

УДК 550.93(234.83)

## ВОЗРАСТ МЕТАПЕСЧАНИКОВ ВЕРХНЕДОКЕМБРИЙСКОЙ ЧЕТЛАСКОЙ СЕРИИ СРЕДНЕГО ТИМАНА НА ОСНОВАНИИ U-Pb ДАТИРОВАНИЯ ДЕТРИТНЫХ ЦИРКОНОВ

О.В. Удоратина<sup>1</sup>, И.Н. Бурцев<sup>1</sup>, Н.Ю. Никулова<sup>1</sup>, В.Б. Хубанов<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

<sup>2</sup> Геологический институт СО РАН, Улан-Удэ

<sup>3</sup> Бурятский государственный университет, Улан-Удэ

Поступила в редакцию 15.06.17

В статье приведены первые результаты U-Pb датирования детритных цирконов из метапесчаников четлаской серии, вмещающих комплексные редкометалльно-редкоземельные руды месторождений Среднего Тимана. Изучены породы относимых к среднему рифею метаосадочных толщ, распространенных в пределах Косьюского (визингская свита) и Октябрьско-Новобобровского (светлинская свита) рудных полей. На основании литолого-геохимических особенностей установлены условия формирования отложений. Полученные геохронологические данные свидетельствуют о том, что светлинские и визингские отложения накапливались в конце среднего – начале позднего рифея в сходных условиях осадконакопления. Источником поступления обломочного материала – зерен палео- и мезопротерозойского возраста являлись кристаллические комплексы фундамента Восточно-Европейской платформы.

*Ключевые слова:* песчаники, детритные цирконы, возраст, средний рифей, Средний Тиман.

*Udoratina O.V., Burtsev I.N., Nikulova N.Yu., Khubanov V.B.* Age of Upper Precambrian metasandstones of Chetlas Group of Middle Timan on U-Pb dating of detrital zircons. Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Geological Series. 2017. Volume 92, part 5. P. 15–32.

We present the results of U-Pb dating of detrital zircons from metasandstones of Chetlas Group (Middle Timan), enclosing complex rare-metal-thorium-rare-earth ores. We studied the rocks of the Middle Riphean sedimentary-metamorphic complex within the Kosyu (Vizinga Formation) and Oktyabrsko-Novobobrovsky (Svetlaya Formation) ore fields. On the basis of lithological and geochemical features we determined conditions for the formation of the deposits. The obtained geochronological data indicate that Svetlaya and Vizinga deposits accumulated at the end of Middle – beginning of Late Riphean at similar sedimentation conditions. The source of detrital material (the grains of Paleoproterozoic and Mesoproterozoic age) were the crystalline complexes of basement of East European Craton.

*Key words:* sandstones, detrital zircons, age, Middle Riphean, Middle Timan.

Четласский Камень – поднятие (невысокий хребет), расположенное в средней (центральной) части Тиманского кряжа (северо-восток Европейской части России), наиболее высокое в Тиманской гряде. В южной части Четласского Камня расположены Новобобровское и Косьюское рудные поля (рис. 1). Их рудная минерализация локализована в кварц-гетит-гематитовых и кварц-полевошпат-гетитовых жилах, фенитизированных песчаниках и карбонатитах, вмещающие породы которых – слабо метаморфизованные осадочные образования четлаской серии. Четлаская серия традиционно относится к среднему рифею (Государственная..., 1993; Оловянишников, 1998). В стратотипических разрезах четлаской серии ее расчленяют (снизу-вверх) на светлинскую, новобобровскую и визингскую свиты. Выше залегают породы быстринской серии, также относимой к среднему рифею и расчленяемой на аныюгскую, ворыквинскую, павьюгскую и паунскую свиты (Оловянишников, 1998).

Вопрос о стратиграфическом положении отдельных подразделений метаосадочного комплекса четлаской серии, в том числе ее частей, вмещающих редкоземельно-редкометалльную минерализацию, до настоящего времени остается предметом дискуссий. Блоковое строение Четласского Камня, наличие в его структуре надвигов, а также пространственная разобщенность разрезов, фациальная изменчивость отложений и отсутствие опорных скважин обусловили появление различных вариантов корреляции разрезов и разных стратиграфических схем.

Биостратиграфическими данными надежно охарактеризованы только карбонатно-терригенные и карбонатные отложения ворыквинской и павьюгской свит, перекрывающие породы четлаской серии. В породах четлаской серии известны находки акритарх, на основании которых Т.В. Янкаускас относил эти породы к среднему рифею. Однако,

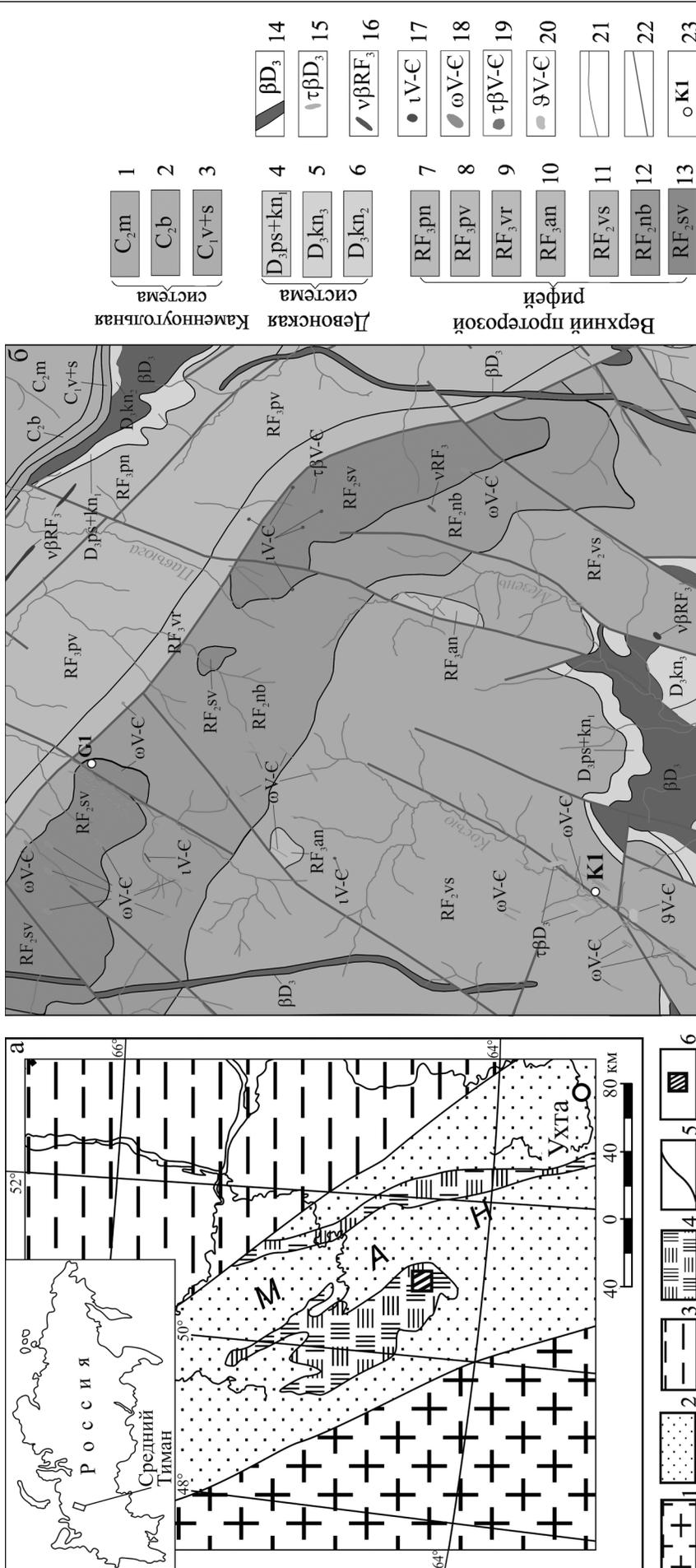


Рис. 1. Геологическая позиция района исследований на Тимане. А. Схема тектонического строения Среднего Тимана (фрагмент рис. 1 из Кузнецов и др., 2006). В левом верхнем углу схемы показано положение Среднего Тимана: 1 – Восточно-Европейский кратон; 2 – Тиман; 3 – Ижемская зона; 4 – выходы на поверхность комплексов фундамента; 5 – границы зон; 6 – район развития опробованных пород визингской и светлинской свит.

Б. Фрагмент геологической карты района отбора проб (м-б 1:200000) (Государственная... 1993): 1 – московский ярус, известняки; 2 – башкирский ярус, известняки; 3 – визейский и серпуховской ярусы, аргиллиты, глины, алевролиты, известняки, доломиты; 4 – пашийский горизонт и нижний подгоризонт кыновского горизонта, песчаники, алевролиты, аргиллиты; 5 – кыновский горизонт, верхний подгоризонт, известняки, доломиты; 6 – кыновская свита, доломиты, известняки, аргиллиты, глины; 7 – паунская свита, сланцы, алевролиты, известняки, доломиты; 8 – павьюгская свита, алевролиты, известняки, доломиты, часто со стромаголитами; 9 – ворыквинская свита, доломиты, известняки, сланцы, мертели, редко алевролиты и кварцито-песчаники; 10 – ангыльская свита, кварцито-песчаники, сланцы; 11 – визингская свита, кварцито-песчаники, сланцы, алевролиты, редко туффы-песчаники; 12 – новоборовская свита, сланцы, алевролиты; 13 – светлинская свита, кварцито-песчаники, алевролиты, сланцы, редко гравелиты; 14 – среднетиманский метадолеритовый комплекс, метадолериты, дайки; 15–18 – четласский кимберлит-пикритовый комплекс: 15 – кимберлиты, кимберлитоподобные породы, трубки, дайки, 16 – пикриты, дайки, 17 – шелочные базальтоиды, дайки, 18 – карбонатиты, штоки; 19, 20 – канино-тиманский долеритовый комплекс: 19 – базальты, долериты, покровы, силлы, 20 – трахибазальты, дайки, силлы; 21 – границы между разновозрастными образованиями; 22 – тектонические контакты; 23 – точки отбора проб

по данным Б.В. Тимофеева, Н.Г. Пыховой и В.Г. Гецена, возраст пород четласской серии считается не древнее позднего рифея—венда (Оловянишников, 1998; Тиманский кряж, 2009).

Верхнепротерозойские образования на Среднем Тимане охарактеризованы немногочисленными геохронологическими данными, полученными, главным образом, К-Аг методом. Верхний предел возраста отложений четласской серии ограничивается рубежом  $725 \pm 25$  млн лет по К-Аг датировкам серицита из сланцев визингской свиты (Гецен, 1987). В породах, метаморфизм которых не превышает зеленосланцевой стадии, К-Аг определения по мусковиту и биотиту свидетельствуют о вероятном времени проявления вторичных изменений в интервале 670—790 млн лет (Андреичев, 2010). При этом изотопный возраст метадолеритов, секущих отложения разных свит верхнего протерозоя, оценивается по породе в целом 780—1430 млн лет, по амфиболу — 1010—1375 млн лет, по биотиту — 1060 млн лет, по плагиоклазу — 1320—2710 млн лет, возраст плагиоклазитов (альбититов) Октябрьского месторождения (Октябрьско-Новобобровское рудное поле) —  $1030 \pm 50$  млн лет (Тиманский кряж, 2009). Кроме того, были получены более молодые геохронологические датировки по магматическим породам и метасоматическим образованиям рудных полей Среднего Тимана: по щелочным пикритам и карбонатам  $600 \pm 15(30)$  млн лет (Rb-Sr метод, Андреичев, Степаненко, 1983), 820 млн лет (Rb-Sr метод, Макеев и др., 2009),  $598,1 \pm 6,2$  млн лет (Ar-Ag метод по флогопиту, Удоратина, Травин, 2014), по щелочным метасоматитам Новобобровского рудного поля  $552 \pm 31$  млн лет (Th-U-Pb метод по монацитам, Удоратина и др., 2015) и  $581 \pm 47$  млн лет (Sm-Nd метод по колумбиту, монациту и ториту, Удоратина и др., 2016).

Согласно используемой вплоть до настоящего времени рабочей схеме расчленения докембрия европейского севера России (решение Межведомственного стратиграфического комитета, г. Сыктывкар, 1983 г., Легенда Тиманской серии листов Государственной геологической карты масштаба 1:200 000), возраст отложений четласской серии принят среднерифейским (Государственная..., 1993).

Неоднозначность трактовки возраста четласской серии обусловила необходимость проведения целенаправленных исследований, результаты которых позволили бы решить эту проблему или хотя бы наметить ограничения возраста пород четласской серии. Для этой цели мы провели U-Pb изотопное датирование детритных цирконов из (мета)обломочных пород, участвующих в строении разрезов светлинской и визингской свит. Изучение литологических, геохимических и минералогических особенностей пород, из которых были выделены детритные цирконы для датирования, позволило выявить особенности вещественного состава светлинской и визингской свит, сформулировать предположения об источниках обломочного материала, слагающего

породы этих свит, и обстановках осадконакопления. Кроме этого, в случае выявления и датирования генераций цирконов либо их оболочек, новообразованных в ходе щелочных рудообразующих процессов, появилась возможность определить время проявления этих процессов и возраст оруденения.

### Геологическое строение района

В строении южной части Четласского Камня, где расположены Новобобровское и Косьюское рудные поля, принимают участие породы верхнего протерозоя и фанерозоя (рис. 1). Предметом нашего исследования являются метаосадочные породы четласской серии, расчлененные здесь на светлинскую, новобобровскую и визингскую свиты.

*Светлинская свита* сложена темно-серыми кварц-хлорит-серицитовыми и биотит-хлорит-кварц-серицитовыми, иногда известковистыми сланцами, закономерно переслаивающимися с мелкозернистыми кварцитами и кварцитопесчаниками. По преобладанию сланцев в нижней части разреза, а кварцитопесчаников — в верхней, светлинская свита разделена на нижнюю и верхнюю подсвиты (на рис. 1 расчленение на подсвиты не показано). Мощность светлинской свиты — 600—620 м. Она согласно, а местами с разрывом перекрыта новобобровской свитой.

*Новобобровская свита* представлена однообразной толщей темно-серых глинисто-серицитовых и углеродисто-глинистых филлитовидных сланцев и алевросланцев с подчиненными прослоями кварцитов и кварцитопесчаников. Граница со светлинскими породами проводится по кровле горизонта с линзовидными прослоями гравелитов и конгломератов в кварцитопесчаниках светлинской свиты. Новобобровская свита расчленена на три подсвиты (на рис. 1 расчленение свиты не показано): нижнюю, представленную чередованием алевролитов, алеврокварцитов и глинисто-слюдистых алевритистых сланцев (около 150 м); среднюю — существенно алеврокварцитовую с подчиненным развитием сланцев (300—350 м) и верхнюю, представленную монотонной толщей переслаивания сланцев и алеврокварцитов (до 200 м). Общая мощность свиты — 500—550 м.

*Визингская свита*, отложения которой согласно перекрывают песчано-сланцевую верхнюю подсвиту новобобровской свиты, по литологическому составу разделена на три подсвиты (на рис. 1 подсвиты не показаны): нижнюю — алевро-кварцитопесчаниковую, с подчиненной ролью глинистых и серицит-кварцевых сланцев; среднюю — существенно сланцевую, с редкими прослоями метаалевролитов и кварцитопесчаников и верхнюю — с преобладанием алевропесчаников, кварцитопесчаников и гравелитов и подчиненными прослоями слюдистых алевролитов и алевритистых сланцев. Общая мощность визингской свиты — 1800—2000 м.

Докембрийские магматические образования представлены на Среднем Тимане позднерифейским метадолеритовым комплексом, вендско-кембрийским комплексом гипербазитов, габброидов, карбонатитов, щелочных флогопитовых пикритов, кимберлитов, раннефранским комплексом долеритов (Государственная..., 1993; Ивенсен, 1964; Кадастр..., 1987; Костюхин, Степаненко, 1987; Макеев и др., 2008; Тиманский кряж, 2009). Тела позднерифейских метадолеритов и метагаббро располагаются вдоль зоны Центрально-Тиманского разлома. Дайки круто (80–90°) наклонены, как правило, к северо-востоку, имея северо-западное простирание. К наиболее древним проявлениям магматизма относятся прослой метатупфитов основного состава, дайки и силлы метавулканитов, приуроченные к визингской свите. Слагающие эти тела породы сильно изменены и чаще всего представляют собой ортосланцы с реликтами первичных кристаллических структур и минералов.

Магматиты и сопутствующие образования венд-кембрийского возраста представлены четласским комплексом карбонатитов, щелочных пикритов, кимберлитов и метасоматитами. Карбонатиты слагают небольшие штоки, дайко- и жилообразные тела в верхнепротерозойских породах. По геофизическим и геологическим данным, в рассматриваемом районе прогнозируется обнаружение крупных массивов карбонатитов. Комплекс щелочных пикритов представлен крутопадающими (70–90°) дайками протяженностью до 5 км, иногда с раздувами до первых сотен метров, штоками с диаметрами до 50 м, контролируемые тектоническими нарушениями северо-восточного простирания. Среди пикритов выделяют слюдястые (флогопитовые) и существенно пироксеновые разновидности. К этой группе магматических образований относят также трубки взрыва (р. Косью, исток р. Мезень). В эруптивных брекчиях отмечены ксенолиты габброидов, перидотитов, серпентинитов, сиенитов; встречены обломки лейкократовых и пегматоидных гранитов, сходных по составу с гранитами Северного Тимана. Метасоматиты представлены фенитами, флогопитовыми слюдами, гетит-полевошпатовыми и кварц-гетит-гематитовыми породами. Их распространение контролируется разрывными нарушениями северо-восточного простирания. К дайковому комплексу, зонам дробления и щелочного метасоматоза приурочены многочисленные редкометалльно-редкоземельные рудопоявления Четласского района, образующие рудные поля: Визингское, Октябрьско-Новобобровское, Косьюское, Мезенское, Верхнешугорское.

#### Объекты и методы исследования

Объектом исследования являлись детритные цирконы из песчаников светлинской и визингской свит четласской серии, являющихся вмещающими породами для редкометалльно-редкоземельного ору-

денения Октябрьско-Новобобровского и Косьюского рудных полей. Четкий стратиграфический контроль оруденения выражается в размещении рудных тел и зон оруденения исключительно в границах полей развития пород (метапесчаников) четласской серии.

На Новобобровском месторождении оруденение, изученное с поверхности неглубокими скважинами и канавами, приурочено к крутопадающим нарушениям северо-восточного простирания, с этими разломами связаны кварцево-полевошпатовые, кварц-карбонатные и кварц-гематитовые жилы, а также зоны интенсивной трещиноватости, брекчирования и фенитизации с редкометалльно-редкоземельной минерализацией в кварцитопесчаниках, кварцитах и, в меньшей степени, в метаморфических сланцах светлинской свиты. На глубине 25 м скважинами были пересечены карбонатиты, аналогичные карбонатитам Косьюского месторождения, однако и форма тел, и особенности состава этих пород остались неизученными.

Косьюское месторождение представляет собой штокообразный массив кальцит-биотитовых, доломит-кальцитовых карбонатитов, пересеченных серией гетит-полевошпатовых, карбонатных и кварц-гематитовых жил, с зоной фенитов в песчано-сланцевой толще визингской свиты.

Пробы для изучения вещественного состава метаобломочных пород, выделения и последующего датирования детритовых цирконов были отобраны из вмещающих пород за границами рудных зон на Новобобровском (проба G1-15) и Косьюском (проба K1-15) месторождениях. Проба G1-15 кварцитопесчаников светлинской свиты взята в расшищенной канаве близко к контакту с породами новобобровской свиты. Проба K1-15 метапесчаников визингской свиты взята из коренного обнажения на левом берегу р. Косью (рис. 1).

Петрографический состав песчаников изучен в прозрачных шлифах. Содержание породообразующих оксидов в породах определено традиционным весовым химическим методом в лаборатории химии минерального сырья в ЦКП «Геонаука» ИГ Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар). Интерпретация результатов химических анализов проведена с использованием индикаторных соотношений и коэффициентов, применяющихся для выяснения условий образования отложений (Юдович, Кетрис, 2000; Bhatia, Crook, 1986; Condie, 1993; Middleton, 1960). Для интерпретации результатов химических анализов использованы нормированные на хондрит спектры распределения РЗЭ и диаграммы зависимости индикаторных геохимических соотношений (Bhatia, Crook, 1986; Condie, 1993).

Монофракция цирконов из песчаников светлинской и визингской свит выделена по стандартной методике (дробление, бромформирование, разделение на фракции методами электромагнитной и электростатической сепарации, отбор под микроскопом). В режиме отраженных электронов цир-

коны исследованы на сканирующем электронном микроскопе TESCAN VEGA3 LMN, с энергодисперсионной приставкой X-MAX Oxford Instruments, в ЦКП «Геонаука». Исследования в режиме катодолюминесценции проведены на электронном микроскопе LEO1450, оснащённом катодолюминесцентной приставкой PANA CL, в ГИ КНЦ РАН (г. Апатиты).

Определения U-Pb изотопного возраста цирконов проведены с использованием системы лазерной абляции UP-213 (New Wave Research) и одноколлекторного магнитно-секторного масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой Element XR (Thermo Scientific Fisher) (LA-ICP-SF-MS метод) в лаборатории инструментальных методов анализа ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ) с последующей обработкой масс-спектрометрического сигнала и расчетом изотопных отношений и возрастов по соответствующей методике (Хубанов и др., 2016). В качестве внешнего стандарта и контрольных образцов использовались эталонные цирконы 91500 (Wiedenbeck et al., 1995) и Plešovice (Sláma et al., 2008). Значения относительной погрешности средневзвешенных конкордантных возрастов эталонных цирконов, определенных LA-ICP-SF-MS методом, составляли 0,36–0,55% от их аттестованных возрастов. При построении гистограммы распределения датировок цирконов использовалась программа Microsoft Excel с надстройкой Isoplot (Ludwig, 2008), во внимание принимались оценки возраста, дискордантность которых не превышала 10%. При этом для цирконов древнее 1,0 млрд лет использованы оценки возраста, рассчитанные по отношению  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ , а для более молодых цирконов – по отношению  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ .

### Вещественный состав и геохимические особенности метапесчаников

Изучение шлифов и химического состава порообразующих оксидов показало сходство метапесчаников светлинской и визингской свит. Они представлены тремя литологическими типами (рис. 2): мелкозернистыми полевошпат-кварцевыми песчаниками с гранобластовой структурой (литотип I); разнозернистыми песчаниками с бластопсаммитовой структурой (литотип II); кварцито-песчаниками (литотип III).

Мелкозернистые полевошпат-кварцевые метапесчаники с гранобластовой структурой и поровым хлорит-серицитовым цементом (обр. K1/15, K2/15, литотип I) сложены различной окатанности зёрнами кварца и полевого шпата, часто с регенерационными каймами (рис. 2, а). Нормативный пересчет химического состава (табл. 1) показал, что они содержат минимальные для исследованных образцов количества кварца и максимальные – полевых шпатов и гематита (табл. 2).

Разнозернистые метапесчаники литотипа II (обр. K1/15, G12/15, G5/15) характеризуются бластопсаммитовой структурой, сланцеватой текстурой, обусловленной ориентировкой слюдистых минералов в цементе порового и базального типов (рис. 2, б). На отдельных участках цемент сложен буроватым колломорфным рудным веществом, корродирующим обломочные зёрна. Обломочная часть представлена в различной степени окатанными обломками кварца, пелитизированного калиевого полевого шпата, плагиоклаза и единичными чешуйками обломочного мусковита. Кварцито-песчаники с гранобластовой структурой и массивной текстурой (литотип III,

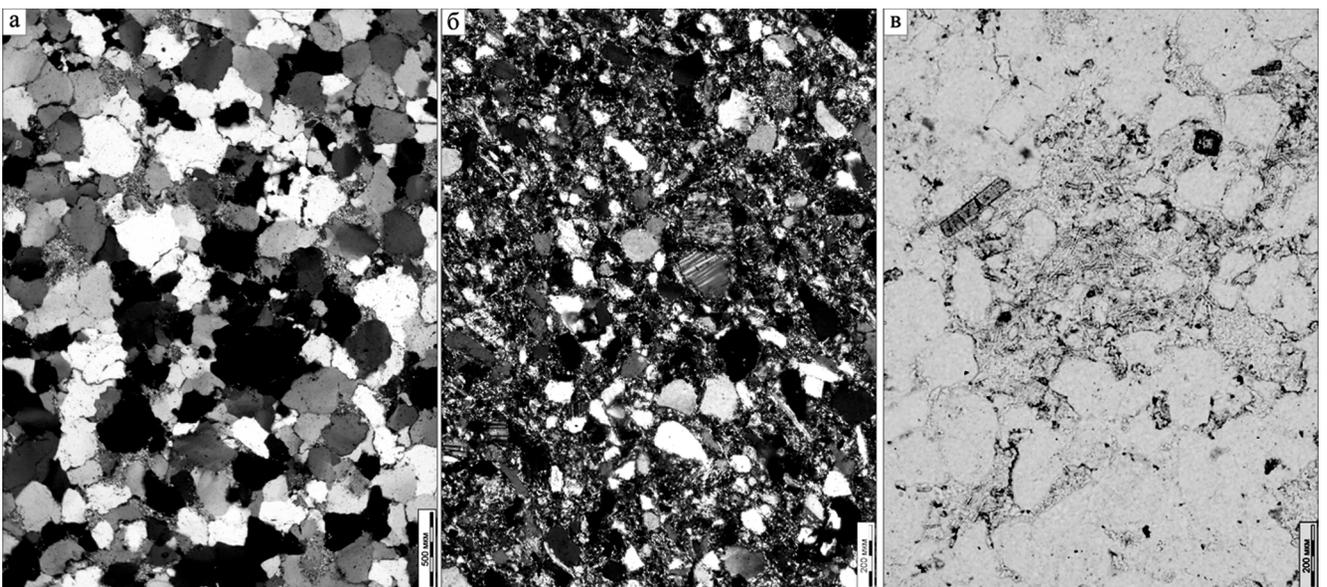


Рис. 2. Микрофотографии шлифов, иллюстрирующие особенности строения и состава метапесчаников: а – полевошпат-кварцевый песчаник с гранобластовой структурой, обр. K2/15, николи скрещены; б – разнозернистый метапесчаник с ориентированными чешуйками слюды в цементе, обр. K1/15, николи скрещены; в – кварцито-песчаник с новообразованным турмалином, обр. G11a/15, николи параллельны

Таблица 1

## Содержание породообразующих оксидов (мас. %), литохимические модули и индикаторные соотношения

N обр.	визингская свита				светлинская свита							
	K1-1/5	K1/15	K2/15	K2-1/15	G66/15	G12/15	G2/15	G4/15	G5/15	G11/15	G11a/15	G11b/15
SiO <sub>2</sub>	75,06	81,81	86,44	95,82	56,90	89,52	94,82	90,88	92,94	88,86	90,48	92,98
TiO <sub>2</sub>	0,53	0,50	0,26	0,12	1,16	0,21	0,16	0,23	0,14	0,16	0,09	0,11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,72	8,72	5,51	1,73	23,56	4,56	2,30	3,67	3,03	4,15	5,47	3,92
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,98	1,10	1,96	0,18	0,97	1,05	0,08	1,25	0,22	1,16	0,35	0,14
FeO	1,57	0,62	1,14	0,49	1,47	0,96	0,14	0,17	0,20	0,40	0,17	0,18
MnO	0,076	0,000	0,082	0,005	0,160	0,000	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
MgO	1,23	0,62	0,64	0,30	0,64	0,55	0,30	0,53	0,20	0,75	0,20	0,30
CaO	0,17	0,17	0,20	0,40	0,17	0,23	0,40	0,20	0,62	0,40	0,40	0,20
Na <sub>2</sub> O	1,49	1,81	0,87	0,02	1,88	0,71	0,01	0,06	0,13	0,82	0,10	0,03
K <sub>2</sub> O	2,97	3,06	1,60	0,56	8,36	1,18	0,37	1,08	1,40	1,14	1,13	0,59
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,077	0,056	0,049	0,015	0,047	0,054	0,016	0,030	0,018	0,022	0,016	0,018
ппп	2,55	1,44	1,31	0,55	3,97	1,33	0,93	0,93	0,86	1,18	1,58	1,48
Сумма	99,42	99,91	100,06	100,19	99,29	100,35	99,53	99,04	99,76	99,05	99,99	99,95
Na <sub>2</sub> O+ K <sub>2</sub> O	4,46	4,87	2,47	0,58	10,24	1,89	0,38	1,14	1,53	1,96	1,23	0,62
ГМ	0,21	0,13	0,10	0,03	0,48	0,08	0,03	0,06	0,04	0,07	0,07	0,05
ФМ	0,08	0,03	0,04	0,01	0,06	0,03	0,01	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01
ТМ	0,049	0,057	0,047	0,069	0,049	0,046	0,070	0,063	0,046	0,039	0,016	0,028
НКМ	0,42	0,56	0,45	0,34	0,43	0,41	0,17	0,31	0,50	0,47	0,22	0,16
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	1,99	1,69	1,84	28,0	4,45	1,66	37,0	18,0	10,77	1,39	11,30	19,67
log (Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O)	-0,30	-0,23	-0,26	-1,45	-0,65	-0,22	-1,57	-1,26	-1,03	-0,14	-1,05	-1,29
log (SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,85	0,97	1,20	1,74	0,38	1,29	1,62	1,39	1,49	1,33	1,22	1,38
F1	-2,43	-2,19	-3,24	-3,82	-2,07	-2,95	-3,84	-3,92	-3,66	-3,13	-3,60	-3,73
F2	-0,82	-1,22	-0,26	0,66	-7,90	0,15	1,84	1,39	-0,16	1,24	0,16	1,35
F3	7,45	10,82	8,09	8,61	8,85	6,95	2,45	7,21	12,39	8,23	1,92	0,46
F4	4,77	4,32	4,74	8,92	3,24	4,47	5,83	7,29	5,66	5,85	0,35	1,69

Примечание: ГМ = (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + TiO<sub>2</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + FeO - MnO)/SiO<sub>2</sub>; ФМ = (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + FeO + MnO + MgO)/SiO<sub>2</sub>; ТМ = TiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; НКМ = Na<sub>2</sub>O/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + K<sub>2</sub>O/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (масс. %);

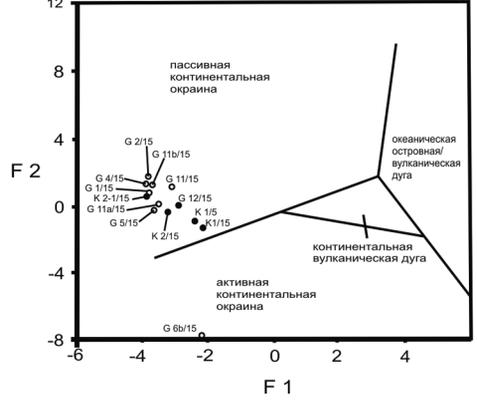
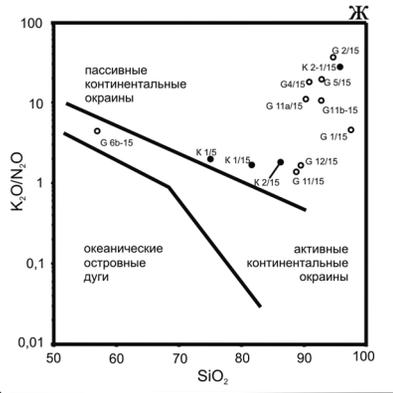
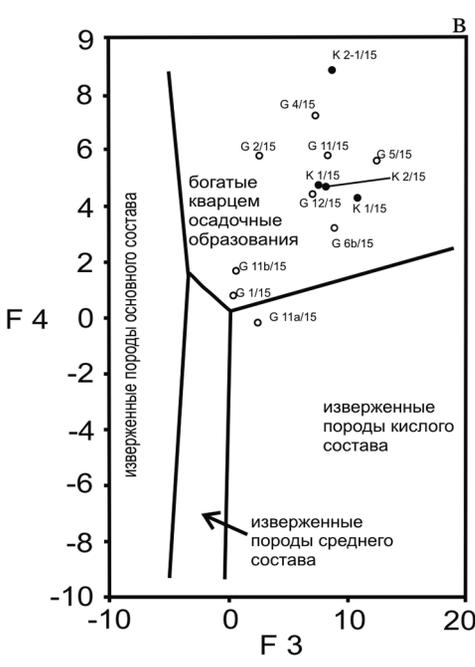
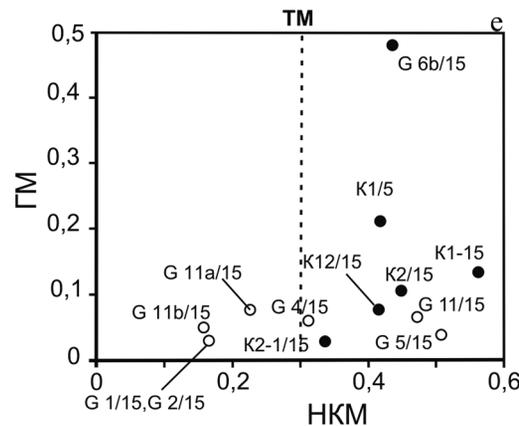
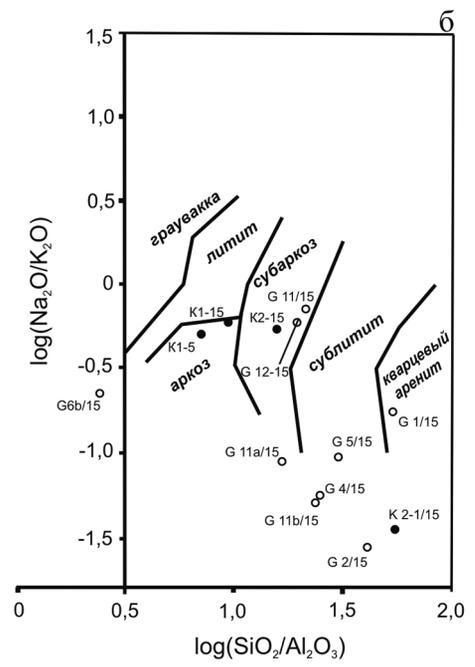
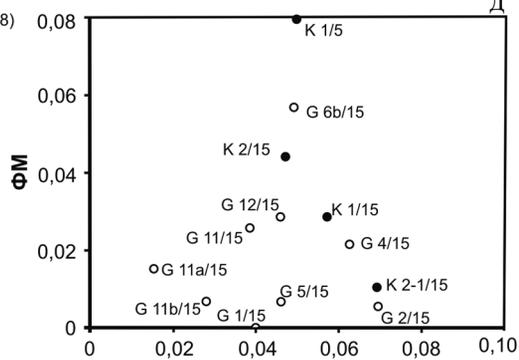
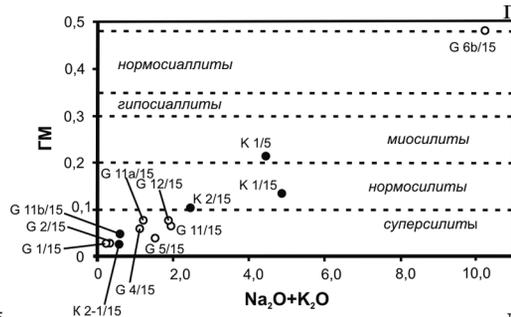
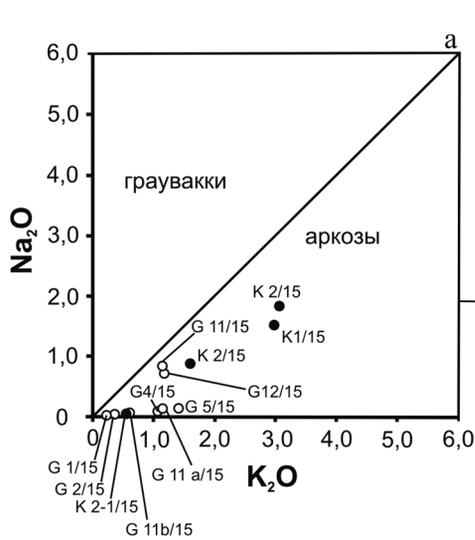
F1 = 0,303 - 0,0447 · SiO<sub>2</sub> - 0,972 · TiO<sub>2</sub> + 0,008 · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 0,267 · Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 0,208 · FeO - 3,082 · MnO + 0,14 · MgO + 0,195 · CaO + 0,719 · Na<sub>2</sub>O - 0,032 · K<sub>2</sub>O + 7,51 · P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>;

F2 = 43,57 - 0,421 · SiO<sub>2</sub> + 1,988 · TiO<sub>2</sub> - 0,526 · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 0,551 · Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 1,61 · FeO + 2,72 · MnO + 0,0881 · MgO - 0,177 · Na<sub>2</sub>O - 1,84 · K<sub>2</sub>O + 7,244 · P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>;

F3 = 30,638 · TiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 12,54 · Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sub>306шт</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 7,329 · MgO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 12,031 · Na<sub>2</sub>O/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 35,402 · K<sub>2</sub>O/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 6,382;

F4 = 56,5 · TiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 10,897 · Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sub>306шт</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 30,875 · MgO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 5,404 · Na<sub>2</sub>O/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 11,112 · K<sub>2</sub>O/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 3,89.





вошпат-кварцевые песчаники литотипа II (ТМ выше среднего).

На диаграмме F1–F2 (Bhatia, 1983), отражающей вероятный состав пород питающих провинций, все точки также попали в поле пассивных континентальных окраин (рис. 3, ж). На диаграмме  $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O/Na}_2\text{O}$  (Roser, Korsch, 1986), применяемой для реконструкции обстановок осадконакопления, точки, также располагаясь в поле пассивных континентальных окраин, разделяются на две группы – ближе к границе с полем активных континентальных окраин расположились полевошпат-кварцевые песчаники, монокварцевые породы заняли верхнюю правую часть поля (рис. 3, з).

Песчаники светлинской и визингской свит представлены монокварцевыми и полевошпат-кварцевыми разновидностями. Основным источником обломочного материала были метаосадочные и, в меньшей степени, кислые магматические породы, в том числе измененные в коре выветривания. Присутствие корового материала подтверждается наличием в метапесчаниках светлинской свиты пиррофиллита – минерала, характерного для коры выветривания по кремнекислородному субстрату. Образование метапсаммитов проходило в относительно стабильных тектонических условиях пассивной континентальной окраины.

#### Результаты датирования обломочных цирконов из метапесчаников светлинской и визингской свит

Цирконы, выделенные из тяжелой немагнитной фракции кварцитопесчаников светлинской свиты (обр. G1/15), имеют размер от 50 до 200 мкм. Они представлены округлыми, хорошо окатанными и удлиненными со сглаженными углами и гранями, прозрачными и полупрозрачными кристаллами и их обломками, окрашенными в темно- и светло-коричневый цвет.

Проведено 79 измерений на 74 зернах (в пяти зернах по два измерения). Все полученные датировки конкордантные (табл. 3, рис. 4). Возраст цирконов распределен в широком диапазоне от палеоархея (3488,30±17,92 млн лет) до рубежа, примерно соответствующего временной границе между средним и поздним рифеем (1096,30±44,53 млн лет).

Полученный возрастной набор содержит 92,4% полученных датировок (73), попадающих в возрастной интервал 1096–1972 млн лет с ярко выраженным общим максимумом 1527 млн лет (середина раннего рифея). Это группа датировок распадается на четыре более мелкие возрастные группы: 15,2% (12) датировок попадают в интервал 1100–1200 млн лет с максимумом 1150 млн лет (средний рифей); 45,6% (36) – 1290–1580 млн лет с максимумом 1470 млн лет (конец раннего рифея); 17,7% (14) –

1610–1790 млн лет с максимумом 1710 млн лет (начало раннего рифея), 13,9% (11) – 1800–1970 млн лет с максимумом 1890 млн лет (конец раннего протерозоя). Шесть зерен цирконов (7,6% полученных датировок) имеют древний возраст: 2056,30±33,4, 2125,30±38,24, 2690,00±27,02, 2768,10±23,41, 3061,90±29,72 и 3488,30±17,92 млн лет.

Цирконы из полевошпат-кварцевых метапесчаников визингской свиты (обр. K1/15) представлены очень мелкими (от 40 до 100 мкм), прозрачными и полупрозрачными, большей частью округлыми, хорошо окатанными зернами, темно- и светло-желто-коричневыми с красноватым оттенком. Несколько зерен и обломков кристаллов имеют удлиненную форму.

Из образца K1/15 датировано 92 зерна, по которым проведено 95 измерений. Все полученные датировки конкордантные (табл. 4, рис. 4). Возраст цирконов распределен в широком диапазоне от палеоархея (3383,2±17,61 млн лет) до среднего рифея (1122,4±48,7 млн лет).

Полученные наборы возрастов детритных цирконов из изученных песчаников содержат: 17,9% (17) датировок, попадающих в интервал 1120–1330 млн лет с максимумом 1220 млн лет (средний рифей); 30,5% датировок (29) – 1430–1640 млн лет с максимумом 1520 млн лет (ранний рифей); 41,05% датировок (39) – 1680–2000 млн лет с максимумом 1900 млн лет (конец раннего протерозоя). Единичные датировки приходятся на середину раннего протерозоя (раннего карелия) и имеют значения 2019,80±20,38, 2070,50±27,79, 2228,20±44,19 и 2338,90±24,02 млн лет.

Две датировки (2,2%) попали в интервал 2570–2590 млн лет (конец позднего архея), одна датировка имеет значение 2690,60±27,02 млн лет, две датировки (2,2%) находятся в интервале 2720–2790 млн лет (средняя часть верхнего архея). Раннеархейский возраст установлен для одного зерна (3383,20±17,61 млн лет).

В ходе исследований не были установлены цирконы, возраст которых отражал бы время фенитизации, а значит, и время формирования редкометальной минерализации.

#### Обсуждение результатов

Анализ распределения возрастов цирконов из пород визингской и светлинской свит позволяет выявить сходства и различия в интенсивности и возрастных характеристиках статистических пиков в пределах этих наборов датировок. Полученные значения попадают в одинаковый временной интервал – от архея до конца среднего рифея. Среди датировок цирконов из песчаников светлинской свиты 45,6% составляют датировки с возрастными

Рис. 3. Диаграммы для метапсаммитов четлаской серии: а –  $\text{K}_2\text{O--N}_2\text{O}$  (Петтиджон и др., 1976); б –  $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)\text{--}\log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$  (Петтиджон и др., 1976); в – F3–F4 (Roser, Korsch, 1986); г –  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O--GM}$ ; д – НКМ–ГМ (Юдович, Кетрис, 2000); е – ТМ–ФМ (Юдович, Кетрис, 2000); ж – F1–F2 (Bhatia, 1983); з –  $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O/Na}_2\text{O}$  (Roser, Korsch, 1986)

Таблица 3

## Результаты U-Pb (LA-ICP-MS) датирования детритных цирконов из образца G1-15

№ точки	Изотопные соотношения						Rho	Возраст, млн лет				
	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 $\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 $\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 $\sigma$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 $\sigma$	$\text{Pb}^{207}/\text{Pb}^{206}$	1 $\sigma$	D, %
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	13	14
1	0,08824	0,00144	2,94164	0,04345	0,24173	0,00224	0,63	1388	31	1396	12	-1
2	0,09517	0,00205	3,49843	0,07109	0,26656	0,00298	0,55	1531	40	152	15	1
3	0,10461	0,00163	4,46174	0,06290	0,30928	0,00284	0,65	1707	28	1737	14	-2
4	0,09259	0,00152	3,19773	0,04783	0,25044	0,00233	0,62	1479	31	1441	12	3
5	0,07850	0,00165	2,12269	0,04160	0,19609	0,00204	0,53	1159	41	1154	11	0
6	0,07607	0,00124	1,95031	0,02863	0,18592	0,00168	0,62	1097	32	1099	9	0
7	0,18409	0,00304	13,26882	0,20135	0,52270	0,00531	0,67	2690	27	2711	23	0
8	0,09519	0,00158	3,60241	0,05431	0,27445	0,00256	0,62	1532	31	1563	13	-2
9	0,07926	0,00159	2,11783	0,03938	0,19378	0,00195	0,54	1179	39	1142	11	3
10	0,09253	0,00146	3,41426	0,04836	0,26758	0,00240	0,63	1478	30	1529	12	-3
11	0,09313	0,00157	3,34727	0,05100	0,26064	0,00241	0,61	1491	32	1493	12	0
12	0,09217	0,00185	3,35151	0,06230	0,26372	0,00272	0,55	1471	38	1509	14	-3
13	0,09326	0,00185	3,36593	0,06168	0,26174	0,00268	0,56	1493	37	1499	14	0
14	0,23143	0,00435	19,86849	0,35202	0,62262	0,00723	0,66	3062	29	3120	29	-2
15	0,10905	0,00200	4,96784	0,08312	0,33039	0,00323	0,58	1784	33	1840	16	-3
16	0,13204	0,00292	7,24656	0,15116	0,39801	0,00477	0,57	2125	38	2160	22	-2
17	0,12696	0,00243	6,85275	0,12033	0,39143	0,00395	0,57	2056	33	2129	18	-3
18	0,09764	0,00205	3,95374	0,07682	0,29367	0,00310	0,54	1579	39	1660	15	-5
19	0,12092	0,00230	6,24695	0,10859	0,37464	0,00368	0,57	1970	34	2051	17	-
20	0,07630	0,00155	2,05460	0,03818	0,19529	0,00194	0,53	1103	40	1150	11	-4,1
21	0,07680	0,00172	2,00302	0,04159	0,18914	0,00199	0,51	1116	44	1117	11	-0,1
22	0,09399	0,00253	3,14059	0,07958	0,24232	0,00303	0,49	1508	50	1399	16	7,8
23	0,09081	0,00202	3,16297	0,06487	0,25257	0,00269	0,52	1443	42	1452	14	-0,6
24	0,07605	0,00172	1,95004	0,04059	0,18595	0,00196	0,51	1096	45	1099	11	-0,3
25	0,09073	0,00205	3,23260	0,06740	0,25836	0,00277	0,51	1441	42	1482	14	-2,8
26	0,09557	0,00239	3,41326	0,07946	0,25898	0,00301	0,50	1539	46	1485	15	3,7
27	0,10489	0,00243	4,64202	0,09910	0,32089	0,00350	0,51	1713	42	1794	17	-4,6
28	0,10964	0,00255	4,92356	0,10533	0,32562	0,00355	0,51	1793	42	1817	17	-1,3
29	0,09083	0,00229	3,29495	0,07705	0,26304	0,00303	0,49	1443	47	1505	16	-4,2
30	0,09172	0,00217	3,39918	0,07377	0,26872	0,00291	0,50	1461	44	1534	15	-4,8
31	0,09048	0,00213	3,21215	0,07192	0,25754	0,00302	0,52	1436	44	1477	16	-2,8
32	0,11208	0,00146	5,16039	0,05919	0,33402	0,00293	0,76	1833	23	1858	14	-1,3
33	0,11678	0,00174	5,20835	0,07035	0,32355	0,00307	0,70	1908	27	1807	15	5,6
34	0,09331	0,00135	3,39717	0,04406	0,26412	0,00239	0,70	1494	27	1511	12	-1,1
35	0,09336	0,00128	3,43726	0,04196	0,26710	0,00236	0,72	1495	26	1526	12	-2,0
36	0,07966	0,00142	2,13933	0,03518	0,19483	0,00188	0,59	1189	35	1148	10	3,6
37	0,30353	0,00354	30,26016	0,30135	0,72325	0,00615	0,85	3488	18	3508	23	-0,6
38	0,09541	0,00154	3,42918	0,05053	0,26075	0,00249	0,65	1536	30	1494	13	2,8
39	0,11049	0,00152	5,05454	0,06205	0,33186	0,00299	0,73	1808	25	1847	15	-2,2

Окончание табл. 3

№ точки	Изотопные соотношения						Rho	Возраст, млн лет				
	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	1σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	1σ	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	1σ		<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	1σ	Pb <sup>207</sup> /Pb <sup>206</sup>	1σ	D, %
40	0,07977	0,00125	2,22967	0,03158	0,20279	0,00185	0,64	1191	31	1190	10	0,1
41	0,07758	0,00126	2,06010	0,03043	0,19265	0,00178	0,63	1136	32	1136	10	0,0
42	0,09214	0,00231	3,08057	0,07374	0,24254	0,00296	0,51	1470	47	1399	15	5,0
43	0,09213	0,00142	3,41497	0,04761	0,26890	0,00250	0,67	1470	29	1535	13	-4,3
44	0,09561	0,00142	3,59845	0,04801	0,27304	0,00250	0,69	1540	28	1556	13	-1,0
45	0,11462	0,00319	4,90662	0,13194	0,31056	0,00449	0,54	1874	49	1744	22	7,5
46	0,07770	0,00134	2,15672	0,03419	0,20137	0,00191	0,60	1139	34	1183	10	-3,7
47	0,09942	0,00155	3,23497	0,04570	0,23606	0,00221	0,66	1613	29	1366	12	18,1
48	0,08661	0,00123	2,79285	0,03529	0,23393	0,00208	0,70	1352	27	1355	11	-0,2
49	0,19303	0,00278	14,66482	0,19408	0,55116	0,00564	0,77	2768	23	2830	23	-2,2
50	0,08607	0,00125	2,78557	0,03635	0,23480	0,00211	0,69	1340	28	1360	11	-1,5
51	0,08599	0,00116	2,82174	0,03371	0,23807	0,00208	0,73	1338	26	1377	11	-2,8
52	0,09457	0,00277	3,55190	0,10036	0,27247	0,00379	0,49	1520	54	1553	19	-2,2
53	0,08881	0,00179	3,13192	0,05923	0,25585	0,00272	0,56	1400	38	1469	14	-4,7
54	0,09266	0,00148	3,28944	0,04785	0,25755	0,00243	0,65	1481	30	1477	13	0,2
55	0,07841	0,00129	2,17694	0,03261	0,20141	0,00187	0,62	1157	32	1183	10	-2,2
56	0,09418	0,00166	3,35905	0,05463	0,25875	0,00258	0,61	1512	32	1483	13	1,9
57	0,09921	0,00209	3,56101	0,07051	0,26041	0,00291	0,56	1609	39	1492	15	7,9
58	0,09301	0,00126	3,29277	0,03939	0,25683	0,00225	0,73	1488	25	1474	12	0,9
59	0,12109	0,00154	5,89051	0,06534	0,35291	0,00307	0,78	1972	22	1949	15	1,2
60	0,09571	0,00149	3,42416	0,04857	0,25955	0,00244	0,66	1542	29	1488	13	3,7
61	0,10606	0,00171	4,49615	0,06661	0,30754	0,00301	0,66	1733	29	1729	15	0,2
62	0,12070	0,00180	5,91937	0,07999	0,35580	0,00340	0,71	1967	26	1962	16	0,2
63	0,08405	0,00126	2,58267	0,03476	0,22292	0,00202	0,67	1294	29	1297	11	-0,3
64	0,10641	0,00129	4,52998	0,04721	0,30884	0,00261	0,81	1739	22	1735	13	0,2
65	0,10948	0,00139	4,91477	0,05440	0,32567	0,00281	0,78	1791	23	1817	14	-1,5
66	0,10962	0,00178	4,85933	0,07260	0,32158	0,00318	0,66	1793	29	1798	16	-0,2
67	0,10718	0,00147	4,66801	0,05674	0,31598	0,00283	0,74	1752	25	1770	14	-1,0
68	0,10192	0,00176	4,00987	0,06392	0,28542	0,00287	0,63	1659	32	1619	14	2,5
69	0,10084	0,00140	4,03990	0,05011	0,29065	0,00261	0,72	1640	26	1645	13	-0,3
70	0,09281	0,00159	3,37556	0,05339	0,26386	0,00259	0,62	1484	32	1510	13	-1,7
71	0,09666	0,00173	3,47446	0,05774	0,26076	0,00264	0,61	1561	33	1494	14	4,5
72	0,09410	0,00238	3,37290	0,08135	0,26004	0,00325	0,52	1510	47	1490	17	1,3
73	0,07998	0,00103	2,24297	0,02528	0,20344	0,00174	0,76	1197	25	1194	9	0,2
74	0,12097	0,00161	6,02531	0,07110	0,36134	0,00323	0,76	1971	24	1989	15	-0,9
75	0,11125	0,00178	4,55179	0,06662	0,29683	0,00290	0,67	1820	29	1676	14	8,6
76	0,11013	0,00163	4,88494	0,06554	0,32179	0,00302	0,70	1802	27	1799	15	0,2
77	0,09963	0,00166	3,75779	0,05732	0,27363	0,00268	0,64	1617	31	1559	14	3,7
78	0,11968	0,00147	5,98119	0,06340	0,36256	0,00309	0,80	1952	22	1994	15	-2,2
79	0,08693	0,00256	2,35113	0,06626	0,19622	0,00259	0,47	1359	56	1155	14	17,7

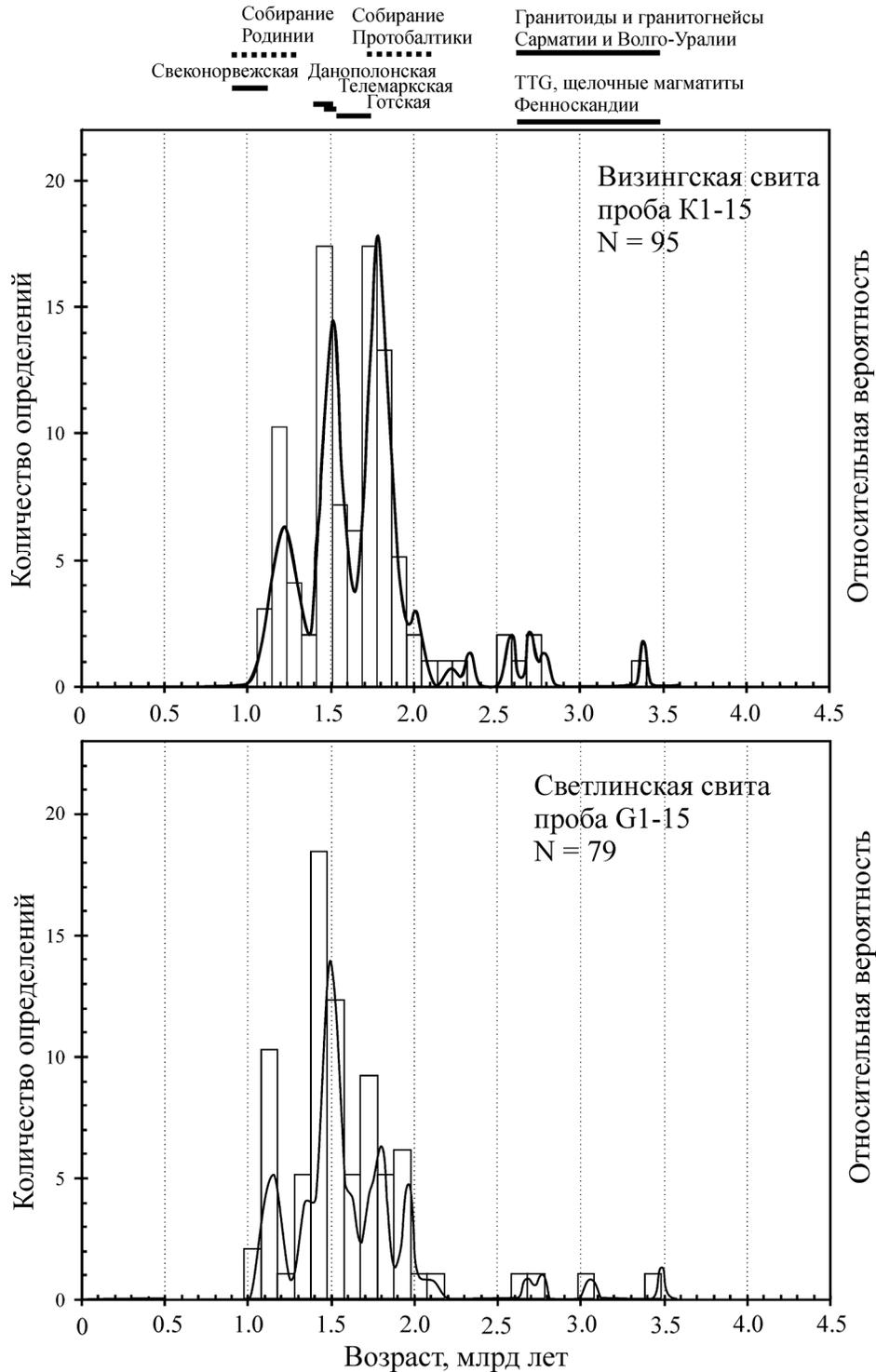


Рис. 4. Гистограммы и кривые относительной вероятности распределения полученных  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  возрастов цирконов из светлинской и визингской свит четласской серии. Над графиками сплошными и пунктирными (точечными) отрезками отмечены временные диапазоны основных фаз тектогенеза и времени становления магматических и метаморфических комплексов, проявленных в пределах Восточно-Европейского кратона, по (Кузнецов и др., 2011, 2013, 2014б; Kuznetsov et al., 2010, 2014b) с упрощениями

в диапазоне 1290–1580 млн лет, сопоставляемые с возрастным интервалом данополонской и телемаркской аккреционных фаз Свеко-Норвежской области, расположенной на западе Балтики (рис. 4, вверху). На этот же возрастной интервал приходится проявления магматизма, приведшего к формированию машакского рифтогенного комплекса

и кусинско-копанского комплекса и гранитов, развитых на южноуральском краю Волго-Уралии. Кроме того, примерно одинаковыми количествами представлены датировки цирконов из песчаников светлинской свиты, соответствующие по возрасту времени завершающей стадии ассамблирования Родинии — свеконорвежской коллизии, а также

Таблица 4

Результаты U-Pb (LA-ICP-MS) датирования детритных цирконов из образца K1-15

№ ТОЧКИ	Изотопные отношения						Rho	Возраст, млн лет						D, %
	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	1σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	1σ	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	1σ		<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	1σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	1σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	1σ	
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0,11358	0,00172	5,17258	0,07129	0,33040	0,00317	0,70	1857	27	1848	12	1840	15	1
2	0,09440	0,00193	3,42758	0,06583	0,26341	0,00289	0,57	1516	38	1511	15	1507	15	1
3	0,10713	0,00160	4,58470	0,06200	0,31047	0,00292	0,70	1751	27	1746	11	1743	14	0
4	0,09327	0,00121	3,37344	0,03825	0,26238	0,00227	0,76	1494	24	1498	9	1502	12	-1
5	0,09455	0,00148	3,44279	0,04912	0,26415	0,00249	0,66	1519	29	1514	11	1511	13	1
6	0,09098	0,00332	3,11801	0,11030	0,24864	0,00411	0,47	1446	68	1437	27	1432	21	1
7	0,07737	0,00131	2,05235	0,03203	0,19246	0,00182	0,61	1131	33	1133	11	1135	10	0
8	0,09034	0,00132	3,12247	0,04100	0,25076	0,00227	0,69	1433	28	1438	10	1442	12	-1
9	0,10300	0,00190	4,24411	0,07307	0,29894	0,00316	0,61	1679	34	1683	14	1686	16	0
10	0,07709	0,00153	2,00448	0,03724	0,18865	0,00192	0,55	1123	39	1117	13	1114	10	1
11	0,09987	0,00154	3,88731	0,05436	0,28237	0,00267	0,68	1622	28	1611	11	1603	13	1
12	0,10722	0,00246	4,72960	0,10353	0,32001	0,00401	0,57	1753	41	1773	18	1789	20	-2
13	0,10396	0,00195	4,32968	0,07611	0,30216	0,00325	0,61	1696	34	1699	15	1702	16	0
14	0,09572	0,00144	3,57668	0,04862	0,27107	0,00251	0,68	1542	28	1544	11	1546	3	0
15	0,28367	0,00322	26,37111	0,25613	0,67444	0,00578	0,88	3383	18	3360	10	3323	22	2
16	0,09387	0,00295	3,37496	0,10240	0,26084	0,00389	0,49	1506	58	1499	24	1494	20	1
17	0,14939	0,00211	8,97542	0,11508	0,43587	0,00422	0,76	2339	24	2336	12	2332	19	0
18	0,09467	0,00154	3,48102	0,05203	0,26676	0,00257	0,64	1522	30	1523	12	1524	13	0
19	0,09678	0,00195	3,63334	0,06867	0,27237	0,00298	0,58	1563	37	1557	15	1553	15	0
20	0,08177	0,00176	2,41509	0,04885	0,21428	0,00232	0,54	1239	41	1247	15	1252	12	-1
21	0,10709	0,00199	4,68690	0,08135	0,31750	0,00342	0,62	1751	34	1765	15	1778	17	-2
22	0,10885	0,00214	4,81318	0,08929	0,32079	0,00361	0,61	1780	36	1787	16	1794	18	-1
23	0,10781	0,00181	4,74475	0,07379	0,31928	0,00323	0,65	1763	30	1775	13	1786	16	-1
24	0,09219	0,00311	3,31767	0,10816	0,26109	0,00409	0,48	1471	63	1485	25	1495	21	-2
25	0,09763	0,00212	3,68466	0,07572	0,27380	0,00317	0,56	1579	40	1568	16	1560	16	1
26	0,17159	0,00333	11,56988	0,21708	0,48918	0,00643	0,70	2573	32	2570	18	2567	28	0
27	0,17383	0,00270	11,97865	0,17411	0,49993	0,00543	0,75	2595	26	2603	14	2614	23	-1
28	0,19550	0,00292	14,85853	0,20725	0,55139	0,00596	0,77	2789	24	2806	13	2831	25	-1
29	0,08582	0,00392	2,64697	0,11744	0,22377	0,00428	0,43	1334	86	1314	33	1302	23	2
30	0,10840	0,00202	4,76631	0,08329	0,31898	0,00346	0,62	1773	34	1779	15	1785	17	-1
31	0,11338	0,00156	5,20891	0,06403	0,33329	0,00303	0,74	1854	25	1854	10	1854	15	0
32	0,10605	0,00161	4,65862	0,06455	0,31870	0,00304	0,69	1733	28	1759	12	1783	15	-3
33	0,10916	0,00195	4,87873	0,08105	0,32423	0,00342	0,63	1785	32	1799	14	1810	17	-1
34	0,09034	0,00145	3,16197	0,04642	0,25393	0,00241	0,65	1433	30	1448	11	1459	12	-2

Продолжение табл. 4

№ ТОЧКИ	Изотопные отношения						Rho	Возраст, млн лет						D, %
	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 $\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 $\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 $\sigma$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 $\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 $\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 $\sigma$	
35	0,09438	0,00157	3,56010	0,05442	0,27366	0,00267	0,64	1516	31	1541	12	1559	14	-3
36	0,11022	0,00205	4,91454	0,08544	0,32349	0,00351	0,62	1803	33	1805	15	1807	17	0
37	0,18772	0,00321	13,97224	0,22862	0,53999	0,00655	0,74	2722	28	2748	16	2783	27	-2
38	0,12277	0,00194	6,26372	0,09128	0,37015	0,00373	0,69	1997	29	2013	13	2030	18	-2
39	0,11271	0,00243	5,12743	0,10528	0,33005	0,00402	0,59	1844	39	1841	17	1839	20	0
40	0,07945	0,00341	2,19936	0,09154	0,20082	0,00350	0,42	1184	83	1181	29	1179	18	0
41	0,14008	0,00363	7,67790	0,19381	0,39764	0,00615	0,61	2228	44	2194	23	2158	28	3
42	0,10064	0,00259	3,83665	0,09463	0,27657	0,00364	0,53	1636	47	1601	19	1574	18	4
43	0,18415	0,00241	13,27108	0,15591	0,52284	0,00495	0,81	2691	21	2699	11	2711	21	-1
44	0,09627	0,00133	3,70348	0,04569	0,27908	0,00249	0,72	1553	256	1572	10	1587	13	-2
45	0,07913	0,00135	2,13283	0,03341	0,19553	0,00185	0,60	1176	33	1159	11	1151	10	2
46	0,11634	0,00159	5,54060	0,06761	0,34550	0,00314	0,74	1901	24	1907	11	1913	15	-1
47	0,09525	0,00304	3,34450	0,10309	0,25473	0,00386	0,49	1533	59	1492	24	1463	20	5
48	0,08368	0,00307	2,40948	0,08540	0,20888	0,00329	0,44	1285	70	1245	25	1223	18	5
49	0,08244	0,00136	2,53602	0,03846	0,22316	0,00211	0,62	1256	32	1282	11	1299	11	-3
50	0,09301	0,00135	3,30686	0,04329	0,25794	0,00234	0,69	1488	27	1483	10	1479	12	1
51	0,11329	0,00202	5,11172	0,08507	0,32733	0,00348	0,64	1853	32	1838	14	1825	17	2
52	0,10111	0,00240	4,00593	0,09050	0,28745	0,00359	0,55	1645	43	1635	18	1629	18	1
53	0,11016	0,00146	4,87778	0,05740	0,32125	0,00286	0,76	1802	24	1798	10	1796	14	0
54	0,07705	0,00191	2,08957	0,04927	0,19675	0,00228	0,49	1122	49	1145	16	1158	12	-3
55	0,07940	0,00138	2,12527	0,03405	0,19418	0,00186	0,60	1182	34	1157	11	1144	10	3
56	0,11157	0,00192	5,07324	0,08108	0,32989	0,00342	0,65	1825	31	1832	14	1838	17	-1
57	0,10919	0,00164	4,79551	0,06535	0,31863	0,00302	0,70	1786	27	1784	11	1783	15	0
58	0,08084	0,00151	2,34494	0,04074	0,21044	0,00210	0,57	1217	36	1226	12	1231	11	-1
59	0,09326	0,00147	3,22679	0,04635	0,25102	0,00237	0,66	1493	29	1464	11	1444	12	3
60	0,10708	0,00174	4,64903	0,06943	0,31499	0,00312	0,66	1750	29	1758	12	1765	15	-1
61	0,09274	0,00141	3,30987	0,04576	0,25891	0,00240	0,67	1483	289	1483	11	1484	12	0
62	0,12110	0,00225	5,98722	0,10453	0,35868	0,00401	0,64	1973	33	1974	15	1976	19	0
63	0,09212	0,00133	3,24031	0,04187	0,25519	0,00230	0,70	1469	27	1467	10	1465	12	0
64	0,08189	0,00133	2,36501	0,03505	0,20953	0,00196	0,63	1243	31	1232	11	1226	10	1
65	0,09250	0,00298	3,24093	0,10088	0,25418	0,00383	0,48	1478	60	1467	24	1460	20	1
66	0,10479	0,00155	4,41409	0,05885	0,30559	0,00285	0,70	1711	27	1715	11	1719	14	0
67	0,11159	0,00198	5,19404	0,08601	0,33769	0,00358	0,64	1825	32	1852	14	1876	17	-3
68	0,12437	0,00144	6,32051	0,06211	0,36870	0,00308	0,85	2019	20	2021	9	2023	15	0
69	0,08499	0,00118	2,74590	0,03394	0,23440	0,00206	0,71	1315	27	1341	9	1357	11	-3
70	0,08004	0,00205	2,26326	0,05510	0,20514	0,00245	0,49	1198	49	1200	17	1203	13	0

Окончание табл. 4

№ точки	Изотопные отношения						Rho	Возраст, млн лет						D, %
	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	
71	0,10836	0,00128	4,81960	0,04875	0,32268	0,00271	0,83	1772	21	1788	9	1803	13	-2
72	0,10742	0,00161	4,65577	0,06310	0,31443	0,00297	0,70	1756	27	1759	11	1763	15	0
73	0,09101	0,00213	3,03488	0,06728	0,24193	0,00285	0,53	1447	44	1416	17	1397	15	4
74	0,11214	0,00191	5,23752	0,08293	0,33885	0,00350	0,65	1834	31	1859	14	1881	17	-2
75	0,09612	0,00156	3,71799	0,05544	0,28063	0,00272	0,65	1550	30	1575	12	1595	14	-3
76	0,11734	0,00172	5,62495	0,07479	0,34776	0,00330	0,71	1916	26	1919	11	1924	16	0
77	0,10827	0,00161	4,72356	0,06344	0,31650	0,00298	0,70	1771	27	1771	11	1773	15	0
78	0,11875	0,00205	5,79278	0,09331	0,35388	0,00375	0,66	1938	31	1945	14	1953	18	0
79	0,09436	0,00144	3,49018	0,04828	0,26833	0,00250	0,67	1515	28	1525	11	1532	13	1
80	0,10658	0,00199	4,59396	0,08051	0,31270	0,00338	0,62	1742	34	1748	15	1754	17	0
81	0,08118	0,00151	2,33453	0,04043	0,20863	0,00208	0,58	1226	36	1223	12	1222	11	0
82	0,11585	0,00197	5,53200	0,08718	0,34642	0,00360	0,66	1893	30	1906	14	1918	17	-1
83	0,09256	0,00625	3,32573	0,21982	0,26067	0,00762	0,44	1479	123	1487	52	1493	39	0
84	0,11201	0,00200	5,20085	0,08678	0,33685	0,00359	0,64	1832	32	1853	14	1876	17	-2
85	0,08004	0,00393	2,25253	0,10730	0,20418	0,00405	0,42	1198	94	1198	34	1198	22	0
86	0,10469	0,00154	4,38445	0,05846	0,30382	0,00283	0,70	1709	27	1709	11	1710	14	0
87	0,10811	0,00179	4,72268	0,07196	0,31693	0,00318	0,66	1768	29	1771	13	1775	16	0
88	0,12799	0,00204	6,62043	0,09718	0,37527	0,00382	0,69	2071	28	2062	13	2054	18	1
89	0,09723	0,00197	3,75095	0,07164	0,27989	0,00310	0,58	1572	38	1582	15	1591	16	-1
90	0,09435	0,00128	3,46846	0,04159	0,26670	0,00235	0,73	1515	25	1520	9	1524	12	-1
91	0,11011	0,00144	4,87490	0,05642	0,32120	0,00284	0,76	1801	24	1798	10	1796	14	0
92	0,08486	0,00164	2,70820	0,04898	0,23152	0,00239	0,57	1312	37	1331	13	1342	13	-2
93	0,11102	0,00161	5,04218	0,06620	0,32949	0,00308	0,71	1816	26	1826	11	1836	15	-1
94	0,11073	0,00226	4,95863	0,09590	0,32489	0,00378	0,60	1811	37	1812	16	1814	18	0
95	0,10681	0,00209	4,69294	0,08643	0,31875	0,00356	0,61	1746	35	1766	15	1784	17	-2

времени формирования овручского рифтогенного комплекса и Коростеньского плутона Сарматии, гранитов и гранулитовых метаморфитов Волго-Уралии.

Среди датировок цирконов из песчаников визингской свиты выделяется группа в диапазоне 1680–2000 млн лет (41,05% датировок), соответствующем по возрасту завершающему этапу ассамблирования Протобалтики и началу готской аккреционной фазы, проявленной на западном краю Балтики. Кроме того, выделяется группа раннерифейских датировок (30,5%), попадающих в диапазон 1430–1640 млн лет, соответствующий времени проявления телемаркской и данополонской аккреционных фаз в Свеко-Норвежской области, расположенной на западе Балтики (рис. 4, вверху).

Вариации частоты встречаемости различных по возрасту цирконов в метапесчаниках светлинской и визингской свит обусловлены тем, что во время формирования этих пород в позднедокембрийском осадочном бассейне, реликты которого сохранились на Среднем Тимане, накапливались продукты эрозии различных древних кристаллических комплексов фундамента Восточно-Европейской платформы. При этом во время накопления обломочных пород светлинской свиты в областях эрозии более существенно экспонировались и размывались рифтогенные комплексы, образовавшиеся во временном промежутке между собиранием Протобалтики и Родинии. Сравнение полученных нами кривых, характеризующих распределение возрастов детритовых цирконов из пород светлин-

ской и визингской свит Среднего Тимана, с результатами изотопного датирования цирконов из песчаников верхнерифейской джежимской свиты увала Джежим Парма на Южном Тимане (Кузнецов и др., 2010) позволило предположить, что продвижение области питания осадочного бассейна, реликты которого представлены в структуре Среднего и Южного Тимана, располагались в пределах Восточно-Европейской платформы (Балтики) и сохранялись в конце среднего рифея и в начале позднего рифея в целом неизменными. Полученный фактический материал не противоречит данным, на основе которых реконструирован «западный источник» для пород, сформированных в позднедокембрийском осадочном бассейне на Тиманской пассивной окраине Балтики (Кузнецов, 2009; Кузнецов и др., 2014а, 2015; Орлов и др., 2011; Kuznetsov et al., 2014а).

Приведенные выше новые геохронологические данные хорошо сопоставимы (рис. 5) с результатами, полученными по верхнедокембрийским метаобломочным породам Северного Тимана – отложениям ямбозерской и малочерноречкой толщ барминской серии (Андреичев и др., 2013, 2014, 2015; Андреичев, Соболева, 2014). Это позволяет утверждать, что перечисленные осадочные толщи накапливались в единое время и источником сноса являлись комплексы сходного возраста.

## Заключение

Отложения светлинской и визингской свит формировались близко к временному рубежу среднего и позднего рифея. Источником сноса для материала палео- и мезопротерозойского возраста, вероятно, был Восточно-Европейский кратон (Балтика). Отложения обеих свит, вмещающие редкометалло-редкоземельное оруденение, формировались в сходных обстановках осадконакопления при существовании стабильного источника обломочного материала, незначительно изменявшегося на протяжении длительного времени. Возраст самых молодых цирконов из метаобломочных пород обеих свит среднерифейский (1100–1200 и 1120–1330 млн лет соответственно). При этом вполне вероятно, что проявленный на всем Среднем Тимане магматизм основного состава (Тиманский кряж, 2009) также мог быть поставщиком материала в изученные обломочные породы.

Исследования проводились при частичной поддержке проектов 15-18-5-46 «Минералогия севера Урала и Тимана в связи с закономерностями их геологического развития, основные эпохи рудообразования» и 15-15-5-29 «Оценка ресурсного потенциала стратегических полезных ископаемых Тимано-Североуральского региона, перспективы развития и освоения на базе новых технологий глубокого обогащения и переработки».

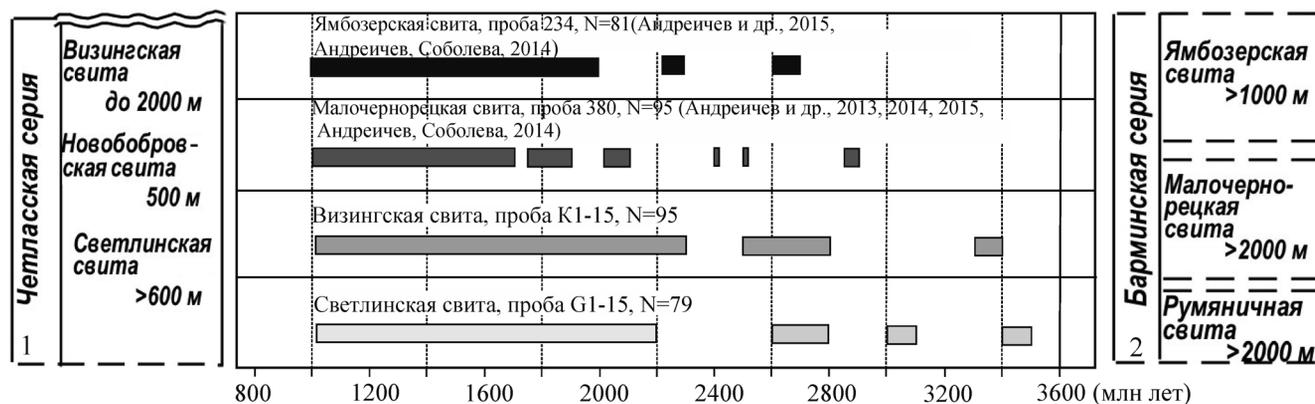


Рис. 5. Диаграмма сопоставления U-Pb датировок детритных цирконов из рифейских толщ Среднего (четлаская серия) и Северного (барминская серия) Тимана: 1 – Средний Тиман, 2 – Северный Тиман

## ЛИТЕРАТУРА

Андреичев В.Л. Эволюция фундамента Печорской плиты по изотопно-геохронологическим данным: Автореф. дисс. ... докт. геол.-минерал. наук. Екатеринбург, 2010. 46 с.

Андреичев В.Л., Соболева А.А. U-Pb цирконовая стратификация верхнедокембрийских отложений Северного Тимана // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России. Мат-лы XVI Геологического съезда Республики Коми. Т. II. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2014. С. 99–101.

Андреичев В.Л., Соболева А.А., Герелс Дж. U-Pb-возраст детритовых цирконов из верхнедокембрийских терригенных отложений Северного Тимана // Докл. АН. 2013. Т. 450, № 5. С. 562–566.

Андреичев В.Л., Соболева А.А., Герелс Дж. U-Pb возраст и источники сноса обломочных цирконов из верхнедокембрийских отложений Северного Тимана // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2014. Т. 22, № 2. С. 32–45.

Андреичев В.Л., Соболева А.А., Герелс Дж.Э., Хоуриган Дж.К. U-Pb (LA-ICP-MS) возраст детритовых цирконов из верхнедокембрийских отложений Северного Тимана // Мат-лы VI Российской конференции по изотопной геохронологии «Изотопное датирование геологических процессов: новые результаты, подходы и перспективы», 2–5 июня 2015 г., ИГГД РАН. Санкт-Петербург: Springer, 2015. С. 27–29.

Андреичев В.Л., Степаненко В.И. Возраст карбонатного комплекса Среднего Тимана // Рудообразование

и магматизм севера Урала и Тимана. Тр. Ин-та геологии Коми филиала АН СССР. Вып. 41. Сыктывкар, 1983. С. 83–87.

*Гецен В.Г.* Тектоника Тимана. Л.: Наука, 1987. 171 с.

Государственная геологическая карта Российской Федерации м-ба 1:200000. Лист Q-39-XXXIII–XXXIV (баракы Бобровая). [карта] / В.М. Пачуковский, Х.О. Траат, Р.Я. Мищенко, Н.А. Довжиков. Л.: ВСЕГЕИ, 1993.

*Ивенсен Ю.П.* Магматизм Тимана и полуострова Каннин. М.; Л.: Наука, 1964. 126 с.

Кадастр дофанерозойских магматических комплексов Тимана и севера Урала / В.Н. Охотников, В.И. Степаненко, В.И. Мизин и др. // Деп. ВИНТИ 05.05.88, № 3476-В88. Сыктывкар, 1987. 260 с.

*Костюхин М.Н., Степаненко В.И.* Байкальский магматизм Канино-Тиманского региона. Л.: Наука, 1987. 232 с.

*Кузнецов Н.Б.* Комплексы протоуралид-тиманид и позднедокембрийско-раннепалеозойская эволюция восточного и северо-восточного обрамления Восточно-Европейской платформы: Автореф. дисс. докт. геол.-минерал. наук. М.: ИФЗ РАН, 2009. 49 с.

*Кузнецов Н.Б., Алексеев А.С., Белоусова Е.А.* и др. Тестирование моделей поздненевандской эволюции северо-восточной периферии Восточно-Европейской платформы на основе первых результатов U/Pb-изотопного датирования (LA-ICP-MS) детритных цирконов из верхне-неандских песчаников Юго-Восточного Беломорья // Докл. АН. 2014а. Т. 458, № 3. С. 313–317.

*Кузнецов Н.Б., Алексеев А.С., Белоусова Е.А.* и др. Первые результаты U/Pb-изотопного датирования (LA-ICP-MS) детритных цирконов из нижнекембрийских песчаников брусовской свиты Юго-Восточного Беломорья: уточнение времени коллизии Балтики и Арктиды // Докл. АН. 2015. Т. 460, № 3. С. 310–314.

*Кузнецов Н.Б., Маслов А.В., Белоусова Е.А.* и др. Первые результаты U-Pb LA-ICP-MS изотопного датирования обломочных цирконов из базальных уровней стратотипа рифея // Докл. АН. 2013, Т. 451, № 3. С. 308–313.

*Кузнецов Н.Б., Натанов Л.М., Белоусова Е.А.* и др. Первые результаты U/Pb датирования и изотопно-геохимического изучения детритных цирконов из поздне-докембрийских песчаников Южного Тимана (увал Джемим-Парма) // Докл. АН. 2010. Т. 435, № 1. С. 798–805.

*Кузнецов Н.Б., Орлов С.Ю., Миллер Е.Л.* и др. Первые результаты U/Pb датирования (LA ICP MS) детритных цирконов из раннепалеозойских и девонских песчаников Южного Приладожья // Докл. АН. 2011. Т. 438, № 6. С. 787–793.

*Кузнецов Н.Б., Романюк Т.В., Шаццло А.В.* и др. Первые U/Pb данные о возрастах детритных цирконов из песчаников верхнеэмской такатинской свиты Западного Урала (в связи с проблемой коренных источников уральских алмазносных россыпей) // Докл. АН. 2014б. Т. 455, № 4. С. 427–432.

*Макеев А.Б., Андрищев В.Л., Брянчанинова Н.И.* Возраст лампрофиров Среднего Тимана: первые Rb-Sr данные // Докл. АН. 2009. Т. 426, № 1. С. 94–97.

*Макеев А.Б., Лебедев В.А., Брянчанинова Н.И.* Магматиты Среднего Тимана. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 348 с.

*Оловянишников В.Г.* Верхний докембрий Тимана и полуострова Каннин. Екатеринбург, 1998. 164 с.

*Орлов С.Ю., Кузнецов Н.Б., Миллер Е.Л.* и др. Возрастные ограничения протоуральско-тиманской орогении по детритным цирконам // Докл. АН. 2011. Т. 440, № 1. С. 87–92.

*Петтиджен Ф., Поттер П., Сивер Р.* Пески и песчаники. М.: Мир, 1976. 536 с.

Тиманский край. Т. 2. Литология и стратиграфия, геофизическая характеристика земной коры, тектоника, минерально-сырьевые ресурсы / Ред. Л.П. Шилов, А.М. Плякин, В.И. Алексеев. Ухта: УГТУ, 2009. 460 с.

*Удортатина О.В., Вирюс А.А., Козырева И.В.* и др. Возраст монацитов жильной серии четласского комплекса (Средний Тиман): Th-U-Pb данные // Вестн. Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН. 2015. № 3. С. 23–29.

*Удортатина О.В., Казанцева М.И., Саватенков В.М.* Sm-Nd датирование рудных минералов Новобобровского месторождения (Средний Тиман) // Щелочной магматизм Земли и связанные с ним месторождения стратегических металлов. Тр. XXXIII межд. конф. Москва. ГЕОХИ. 27 мая 2016 г. / Ред. Л.Н. Когарко. М.: ГЕОХИ РАН, 2016. С. 134–136.

*Удортатина О.В., Травин А.В.* Щелочные пикриты четласского комплекса Среднего Тимана: Ag-Ag данные // Рудный потенциал щелочного, кимберлитового и карбонатитового магматизма. Мат-лы 30-й Междунар. конф. Анталия; Москва, 2014. С. 82–84.

*Хубанов В.Б., Буянтуев М.Д., Цыганков А.А.* U-Pb изотопное датирование цирконов из PZ<sub>3</sub>-MZ магматических комплексов Забайкалья методом магнитно-секторной масс-спектрометрии с лазерным пробоотбором: процедура определения и сопоставления с SHRIMP данными // Геология и геофизика. 2016. Т. 57, № 1. С. 241–258.

*Юдович Я.Э., Керпус М.П.* Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 479 с.

*Bhatia M.R.* Plate tectonics and geochemical composition of sandstones // J. Geol. 1983. Vol. 91. P. 611–627.

*Bhatia M.R., Crook K.A.W.* Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins // Contrib. Mineral. Petrol. 1986. Vol. 92. P. 181–193.

*Condie K.C.* Chemical composition and evolution of upper crust: contrasting results from surface samples and shales // Chem. Geol. 1993. Vol. 92. P. 256–267.

*Kuznetsov N.B., Belousova E.A., Alekseev A.S., Romanyuk T.V.* New data on detrital zircons from the sandstones of Lower Cambrian Brusov Formation (White-Sea region, East-European craton): unraveling the timing of the onset of the Arctida-Baltica collision // Intern. Geol. Rev. 2014a. Vol. 56, № 16. P. 1945–1963. DOI: 10.1080/00206814.2014.977968.

*Kuznetsov N.B., Meert J.G., Romanyuk T.V.* Ages of the detrital zircons (U/Pb, La-ICP-MS) from latest Neoproterozoic – Middle Cambrian(?) Asha Group and Early Devonian Takaty Formation, the South-Western Urals: a testing of an Australia-Baltica connection within the Rodinia // Precambrian Res. 2014b. Vol. 244. P. 288–305. DOI:10.1016/j.precamres.2013.09.011.

*Kuznetsov N.B., Natapov L.M., Belousova E.A.* et al. Geochronological, geochemical and isotopic study of detrital zircon suites from late Neoproterozoic clastic strata along the NE margin of the East European Craton: Implications for plate tectonic models // Gondwana Res. 2010. Vol. 17. P. 583–601. DOI: 10.1016/j.gr.2009.08.005.

*Ludwig K.R.* User's manual for Isoplot 3.70: a geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center, Berkeley, 2008. 76 p.

*Middleton G.V.* Chemical composition of sandstones // Geol. Soc. Amer. Bull. 1960. Vol. 71. P. 1011–1026.

*Roser B.P., Korsch R.J.* Determination of tectonic setting of sandstone mudstone suites using SiO<sub>2</sub> content and K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O ratio // J. Geol. 1986. Vol. 94, N 5. P. 635–650.

*Sláma J., Kosler J., Condon D.J.* et al. Plešovice zircon: a new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis // *Chem. Geol.* 2008. Vol. 249. P. 1–35.

*Wiedenbeck M., Alle P., Corfu F.* et al. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses // *Geostandards Newslet.* 1995. N 19. P. 1–23.

**Сведения об авторах:** *Удоротина Оксана Владимировна* – канд. геол.-минерал. наук, вед. науч. сотр. лаб петрографии ИГ Коми НЦ УрО РАН, *e-mail:* udoratina@geo.komisc.ru; *Бурцев Игорь Николаевич* – канд. геол.-минерал. наук, ст. науч. сотр. лаб. минеральных ресурсов ИГ Коми НЦ УрО РАН, *e-mail:* burtzev@geo.komisc.ru; *Никулова Наталья Юрьевна* – докт. геол.-минерал. наук, вед. науч. сотр. лаб. литологии ИГ Коми НЦ УрО РАН, *e-mail:* nikulova@geo.komisc.ru; *Хубанов Валентин Борисович* – канд. геол.-минерал. наук, науч. сотр. лаб. инструментальных методов анализа ГИН СО РАН, *e-mail:* khubanov@mail.ru