

СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА

Основан в январе 1960	Периодичность 12 раз в год	Том 55, № 11	Ноябрь 2014
--------------------------	-------------------------------	--------------	----------------

СОДЕРЖАНИЕ

*ПЕТРОЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ*

- Туркина О.М., Сергеев С.А., Капитонов И.Н.** U-Pb возраст и Lu-Hf изотопные характеристики детритовых цирконов из метаосадков Онотского зеленокаменного пояса (*Шарыжалгайский выступ, юг Сибирского кратона*)..... 1581
- Врублевский В.В., Гертнер И.Ф., Гутьерес-Алонсо Г., Хофманн М., Гринев О.М., Тишин П.А.** Изотопная (U-Pb, Sm-Nd, Rb-Sr) геохронология щелочно-базитовых плутонов Кузнецкого Алатау ..... 1598
- Донская Т.В., Гладкочуб Д.П., Шохонова М.Н., Мазукабзов А.М.** Особенности составов и источники расплавов позднепалеопротерозойских базитов Северного Прибайкалья..... 1615
- Копылова Ю.Г., Гусева Н.В., Аракчаа К.Д., Хвощевская А.А.** Геохимия углекислых вод природного комплекса Чойган (*северо-восток Тувы*)..... 1635
- Арбузов С.И., Волостнов А.В., Машенькин В.С., Межибор А.М.** Скандий в углях Северной Азии (*Сибирь, российский Дальний Восток, Монголия, Казахстан*) ..... 1649

*ГЕОЛОГИЯ НЕФТИ И ГАЗА*

- Сафронов А.Ф., Чалая О.Н., Зуева И.Н., Александров А.Р.** Естественный выход нефти в пойме р. Амга (*Сибирская платформа*) ..... 1661

*ГЕОФИЗИКА*

- Колмаков Ю.В.** Золото-сульфидное месторождение Благодатное (*Енисейский край, Россия*): природа геофизических аномалий, последовательность и причины образования петрофизической зональности..... 1667
- Кожевников Н.О., Антонов Е.Ю., Камнев Я.К., Оленченко В.В., Плотников А.Е., Стефаненко С.М., Шеин А.Н.** Влияние обсаженной скважины на индукционные переходные характеристики ..... 1682
- Могилатов В.С., Злобинский А.В.** Свойства кругового электрического диполя как источника поля для электроразведки ..... 1692
- Иванченко В.С., Глухих И.И., Строкина Л.Г., Алешин К.Б., Рудницкий В.Ф.** Магнитоакустическая эмиссия природных пирротинов ..... 1701

SIBERIAN BRANCH  
RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES  
SCIENTIFIC JOURNAL  
GEOLOGIYA I GEOFIZIKA

Founded in January 1960	Monthly	Vol. 55, № 11	November 2014
----------------------------	---------	---------------	------------------

## CONTENTS

### *PETROLOGY, GEOCHEMISTRY, AND MINERALOGY*

- Turkina O.M., Sergeev S.A., and Kapitonov I.N.** The U–Pb age and Lu–Hf isotope composition of detrital zircon from the metasedimentary rocks of the Onot greenstone belt (*Sharyzhalgay uplift, southern Siberian craton*) ..... 1581
- Vrublevskii V.V., Gertner I.F., Gutiérrez-Alonso G., Hofmann M., Grinev O.M., and Tishin P.A.** Isotope (U–Pb, Sm–Nd, Rb–Sr) geochronology of alkali-basic plutons of the Kuznetsk Alatau ..... 1598
- Donskaya T.V., Gladkochub D.P., Shokhonova M.N., and Mazukabzov A.M.** Late Paleoproterozoic basites of northern Baikal area: composition and melt sources ..... 1615
- Kopylova Yu.G., Guseva N.V., Arakchaa K.D., and Khvashchevskaya A.A.** Geochemistry of carbon dioxide mineral waters of the Choigan natural complex (*northeastern Tuva*)..... 1635
- Arbuzov S.I., Volostnov A.V., Mashen'kin V.S., and Mezhibor A.M.** Scandium in the coals of Northern Asia (*Siberia, the Russian Far East, Mongolia, and Kazakhstan*) ..... 1649

### *OIL AND GAS GEOLOGY*

- Safronov A.F., Chalaya O.N., Zueva I.N., and Aleksandrov A.R.** A natural oil seep in the floodplain of the Amga River (*Siberian Platform*)..... 1661

### *GEOPHYSICS*

- Kolmakov Yu.V.** The Blagodatnoe gold–sulfide deposit (*Yenisei Ridge, Russia*): the nature of geophysical anomalies and the succession and causes of formation of petrophysical zoning ..... 1667
- Kozhevnikov N.O., Antonov E.Yu., Kamnev Ya.K., Olenchenko V.V., Plotnikov A.E., Stefanenko S.M., and Shein A.N.** Effects of borehole casing on TEM response ..... 1682
- Mogilatov V.S. and Zlobinsky A.V.** A circular electric dipole: a transmitter for TEM surveys .... 1692
- Ivanchenko V.S., Glukhikh I.I., Strokina L.G., Aleshin K.B., and Rudnitskii V.F.** Magnetoacoustic emission of natural pyrrhotite ..... 1701

SIBERIAN BRANCH OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES  
NOVOSIBIRSK

© Сибирское отделение РАН, 2014  
© ИГМ СО РАН, 2014  
© ИНГ СО РАН, 2014

ПЕТРОЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ

**U-Pb ВОЗРАСТ И Lu-Hf ИЗОТОПНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕТРИТОВЫХ ЦИРКОНОВ  
ИЗ МЕТАОСАДКОВ ОНОТСКОГО ЗЕЛЕНОКАМЕННОГО ПОЯСА  
(Шарыжалгайский выступ, юг Сибирского крата)**

**О.М. Туркина<sup>1,2</sup>, С.А. Сергеев<sup>3,4</sup>, И.Н. Капитонов<sup>3,4</sup>**

<sup>1</sup> Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН,  
630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия

<sup>2</sup> Новосибирский национальный исследовательский университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2, Россия

<sup>3</sup> Центр изотопных исследований, Всероссийский научно-исследовательский институт им. А.П. Карпинского,  
199106, Санкт-Петербург, Средний просп., 74, Россия

<sup>4</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, геологический факультет,  
199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9, Россия

Приведены результаты изучения состава метаосадочных пород из зеленокаменного пояса Онотского блока (Шарыжалгайский выступ), U-Pb датирования (SHRIMP-II) и Lu-Hf изотопного исследования детритового циркона из гранат-ставролитовых сланцев. Среди метаосадочных пород Онотского зеленокаменного пояса доминируют гранат- и ставролитсодержащие сланцы, перемежающиеся в верхней части разреза с амфиболитами (метабазальтами). Протолиты этих пород по петрохимическому составу соответствуют ряду от алевролитов до пелитовых аргиллитов. Редкоэлементные характеристики гранат-ставролитовых сланцев свидетельствуют о формировании терригенного материала при эрозии трех различных групп пород: плагиогнейсов тоналит-трондjemитового состава (повышенные Gd/Yb), пород основного состава (повышенные Cr/Th и пониженные Th/Sc) и кислых магматитов, образованных при плавлении коровых субстратов (наличие Eu минимума), что согласуется с набором потенциальных источников сноса в Онотском блоке.

Возраст доминирующих детритовых цирконов отражает эрозию преимущественно неоархейских магматических пород, что, с учетом слабой окатанности цирконов, тектонически-активной обстановки осадконакопления, сопровождавшейся основным вулканизмом, определяет вероятное время седиментации ~2.7 млрд лет. Наряду с неоархейскими в осадконакоплении участвовали и более древние источники сноса (2.8—3.35 млрд лет). Судя по изотопному составу Hf детритовых цирконов из гранат-ставролитовых сланцев, неоархейские источники сноса включали магматические породы с различной коровой пре-дисторией. Они были представлены палеоархейской корой, породами ювенильной неоархейской коры и образованными при смешении расплавов из древнекоровых и ювенильных источников.

*Архей, метаосадочные породы, источники сноса, детритовый циркон, U-Pb датирование, Lu-Hf изотопный состав, Шарыжалгайский выступ.*

**THE U-Pb AGE AND Lu-Hf ISOTOPE COMPOSITION OF DETRITAL ZIRCON  
FROM METASEDIMENTARY ROCKS OF THE ONOT GREENSTONE BELT  
(Sharyzhalgay uplift, southern Siberian craton)**

**O.M. Turkina, S.A. Sergeev, and I.N. Kapitonov**

We present data on the composition of metasedimentary rocks from the greenstone belt of the Onot terrane (Sharyzhalgay uplift) and results of U-Pb dating (SHRIMP II) and Lu-Hf isotope study of detrital zircon from garnet-staurolite schists. The metasedimentary rocks of the Onot greenstone belt are dominated by garnet- and staurolite-bearing schists alternating with amphibolites (metabasalts) in the upper part of the section. Compositionally the protoliths of garnet-staurolite schists correspond to sedimentary rocks, ranging from siltstone to pelitic mudstone. The trace-element characteristics of the garnet-staurolite schists indicate that the terrigenous material was derived from three different rock types, such as tonalite-trondjemite plagiogneisses (elevated Gd/Yb ratios), mafic rocks (elevated Cr/Th ratios and reduced Th/Sc ratios), and felsic igneous rocks formed by crustal melting (the presence of a Eu minimum), which agrees with the set of potential source rocks from the Onot terrane. The age of predominant detrital zircon reflects the erosion of mainly Neoproterozoic igneous rocks; this fact, combined with the poor rounding of zircon and tectonically active sedimentation conditions accompanied by mafic volcanism, suggests that the probably depositional age is ca. 2.7 Ga. Older source rocks (2.80–3.35 Ga) contributed to the sediment deposition along with the Neoproterozoic ones. According to the Hf

isotope composition of detrital zircon from the garnet–staurolite schists, the source provenances had different crustal prehistories. The source provenances include Paleoarchean and juvenile Neoarchean crust and rocks formed by the mixing of melts from ancient and juvenile crustal sources.

*Archean, metasedimentary rocks, source provenances, detrital zircon, U–Pb dating, Lu–Hf isotopy, Sharyzhgaysk uplift*

## ВВЕДЕНИЕ

В архейских гранит-зеленокаменных провинциях терригенные осадки являются важным компонентом отложений зеленокаменных поясов (ЗКП). В сравнении с постархейскими глинистыми сланцами архейские терригенные породы характеризуются большей изменчивостью содержания редких элементов, что обусловлено локальным характером их источников сноса [McLennan, Taylor, 1984]. Это обстоятельство дает возможность использовать геохимические и изотопные характеристики осадочных пород для анализа состава пород в питающей провинции, тогда как датирование детритовых цирконов несет информацию о возрасте источников сноса. Следовательно, анализ геохимических и изотопных данных в сочетании с возрастом детритовых цирконов позволяет наиболее полно характеризовать состав и возраст пород питающей провинции. В условиях плохой обнаженности и недостатка геохронологической информации по магматическим породам результаты исследования терригенных осадков служат основой для понимания геологической истории архейских гранит-зеленокаменных провинций.

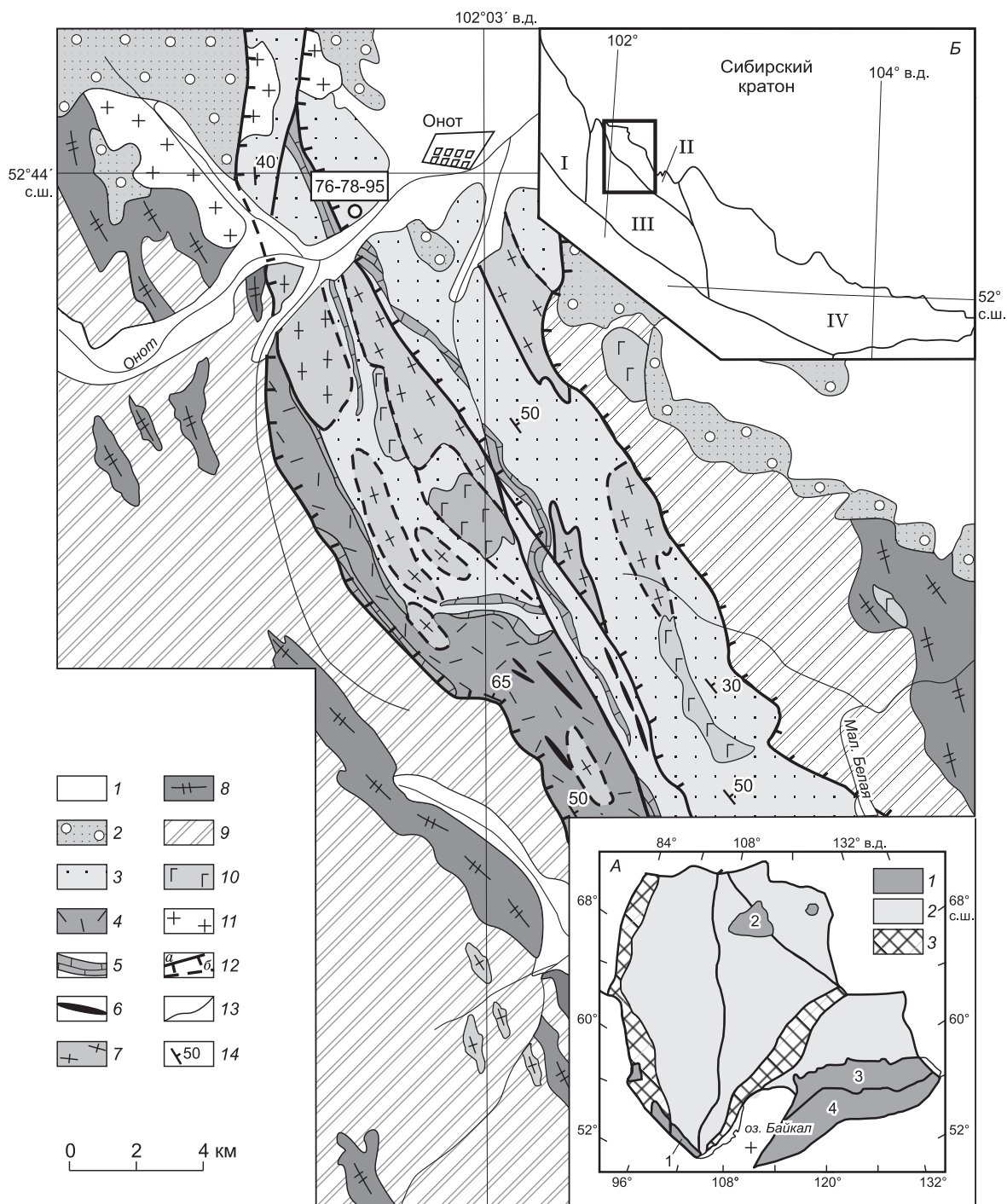
Раннедокембрийский фундамент юго-запада Сибирской платформы обнажен в пределах Шарыжалгайского выступа. В его структуре с северо-запада на юго-восток выделены четыре блока: Булунский и Онотский гранит-зеленокаменные и Китойский и Иркутный гранулитогнейсовые; их границами служат региональные разломы северо-западного и субмеридионального простирания (рис. 1, врезка). Онотский и Булунский блоки образованы плагиогнейсами и плагиогранитоидами тоналит-трондьемит-гранодиоритового состава (ТТГ комплекс) и метаосадочно-вулканогенными отложениями зеленокаменных поясов. ТТГ комплекс и зеленокаменные отложения образуют тектонически совмещенные пластины и блоки, контакты которых нередко осложнены надвигами [Ножкин и др., 2001; Туркина, Ножкин, 2008]. Основная геохронологическая информация получена по породам ТТГ комплексов, формирование которых произошло в палеоархее (3.4—3.25 млрд лет) [Бибикова и др., 2006; Туркина и др., 2009]. В настоящей работе представлены результаты изучения состава метаосадочных пород из зеленокаменного пояса Онотского блока, U–Pb датирования и определения Lu–Hf изотопного состава детритовых цирконов, которые используются для анализа происхождения и возраста метаосадков. Полученные результаты накладывают ограничения на неоархейскую геологическую эволюцию коры Шарыжалгайского выступа.

## АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Содержания петрогенных элементов определены рентгенофлуоресцентным методом в Аналитическом центре ИГМ СО РАН на рентгеноспектральном анализаторе VRA-20R, погрешности определения не превышают 5 отн. %. Концентрации редких и редкоземельных элементов установлены методом нейтронной активации и ICP-MS на масс-спектрометре высокого разрешения ELEMENT (Finnigan Mat) с ультразвуковым распылителем U-5000AT+ в Аналитическом центре ИГМ СО РАН. Пределы обнаружения редкоземельных и высокозарядных элементов составляют от 0.005 до 0.1 мкг/г. Точность анализа составляла в среднем 2—7 отн. %.

Определения концентраций и изотопного состава Sm и Nd проведены в Геологическом институте КНИЦ РАН (г. Апатиты) на семиканальном масс-спектрометре Finnigan MAT-262 (RPQ) в статическом режиме по методике, описанной в работе [Баянова, 2004]. Холостое внутрилабораторное загрязнение составило 0.06 нг для Sm и 0.3 нг для Nd. Точность определения концентраций Sm и Nd  $\pm 0.2$  % ( $2\sigma$ ), изотопных отношений  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} \pm 0.2$  % ( $2\sigma$ ),  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} \pm 0.003$  % ( $2\sigma$ ). Измеренные отношения  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  нормализованы к  $^{148}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.251578$ , что соответствует отношению  $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.7219$ , и приведены к  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.511860$  в Nd стандарте La Jolla. Качество измерений контролировалось измерением изотопных стандартов, за период исследования средневзвешенные значения  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  отношения по стандартам составили: La Jolla ( $N = 13$ )  $0.511805 \pm 8$  ( $2\sigma$ ), Jindi1 ( $N = 96$ )  $0.512066 \pm 15$  ( $2\sigma$ ).

U–Pb датирование цирконов осуществлялось на ионном микрозонде SHRIMP-II в Центре изотопных исследований (ЦИИ) ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург) по принятой методике [Williams et al., 1998; Schuth et al., 2012]. Для выбора участков (точек) датирования использовались оптические (в проходящем и отраженном свете) и катодолюминесцентные изображения (КЛ), отражающие внутреннюю структуру и зональность цирконов. Интенсивность первичного пучка молекулярного кислорода составляла 4 нА, диаметр пятна (кратера) составлял 25 мкм при глубине 2 мкм. Обработка полученных дан-



**Рис. 1. Геологическая схема северо-западной части Оно́тского блока.**

1 — современные аллювиальные отложения; 2 — платформенные отложения; 3—5 — породные ассоциации Оно́тского зеленокаменного пояса: 3 — амфиболиты, амфиболовые сланцы, метapelиты с горизонтами мраморов и железистых кварцитов, 4 — биотитовые и амфибол-биотитовые ортогнейсы с горизонтами амфиболитов и линзами мраморов в основании, 5 — маркирующие горизонты мраморов; 6 — ультрамафиты (метаперидотиты, тальк-серпентиновые сланцы), 7 — раннеархейские плагитогнейсы и плагитогнейсограниты (ТТГ комплекс); 8 — позднеархейские граниты китойского комплекса; 9 — породные ассоциации гранулитогнейсовой провинции Китойского блока; 10 — раннепротерозойские габброиды; 11 — раннепротерозойские гранитоиды; 12 — тектонические нарушения надвигового типа: а — установленные, б — предполагаемые; 13 — границы геологических тел; 14 — элементы залегания. Точкой показано место отбора пробы (76-78-95) для изотопно-геохронологического изучения.

На врезке А: главные тектонические элементы Сибирского кратона, по [Donskaya et al., 2009]. 1 — выступы фундамента, 2 — погребенный фундамент, 3 — палеопротерозойские орогенные пояса. 1 — Шарыжалгайский выступ, 2 — Анабарский щит, 3 — Алданский щит, 4 — Становая провинция.

На врезке Б: схема террейнов Шарыжалгайского выступа: I — Булунский и II — Оно́тский гранит-зеленокаменные, III — Китойский и IV — Иркутский гранулитогнейсовые. Рамкой показан контур геологической схемы на рис. 1.