А.А., Сотников В.И., Борисенко А.С., Гимон В.О. Геодинамические комплексы и этапы развития Колывань-Томской складчатой зоны (Западная Сибирь) // Геология и геофизика. 1998. Т. 39, № 1. С. 26–37.

**Марус А.И., Музыка В.Н.** Атлас тектонических форм Горловского антрацитового бассейна. Отчет Шадринской партии по теме 5/2. Новосибирск, 1979. ФБУ ТФГИ по СФО.

**Матвеевская А.Л.** Герцинские прогибы Обь-Зайсанской геосинклинальной системы и ее обрамления. М.: Наука, 1969. 286 с.

**Плотников А.В., Крук Н.Н., Владимиров А.Г., Ковач В.П., Журавлев Д.З., Мороз Е.Н.** Sm–Nd изотопная систематика метаморфических пород западной части Алтае-Саянской складчатой области // Доклады РАН. 2003. Т. 388, № 2. С. 228–232.

**Росляков Н.А., Щербаков Ю.Г., Алабин Л.В., Нестеренко Г.В., Калинин Ю.А., Рослякова Н.В., Васильев И.П., Неволько А.И., Осинцев С.Р.** Минерагенция области сочленения Салаира и Колывань-Томской складчатой зоны. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 243 с.

**Руднев С.Н., Владимиров А.Г., Пономарчук В.А., Крук Н.Н., Бабин Г.А., Борисов С.М.** Раннепалеозойские гранитоидные батолиты Алтае-Саянской складчатой области (латерально-временная зональность и источники) // Доклады РАН. 2004. Т. 396, № 3. С. 369–373.

**Руднев С.Н.** Раннепалеозойский гранитоидный магматизм Алтае-Саянской складчатой области и Озерной зоны Западной Монголии. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013. 300 с.

**Сотников В.И., Федосеев Г.С., Кунгурцев Л.В., Борисенко А.С., Оболенский А.А., Васильев И.П., Гимон В.О.** Геодинамика, магматизм и металлогения Колывань-Томской складчатой зоны. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999. 227 с.

**Языков А.Ю., Изох Н.Г., Широких В.А., Кутюлин В.А.** О возрасте буготакской свиты Колывань-Томской складчатой зоны по палеонтологическим данным // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2015. Т. 5. С. 212–216.

**Beaumont C., Keen C.E., Boutilier R.** A comparison of foreland and rift margin sedimentary basins // Philosophical Transactions of the Royal Society of London. 1982. V. 305. P. 295–317.

**Chen Y., Zhang Z., Li K., Yu K., Yu H., Wu T.** Detrital zircon U–Pb ages and Hf isotopes of Permo–Carboniferous sandstones in central Inner Mongolia, China: Implications for provenance and tectonic evolution of the southeastern Central Asian Orogenic Belt // Tectonophysics. 2016a. V. 671. P. 183–201.

**Chen M., Sun M., Cai K., Buslov M.M., Zhao G., Rubanova E.S., Voytishek E.E.** Detrital zircon record of the early Paleozoic meta-sedimentary rocks in Russian Altai: Implications on their provenance and the tectonic nature of the Altai–Mongolian terrane // Lithos. 2015. V. 233. P. 209–222.

**Chen M., Sun M., Cai K., Buslov M.M., Zhao G., Jiang Y., Rubanova E.S., Kulikova A.V., Voytishek E.E.** The early Paleozoic tectonic evolution of the Russian Altai: Implications from geochemical and detrital zircon U–Pb and Hf isotopic studies of meta-sedimentary complexes in the Charysh–Terekta–Ulagan–Sayan suture zone // Gondwana Research. 2016b. V. 34. P. 1–15.

**Choulet F., Cluzel D., Faure M., Lin W., Wang B., Chen Y., Wu F., Ji W.** New constraints on the pre-Permian continental crust growth of Central Asia (West Junggar, China) by U–Pb and Hf isotopic data from detrital zircon // Terra Nova. 2012. V. 24 (3). P. 189–198.

**Davies C., Allen M.B., Buslov M.M., Safonova I.Yu.** Deposition in the Kuznetsk Basin, Siberia: Insights into the Permian–Triassic transition and the Mesozoic evolution of Central Asia // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2010. V. 295 (1–2). P. 307–322.

**De Grave J., Glorie S., Zhimulev F.I., Buslov M.M., Elburg M., Vanhaecke F., Van den haute P.** Emplacement and exhumation of the Kuznetsk–Alatau basement (Siberia): implications for the tectonic evolution of the Central Asian Orogenic Belt and sediment supply to the Kuznetsk, Minusa and West Siberian Basins // Terra Nova. 2011. V. 23. P. 248–256.

**Dmitrieva N.V., Letnikova E.F., Shkol'nik S.I., Vishnevskaya I.A., Kanygina N.A., Nikolaeva M.S., Sharf I.V.** Neoproterozoic metavolcanosedimentary rocks of the Bozdak Group in southern Ulutau (Central Kazakhstan): isotope-geochemical and geochronological data // Russian Geology and Geophysics. 2016. V. 57 (11). P. 1551–1569.

**Geological map of Central Asia and Adjacent Areas**, scale 1 : 2 500 000 / ed. Tingdong Li, Daukeev S.Z., Kim B.C., Tomurtogoo O., Petrov O.V. Beijing: Geological Publishing House, 2008.

**Gladkochub D.P., Donskaya T.V., Wingate M.T.D., Mazukabzov A.M., Pisarevsky S.A., Sklyarov E.V., Stanevich A.M.** A one-billion-year gap in the Precambrian history of the southern Siberian Craton and the problem of the Transproterozoic supercontinent // American Journal of Science. 2010. V. 310. P. 812–825.

**Gladkochub D.P., Stanevich A.M., Mazukabzov A.M., Donskaya T.V., Motova Z.L., Kornilova T.A., Pisarevsky S.A., Nicoll G.** Early evolution of the Paleasian ocean: LA-ICP-MS dating of detrital zircon from Late Precambrian sequences of the southern margin of the Siberian craton // Russian Geology and Geophysics. 2013. V. 54 (10). P. 1150–1163.

**Glorie S., De Grave J., Buslov M.M., Zhimulev F.I., Izmer A., Elburg M.A., Ryabinin A.B., Vandoorne W., Vanhaecke F., Van den haute P.** Formation and Palaeozoic evolution of the Gorny-Altai – Altai-Mongolia suture zone (Siberia): zircon U/Pb constraints on its igneous record // Gondwana Research. 2011. V. 20 (2–3). P. 465–484.

**Glorie S., De Grave J., Delvaux D., Buslov M.M., Zhimulev F.I., Vanhaecke F., Elburg M.A., Van den haute P.** Tectonic history of the Irtysh shear zone (NE Kazakhstan): New constraints from zircon U/Pb dating, apatite fission track dating and paleostress analysis // Journal of Asian Earth sciences. 2012. V. 45. P. 138–149.

**Goldstein S.J., Jacobsen S.B.** Nd and Sr isotopic systematics of rivers water suspended material: implications for crustal evolution // Earth and Planetary Science Letters. 1988. V. 87. P. 249–265.

**Jackson S.E., Pearson N.J., Griffin W.L., Belousova E.A.** The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U–Pb zircon geochronology // Chemical Geology. 2004. V. 211. P. 47–69.

**Jacobsen S.B., Wasserburg G.J.** Sm–Nd evolution of chondrites and achondrites // Earth and Planetary Science Letters. 1984. V. 67. P. 137–150.

**Ivanov K.S., Erokhin Yu.V., Ponomarev V.S., Pogromskaya O.E., Berzin S.V.** Geological Structure of the Basement of Western and Eastern Parts of the West-Siberian Plain // International Journal of environmental and science education. 2016. V. 11 (14). P. 6409–6432.

**Keto L.S., Jacobsen S.B.** Nd and Sr isotopic variations of Early Paleozoic oceans // Earth and Planetary Science Letters. 1987. V. 84. P. 27–41.

**Kovach V., Degtyarev K., Tretyakov A., Kotov A.B., Tolmacheva E.V., Wang K., Chung S., Lee H., Jahn B.** Sources and provenance of the Neoproterozoic placer deposits of the Northern Kazakhstan: Implication for continental growth of the western Central Asian Orogenic Belt // Gondwana Research. 2016. DOI: 10.1016/j.gr.2016.09.012

- Kruk N.N.** Continental crust of Gorny Altai: stages of formation and evolution; indicative role of granitoids // *Russian Geology and Geophysics*. 2010. V. 56 (8). P. 1097–1113.
- Kruk N.N., Vladimirov A.G., Babin G.A., Shokalsky S.P., Sennikov N.V., Rudnev S.N., Volkova N.I., Kovach V.P., Serov P.A.** Continental crust in Gorny Altai: nature and composition of protoliths // *Russian Geology and Geophysics*. 2010. V. 51 (5). P. 431–446.
- Kuzmichev A.B., Bibikova E.V., Zhuravlev D.Z.** Neoproterozoic (~800 Ma) orogeny in the Tuva–Mongolia Massif (Siberia): island arc–continent collision at the northeast Rodinia margin // *Precambrian Research*. 2001. V. 110. P. 109–126.
- Kuzmichev A.B., Larionov A.N.** Neoproterozoic island arcs in East Sayan: duration of magmatism (from U–Pb zircon dating of volcanic clastics) // *Russian Geology and Geophysics*. 2013. V. 54. P. 34–43.
- Letnikova E.F., Kuznetsov A.B., Vishnevskaya I.A., Veshcheva S.V., Proshenkin A.I., Geng H.** The Vendian passive continental margin in the southern Siberian Craton: geochemical and isotopic (Sr, Sm–Nd) evidence and U–Pb dating of detrital zircons by the LA-ICP-MS method // *Russian Geology and Geophysics*. 2013. V. 54 (10). P. 1177–1194.
- Nozhkin A.D., Turkina O.M., Sovetov Yu.K., Travin A.V.** The Vendian accretionary event in the southwestern margin of the Siberian Craton // *Doklady Earth Sciences*. 2007. V. 415 (2). P. 869–873.
- Paton C., Hellstrom J., Paul B., Woodhead J., Hergt J.** Iolite: Freeware for the visualisation and processing of mass spectrometric data // *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. 2011. V. 26. P. 2508–2518.
- Pettijohn F.J., Potter P.E., Siever R.** Sands and sandstones. Springer, 1987. 553 p.
- Poller U., Gladkochub D., Donskaya T., Mazukabzov A., Sklyarov E., Todt W.** Multistage magmatic and metamorphic evolution in the Southern Siberian Craton: Archean and Paleoproterozoic zircon ages revealed by SHRIMP and TIMS // *Precambrian Research*. 2005. V. 136 (3–4). P. 353–368.
- Safonova I.Y., Maruyama S., Hirata T., Kon Y., Rino S.** LA ICP MS U–Pb ages of detrital zircons from Russia largest rivers: Implications for major granitoid events in Eurasia and global episodes of supercontinent formation // *Journal of Geodynamics*. 2010. V. 50. P. 134–153.
- Sal'nikova E.B., Kozakov I.K., Kotov A.B., Kröner A., Todt W., Bibikova E.V., Nutman A., Yakovleva S.Z., Kovach V.P.** Age of Palaeozoic granites and metamorphism in the Tuvino–Mongolian Massif of the Central Asian Mobile Belt: loss of a Precambrian microcontinent // *Precambrian Research*. 2001. V. 110. P. 143–164.
- Sláma J., Kosler J., Condon D.J., Crowley J.L., Gerdes A., Hanchar J.M., Horstwood M.S.A., Morris G.A., Nasdala L., Norberg N., Schaltegger U., Schoene B., Tubrett M.N., Whitehouse M.J.** Plesovice zircon – A new natural reference material for U–Pb and Hf isotopic microanalysis // *Chemical Geology*. 2008. V. 249. P. 1–35.
- Taylor S.R., McLennan S.M.** *The Continental Crust: Its Evolution and Composition*. Blackwell. London, 1985. 312 p.
- Vrublevskii V.V., Kotelnikov A.D., Rudnev S.N., Krupchatnikov V.I.** Evolution of the Paleozoic granitoid magmatism in the Kuznetsk Alatau: new geochemical and U–Pb (SHRIMP-II) isotope data // *Russian Geology and Geophysics*. 2016. V. 57 (2). P. 225–246.
- Wang C.Y., Campbell I.H., Stepanov A.S., Allen C.M., Burtsev I.N.** Growth rate of the preserved continental crust: II. Constraints from Hf and O isotopes in detrital zircons from Greater Russian Rivers // *Geochimica and Cosmochimica Acta*. 2011. V. 75. P. 1308–1345.
- Zonenshain L.P., Kuzmin M.I., Natapov L.M.** *Geology of the USSR: A plate tectonic synthesis* // American Geophysical Union. *Geodynamics Series Monograph*. 1990. V. 21. 242 p.

#### Авторы:

**Жимулев Федор Игоревич**, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией литогеодиники осадочных бассейнов Института геологии и минералогии им В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия. E-mail: zhimulev@igm.nsc.ru

**Гиллеспы Джек**, аспирант лаборатории тектоники, минеральных ресурсов и геологоразведки, факультет наук о Земле, Университет Аделаиды, Аделаида, Австралия.

**Глорие Стенн**, PhD, старший преподаватель лаборатории тектоники, минеральных ресурсов и геологоразведки, факультет наук о Земле, Университет Аделаиды, Аделаида, Австралия.

**Ветров Евгений Валерьевич**, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией региональной геологии, Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск, Россия.

**Борискина Валерия Игоревна**, инженер, лаборатория литогеодиники осадочных бассейнов, Институт геологии и минералогии им В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия.

**Караковский Евгений Анатольевич**, инженер лаборатории литогеодиники осадочных бассейнов, Институт геологии и минералогии им В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия.

**Де Граве Йохан**, PhD, профессор, заведующий лабораторией минералогии и петрологии, геологический факультет, Университет Гента, Гент, Бельгия.

*Geosphere Research*, 2017, 2, 33–48. DOI: 10.17223/25421379/3/3

F.I. Zhimulev<sup>1</sup>, J. Gillespie<sup>2</sup>, S. Glorie<sup>2</sup>, E.V. Vetrov<sup>3,1</sup>, V.I. Boriskina<sup>1</sup>, E.A. Karakovskiy<sup>1</sup>, J. De Grave<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian branch Russian Academy of Science, Novosibirsk, Russia*

<sup>2</sup>*Tectonics, Resources and Exploration (TraX), Department of Earth Sciences, University of Adelaide, Adelaide, Australia*

<sup>3</sup>*Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk, Russia*

<sup>4</sup>*Laboratory for Mineralogy and Petrology, Department of Geology, Ghent University, Ghent, Belgium*

#### THE AGE OF THE SOURCE PROVENANCE OF THE GORLOVO FORELAND BASIN: DETRITAL ZIRCON U/PB AGES OF BALAKHON GROUP SANDSTONES

The aim of this paper is determination the sources provinces and paleotectonic environments of the Gorlovo coal-bearing basin, located in the junction zone between Caledonian and Hercynian fold systems of the Altay-Sayan folded area. The Caledonian structures of

this region are represented by the Salair terrane, and the Hercynian structures are represented by the Kolyvan-Tomsk folded zones (KTFZ). The structural position, morphology, composition of sedimentary cover and the internal structure, indicates that the Gorlovo basin is a foreland basin. The tectonic evolution of the Gorlovo Basin is the result of the late Paleozoic collision processes, which led to the formation of the nappe structure of the KTFZ. The KTFZ is considered as an external, part of a larger Central-West Siberian fold system. The inner regions of Central-West Siberian fold system are hidden by the West Siberian Basin cover.

The sedimentary section of the Gorlovo basin includes two main units: - Late Devonian- Visean carbonate-terrigenous deposition, comparable with the same age deposits at the KTFZ and Salair region and terrigenous molasses covering interval Serpukhovian – Permian. The last unit has no analogs in the adjacent tectonic zones. The lower part of the molasses, the elbashin formation, accumulated in marine environments, the upper part, including the Balakhon and Kolchugin Groups, was formed under continental environments. Dating of detrital zircons from alluvial sandstones of the Upper Carboniferous-Lower Permian Balakhon Group are presented in the paper. 84 zircon grains were dated. 78 grains from them have discordance less than 10%, only these were used to construct diagrams of the relative probability of ages. Diagrams of the relative probability of ages (age spectra) for the analyzed samples were plotted at  $^{206}\text{Pb} / ^{238}\text{U}$  for grains less than 1 billion years old and  $^{207}\text{Pb} / ^{206}\text{Pb}$  for grains older than 1 billion years. The age range of sample 15–471 comprises three significant age population - Neoproterozoic (840–710 Ma without contrast maximum) Cambrian-Early Ordovician (530–460 Ma with a maximum at 498 Ma) and Carboniferous-Permian (380–280 Ma with a maximum at the 322 Ma). Neoproterozoic zircons represent 14% of concordant values, early Paleozoic – 28%, late Paleozoic – 50%, and 5% accounted for the ancient zircons with ages 2.7–1.8 billion years. The oldest grain has an age of 2718 Ma, the youngest - 282 Ma. At the CL-images Paleozoic zircons are clearly oscillatory zoning whereas in the Neoproterozoic population nonzonal grains with a uniform or bloc internal structure are occur. Paleozoic zircons, usually are represented by euhedral grains, the grains of Precambrian zircons are often well-rounded. Th / U ratio for all grains lies in the range of 0.2–1.56, averaging 0.73. There are no regular changes in the Th / U ratio in different populations are observed.

The neodymium model age  $T_{\text{DM}}$  of the studied sandstone is 1066 Ma, the age calculated from the two-stage model of  $T_{\text{DM}}$  ( $T_{\text{DM}} = 1174 \text{ Ma}$ ,  $\epsilon_{\text{Nd}}(T) = -1.33$ ). There are no any magmatic events were distinguished in this time at the study area. Zircons with similar ages are absent in the sandstone sample. So, model age can reflect the mixing of the relatively young juvenile crust, which could be the early Paleozoic deposits from Salair, with a small contribution of the ancient source which could be Siberian craton. Relatively high for enough mature continental sediment, the value of  $\epsilon_{\text{Nd}}(T)$  indicates that juvenile Paleozoic magmatic complexes were the main source for sediments, and contribution of the ancient continental crust was of the rocks was subordinate.

Our data confirm the absence in the basement of Salair terrane any ancient continental crust. Magmatic activity in the source province, lasted a very narrow range of 550–460 Ma, and majority of zircons have ages of 510–480 Ma. The last interval can be interpreted as a time of the main magmatic activity on the Salair and corresponds to the volcanic Green- Purple Group forming.

There are gap on the age spectrum between the early Paleozoic and late Paleozoic peaks. This gap lasted from 450 to 380 Ma (late Ordovician - Early Devonian). The age of 380 Ma, corresponds to the beginning of the bimodal volcanism of the Bugotak complex, which forms the base of the KTFZ. An empty interval in the age spectrum of detrital zircons corresponds to the major break in the sedimentary section of region. In the Late Ordovician – Early Devonian northern Salair was in the subplatform tectonic regime.

The largest number of zircons (50%) has late Paleozoic age (380–282 Ma), most of the ages are lie within the range of 350–300 Ma. Most of the zircons have ages very close to the time of accumulation of the Balakhon Group. This fact can be explained by the brining of zircon from volcanic deposits of the Carboniferous age, as well as the high rate of exhumation of granite intrusions in the source province. Late Devonian-Carboniferous volcanic rocks are absent at the KTFZ and Salair zones, but are widely developed in the axial part of the Ob-Zaisan fold system, its complexes are exposed in East Kazakhstan and Rudny Altai and follow in the basement of the West Siberian plate to the west and northwest of KTFZ. Thus, in the early Permian time, the sediment supply into the Gorlovo Basin occurred predominantly from the northwest, from the growing orogen, composed of magmatic complexes of the accreted Carboniferous island arc. These data confirm the interpretation of the Gorlovo Basin in the late Carboniferous – Permian, as a foreland basin.

**Keywords:** U/Pb geochronology, Western Siberia, zircon, foreland basin, molasses.

## REFERENCES

- Babin G.A., Chernykh A.I., Golovina A.G., Zhigalov S.V., Dolgushin S.S., Vetrov Ye.V., Korableva T.V., Bodina N.A., Svetlova N.A., Fedoseyev G.S., Khil'ko A.P., Yepifanov V.A., Loskutov YU.I., Loskutov I.YU., Mikharevich M.V., Pikhutin Ye.A. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1: 1 000 000 (tret'ye pokoleniye). Seriya Altaye-Sayanskaya. List N-44-Novosibirsk: Ob'yasnitel'naya zapiska*. [State geological map of the Russian Federation. Scale 1: 1 000 000 (third generation). The Altai-Sayan series. Sheet N-44-Novosibirsk: Explanatory note]. St-Petersburg, 2015. 181 p. In Russian
- Bayanova T. B. *Vozrast repornykh geologicheskikh kompleksov Kol'skogo regiona i dlitel'nost' protsessov magmatizma* [Age of the geological complexes of the Kola region and the duration of magmatism processes]. St-Petersburg: Nauka, 2004. 173 p. In Russian
- Belyaev V.I., Nechaev V.V. *Ob'yasnitel'naya zapiska k listu N-45-VIII (Toguchin) geologicheskoy karty Rossiyskoy Federatsii, masshtab 1: 200 000 (vtoroye izdaniye)* [Explanatory note to the sheet N-45-VIII (Toguchin) of the geological map of the Russian Federation, scale 1: 200 000 (second edition)] 1999. 135 p. In Russian
- Berzin N.A., Coleman R.G., Dobretsov N.L., Zonenshayn L.P., Xiao Xuchan Chang EZ. Geodynamic map of the western part of the Paleo-Asiatic ocean // *Geology and geophysics*. 1994. T. 35. № 7–8. pp. 8–28. In Russian
- Berzin N.A., Kungurtsev L.V. Geodynamic interpretation of geological complexes of the Altai-Sayan region // *Geology and geophysics*. 1996. T. 37. № 1. pp. 63–81. In Russian
- Vladimirov A.G., Kozlov M.S., Shokal'skiy S.P., Khalilov V.A., Rudnev S.N., Kruk N.N., Vystavnoy S.A., Borisov S.M., Berezikov Yu.K., Metsner A.N., Babin G.A., Mamlin A.N., Murzin O.M., Nazarov G.V., Makarov V.A. *Osnovnyye vozrastnyye rubezhi intruzivnogo magmatizma Kuznetskogo Alatau, Altaya i Kalby (po dannym U-Pb izotopnogo datirovaniya)* [The main age boundaries of intrusive magmatism Kuznetsk Alatau, Altai and Kalba (according to U-Pb isotope dating)] // *Geology and Geophysics*. 2001. T. 42 (8). pp. 1157–1178. In Russian

- Vrublevskiy V.A., Nagorniy M.P., Rubtsov A.F., Erv'ye Y.U. *Geologicheskoye stroyeniye oblasti sopryazheniya Kuznetskogo Alatau i Kolyvan'-Tomskoy skladchatoy zony* [Geological structure of the conjugation domain of the Kuznetsk Alatau and Kolyvan-Tomsk folded zone] Tomsk: Izd-vo Tomsk un-ta, 1987. 96 p. In Russian
- Ivanov K.S., Fedorov Yu.N., Ronkin Yu.L., Yerokhin Yu.V. *Geokhronologicheskoye issledovaniye Zapadno-Sibirskogo neftegazonosnogo megabasseyana; 50 let izucheniya* [Geochronological studies of the West Siberian oil and gas-bearing megabasin; Results of 50 years of study] // *Lithosphere*. 2005. № 3. pp. 117–135. In Russian
- Isayev G.D. *Stratigrafiya i geologicheskoye stroyeniye paleozoya Tom'-Kolyvanskoy strukturno-fatsial'noy zony Zapadno-Sibirskoy plity* [Stratigraphy and Geological Model of Paleozoic of Tom'-Kolyvanskaya Structural-Facial Zone of the West Siberian Plate] // *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennyye Nauki*. 2009. V. 151 (3). pp. 192–204. In Russian
- Kazenov A.I., Misyuk V.D., Timofeyev V.A. *Geologicheskoye stroyeniye i poleznye iskopyemyye yugo-zapadnyye chasti Gorlovskogo kamennougol'nogo basseyana i yego obramleniya. Otchet Gorlovskoy partii po rezul'tatam opytno-proizvodstvennoy gruppovoy geologicheskoy s"yemki 1:50 000 kvadratnykh listov N-44-59-B; -69-G; -70-A, B, V; -81-A, B; -82- A, provedennoy v 1972-1978 gg.* [The geological structure and minerals of the southwestern part of the Gorlovsky Coal Basin and its surroundings. Report of the Gorlovka Party on the results of a pilot production group geological survey of a scale of 1:50 000 of the area of sheets N-44-59-B; -69-G; -70-A; B, B; -81-A, B; -82- A, held in 1972–1978]. Novosibirsk, 1978. FBU TFGI on the Siberian Federal District. 312 p. In Russian
- Kotel'nikov A.D., Maksimov S.V., Kotel'nikov I.V., Makarenko N.A., Subbotin K.S. *Ob"yasnitel'naya zapiska k listu N-44-XVIII (Cherepanovo) geologicheskoy karty Rossiyskoy Federatsii, masshtab 1: 200 000 (vtoroye izdaniye)*, [Explanatory note to the sheet N-44-XVIII (Cherepanovo) of the geological map of the Russian Federation, scale 1 : 200 000 (second edition)] 2008. 202 p. In Russian
- Kungurtsev L.V., Fedoseyev G.S., Shirokikh V.A., Obolenskiy A.A., Sotnikov V.I., Borisenko A.S., Gimov V.O. *Geodinamicheskiye komplekсы i etapy razvitiya Kolyvan'-Tomskoy skladchatoy zony (Zapadnaya Sibir')* [Geodynamic complexes and development stages of the Kolyvan-Tomsk fold zone (Western Siberia)] // *Geology and geophysics*. 1998. V. 39. (1). pp. 26–37. In Russian
- Marus A.I., Muzyka V.N. *Atlas tektonicheskikh form Gorlovskogo antratsitovogo basseyana. Otchet Shadrinskoy partii po teme 5/2.* [Atlas of tectonic forms of the Gorlovo anthracite basin. Report of the Shadrin party on the topic 5/2]. Novosibirsk, 1979. FBU TFGI in the Siberian Federal District 86 p. In Russian
- Matveyevskaya A.L. *Gertsinskiye progiby Ob'-Zaysanskoy geosinklinal'noy sistemy i yeye obramleniya* [Hercynian deflections of the Ob-Zaisan geosynclinal system and its framing]. Moscow: Nauka, 1969. 286 p. In Russian
- Plotnikov A.V., Kruk N.N., Vladimirov A.G., Kovach V.P., Zhuravlev D.Z., Moroz Ye. N. *Sm-Nd izotopnaya sistematika metamorficheskikh zheleznykh chastey Altaye-Sayanskoy skladchatoy oblasti* [Sm-Nd isotopic systematic of metamorphic rocks of the western part of the Altai-Sayan folded region] // *Doklady RAS*. 2003. V. 388. № 2. pp. 228–232. In Russian
- Roslyakov N.A., Shcherbakov Yu.G., Alabin L.V., Nesterenko G.V., Kalinin Yu. A., Roslyakova N.V., Vasil'yev I.P., Nevol'ko A.I., Osintsev S.R. *Minerageniya oblasti sochleneniya Salaira i Kolyvan'-Tomskoy skladchatoy zony* [Mineragenia of the junction area of Salair and Kolyvan-Tomsk folded zone] Novosibirsk: SB RAS publishing, 2001. 243 p. In Russian
- Rudnev S.N. *Rannepaleozoyskiy granitoidnyy magmatizm Altaye-Sayanskoy skladchatoy oblasti i Ozeronoy zony Zapadnoy Mongolii* [Early Paleozoic granitoid magmatism of the Altai-Sayan folded region and the Lake Zone of Western Mongolia. Novosibirsk] Novosibirsk: SB RAS publishing, 2013. 300 p. In Russian
- Rudnev S.N., Vladimirov A.G., Ponomarchuk V.A., Kruk N.N., Babin G.A., Borisov S.M. *Rannepaleozoyskiye granitoidnyye batolity Altaye-Sayanskoy skladchatoy oblasti (lateral'no-vremennaya zonal'nost' i istochniki)* [Early Paleozoic granitoid batholiths of the Altai-Sayan folded region (lateral-temporal zoning and sources)] // *Doklady RAS*. 2004. V. 396 (3). pp. 369–373. In Russian
- Yazikov A.Yu. Izokh N.G., Shirokikh V.A., Kutolin V.A. *O vozraste bugotakskoy svity Kolyvan'-Tomskoy skladchatoy zony po paleontologicheskim dannym* [About the age of the Bugotak Formation of Kolyvan-Tomsk folded zone according to paleontological data] // *Interexpo Geo-Sibir*. 2015. V. 5, pp. 212–216 In Russian
- Beaumont C., Keen C.E., Boutilier R.A. comparison of foreland and rift margin sedimentary basins // *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. 1982. V. 305. pp. 295–317.
- Chen Y., Zhang Z., Li K., Yu K., Yu H., Wu T. Detrital zircon U–Pb ages and Hf isotopes of Permo-Carboniferous sandstones in central Inner Mongolia, China: Implications for provenance and tectonic evolution of the southeastern Central Asian Orogenic Belt // *Tectonophysics*. 2016. V. 671. pp. 183–201.
- Chen M., Sun M., Cai K., Buslov M. M., Zhao G., Rubanova E. S., Voytishek E. E., Detrital zircon record of the early Paleozoic meta-sedimentary rocks in Russian Altai: Implications on their provenance and the tectonic nature of the Altai–Mongolian terrane // *Lithos*. 2015. V. 233. pp. 209–222.
- Chen M., Sun M., Cai K., Buslov M. M., Zhao G., Jiang Y., Rubanova E. S., Kulikova A. V., Voytishek E. E., The early Paleozoic tectonic evolution of the Russian Altai: Implications from geochemical and detrital zircon U–Pb and Hf isotopic studies of meta-sedimentary complexes in the Charysh–Terekta–Ulagan–Sayan suture zone // *Gondwana Research*. 2016. V. 34 pp. 1–15.
- Choulet F., Cluzel D., Faure M., Lin W., Wang B., Chen Y., Wu F., Ji W. New constraints on the pre-Permian continental crust growth of Central Asia (West Junggar, China) by U–Pb and Hf isotopic data from detrital zircon // *Terra Nova*. 2012. V. 24(3). pp. 189–198.
- Davies C., Allen M.B., Buslov M.M., Safonova I.Yu. Deposition in the Kuznetsk Basin, Siberia: Insights into the Permian–Triassic transition and the Mesozoic evolution of Central Asia // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2010. V. 295(1–2). pp. 307–322.
- De Grave J., Glorie S., Zhimulev F.I., Buslov M.M., Elburg M., Vanhaecke F., Van den haute P. Emplacement and exhumation of the Kuznetsk-Alatau basement (Siberia): implications for the tectonic evolution of the Central Asian Orogenic Belt and sediment supply to the Kuznetsk, Minusa and West Siberian Basins // *Terra Nova*, 2011. V. 23. pp. 248–256.
- Dmitrieva N.V., Letnikova E.F., Shkol'nik S.I., Vishnevskaya I.A., Kanygina N.A., Nikolaeva M.S., Sharf I.V. Neoproterozoic metavolcanosedimentary rocks of the Bozdak Group in southern Ulutau (Central Kazakhstan): isotope-geochemical and geochronological data // *Russian Geology and Geophysics*. 2016 V. 57 (11). pp. 1551–1569.



- Geological map of Central Asia and Adjacent Areas, scale 1 : 2 500 000, Ed. Tingdong Li, Daukeev S.Z., Kim B.C., Tomurtogoo O., Petrov O.V. Geological Publishing House, Beijing, 2008.
- Gladkochub D.P., Donskaya T.V., Wingate M.T.D., Mazukabzov A.M., Pisarevsky S.A., Sklyarov E.V., Stanevich A.M., A one-billion-year gap in the Precambrian history of the southern Siberian Craton and the problem of the Transproterozoic supercontinent // *American Journal of Science*. 2010. V. 310. pp. 812–825.
- Gladkochub D.P., Stanevich A.M., Mazukabzov A.M., Donskaya T.V., Motova Z.L., Kornilova T.A., Pisarevsky S.A., Nicoll G. Early evolution of the Paleasian ocean: LA-ICP-MS dating of detrital zircon from Late Precambrian sequences of the southern margin of the Siberian craton // *Russian Geology and Geophysics*. 2013. V. 54 (10). pp. 1150–1163.
- Glorie S., De Grave J., Buslov M.M., Zhimulev F.I., Izmer A., Elburg M.A., Ryabinin A.B., Vandoorne W., Vanhaeke F., Van den haute P., Formation and Palaeozoic evolution of the Gorny-Altai – Altai-Mongolia suture zone (Siberia): zircon U/Pb constraints on its igneous record // *Gondwana Research* 2011. V. 20 (2 – 3). pp. 465–484.
- Glorie S., De Grave J., Delvaux D., Buslov M.M., Zhimulev F.I., Vanhaecke F., Elburg M.A., Van den haute P., Tectonic history of the Irtysh shear zone (NE Kazakhstan): New constraints from zircon U/Pb dating, apatite fission track dating and paleostress analysis // *Journal of Asian Earth sciences*. 2012. V. 45. pp. 138–149.
- Glorie S., De Grave J., Buslov M.M., Zhimulev F.I., Safonova I.Yu., Detrital zircon provenance of early Palaeozoic sediments at the southwestern margin of the Siberian Craton: Insights from U–Pb geochronology // *Journal of Asian Earth Sciences*. 2014. V. 82. pp. 115–123.
- Goldstein S.J., Jacobsen S.B., Nd and Sr isotopic systematics of rivers water suspended material: implications for crustal evolution // *Earth and Planetary Science Letters*. 1988. V. 87. pp. 249–265.
- Jackson S.E., Pearson N.J., Griffin W.L., Belousova E.A. The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U-Pb zircon geochronology // *Chemical Geology*. 2004. V. 211. pp. 47–69.
- Jacobsen S.B., Wasserburg G.J. Sm-Nd evolution of chondrites and achondrites // *Earth and Planetary Science Letters*. 1984. V. 67. pp. 137–150.
- Ivanov K.S., Erokhin Yu.V., Ponomarev V.S., Pogromskaya O.E., Berzin S.V. Geological Structure of the Basement of Western and Eastern Parts of the West-Siberian Plain // *International Journal of environmental and science education*. 2016. V. 11(14). pp. 6409–6432.
- Keto L.S., Jacobsen S.B. Nd and Sr isotopic variations of Early Paleozoic oceans // *Earth and Planetary Science Letters*. 1987. V. 84. pp. 27–41.
- Kovach V., Degtyarev K., Tretyakov A., Kotov A. B., Tolmacheva E. V., Wang K., Chung S., Lee H., Jahn B. Sources and provenance of the Neoproterozoic placer deposits of the Northern Kazakhstan: Implication for continental growth of the western Central Asian Orogenic Belt // *Gondwana Research*. 2016. DOI: 10.1016/j.gr.2016.09.012
- Kruk N. N. Continental crust of Gorny Altai: stages of formation and evolution; indicative role of granitoids // *Russian Geology and Geophysics*. V. 56 (8). pp. 1097–1113.
- Kruk N.N., Vladimirov A.G., Babin G.A., Shokalsky S.P., Sennikov N.V., Rudnev S.N., Volkova N.I., Kovach V.P., Serov P.A. Continental crust in Gorny Altai: nature and composition of protoliths // *Russian Geology and Geophysics*, 2010, V. 51(5), pp. 431–446.
- Kuzmichev A.B., Bibikova E.V., Zhuravlev D.Z. Neoproterozoic (~800 Ma) orogeny in the Tuva–Mongolia Massif (Siberia): island arc–continent collision at the northeast Rodinia margin // *Precambrian Research*. 2001. V. 110. pp. 109–126.
- Kuzmichev A.B., Larionov A.N., 2013. Neoproterozoic island arcs in East Sayan: duration of magmatism (from U–Pb zircon dating of volcanic clastics) // *Russian Geology and Geophysics*. V. 54. pp. 34–43.
- Letnikova E.F., Kuznetsov A.B., Vishnevskaya I.A., Veshcheva S.V., Proshenkin A.I., Geng H. The Vendian passive continental margin in the southern Siberian Craton: geochemical and isotopic (Sr, Sm–Nd) evidence and U–Pb dating of detrital zircons by the LA-ICP-MS method // *Russian Geology and Geophysics*. V. 54 (10). pp. 1177–1194.
- Nozhkin A.D., Turkina O.M., Sovetov Yu.K., Travin A.V. The Vendian accretionary event in the southwestern margin of the Siberian Craton // *Doklady Earth Sciences*. 2007. V. 415 (2). pp. 869–873.
- Paton C., Hellstrom J., Paul B., Woodhead J., Hergt J. Iolite: Freeware for the visualisation and processing of mass spectrometric data // *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. 2011. V. 26. pp. 2508–2518.
- Pettijohn F. J., Potter P. E., Siever R. Sands and sandstones. Springer, 1987, 553 p.
- Poller U., Gladkochub D., Donskaya T., Mazukabzov A., Sklyarov E., Todt W. Multistage magmatic and metamorphic evolution in the Southern Siberian Craton: Archean and Paleoproterozoic zircon ages revealed by SHRIMP and TIMS // *Precambrian Research*. 2005. V. 136(3–4). pp. 353–368.
- Safonova I.Y., Maruyama S., Hirata T., Kon Y., Rino S. LA ICP MS U-Pb ages of detrital zircons from Russia largest rivers: Implications for major granitoid events in Eurasia and global episodes of supercontinent formation // *Journal of Geodynamics* 2010. V. 50. pp. 134–153.
- Sal'nikova E.B., Kozakov I.K., Kotov A.B., Kröner A., Todt W., Bibikova E.V., Nutman A., Yakovleva S.Z., Kovach V.P., Age of Palaeozoic granites and metamorphism in the Tuvino-Mongolian Massif of the Central Asian Mobile Belt: loss of a Precambrian microcontinent // *Precambrian Research*. 2001. V. 110. pp. 143–164.
- Sláma J., Kosler J., Condon D.J., Crowley J.L., Gerdes A., Hanchar J.M., Horstwood M.S.A., Morris G.A., Nasdala L., Norberg N., Schaltegger U., Schoene B., Tubrett M.N., Whitehouse M.J. Plesovice zircon - A new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis // *Chemical Geology*. 2008. V. 249. pp. 1–35.
- Taylor S.R., McLennan S.M. The Continental Crust: Its Evolution and Composition. Blackwell. London: 1985. 312 p.
- Vrublevskii V.V., Kotelnikov A.D., Rudnev S.N., Krupchatnikov V.I. Evolution of the Paleozoic granitoid magmatism in the Kuznetsk Alatau: new geochemical and U-Pb (SHRIMP-II) isotope data // *Russian Geology and Geophysics*. 2016. V. 57 (2). pp. 225–246.
- Wang C.Y., Campbell I.H., Stepanov A.S., Allen C.M., Burtsev I.N. Growth rate of the preserved continental crust: II. Constraints from Hf and O isotopes in detrital zircons from Greater Russian Rivers // *Geochimica and Cosmochimica Acta*. 2011. V. 75. pp. 1308–1345.

Zonenshain L.P., Kuzmin M.I., Natapov L.M. Geology of the USSR: A plate tectonic synthesis. American Geophysical Union. Geodynamics Series Monograph. 1990. V. 21. 242 p.

**Author's:**

**Zhimulev Fedor I.**, Cand.Sci. (Geol.-Miner.), Head of the Laboratory Lithogeodynamics of Sedimentary Basins, The V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of the Russian Academy of Sciences (IGM SB RAS), Novosibirsk, Russia.

E-mail: zhimulev@igm.nsc.ru

**Gillespie Jack A.**, PhD-student, Tectonics, Resources and Exploration (TraX), Department of Earth Sciences, University of Adelaide, Adelaide, Australia

**Glorie Stijn.** PhD, Senior Lecturer, Tectonics, Resources and Exploration (TraX), Department of Earth Sciences, University of Adelaide, Adelaide, Australia

**Vetrov Evgeniy V.**, Cand.Sci. (Geol.-Miner.), Head of the Laboratory Regional Geology, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk, Russia

**Boriskina Valeria I.**, MSs, Laboratory Lithogeodynamics of Sedimentary Basins, The V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of the Russian Academy of Sciences (IGM SB RAS), Novosibirsk, Russia

**Karakovskiy Evgeniy A.**, MSs, Laboratory Lithogeodynamics of Sedimentary Basins, The V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of the Russian Academy of Sciences (IGM SB RAS), Novosibirsk, Russia

**De Grave Johan**, PhD, Professor, Head of the Laboratory for Mineralogy and Petrology, Department of Geology, Ghent University, Ghent, Belgium