



Vestnik of Geosciences **Вестник геонаук**

Июнь
June
2021,
№ 6 (318)

Главный редактор

А. М. Асхабов

Chief Editor

A. M. Askhabov

Редакционный совет

А. И. Антошкина, Сыктывкар, Россия
М. А. Т. М. Брокманс, Тронхейм, Норвегия
И. Н. Бурцев, Сыктывкар, Россия
Д. А. Бушнев, Сыктывкар, Россия
Ю. Л. Войтеховский, Санкт-Петербург, Россия
А. Д. Гвишиани, Москва, Россия
И. В. Козырева, Сыктывкар, Россия
М. Комак, Любляна, Словения
В. А. Коротеев, Екатеринбург, Россия
О. Б. Котова, Сыктывкар, Россия
С. В. Кривовичев, Санкт-Петербург, Россия
С. К. Кузнецов, Сыктывкар, Россия
М. Мартинс, Ору-Прету, Бразилия
Т. П. Майорова, Сыктывкар, Россия
Ж. К. Мелгарехо, Барселона, Испания
Ф. Мон, Пекин, Китай
П. Мянник, Таллин, Эстония
А. М. Пыстин, Сыктывкар, Россия
К. М. Соджа, Гамильтон, Нью-Йорк, США
О. В. Удоратина, Сыктывкар, Россия
М. А. Федонкин, Москва, Россия

Editorial Board

Anna I. Antoshkina, Syktyvkar, Russia
Maarten A.T.M. Broekmans, Trondheim, Norway
Igor N. Burtsev, Syktyvkar, Russia
Dmitry A. Bushnev, Syktyvkar, Russia
Yury L. Voytekhsy, Saint Petersburg, Russia
Alexey D. Gvishiani, Moscow, Russia
Irina V. Kozyreva, Syktyvkar, Russia
Marko Komac, Ljubljana, Slovenia
Viktor A. Koroteev, Ekaterinburg, Russia
Olga. B. Kotova, Syktyvkar, Russia
Sergey V. Krivovichev, Saint Petersburg, Russia
Sergey K. Kuznetsov, Syktyvkar, Russia
Maximiliano de Souza Martins, Ouro Preto, Brazil
Tatyana P. Mayorova, Syktyvkar, Russia
Joan Carles Melgarejo, Barcelona, Spain
Fancong Meng, Beijing, China
Peep Männik, Tallinn, Estonia
Alexander M. Pystin, Syktyvkar, Russia
Constance M. Soja, Hamilton, NY, USA
Oksana V. Udoratina, Syktyvkar, Russia
Mikhail A. Fedonkin, Moscow, Russia

Редакционная коллегия

А. И. Антошкина, Т. М. Безносова (ответственный секретарь), И. Н. Бурцев, Д. А. Бушнев, И. В. Козырева, О. Б. Котова (заместитель главного редактора), С. К. Кузнецов, Т. П. Майорова, А. М. Пыстин, О. В. Удоратина

Editorial team

A. I. Antoshkina, T. M. Beznosova (Executive Secretary), I. N. Burtsev, D. A. Bushnev, I. V. Kozyreva, O. B. Kotova (Deputy Chief Editor), S. K. Kuznetsov, T. P. Mayorova, A. M. Pystin, O. V. Udoratina

Технический редактор

Г. Н. Каблис

Technical Editor

G. N. Kablis

Заведующий редакцией

Т. А. Некучаева

Managing Editor

T. A. Nekuchaeva

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Выходит ежемесячно. Основан в 1995 году академиком Н. П. Юшкиным.

Предыдущее название:

Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН

Пятилетний импакт-фактор
РИНЦ журнала (2019) – 0,417



SCIENTIFIC JOURNAL

Monthly issued. Founded in 1995 by Academician N. P. Yushkin.

Former title:

Vestnik of Institute of Geology of Komi SC UB RAS

Five-year RSCI
impact factor (2019) – 0.417

geo.komisc.ru/vestnik

Содержание**Content**

Обзорная статья	Review article
Геологическое наследие В. Г. Оловянишникова <i>А. М. Пыстин</i>3	Geological heritage of V. G. Olovyanishnikov <i>A. M. Pystin</i>3
Научные статьи	Scientific articles
Цирконология сиенитов Северного Тимана <i>В. Л. Андреичев, А. А. Соболева, О. В. Удоратина, Ю. Л. Ронкин</i> 16	Zirconology of syenites of the Northern Timan <i>V. L. Andreichev, A. A. Soboleva, O. V. Udoratina, Yu. L. Ronkin</i> 16
Индийсодержащие металлоуглеродные композиты из фумарольной минерализации Большого трещинного Толбачинского извержения <i>В. И. Силаев, Л. П. Вергасова, В. Н. Филиппов, А. Ф. Хазов, А. В. Кокин, Г. А. Карпов</i> 28	Indium-containing metal-carbon composites from volcano-fumarole mineralization of Great fissure Tolbachik eruption <i>V. I. Silaev, L. P. Vergasova, V. N. Filippov, A. F. Khazov, A. V. Kokin, G. A. Karpov</i> 28
Новые данные о титановой минерализации в фенитизированных докембрийских карбонатных породах быстринской серии Среднего Тимана <i>И. И. Голубева, А. С. Шуйский, В. Н. Филиппов, Е. М. Тропников, С. И. Исаенко, И. Н. Бурцев, В. Н. Леденцов</i> 38	New data on titanium mineralization in fenitized precambrian carbonate rocks of Middle Timan bystrinskaya series <i>I. I. Golubeva, A. S. Shuisky, V. N. Filippov, E. M. Tropnikov, S. I. Isaenko, I. N. Burtsev, V. N. Ledentsov</i> 38
Хроника, события, факты. История науки	Chronicle, events, facts. History of Science
И. Б. Борозденко — геолог, преподаватель, защитник Отечества 49	I. B. Borozdenko — geologist, teacher, defender of the Fatherland 49

Правила
оформления
статей



Vestnik
article
Formatting



Геологическое наследие В. Г. Оловянишникова

А. М. Пыстин

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
pystin@geo.komisc.ru

Статья посвящена памяти выдающегося исследователя геологии Европейского Северо-Востока, кандидата геолого-минералогических наук Всеволода Георгиевича Оловянишникова (Гецена), работавшего в Институте геологии с 1960 г. до конца своей жизни (1936–2006). В статье дан анализ его научного пути и показаны главные достижения в трех наиболее значимых областях деятельности: стратиграфии докембрийских отложений, тектонике (геодинамике) и метаморфизме пород.

Ключевые слова: Канино-Тиманская гряда, северо-восток Европейской платформы, верхний докембрий, стратиграфия, тектоника, метаморфизм.

Geological heritage of V. G. Olovyanishnikov

A. M. Pystin

Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar

The article is dedicated to the memory of Vsevolod Georgievich Olovyanishnikov (Getsen), an outstanding researcher of geology of the European North-East, Candidate of geological and mineralogical sciences, who worked at the Institute of Geology from 1960 until the end of his life (1936–2006). The article analyzes his creative path and shows main scientific achievements in three most significant areas of activity: stratigraphy of Precambrian deposits, tectonics (geodynamics) and rock metamorphism.

Keywords: Kanin-Timan Ridge, northeast of the European Platform, Upper Precambrian, stratigraphy, tectonics, metamorphism.

Введение

В. Г. Оловянишников (Гецен) — выдающийся исследователь геологии Европейского Северо-Востока и в особенности его Канино-Тиманской части. В этом году 20 мая ему исполнилось бы 85 лет. Он ушел из жизни накануне своего 70-летия. По нынешним временам — активный возраст для исследователя. Многое можно было бы еще успеть сделать и много было планов. Тем не менее творческое наследие, оставленное В. Г. Оловянишниковым, впечатляет. Совершенно прав А. М. Плякин [9], по мнению которого «трудно, скорее просто невозможно найти другого учено-геолога, который бы проделал такую огромную по детальности и площади работу по изучению [верхне-го докембрия — А. П.] на северо-западе европейской части России». В. Г. Оловянишниковым более чем за три десятка полевых сезонов были исследованы практически все известные обнажения верхнепротерозойских толщ в пределах Тимано-Варангерского складчатого пояса (Тиман, п-ова Канин, Средний и Рыбачий), а по закрытым территориям изучен весь доступный керн скважин, вскрывших породы верхнего докембрия. С целью сопоставления с тиманским докембрием В. Г. Оловянишниковым были также обследованы разрезы рифея и венда в стратотипе на Башкирском антиклинории и на наиболее представительных разрезах северной части Урала — Ляпинском антиклинории. Результаты этих работ опубликованы в престижных отечественных и зару-

бежных изданиях и в целой серии монографий. Они получили широкое признание в геологическом сообществе и закрепили за автором статус крупнейшего знатока геологии докембрия Европейского Северо-Востока.

Область интересов В. Г. Оловянишникова охватывала практически все направления геологии древних толщ Тимана и смежных территорий: тектонику и геодинамику, стратиграфию, литологию и палеонтологию, минералогию и геохимию, магматизм и метаморфизм, минерогенез и геоэкологию. При этом наиболее впечатляющие результаты, по которым В. Г. Оловянишникову не было равных, были получены в области стратиграфии, тектоники (геодинамики) и метаморфизма пород Тимана, п-ова Канин и примыкающих к ним закрытых территорий Печорской впадины.

Результаты исследований в области стратиграфии

В 1966 г., вскоре после приезда в Сыктывкар, В. Г. Оловянишниковым была начата самостоятельная работа по разделу «Строение фундамента Северного Тимана и п-ова Канин», в составе темы, руководимой В. А. Разницыным «Природа основных платформенных структур северо-востока европейской части СССР и их связи с Уральской складчатой областью». По воспоминаниям самого В. Г. Оловянишникова [20], в этот



начальный период самостоятельных исследований наиболее слабоизученным объектом северо-западной части Канино-Тиманской гряды оставался досилурийский осадочно-метаморфический комплекс. Так, например, его возраст разными исследователями оценивался в интервале от кембрия (Е. М. Люткевич) и венда (В. Г. Черный) до раннего докембрия (И. В. Ефремов и Ю. Р. Беккер). В течение пяти полевых сезонов В. Г. Оловянишниковым были изучены все основные выходы осадочно-метаморфических и связанных с ними магматических образований Северного Тимана и п-ова Канин и выполнено сопоставление этих районов.

Досилурийский разрез п-ова Канин В. Г. Оловянишников расчленил на ряд серий, различающихся по литологическому составу пород, степени их метаморфизма и характеру проявления в этих отложениях пликтивных дислокаций. Впервые описание серий было опубликовано в 1971 г. Вначале разрез делился на две, а затем на три крупные серии: микулкинскую, тархановскую и табуевскую. Наиболее полное описание досилурийского разреза п-ова Канин с сопоставлением его с докембрийскими отложениями Северного и более южных районов Тимана дано в монографии «Строение фундамента Северного Тимана и полуострова Канин» [6]. Тархановскую серию В. Г. Оловянишников сопоставил с метаморфической толщей Северного Тимана, которая ранее Л. С. Коссовым была выделена как барминская серия.

Нижняя возрастная граница досилурийских отложений п-ова Канин была определена как средний протерозой—ранний рифей. Основанием для этого послужила датировка калиевого полевого шпата из гранитоидов массива Большой Камешек на Северном Тимане — 1300 млн лет [13]. Таким образом, микулкинскую и тархановскую серии В. Г. Оловянишников условно отнес к нижнему рифею, допуская среднепротерозойский возраст нижних частей разреза, а табуевскую — к среднему-верхнему рифею.

В этот период исследований В. Г. Оловянишниковым большое внимание было уделено выявлению стратиграфического и структурного положения карбонатной толщи рифея, которая являлась единственным надежным репером для всего досилурийского разреза Тимана и п-ова Канин, в силу того что в породах этой толщи, распространенной в ряде выступов верхнего докембрия, содержались верхнерифейские (миньярский уровень) строматолиты и онколиты. Вопрос о положении в рифейском разрезе региона карбонатной толщи, как будет показано дальше, останется одним из ключевых и в последующие годы, но на основании полученных к тому времени данных В. Г. Оловянишников пришел к выводу, что карбонатные отложения залегают выше терригенных и карбонатно-терригенных пород табуевской серии п-ова Канин и их стратиграфических аналогов на Тимане и Полуодовом кряже и перекрываются терригенными комплексами, возраст которых ограничивается терминальным рифеем [6].

Начиная с 1968 г. В. Г. Оловянишников расширяет географию полевых исследований и наряду с продолжением работ на п-ве Канин и Северном Тимане изучает разрезы верхнего протерозоя на Вымской гряде (1968, 1978 гг.), Четласском (1969, 1972, 1973, 1978 гг.) и Цилемском (1976 г.) поднятиях Среднего Тимана,

Джеджимпарминском и Очпарминском поднятиях Южного Тимана и Полуодовом кряже (1971 г.), полуостровах Средний и Рыбачий на северном побережье Кольского полуострова (1974 г.). В эти годы были продолжены работы по стратиграфическому расчленению, корреляции и возрасту верхнедокембрийских отложений региона. В частности, в разрезе верхнего докембрия Вымской гряды В. Г. Оловянишников выделил три серии: покьюскую, лунвожскую и кыквожскую, которые позднее в ранге свит под этими же названиями были объединены в вымскую серию [1, 27].

Полевыми работами 1980 г. В. Г. Оловянишниковым был закончен очередной этап целенаправленных исследований стратиграфии верхнего докембрия Канино-Тиманского складчатого пояса, а также вопросов метаморфизма и структуры этих отложений [9]. По материалам исследований В. Г. Оловянишников защищает кандидатскую диссертацию, издает фундаментальную монографию «Строение фундамента Северного Тимана и полуострова Канин» (1975 г.), участвует в создании ряда обзорных карт геологического содержания крупных регионов страны и в целом территории СССР. К этому времени В. Г. Оловянишников уже воспринимается геологическим сообществом одним из наиболее признанных знатоков геологии докембрия Тимана и п-ова Канин. Подтверждением этому является, например, включение В. Г. Оловянишникова в состав авторского коллектива по изданию «Карты докембрийских формаций Русской платформы и ее складчатого обрамления масштаба 1:2 500 000» [12].

В 1980 г. в значительной степени по инициативе В. Г. Оловянишникова начинается подготовка к межведомственному стратиграфическому совещанию по верхнему докембрию Европейского Севера СССР. В рамках мероприятий по подготовке совещания В. Г. Оловянишников участвует в экспедициях на Зимнем берегу Белого моря, на Северном и Среднем Тимане. Материалы многолетних экспедиционных и камеральных работ, а также результаты их обсуждения при рассмотрении и принятии региональной корреляционной схемы верхнего докембрия Европейского Севера СССР на совещании в Сыктывкаре (1982 г.) явились основой для очередной монографии В. Г. Оловянишникова — «Тектоника Тимана» (1987 г.) и ряда коллективных монографий с участием В. Г. Оловянишникова в качестве редактора и одного из основных авторов: «Структура платформенного чехла Европейского Севера СССР» (1982 г.), «Верхний докембрий Европейского Севера СССР» (1986 г.), «Рифей и венд Европейского Севера СССР» (1987 г.).

Проведение стратиграфического совещания позволило впервые для всего Европейского Севера СССР систематизировать и обобщить разрозненные и часто противоречивые данные по стратиграфии верхнего докембрия региона. В итоговом сборнике материалов, представленных на совещании, все статьи, касающиеся верхнего докембрия Канино-Тиманской гряды, написаны с участием В. Г. Оловянишникова. Более того, во всех статьях он является первым автором [27]. В принятой на совещании схеме стратиграфии (рис. 1) в основании верхнедокембрийского разреза показана микулкинская серия Канинского вала, сложенная преимущественно полевошпат-кварцево-слюдистыми кристаллическими сланцами, степень метаморфизма



которых достигает уровня амфиболитовой фации умеренных давлений. Возраст отложений принят условно раннерифейским. К среднему рифею отнесена тархановская серия Канинского вала, барминская серия Северотиманского вала и четлаская серия Четласко-Цилемского вала. Эти стратиграфические подразделения сложены слюдисто-кварцевыми сланцами, металавровитами и метапсаммитами с редкими прослоями метабазитов. К верхнему рифею на п-ове Канин отнесены песчано-алевритово-сланцевые толщи, объединенные в табуевскую серию. В верхней части серии отмечаются прослои известняков и доломитов. В известняках по сборам В. Г. Оловянишникова З. А. Журавлевым определены микрофитоциты, относящиеся к четвертому комплексу верхнего рифея (терминальному рифею, кудашу). С табуевской серией коррелируется быстринская серия Четласко-Цилемского вала. К кудашу отнесены кислоручейская и вымская серии Вымской гряды. Последняя из них — с выходом в ранний венд, поскольку в породах, завершающих вымскую серию лунвожской и кыквожской свит, были установлены характерные для венда микрофоссилии [1]. Таким образом, по имеющимся материалам по верхнему докембрию Канино-Тиманской гряды, накопленным к началу 80-х годов прошлого столетия при самом активном участии В. Г. Оловянишникова, была разработана стратиграфическая схема региона, включающая почти все эратемы и системы верхнего протерозоя начиная с нижнего рифея и кончая нижним вендом.

Однако, несмотря на стройность разработанной стратиграфической схемы и ее хорошую сопоставимость со схемой верхнего докембрия Башкирского антиклинория — признанного стратотипа Урала и в целом Северной Евразии [28, 29], для В. Г. Оловянишникова в стратиграфии верхнедокембрийских отложений региона осталось много нерешенных вопросов. В частности, по мнению В. Г. Оловянишникова, оставались неясными вопросы объема и стратиграфического положения паунской свиты, завершающей разрез быстринской серии, и ее взаимоотношения с кислоручейской серией. Неопределенность в интерпретации контакта между быстринской и кислоручейской или вымской сериями в большинстве естественных разрезов оставляла возможность для двух вариантов «их взаимоотношений: 1) породы кислоручейской или вымской серий согласно залегают на породах верхнерифейской быстринской серии; 2) породы кислоручейской или вымской серий подняты по надвигу или взбросо-надвигу относительно быстринской серии и являются более древними» [27]. Остались вопросы относительно объема и строения шойнинской свиты, завершающей разрез рифея мысов Лудоватых на п-ове Канин, и ряд других [27].

Сознавая несовершенство принятой на Сыктывкарском совещании схемы стратиграфии верхнего докембрия Европейского Севера СССР, В. Г. Оловянишников продолжил исследования в этой области и к середине 90-х годов пришел к кардинальному пересмотру, казалось, более или менее сложившихся представлений о строении верхнего докембрия Канино-Тиманской гряды. По результатам исследований этих лет В. Г. Оловянишников публикует две личные монографии — «Верхний докембрий Тимана и полуострова Канин»

(1998 г.) и «Геологическое развитие полуострова Канин и Северного Тимана» (2004 г.), а также участвует в качестве соавтора в фундаментальной коллективной монографии под редакцией Д. Джи и В. Пиис, изданной в Лондоне — «The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica» (2004 г.).

В результате комплексного анализа всех имевшихся к тому времени геологических и геофизических материалов В. Г. Оловянишников [21] приходит к выводу, что в основании наблюдаемых разрезов верхнедокембрийского комплекса Тимана и п-ова Канин залегают карбонатные отложения быстринской серии. На основании немногих, в основном калий-аргоновых датировок (в интервале около 1000—800 млн лет), он сопоставляет быстринскую серию с карбонатными толщами низов разреза стратотипа верхнего рифея на Южном Урале. Позднее, опираясь на опубликованные палеонтологические данные А. В. Вейса с соавторами [16], он высказывает предположение, что, вероятно, низы верхнего протерозоя Тимана могут иметь среднерифейский возраст [22]. На Тимане залегающие выше отложения четлаской и вымской серий, по мнению В. Г. Оловянишникова, принадлежат верхнему рифею и нижнему венду, главным образом к той части разреза верхнего рифея, которая ранее выделялась под названием «кудаш» или «терминальный рифей». На п-ове Канин микулкинская и тархановская серии были условно отнесены к верхнему рифею, а табуевская серия — к верхнему рифею и нижнему венду. Основанием для этого послужили данные о находках в карбонатных породах табуевской серии поздне-раннерифейских и ранневендских акритарх [27], а установленный K-Ar-возраст серицита из туфов верхней части докембрийского разреза Северного Тимана — (570 ± 20) млн лет — определил верхний возрастной рубеж тиманского докембрия [21].

Таким образом, в результате многолетних исследований стратиграфии допалеозойских отложений Тимана и п-ова Канин В. Г. Оловянишников пришел к выводу, что верхний докембрий этого региона существенно отличается от южноуральского стратотипа прежде всего тем, что здесь отсутствуют нижнерифейские и, возможно, среднерифейские отложения или по крайней мере нижняя часть среднерифейского разреза. Тем не менее он не стал категорически отрицать возможность наличия доверхнерифейских отложений на глубине, оставляя этот вопрос открытым. Новый взгляд на стратиграфию верхнего докембрия Тимана и п-ва Канин требовал большого объема повторных полевых исследований, дополнительного обоснования возраста верхнепротерозойских толщ и их корреляции в разрозненных выходах на огромной территории. Этим активно начал заниматься В. Г. Оловянишников, в том числе с анализом имеющихся и новых материалов по верхнему докембрию смежных регионов. Один из последних вариантов новой корреляционной схемы стратиграфических подразделений рифея Тимана и п-ва Канин был опубликован В. Г. Оловянишниковым в совместной с А. В. Масловым и М. В. Ишерской статье [14, табл. 4]. Однако в этой схеме для самого В. Г. Оловянишникова все еще оставалось много вопросов. К сожалению, случилось так, что задачу по разработке корректной актуализированной корреляционной схемы стратиграфии верхнего докембрия Евро-



пейского Северо-Востока он оставил своим последователям.

В целом многолетние исследования В. Г. Оловянишникова, и в том числе его новые представления о строении протерозойского разреза огромного и очень сложного в геологическом отношении региона, как видно из вышеизложенного, не закрыли все «белые пятна» в стратиграфии верхнего докембрия Тимана и п-ова Канин, но дали очень хорошую основу для геологов-тиманщиков и мощный импульс для дальнейших исследований в этой области.

Результаты исследований в области тектоники и геодинамики

С первых лет самостоятельных исследований В. Г. Оловянишников большое внимание уделял изучению структурных особенностей пород и вопросам тектонического развития территории. Естественно, что тектонические построения В. Г. Оловянишников развивал в рамках доминирующей в то время геосинклинальной концепции. Вслед за Н. С. Шатским (его ранними работами), В. С. Журавлевым, Р. А. Гафаровым, В. А. Дедеевым, А. К. Запольновым и другими геологами и геофизиками В. Г. Оловянишников рассматривал структуры Тимана, п-ова Канин и фундамента Печорской плиты как области верхнепротерозойской байкальской (тиманской) складчатости, являющиеся фундаментом северо-восточной окраины Восточно-Европейской платформы с выходами на поверхность в ряде поднятий на Тимане и п-ове Канин [4–6]. Нужно отметить, что в те годы активно развивалась альтернативная гипотеза о платформенной (рифтогенной, авлакогенной) природе структуры Тимана, корнями уходящая в начало двадцатого века к идеям А. П. Карпинского о наличии древней жесткой глыбы фундамента в Большеземельской тундре. Она была сформулирована Н. С. Шатским в его поздних трудах [31] и получила поддержку в ряде работ В. Е. Хаина, Г. А. Чернова, П. Е. Оффмана, З. И. Цзю и др.

В. Г. Оловянишников, основываясь на данных глубокого бурения, появившихся к тому времени (в частности, наличии в Возейской структуре Колвинского вала на глубине более 4 км дислоцированных кварцевых порфиров и альбитофиров, перекрывающихся горизонтально залегающими осадочными отложениями ордовика), пришел к выводу о присутствии в пределах Большеземельской тундры дислоцированных рифейских образований, близких к орогенным, которые на эпикарельском острове Восточно-Европейской платформы неизвестны. Это ставило под сомнение представление о том, что фундамент Большеземельской тундры представляет собой монолитную архейскую глыбу [6].

Основываясь на данных предшествующих исследователей, отстаивающих геосинклинальную концепцию формирования рифейского фундамента Тимана и п-ова Канин, и собственных геологических наблюдениях, В. Г. Оловянишников [6] предложил усовершенствованную модель тектоники и истории тектонического развития территории в позднем докембрии. В пределах Канино-Тиманского (миogeосинклинального) отрезка Тимано-Уральской рифейской геосинклинали В. Г. Оловянишников выделил две зоны, раз-

деленные Среднетиманским (Центрально-Тиманским) глубинным разломом, ограничивающим с северо-востока полосу распространения рифогенных пород быстринской свиты. Во внешнюю зону миogeосинклинали на Южном и Среднем Тимане была включена площадь, к которой приурочены выходы рифейских отложений на поверхность. На п-ове Канин внешняя зона в интерпретации В. Г. Оловянишникова сильно сужалась, и к ней могли принадлежать лишь верхнедокембрийские отложения мысов Лудоватых, а далее к северо-западу — рифейские толщи о-ва Кильдин, п-овов Средний и Рыбачий. К внутренней зоне миogeосинклинали были отнесены верхнедокембрийские отложения п-ва Канин, Северного Тимана и Печорской впадины.

Таким образом, В. Г. Оловянишников показал, что рифейское складчатое сооружение Северного Тимана и п-ова Канин значительно отличается от структуры рифейских отложений Среднего и Южного Тимана. Поэтому он предложил рассматривать область Северного Тимана и п-ова Канин как отдельный Канино-Северотиманский антиклинорий, в ядре которого обнажаются наиболее древние для рассматриваемого региона отложения микулкинской серии. Эта точка зрения была выдвинута в противовес существовавшему представлению о том, что рифейское складчатое сооружение Северного Тимана и п-ова Канин наряду с рифейскими структурами Среднего и Южного Тимана входят в состав единого Тиманского краевого поднятия [30].

Результаты исследований на Канино-Тиманской гряде и сопредельных территориях, выполненных в 60–70-е годы, привели В. Г. Оловянишникова к выводу, что тиманиды являются очень длительно развивающейся геосинклинальной областью, окончательное оформление структур которой произошло на рубеже венда и кембрия. Длительность формирования тиманид им оценивалась более чем 1200 млн лет (средний-верхний протерозой). По его мнению, в отличие от классических байкалид юго-востока Сибири тиманиды формировались на коре континентального типа. Эту точку зрения В. Г. Оловянишников обосновывал данными сейсмологических исследований, проведенных в 1973 г. Западным геофизическим трестом, подтвердившими присутствие под Тиманом и Печорской впадиной архейско-нижнепротерозойского фундамента.

Каледонский тектогенез, по мнению В. Г. Оловянишникова, не оставил заметных следов и, по-видимому, не оказал сколько-либо значительного влияния на структурный план тиманид, формирование которого связано в основном с байкальской (тиманской) эпохой складчатости [6].

Проведенный позднее В. Г. Оловянишниковым [8] палеотектонический анализ верхнедокембрийских отложений Канино-Тиманской гряды и Печорской впадины показал, что резкая смена эпикарельского фундамента эпибайкальским отсутствует. В отличие от других регионов проявления байкальской складчатости (Енисейский кряж, Урал) переход от одной структурно-формационной зоны к другой менее резкий и зоны обладают большей шириной. Архейско-нижнепротерозойский фундамент прослеживается всеми геофизическими материалами. Имеющиеся к этому периоду (к середине 80-х годов) фактические дан-

ные позволили В. Г. Оловянишникову считать доказанным, что рифейский комплекс Печорской плиты (включая Тиманскую гряду как юго-западное ограничение названной плиты) формировался в процессе деструкции дорифейской континентальной коры, существовавшей ранее на всей этой территории. «В результате деструкции отдельные слабо переработанные жесткие массивы (микроплиты) были разделены рифтовыми зонами, в которых, вероятно, формировались эвгеосинклинальные формации» [8, с. 18].

В разработанной В. Г. Оловянишниковым [8] схеме тектонического районирования верхнепротерозойского комплекса северо-востока Европейской платформы были выделены следующие надпорядковые структуры.

1. Северо-восточная часть Русской плиты с архейско-раннепротерозойским фундаментом и мощным платформенным чехлом верхнедокембрийских отложений.

2. Притиманский перикратон, охватывающий юго-восточную окраину Русской плиты и юго-западную часть Среднего и Южного Тимана, в пределах которого выделены две структурно-формационные зоны — внешняя (Мезенско-Вычегодская) и внутренняя (Обдырско-Четласская), разделенные Западно-Тиманским глубинным разломом и отличающиеся степенью дислоцированности и метаморфического изменения верхнедокембрийских отложений (глубинный катагенез во внешней зоне и повышенная дислоцированность и вторичные изменения во внутренней зоне).

3. Внешняя (миогеосинклинальная) область рифейской геосинклинали, включающая территорию между Центрально-Тиманским и Припечорским глубинными разломами и разделенная на три структурно-формационные зоны (с юго-запада на северо-восток): Цилемско-Ропчинскую, Кислоручейско-Вольскую и Канино-Печорскую. Цилемско-Ропчинская зона образована карбонатными и терригенно-карбонатными формациями. Она прослеживается далее как в северо-западном (п-в Канин, о-в Кильдин), так и в юго-восточном (Полюдов кряж) направлениях. Кислоручейско-Вольская и Канино-Печорская зоны разделены Восточно-Тиманским глубинным разломом. Печоро-Канинская зона отличается повышенной степенью метаморфизма и дислоцированности пород, а также присутствием наиболее разнообразного в формационном отношении комплекса магматических образований.

4. Внутренняя зона тиманид, ограниченная с юго-запада Припечорским глубинным разломом, характеризуется широким распространением вулканических и вулканогенно-осадочных толщ. В пределах этой зоны В. Г. Оловянишников выделяет два жестких массива предположительно дорифейской консолидации: Колгуевский и Хорейверский.

Присутствие на северо-востоке Европейской платформы рифейской эвгеосинклинали, по мнению В. Г. Оловянишникова, нельзя было считать доказанным. В качестве обоснования этой точки зрения он приводил следующие факты: а) стабильность региона в палеозое, б) слабый метаморфизм верхнепротерозойских отложений, в) калиевая специализация позднепротерозойского магматизма, г) слабое развитие орогенного комплекса.

Разработанное в эти годы В. Г. Оловянишниковым тектоническое районирование верхнепротерозойского комплекса северо-востока Европейской платформы легло в основу его дальнейших исследований в области тектоники и геодинамики, хотя история развития земной коры этого региона стала рассматриваться по-новому — с позиций концепции плейт-тектоники. На корректировку тектонических воззрений В. Г. Оловянишникова оказали также влияние его новые идеи в области стратиграфии верхнего докембрия Канино-Тиманской гряды об отсутствии здесь нижнерифейских и, возможно, среднерифейских отложений. В своей монографии 1998 г. В. Г. Оловянишников отмечает проблематичность характеристики ранне- и среднерифейских этапов развития территории, в силу того что на земной поверхности отсутствуют отложения соответствующего возраста. По аналогии с Южным Уралом и Кольским полуостровом В. Г. Оловянишников предположил возможность формирования континентальных и мелководных рифтогенных формаций вдоль северо-восточной окраины платформы в ранне- и среднерифейское время.

В соответствии с разработанной В. Г. Оловянишниковым на рубеже 90-х и нулевых годов модели развития земной коры северо-востока Европейской платформы [17—18, 21—23, 35] позднедокембрийский канино-тиманский комплекс сформировался в компрессионной зоне тиманских разломов, в которой происходила разгрузка горизонтальных напряжений, возникших при коллизии микроконтинентов (террейнов) с погруженной окраиной платформы.

При этом в начале позднего рифея начинается погружение окраины Восточно-Европейской платформы в связи с общим процессом деструкции окраины платформы и появлением зон с океанической корой в окружающей метаплатформенной области. На границе Русской плиты и Ижемской микроплиты (ограниченной с северо-востока Припечорским глубинным разломом) формируется мощная (до 1200 м) карбостромовая формация, замещающаяся как в северо-восточном, так и в юго-западном направлениях карбонатно-терригенными и терригенными отложениями. В палеотектоническом отношении карбостромовая формация приурочена к зоне Центрально-Тиманского глубинного разлома и разделяет области с резко различающимися тектоническими режимами. В палеогеографическом отношении она, по-видимому, соответствует зоне раздела фаций шельфа и континентального склона. Карбостромовая формация перекрывается и частично замещается флишеидными формациями с признаками турбидитовой седиментации.

В конце позднего рифея, вероятно, в связи с разрушением крупного континентального массива и заложением океанических зон начинается движение раннедокембрийских блоков-микроконтинентов (террейнов): Хорейверского, Колгуевского, Ямало-Новоземельского и других, сближение которых с остовом материка сопровождается возникновением островных дуг и проявлением субдукции.

В конце венда — начале кембрия в процессе латеральной аккреции происходит окончательная консолидация фундамента.

Последние варианты палеотектонических схем северо-востока Европейской платформы (для позднего

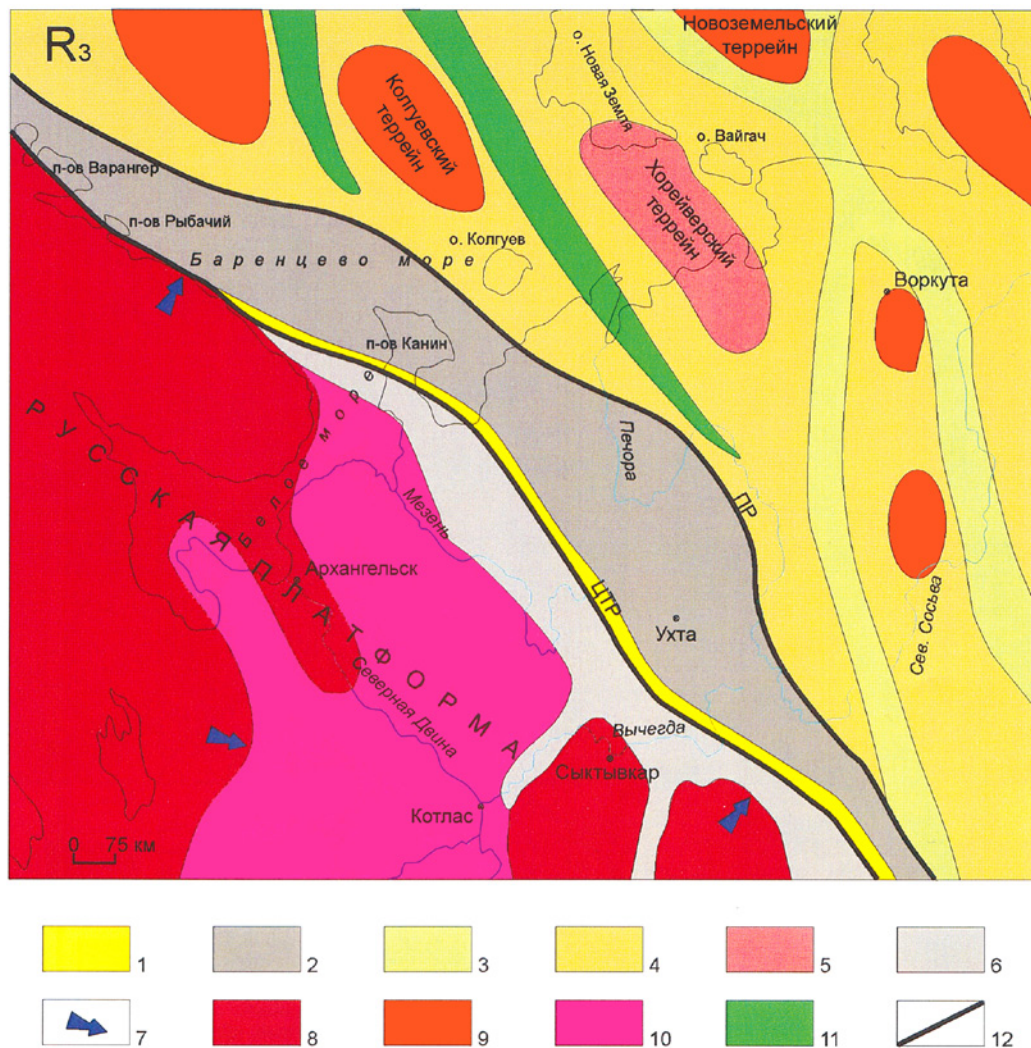


Рис. 2. Палеотектоническая схема Северо-Востока Европейской платформы для верхнего рифея [24]

1–6 — формации: 1 — карбостромовая, 2 — морские терригенные и карбонатно-терригенные, 3 — карбостромовые и вулканогенные островных дуг, 4 — вулканно-терригенные и карбонатно-терригенные открытого моря, 5 — мелководные карбонатно-терригенные на микроконтинентах (террейнах), 6 — мелководные карбонатно-терригенные и терригенно-карбонатные; 7 — направление движения массивов; 8 — раннедокембрийские образования; 9 — дорифейские массивы (террейны); 10 — континентальные и прибрежные отложения; 11 — зоны интенсивного подводного вулканизма; 12 — разломы: ЦТР — Центрально-Тиманский, ПР — Припечорский

Fig. 2. Paleotectonic scheme of the North-East of the European Platform in the Upper Riphean [24]

1–6 — formations: 1 — carbostronic, 2 — marine terrigenous and carbonate-terrigenous, 3 — carbostronic and volcanic island arcs, 4 — volcano-terrigenous and carbonate-terrigenous open seas, 5 — shallow-water carbonate-terrigenous on microcontinents (terrines), 6 — shallow-water carbonate-terrigenous and terrigenous-carbonate; 7 — direction of movement of the massifs; 8 — Early Precambrian formations; 9 — Pre-Riphean massifs (terrines); 10 — continental and coastal sediments; 11 — zones of intense underwater volcanism; 12 — faults: ЦТР — Central Timan, ПР — Pripechorsky

рифей и позднего венда), заимствованные из посмертной публикации «Атласа геологических и геодинимических карт Канино-Тиманского кряжа и фундамента Печорской плиты» [24], приведены на рис. 2, 3.

В. Г. Оловянишников отмечал, что позднепротерозойские палеотектонические структуры на северо-востоке Европейской платформы имеют значительно большую ширину, чем в других районах позднерифейской складчатости, что может быть свидетельством относительно слабой степени деструкции дорифейской континентальной коры. Тиманиды в от-

личие от тектонотипов проявления байкальской (Енисейский кряж) и кадомской (Западная Европа) складчатостей обладают также значительно более простым строением и историей геологического развития. Многие процессы — складчатость, метаморфизм, магматизм — проявились здесь менее интенсивно и в меньшем возрастном диапазоне. В результате тиманской складчатости не были созданы высокогорные сооружения. Об этом, в частности, свидетельствует слабое развитие орогенных формаций [23, 33, 34 и др.].

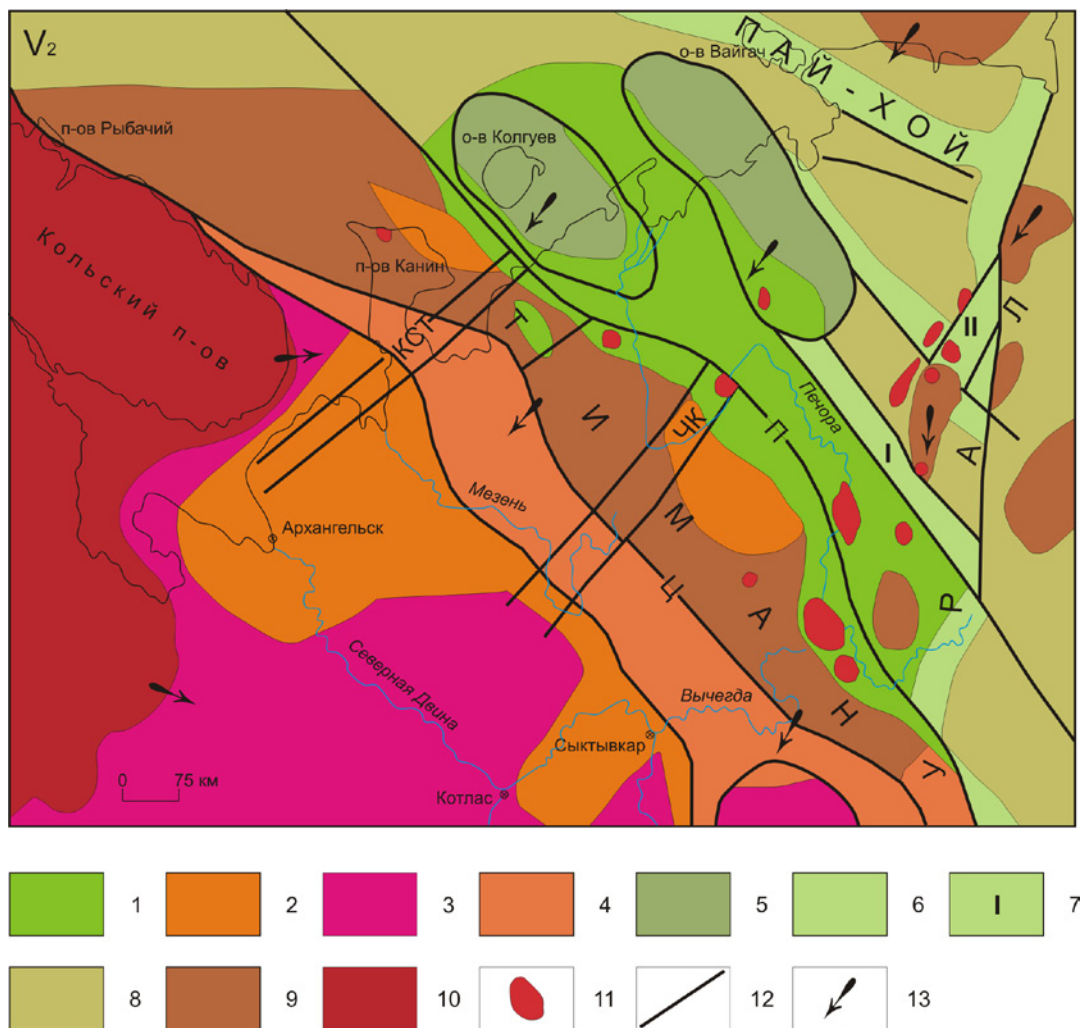


Рис. 3. Палеотектоническая схема Северо-Востока Европейской платформы для позднего венда

1 — осадочно-вулканогенные комплексы коллизионной зоны; 2 — пестроцветные, частично красноцветные лагунные и прибрежно-морские отложения; 3 — континентальные и прибрежно-морские отложения; 4 — терригенная моласса Притиманского краевого прогиба; 5 — вулканогенно-осадочные формации на доверхнерипейских массивах; 6 — вулканогенные и вулканотерригенные формации локальных зон растяжения; 7 — поздневендские или раннекембрийские сдвиговые зоны на Приполярье Урале (I — Вангыро-Патокская, II — Кожимо-Хальмерьуская); 8 — морские терригенные и вулканогенно-осадочные отложения; 9 — участки размыва и сноса осадков; 10 — раннедокембрийские образования; 11 — гранитоиды; 12 — основные зоны сдвиговых деформаций и сопутствующего метасоматоза (Ц — Центрально-Тиманская, П — Припечорская, ЧК — Четласско-Кипиевская, КСТ — Канино-Северотиманская); 13 — направление сноса обломочного материала

Fig. 3. Paleotectonic map of Late Vendian North-East of the European platform

1 — volcanic sedimentary complexes of the collision zone; 2 — variegated, partially red-colored lagoon and coastal-marine deposits; 3 — continental and coastal-marine deposits; 4 — terrigenous molasse of the Pre-Timan foredeep; 5 — volcanogenic-sedimentary formations on the pre-Upper Riphean massifs; 6 — volcanic and volcano-terrigenous formations of local extension zones; 7 — Late Vendian or Early Cambrian strike-slip zones in the Subpolar Urals (I — Vangyro-Patokskaya, II — Kozhimo-Khalmeryuskaya); 8 — marine terrigenous and volcanogenic-sedimentary deposits; 9 — areas of erosion and sediment drift; 10 — Early Precambrian formations; 11 — granitoids; 12 — main zones of shear deformations and associated metasomatism (Ц — Central Timanskaya, П — Pripechorskaya, ЧК — Chetlasko-Kipievskaya, КСТ — Kanino-Severotimanskaya); 13 — direction of debris drift

Результаты исследований в области метаморфизма

В области изучения метаморфизма пород северо-востока Европейской платформы В. Г. Оловянишников фактически был монополистом. До его прихода в регион вопросы метаморфизма рифейских отложений Тимана и п-ова Канин в литературе почти не были освещены. Лишь очень краткие сведения по этому вопросу можно было найти в работах В. И. Шмыгалева,

В. А. Калюжного, Д. П. Сердюченко, В. С. Семенова, Ю. П. Ивенсена, А. М. Плякина и др. Но и позднее на фоне глубоких разработок В. Г. Оловянишникова в этом направлении появлялись только отдельные исследования других авторов, в основном касающиеся метаморфических пород п-ова Канин [15, 19, 25, 26, 32]. Уже в самые первые годы самостоятельной работы в Канино-Тиманском регионе в одной из своих первых статей В. Г. Оловянишников обратился к вопросам метаморфизма пород и сделал попытку оценить



влияние этого процесса на распределение малых элементов в осадочных породах Северного Тимана [3]. Позднее он активно использовал эти данные при корреляции разрозненных верхнедокембрийских толщ, а также при металлогенических построениях. В статье, опубликованной в 1971 г. в трудах Института геологии Коми ФАН СССР [5], а затем в монографии «Строение фундамента Северного Тимана и полуострова Канин» [6] В. Г. Оловянишников подвел первые итоги изучения метаморфизма верхнепротерозойских отложений почти на всей обнаженной части Канино-Тиманской гряды — от хребта Пае на северо-западе до возвышенности Очпарма на юго-востоке. На составленной карте метаморфических фаций [6, рис. 8] показаны выделенные им зоны глубинного эпигенеза, метагенеза, мусковит-хлоритовой и биотит-хлоритовой субфаций фации зеленых сланцев, эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фаций. Широкий взгляд почти на всю Канино-Тиманскую гряду позволил В. Г. Оловянишникову выделить два района с различным характером метаморфических процессов: с одной стороны, Северный Тиман и Канин с зональным метаморфизмом пород, связанным, как он считал, с тепловым воздействием глубинных магматических очагов, и с другой стороны, Средний и Южный Тиман со слабым метаморфизмом пород под воздействием статической нагрузки в условиях нормального геотермического градиента. Слабый метаморфизм рифейских отложений Среднего и Южного Тимана В. Г. Оловянишников связывал с их залеганием на слабо переработанном дорифейском гранито-гнейсовом основании, а также с более молодым возрастом этих пород в сравнении с осадочно-метаморфическими образованиями Северного Тимана и особенно п-ова Канин. В. Г. Оловянишников обратил внимание на то, что **К–Аг-возраст метаморфизма** пород снижается от 810–640 млн лет в южных районах Тимана до 755–485 млн лет на п-ове Канин и объяснил это более полным и длительным развитием байкальского магмато-метаморфического цикла в северо-западной части гряды. Результаты этих исследований были использованы при составлении «Карты метаморфических поясов СССР масштаба 1:500000», соавтором которой стал В. Г. Оловянишников [11].

Дальнейшее целенаправленное изучение метаморфизма пород с вовлечением обширной территории, включающей наряду с Канино-Тиманским регионом районы Притиманья, Печорской впадины и Полудовского поднятия, позволило В. Г. Оловянишникову составить «Карту метаморфизма верхнедокембрийских отложений северо-востока Европейской платформы» и наметить последовательность проявления метаморфических событий. Новые геохронологические данные наряду с полученными ранее К–Аг-датировками пород дали основание для возрастной привязки отдельных этапов метаморфизма. Результаты этой работы, в которой также приняли участие коллеги В. Г. Оловянишникова, были опубликованы в Докладах АН СССР [7] и в серии препринтов Коми ФАН СССР «Научные доклады» [2].

В соответствии с тектоническим районированием рассматриваемой территории была определена ее принадлежность двум структурам: области Притиманского перикратонного опускания и рифейской

миогeosинклинали, граница между которыми проходила по зоне Центрально-Тиманского глубинного разлома.

Результаты изучения метаморфизма пород этой территории показали, что в области перикратонного опускания вторичные изменения соответствовали условиям глубинного катагенеза. Как уже отмечалось выше, В. Г. Оловянишников считал, что они обусловлены статической нагрузкой залегающих выше отложений при нормальном геотермическом градиенте. К–Аг-возраст катагенетических изменений (970 ± 20) млн лет.

В области рифейской миогeosинклинали проявлен дифференцированный в пространстве региональный термодинамометаморфизм. В основном он не превышает фации зеленых сланцев, но на общем фоне слабометаморфизованных пород (ранний однородный метаморфизм, по В. А. Глебовицкому, [10]) выделяются участки с развитием зонального метаморфизма и метаморфизма зон смятия. Зональный метаморфизм проявлен на п-ове Канин, Северном Тимане и на отдельных участках фундамента Ижма-Печорской впадины. Наиболее полно он проявлен на п-ове Канин, где уровень метаморфизма пород достигал амфиболитовой фации, а изограды по индекс-минералам несогласны стратиграфическим границам. **К–Аг-возраст** зонального метаморфизма (680 ± 20) млн лет.

Метаморфизм зон смятия, который связывается с термическими аномалиями под зонами глубинных разломов [10], на Тимане приурочен к зоне Центрально-Тиманского разлома и пространственно совпадает с полосой распространения карбонатных отложений быстринской серии.

Кроме региональных метаморфических преобразований верхнепротерозойские породы испытали неоднократно и разнотипные изменения локального характера. В юго-восточной части Четласского поднятия отложения четласской серии фенигитизированы в связи с формированием четласского щелочно-ультрабазитового комплекса. К–Аг-возраст процесса (600 ± 15) млн лет.

На рубеже (455 ± 10) млн лет на Северном Тимане и п-ове Канин в зонах крупных разломов получил развитие дислокационный метаморфизм, по-видимому, связанный с формированием скандинавских каледонид.

Таким образом, результаты исследований в области метаморфизма, полученные к середине 80-х годов, позволили сделать вывод о проявлении двух основных этапов вторичного преобразования верхнепротерозойских пород Европейского Северо-Востока. На первом этапе они испытали метаморфизм погружения, на втором — региональный динамометаморфизм. В последующем вторичные преобразования пород носили локальный характер и проявились в зонах разломов и экзоконтактах интрузивных тел.

Позднее со сменой тектонической парадигмы и последовавшим пересмотром тектонических и геодинамических построений и разработкой новых палеотектонических моделей В. Г. Оловянишников внес уточнения в разработанную ранее карту метаморфизма (рис. 4). На карте видно, что наиболее слабометаморфизованные верхнепротерозойские породы приурочены к Притиманскому перекратону и платформенному чехлу Русской плиты (условия глубинного катагенеза

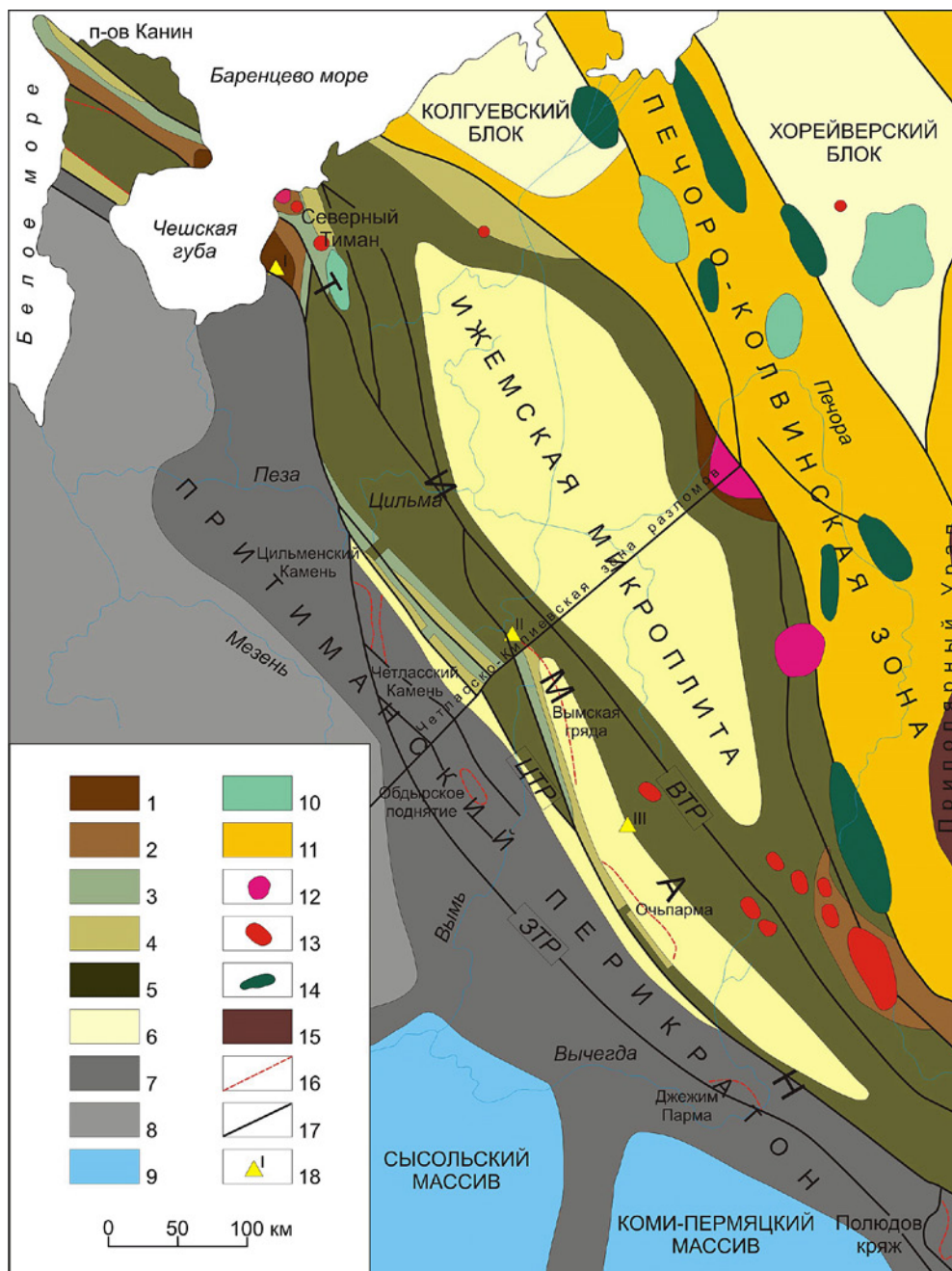


Рис. 4. Карта метаморфизма верхнедокембрийских отложений Северо-Востока Европейской платформы [24]

1 — амфиболитовая фация умеренных давлений (серия В); 2 — эпидот-амфиболитовая фация; 3 — биотит-мусковитовая субфация зеленых сланцев; 4 — мусковит-хлоритовая субфация фации зеленых сланцев; 5 — нерасчлененная фация зеленых сланцев; 6 — субфация начального метакатагенеза; 7 — субфация глубинного катагенеза; 8 — цеолитовая (пумпеллит-прениитовая) фация или субфация начального катагенеза; 9 — полиметаморфические комплексы раннедокембрийских массивов; 10 — вулканогенно-осадочный орогенный комплекс байкалитид, метаморфизованный в стадии начального метакатагенеза; 11 — слабоизученные полиметаморфические вулканогенно-осадочные комплексы Печоро-Колвинской зоны; 12 — гранитоиды, выделенные по геофизическим данным; 13 — гранитоиды, выделенные по геологическим данным; 14 — интрузии основного состава; 15 — рифейские полиметаморфические комплексы Приполярного Урала; 16 — границы выходов на поверхность верхнедокембрийских образований; 17 — разломы: ЗТР — Западно-Тиманский, ЦТР — Центрально-Тиманский, ВТР — Восточно-Тиманский; 18 — россыпи титансодержащих минералов: I — Волонгское, II — Пижемское, III — Ярегское

Fig. 4. Map of metamorphism of the Upper Precambrian deposits of the North-East of the European Platform [24]

1 — moderate pressure amphibolite facies (series B); 2 — epidote-amphibolite facies; 3 — biotite-muscovite subfacies of green shales; 4 — muscovite-chlorite subfacies of the green shale facies; 5 — undifferentiated greenschist facies; 6 — subfacies of initial metagenesis; 7 — subfacies of deep catagenesis; 8 — zeolite (pumpellyite-prenite) facies or subfacies of initial catagenesis; 9 — polymetamorphic complexes of the Early Precambrian massifs; 10 — volcanogenic-sedimentary orogenic complex Baikallides, metamorphosed at the stage of initial metagenesis; 11 — poorly studied polymetamorphic volcanogenic-sedimentary complexes of the Pechora-Kolvininskaya zone; 12 — granitoids identified according to geophysical data; 13 — granitoids identified according to geological data; 14 — intrusions of the basic composition; 15 — Riphean polymetamorphic complexes of the Subpolar Urals; 16 — boundaries of outcrops to the surface of the Upper Precambrian formations; 17 — faults: ЗТР — West Timan, ЦТР — Central Timan, ВТР — East Timan; 18 — placers of titanium-containing minerals: I — Volongskoe, II — Pizhemskoe, III — Yaregskoe



и пумпеллит-пренитовой фации). В пределах жестких континентальных блоков-террейнов (Хорейверского и Колгуевского) и Ижемской микроплиты уровень вторичных изменений пород несколько выше, но не превышает стадии начального метакристаллического. В пределах остальной части внешней зоны тиманид породы метаморфизованы преимущественно в условиях фации зеленых сланцев. При этом в юго-западной части зоны в пределах Канино-Тиманского кряжа выделяются области с аномальными Р-Т-условиями метаморфизма. В юго-восточной половине кряжа (восточная часть Четласского поднятия, Вымская гряда, Очпарминское поднятие) породы изменены в условиях субфации начального метакристаллического. В северной части кряжа (Северный Тиман и п-ов Канин) уровень метаморфизма пород достигал условий эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фаций.

Заключение

Из приведенных выше данных отчетливо прослеживается комплексный подход В. Г. Оловянишникова к исследованию геологического строения и истории геологического развития выбранного им уже в первые годы своей профессиональной работы интереснейшего геологического объекта — тиманид. Полученные как на ранних, так и поздних этапах работы геологические результаты логически взаимосвязаны и непротиворечивы. Результаты изучения метаморфизма пород в полной мере использованы для целей стратиграфического расчленения верхнедокембрийского разреза и корреляции разрозненных в пространстве разрезов. Тектонические и геодинамические построения логически увязаны с данными по стратиграфии докембрия рассматриваемого региона, а также с данными по метаморфизму. Нужно также отметить, что на всех этапах работ В. Г. Оловянишников активно использовал результаты геофизических исследований, большое внимание уделял анализу геохимических, минералогических и палеонтологических данных.

Достигнутые результаты в каждом из трех рассмотренных выше направлений исследований В. Г. Оловянишникова могли бы составить честь любому геологу. А ведь у него есть весьма значимые работы, посвященные вопросам нефтегазоносности верхнедокембрийского комплекса Тимано-Печорской провинции, проблеме первоисточников россыпей алмазов Тимана и разработке тектонических критериев поисков их коренных источников, сравнительному анализу золотоносности Тимана и Енисейского кряжа и многие другие. Каждая из его монографий, особенно «Тектоника Тимана» (1987 г.) и «Верхний докембрий Тимана и полуострова Канин» (1998 г.), без сомнения, могла быть представлена в качестве добротной докторской диссертации. Действительно, в геологии докембрия северо-востока Печорской плиты, и особенно ее юго-западного Канино-Тиманского обрамления, В. Г. Оловянишников успел сделать так много, что трудно представить, как это было по силам одному человеку, но еще очень много задумок планировал осуществить в будущем. К сожалению, далеко не все намеченное он успел сделать, но тем не менее оставил огромное геологическое наследие, которым следует разумно рас-

порядится новому поколению геологов — исследователей Тимана.

Всемирно известный ученый-геолог из университета г. Упсала (Швеция) профессор Дэвид Джи в письме академику Н. П. Юшкину в связи с известием о кончине В. Г. Оловянишникова написал следующее: «...много лет спустя все, кто его знал, уйдут в мир иной, а память о нем будет жить вечно. Изменятся представления, но основа, которую он заложил, всегда будет путеводной звездой для будущих геологов. Нам в Скандинавии были очень полезны его научный опыт и житейская мудрость...».

Литература

1. Верхний докембрий Европейского Севера СССР: Объяснительная записка к схеме стратиграфии. Сыктывкар: Коми ФАН СССР, 1986. 40 с.
2. Геологическая эволюция и минералогия Тимана / В. Г. Гецен, В. Л. Андреичев, В. В. Беляев и др. Сыктывкар: Коми ФАН СССР, 1985. 24 с. (Серия препринтов «Научные доклады». Вып. 137)
3. Гецен В. Г., Иванова Т. И. О влиянии метаморфизма на распределение малых элементов в осадочно-метаморфических породах Северного Тимана // Тр. Ин-та геологии Коми ФАН СССР. Вып. 8. Сыктывкар, 1968. С. 55—66.
4. Гецен В. Г. Стратиграфия и структура рифейских отложений п-ва Канин // Докл. АН СССР. Т. 196. Вып. 4, 1971.
5. Гецен В. Г. Некоторые особенности регионального метаморфизма рифейских отложений Тимана и полуострова Канин // Геология северо-востока европейской части СССР и севера Урала. Сыктывкар: Коми ФАН СССР, 1971. С. 116—126.
6. Гецен В. Г. Строение фундамента Северного Тимана и полуострова Канин. Л.: Наука, 1975. 144 с.
7. Гецен В. Г., Андреичев В. Л., Степаненко В. И. Эволюция метаморфизма верхнепротерозойского комплекса Тимана по геолого-геохронологическим данным // ДАН СССР. Т. 285. № 6. 1985. С. 1424—1428.
8. Гецен В. Г. Тектоника Тимана. Л.: Наука, 1987. 172 с.
9. Гецен М. В. Всеволод Георгиевич Оловянишников. К 80-летию со дня рождения // Сыктывкар, 2016. 72 с.
10. Глебовицкий В. А. Проблемы эволюции метаморфических процессов в подвижных областях. Л.: Наука, 1973. 128 с.
11. Карта метаморфических поясов СССР. Масштаб 1:500000 / Отв. редактор В. А. Глебовицкий. М., 1974.
12. Карта докембрийских формаций Русской платформы и ее складчатого обрамления. Масштаб 1:2 500 000 / Отв. редактор Ю. Р. Беккер. М., 1975.
13. Мальков Б. А., Пучков В. Н. Стратиграфия и структура метаморфических толщ Северного Тимана и п-ва Канин // Тр. ИГ Коми ФАН АН СССР. Вып. 4. Сыктывкар, 1963. С. 46—56.
14. Маслов А. В., Оловянишников В. Г., Ишерская М. В. Рифей восточной, северо-восточной и северной периферии Русской платформы и западной мегазоны Урала: литостратиграфия, условия формирования и типы осадочных последовательностей // Литосфера, 2002. № 2. С. 54—95.
15. Метаморфическая зональность рифейских образований Тимано-Канинского региона / А. П. Казак, Н. Г. Дымникова, Б. А. Горностай, К. Э. Якобсон // Советская геология. № 7. 1989. С. 65—74.



16. Микрофоссилии рифея севера Восточно-Европейской платформы / А. Ф. Вейс, Д. Л. Федоров, Ю. Т. Кузьменко, Н. Г. Воробьева // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2003. Т. 11. № 6. С. 20—45.

17. Нечеухин В. М., Душин В. А., Оловянишников В. Г. Геодинамика и тектоника Урало-Тимано-Палеоазиатского сегмента Евразии // Строение, геодинамика и минерогенетические процессы в литосфере. Материалы Международ. конф. Сыктывкар: Геопринт, 2005. С. 247—249.

18. Нечеухин В. М., Душин В. А., Оловянишников В. Г. Палеогеодинамические ассоциации и тектоно-геодинамические элементы Урало-Тимано-Палеоазиатского сегмента Евразии: объяснительная записка к Геодинамической карте Урало-Тимано-Палеоазиатского сегмента Евразии масштаба 1:2500000. Екатеринбург: УрО РАН, УГГУ, 2009. 158 с.

19. Новицкий И. П. Петрология метаморфических комплексов полуострова Канин и Северного Тимана // Вестник МГУ. Геология. № 5. 1975. С. 35—41.

20. Оловянишников В. Г. Караван оленьих упряжек тянулся к Шойне: (Из истории начала работ на полуострове Канин) // Вестник Института геологии. 1997. № 11. С. 13—14.

21. Оловянишников В. Г. Верхний докембрий Тимана и полуострова Канин. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 164 с.

22. Оловянишников В. Г. Геологическое развитие полуострова Канин и Северного Тимана. Сыктывкар: Геопринт, 2004. 80 с.

23. Оловянишников В. Г. Тиманиды // Строение, геодинамика и минерогенетические процессы в литосфере: Материалы Международ. конф. Сыктывкар: Геопринт, 2005. С. 263—264.

24. Оловянишников В. Г. Атлас геологических и геодинамических карт Канино-Тиманского кряжа и фундамента Печорской плиты. Сыктывкар: Геопринт, 2007.

25. Пыстин А. М. Структурно-метаморфическая эволюция докембрийских образований Канино-Тиманского региона // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. № 9. Сыктывкар, 2001. С. 6—9.

26. Пыстин А. М., Пыстина Ю. И. Структура, метаморфизм и возраст докембрийских образований полуострова Канин и Северного Тимана // Проблемы геологии и минералогии. Сыктывкар: Геопринт, 2006. С. 176—195.

27. Рифей и венд Европейского Севера СССР / Гецен В. Г., Дедеев В. А., Акимов Г. Н. и др. Сыктывкар: Коми ФАН СССР, 1987. 124 с.

28. Семихатов М. А. Поздний докембрий. Состояние изученности стратиграфии докембрия и фанерозоя России. Задачи дальнейших исследований // Постановления Межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий. Вып. 38. СПб.: ВСЕГЕИ, 2008. 131 с.

29. Стратотип рифея. Стратиграфия. Геохронология. М.: Наука, 1983. 183 с.

30. Тектоника севера Русской плиты / Под ред. В. А. Дедеева, С. М. Домрачева // Тр. ВНИГРИ. Вып. 275. Л., 1969. 155 с.

31. Шатский Н. С. О прогибах донецкого типа // Избранные труды. Т. II. М., 1964. С. 544—553.

32. Lozenz H., Pystin A. M., Olovyanishnikov V. S., Gee D. G. Neoproterozoic high grade metamorphism of the Kanin Peninsula, Timanide Orogen, northern Russia // The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica. Published by the Geological Society. London: Memoir, 2004. P. 59—68.

33. Olovyanishnikov V. G., Roberts D., Siedlecka A. Tectonics and sedimentation of the Meso- to Neoproterozoic Niman-

Varanger Delt along the northeastern margin of Baltica. Polarforschung, 68. 2000. P. 267—274.

34. Roberts D., Olovyanishnikov V. G. Structural and tectonic development of the Timanide orogen // The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica. Published by the Geological Society. London: Memoir, 2004. P. 47—58.

35. The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica / Edited by D. G. Gee and V. Pease. Published by the Geological Society. London: Memoir, 2004. 255 p.

References

1. Verkhniy dokembriy yevropeyskogo severa SSSR: ob'yasnitel'naya zapiska k skheme stratigrafii (Upper Precambrian of the European north of the USSR: explanatory note to the stratigraphy scheme). Syktyvkar: Komi Br AS USSR, 1986, 40 p.

2. Geologicheskaya evolyutsiya i minerageniya Timana. Seriya preprintov «Nauchnyye doklady» (Geological evolution and minerageny of Timan. Series of preprints «Scientific reports»). Issue 137. V. G. Getsen, V. L. Andreichev, V. V. Belyaev et al. Syktyvkar: Komi Br AS USSR, 1985, 24 p.

3. Getsen V. G., Ivanova. T. I. O vliyaniy metamorfizma na raspredeleniye malykh elementov v osadochno-metamorficheskikh porodakh Severnogo Timana (On the influence of metamorphism on the distribution of trace elements in sedimentary-metamorphic rocks of the Northern Timan). Proceedings of IG Komi Br AS USSR, Issue 8, Syktyvkar, 1968, pp. 55—66.

4. Getsen V. G. Stratigrafiya i struktura rifeyskikh otlozheniy p-va Kanin (Stratigraphy and structure of the Riphean deposits of the Kanin Peninsula). Dokl. Academy of Sciences of the USSR, V. 196, 4, 1971.

5. Getsen V. G. Nekotoryye osobennosti regional'nogo metamorfizma rifeyskikh otlozheniy Timana i poluostrova Kanin (Some features of regional metamorphism of the Riphean deposits of Timan and the Kanin Peninsula). Geology of the north-east of the European part of the USSR and the north of the Urals. Syktyvkar: Komi Br AS USSR, 1971, pp. 116—126.

6. Getsen V. G. Stroyeniye fundamenta Severnogo Timana i poluostrova Kanin (The structure of the basement of Northern Timan and the Kanin Peninsula). Leningrad: Nauka, 1975, 144 p.

7. Getsen V. G., Andreichev V. L., Stepanenko V. I. Evolyutsiya metamorfizma verkhneproterozoyskogo kompleksa Timana po geologo-geokhronologicheskim dannym (Evolution of metamorphism of the Timan Upper Proterozoic complex according to geological and geochronological data). Dokl. Academy of Sciences of the USSR, V. 285, No. 6. 1985, pp. 1424—1428.

8. Getsen V. G. Tektonika Timana (Tectonics of Timan). Leningrad: Nauka, 1987, 172 p.

9. Getsen M. V. Vsevolod Georgiyevich Olovyanishnikov. K 80-letiyu so dnya rozhdeniya (Vsevolod Georgievich Olovyanishnikov. On the occasion of the 80th birthday) Syktyvkar, 2016, 72 p.

10. Glebovitskiy V. A. Problemy evolyutsii metamorficheskikh protsessov v podvizhnykh oblastyakh (Problems of the evolution of metamorphic processes in mobile regions). Leningrad: Nauka, 1973, 128 p.

11. Karta metamorficheskikh pojasov SSSR. Masshtab 1:500000 (Map of metamorphic belts of the USSR. Scale 1: 500000). Resp. editor V. A. Glebovitsky. Moscow, 1974.

12. Karta dokembriyskikh formatsiy Russkoy platformy i yeye skladdchatogo obramleniya. Masshtab 1:2500000 (Map of the Precambrian formations of the Russian Platform and its folded framing. Scale 1: 2500000) Resp. editor Yu. R. Bekker. Moscow, 1975.



13. Mal'kov B. A., Puchkov V. N. *Stratigrafiya i struktura metamorficheskikh tolshch Severnogo Timana i p-va Kanin* (Stratigraphy and structure of metamorphic strata of Northern Timan and the Kanin Peninsula). Proceedings of IG Komi Br AS USSR. Issue 4. Syktyvkar, 1963, pp. 46–56.
14. Maslov A. V., Olovyaniishnikov V. G., Isherskaya M. V. *Rifey vostochnoy, severo-vostochnoy i severnoy periferii Russkoy platformy i zapadnoy megazony Urala: litostratigrafiya, usloviya formirovaniya i tipy* (Riphean of the eastern, northeastern and northern periphery of the Russian platform and the western megazone of the Urals: lithostratigraphy, conditions of formation and types of sedimentary sequences). *Litosfera*, 2002, No 2, pp. 54–95.
15. *Metamorficheskaya zonal'nost' rifeyских obrazovaniy Timano-Kaninskogo regiona* (Metamorphic zoning of the Riphean formations of the Timan-Kaninsky region). A. P. Kazak, N. G. Dymnikova, B. A. Ermine, K. E. Jacobson. *Soviet Geology*, No 7, 1989, pp. 65–74.
16. *Mikrofossilii rifeya severa Vostochno-Yevropeyskoy platformy* (Microfossils of the Riphean north of the East European platform). A. F. Weiss, D. L. Fedorov, Yu. T. Kuzmenko, N. G. Vorobyov. *Stratigraphy. Geological Correlation*, 2003, V. 11, No. 6. pp. 20–45.
17. Necheukhin V. M., Dushin V. A., Olovyaniishnikov V. G. *Geodinamika i tektonika Uralo-Timano-Paleoaziatskogo segmenta Yevrazii* (Geodynamics and tectonics of the Ural-Timan-Paleo-Asian segment of Eurasia). Structure, geodynamics and mineragenic processes in the lithosphere. Materials of the International Conf. Syktyvkar: Geoprint, 2005, pp. 247–249.
18. Necheukhin V. M., Dushin V. A., Olovyaniishnikov V. G. *Paleogeodinamicheskiye asotsiatsii i tektono-geodinamicheskiye elementy Uralo-Timano-Paleoaziatskogo segmenta Yevrazii: ob'yasnitel'naya zapiska k Geodinamicheskoy karte Uralo-Timano-Paleoaziatskogo segmenta Yevrazii masshtaba 1:2 500 000* (Paleogeodynamic associations and tectonic-geodynamic elements of the Ural-Timan-Paleo-Asian segment of Eurasia: an explanatory note to the Geodynamic map of the Ural-Timan-Paleo-Asian segment of Eurasia on a scale of 1: 2500000). Ekaterinburg: UB RAS, USMU, 2009, 158 p.
19. Novitskiy I. P. *Petrologiya metamorficheskogo kompleksa poluostrova Kanin i Severnogo Timana* (Petrology of the metamorphic complex of the Kanin Peninsula and Northern Timan). Moscow State University Bulletin. *Geology*, No. 5. 1975. pp. 35–41.
20. Olovyaniishnikov V. G. *Karavan olen'ikh upryazhek ty-anulsya k Shoyne: Iz istorii nachala rabot na poluostrove Kanin* (A caravan of reindeer teams was drawn to Shoin: From the history of the beginning of work on the Kanin Peninsula). *Vestnik of the Institute of Geology Komi SC UB RAS*, No 11, 1997, pp. 13–14.
21. Olovyaniishnikov V. G. *Verkhniy dokembriy Timana i poluostrova Kanin* (Upper Precambrian of Timan and the Kanin Peninsula). Yekaterinburg: UB RAS, 1998, 164 p.
22. Olovyaniishnikov V. G. *Geologicheskoye razvitiye poluostrova Kanin i Severnogo Timana* (Geological development of the Kanin Peninsula and Northern Timan). Syktyvkar: Geoprint, 2004, 80 p.
23. Olovyaniishnikov V. G. *Timanidy* (Timanids). Structure, geodynamics and mineragenic processes in the lithosphere. Proceedings of the Intern. conf. Syktyvkar: Geoprint, 2005, pp. 263–264.
24. Olovyaniishnikov V. G. *Atlas geologicheskikh i geodinamicheskikh kart Kanino-Timanskogo kryazha i fundamenta Pechorskoy plity* (Atlas of geological and geodynamic maps of the Kanino-Timan ridge and the basement of the Pechora plate). Syktyvkar: Geoprint, 2007.
25. Pystin A. M. *Strukturno-metamorficheskaya evolyutsiya dokembriyskikh obrazovaniy Kanino-Timanskogo regiona* (Structural-metamorphic evolution of the Precambrian formations of the Kanino-Timan region). *Vestnik of the Institute of Geology Komi SC UB RAS*, No. 9, 2001, pp. 6–9.
26. Pystin A. M., Pystina Yu. I. *Struktura, metamorfizm i vozrast dokembriyskikh obrazovaniy poluostrova Kanin i Severnogo Timana* (Structure, metamorphism and age of the Precambrian formations of the Kanin Peninsula and Northern Timan). *Problems of Geology and Mineralogy*. Syktyvkar: Geoprint, 2006, pp. 176–195.
27. *Rifey i vend yevropeyskogo severa SSSR* (Riphean and Vendian of the European North of the USSR). Getsen V. G., Dedeev V. A., Akimova G. N. et al. Syktyvkar: Komi Br AS USSR, 1987, 124 p.
28. Semikhatov M. A. *Pozdniy dokembriy. Sostoyaniye izuchennosti stratigrafii dokembriya i fanerozoia Rossii. Zadachi dal'neyshikh issledovaniy* (Late Precambrian. The state of knowledge of the stratigraphy of the Precambrian and Phanerozoic in Russia. Tasks for further research). Resolutions of the Interdepartmental Stratigraphic Committee and its Standing Committees. Issue 38. Saint Petersburg: VSEGEI, 2008, 131 p.
29. *Stratotip rifeya. Stratigrafiya. Geokhronologiya* (Riphean stratotype. Stratigraphy. Geochronology). Moscow: Nauka, 1983, 183 p.
30. *Tektonika severa Russkoy plity* (Tectonics of the North of the Russian Plate, Ed. V. A. Dedeeva, S. M. Domracheva). Proceedings of All-Russian Petroleum Research Geological Prospecting Institute. Issue 275, Leningrad, 1969, 155 p.
31. Shatskiy N. S. *O progibakh Donetskogo tipa* (On deflections of the Donetsk type). Selected Works. T. II. Moscow, 1964, pp. 544–553.
32. Lozenz H., Pystin A. M., Olovyaniishnikov V. S., Gee D. G. Neoproterozoic high grade metamorphism of the Kanin Peninsula, Timanide Orogen, northern Russia. The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica. Published by the Geological Society. London: Memoir, 2004, pp. 59–68.
33. Olovyaniishnikov V. G., Roberts D., Siedlecka A. Tectonics and sedimentation of the Meso- to Neoproterozoic Niman-Varanger Delt along the northeastern margin of Baltica. *Polarforschung*, 68, 2000, pp. 267–274.
34. Roberts D., Olovyaniishnikov V. G. Structural and tectonic development of the Timanide orogen, The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica. Published by the Geological Society. London: Memoir, 2004, pp. 47–58.
35. The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica. Edited by D. G. Gee and V. Pease. Published by the Geological Society. London: Memoir, 2004, 255 p.

Поступила в редакцию / Received 21.06.2021



Арктический вектор геологических исследований Arctic vector of geological research

УДК 550.93:552.321(234.83)

DOI: 10.19110/geov.2021.6.2

Цирконология сиенитов Северного Тимана

В. Л. Андреичев¹, А. А. Соболева¹, О. В. Удоратина¹, Ю. Л. Ронкин²¹Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар;
andreichev@geo.komisc.ru, aa_soboleva@mail.ru, udoratina@geo.komisc.ru²Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург; y-ronrin@mail.ru

Сиениты на Северном Тимане прорывают метатерригенные породы неопротерозойской барминской серии и перекрываются известняками нижнего силура. Для установления возраста сиенитов проведено U–Pb датирование цирконов методом масс-спектрометрии вторичных ионов (SIMS). Конкордантный возраст цирконов из сиенитов массива Крайний Камешек составляет 602 ± 5 млн лет, а средневзвешенный $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ возраст цирконов из сиенитов массива Малый Камешек – 598 ± 17 млн лет. Совокупность существующих в литературных источниках U–Pb (SIMS) датировок цирконов из распространенных на Северном Тимане щелочных магматических пород свидетельствует о том, что плюмовый магматизм проявился в эдиакарии в интервале 614–600 млн лет и мог быть связан с завершающими этапами распада Родинии.

Ключевые слова: сиениты, Северный Тиман, циркон, U–Pb изотопный возраст.

Zirconology of syenites of the Northern Timan

V. L. Andreichev¹, A. A. Soboleva¹, O. V. Udoratina¹, Yu. L. Ronkin²¹Institute of Geology, FRC Komi Science Center, UB RAS, Syktyvkar²Institute of Geology and Geochemistry UB RAS, Yekaterinburg

Northern Timan is an uplifted block of the Upper Precambrian basement of the Timan Ridge, where intrusive rocks of various compositions cut Neoproterozoic metaterrigenous rocks of the Barmin Group and are overlain by Lower Silurian limestone. Syenites are widespread in the Cape Bolshoy Rumyanichny pluton and compose the Krayny Kameshek and Malyi Kameshek plutons. To determine the age of the syenites, U–Pb dating of zircons was carried out using secondary ion mass spectrometry (SIMS). The age of zircons from syenite of the Cape Bolshoy Rumyanichny pluton is 613 ± 7 Ma, Krayny Kameshek pluton – 602 ± 5 Ma, and Malyi Kameshek pluton – 598 ± 17 Ma. Similar zircon ages are known for other alkaline igneous rocks that occur within the Cape Bolshoy Rumyanichny pluton: olivine-kersutite gabbro – 614 ± 2 Ma, granites – 614 ± 11 Ma. Zircons from subalkaline granites of the Bolshoy Kameshek pluton are of the same age – 613 ± 6 Ma. The location of the plutons in the area of the Late Riphean passive margin of Baltica, the close association of subalkaline and alkaline granites, syenites, and alkaline gabbros indicate the anorogenic nature of these magmatic rocks and possible relationship with mantle plume activity. Ediacaran magmatic rocks of 614–600 Ma located in the Northern Timan could be associated with the final stages of Rodinia breakup, accompanied by plume-related magmatism, the products of which are also known in the eastern part of Laurentia and in the Scandinavia.

Keywords: syenite, Northern Timan, zircon, U–Pb isotopic age.

Введение

Северный Тиман представляет собой горстообразный выступ тиманид в составе Тиманской гряды, где на сравнительно небольшой территории (рис. 1) выходят на поверхность магматические породы разного состава: долериты, габбро-долериты, граниты, сиениты, оливин-керсутитовые габбро, щелочные габброиды [7, 8, 10, 13, 14]. Все они прорывают метатерригенные отложения неопротерозойской барминской серии и перекрываются известняками лландоверийского яруса нижнего силура.

Сиениты распространены в районе мыса Большой Румяничный и слагают сопки Крайний Камешек и

Малый Камешек (рис. 1). Оценка времени их формирования современными методами является весьма актуальной задачей, поскольку длительное время суждения об их возрасте основывались на K–Ar определениях [1, 7, 9, 15] и лишь с конца прошлого века стала накапливаться информация по твердофазным изотопно-геохронометрическим системам.

Вначале сиениты были охарактеризованы Rb–Sr возрастными по валовому изотопному составу, свидетельствующими об их формировании в венде (эдиакарии) [2]. Изохронный возраст сиенитов массива мыса Большой Румяничный составил 590 ± 5 млн лет ($n = 6$, $I_{\text{Sr}} = 0.70431 \pm 0.00027$, СКВО = 0.19), а массива Крайний

Для цитирования: Андреичев В. Л., Соболева А. А., Удоратина О. В., Ронкин Ю. Л. Цирконология сиенитов Северного Тимана // Вестник геонаук. 2021. 6(318). С. 16–27. DOI: 10.19110/geov.2021.6.2.

For citation: Andreichev V. L., Soboleva A. A., Udoratina O. V., Ronkin Yu. L. Zirconology of syenites of the Northern Timan. Vestnik of Geosciences, 2021, 6(318), pp. 16–27, doi: 10.19110/geov.2021.6.2.

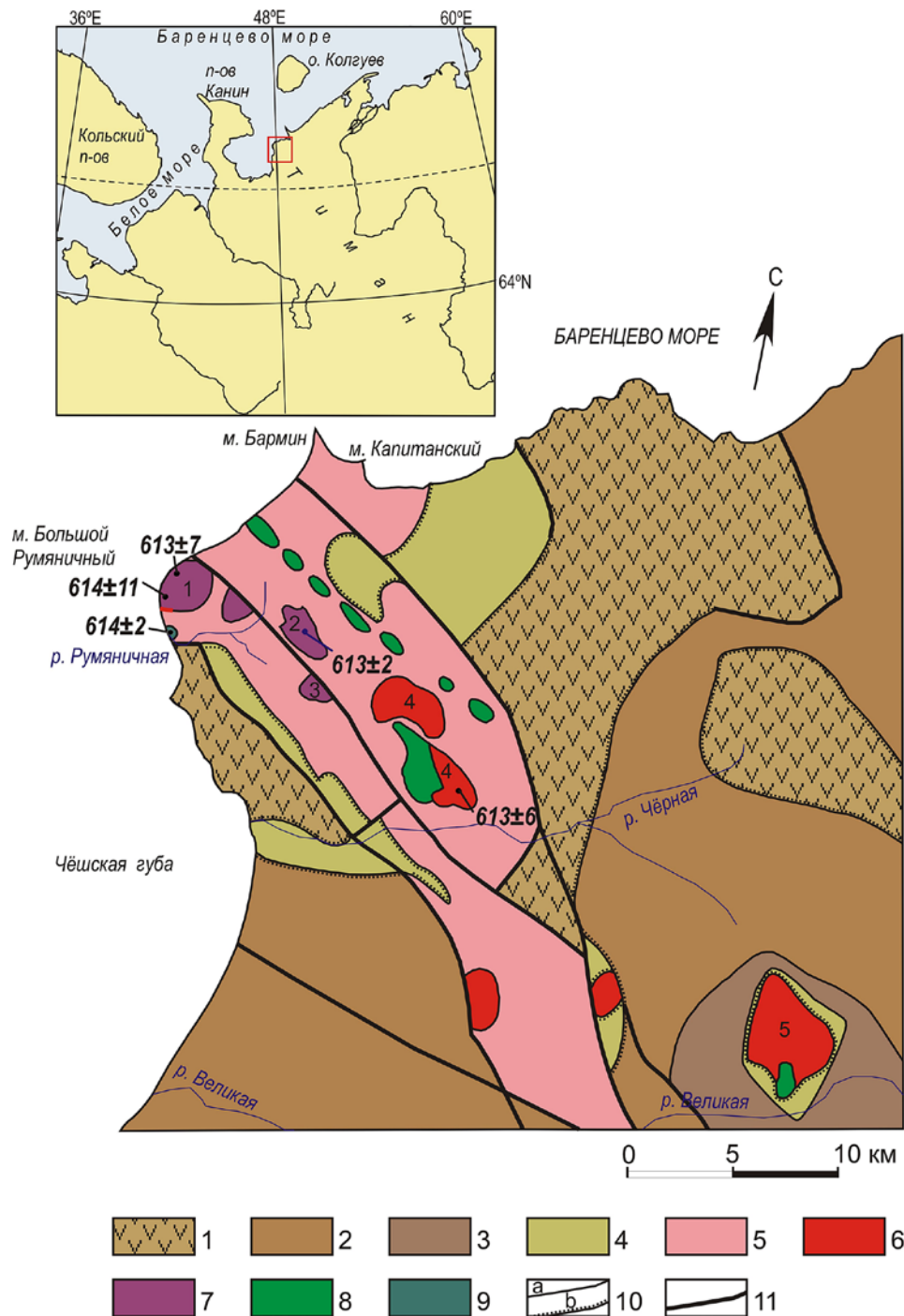


Рис. 1. Схема геологического строения Северного Тимана по [11]:

1 — верхнедевонские базальты; 2 — среднедевонские песчаники и конгломераты; 3 — нижнедевонские алевролиты, песчаники, глины; 4 — нижнесилурийские известняки с прослоями алевролитов и песчаников; 5 — сланцы, кварциты, кварцитопесчаники барминской серии; 6 — граниты, 7 — сиениты, 8 — метагаббро-долериты и долериты, 9 — оливин-керсутитовые габбро, 10 — геологические границы: согласные и границы интрузивных тел (а), несогласные (b); 11 — главные разломы. Цифрами обозначены массивы: 1 — Большой Румяничный, 2 — Крайний Камешек, 3 — Малый Камешек, 4 — Большой Камешек, 5 — Сопки Каменные. Опубликованные U—Pb и Pb—Pb возраста цирконов (млн лет) подписаны рядом с массивами

Fig. 1. Schematic geological structure of the Northern Timan [11]:

1 — Upper Devonian basalt; 2 — Middle Devonian sandstone, conglomerate; 3 — Lower Devonian siltstone, sandstone, clay; 4 — Lower Silurian limestone with siltstone and sandstone interlayers; 5 — shale, quartzite, quartzite like sandstone of the Neoproterozoic Barmin Group; 6 — granite; 7 — syenite; 8 — metagabbro-dolerite, dolerite; 9 — olivine-kersutite gabbro; 10 — geological boundaries: a — between units with conformable bedding, and boundaries of intrusive bodies, b — unconformity; 11 — principal faults. Numbers refer to plutons: 1 — Cape Bolshoy Rumyanychny, 2 — Krayny Kameshek, 3 — Malyi Kameshek, 4 — Bolshoy Kameshek, 5 — Sopki Kamennyye. Published U—Pb and Pb—Pb zircon ages (Ma) are shown next to the plutons

Камешек — 603 ± 6 млн лет ($n = 6$, $I_{Sr} = 0.70447 \pm 0.00016$, $СКВО = 0.98$). Все приводимые в тексте погрешности соответствуют 2σ . Последующие исследования были связаны с Pb–Pb датированием единичных зерен циркона из сиенитов массива Крайний Камешек (обр. 137) по отношению радиогенных изотопов свинца методом ступенчатого испарения свинца (Pb-evaporation). Средневзвешенный $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ возраст по 21 ступени в четырех зернах составил 613 ± 2 млн лет [3]. Он согласуется с Rb–Sr возрастом, но при Pb–Pb датировании отсутствует контроль конкордантности, поэтому для его обеспечения необходим U–Pb анализ цирконов. Первые результаты были получены по цирконам из сиенитов массива мыса Большой Румяничный методом масс-спектрометрии вторичных ионов (SIMS) на ионном микрозонде SHRIMP-II в только что созданном Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ [23]. Конкордантный возраст по изотопным отношениям, измеренным в пяти зернах, составил 613 ± 7 млн лет (2σ , $СКВО = 3.4$). В нашей работе приводятся первые геохимические и изотопные (SIMS) данные по цирконам из сиенитов массивов Крайний Камешек и Малый Камешек.

Методы исследований

Определение концентраций породообразующих оксидов в породе выполнено методом классического химического анализа в химико-аналитической лаборатории Института геологии Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктыв-

кар). Содержания элементов-примесей установлены методом ICP-MS в ЦКП «Геоаналитик» Института геологии и геохимии УрО РАН (г. Екатеринбург) и в Центральной лаборатории ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург).

U–Pb датирование цирконов методом SIMS выполнено на ионном микрозонде SHRIMP-RG в Центре микроанализа Стэнфордского университета и Геологической службы США согласно стандартным процедурам [19, 21]. Изображения цирконов получены там же на сканирующем электронном микроскопе JEOL LV 5600, оснащённом катодолуминесцентным детектором. Обработка полученных аналитических данных произведена с использованием программы SQUID [24]. При построении графиков с конкордией в координатах $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ — $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ использована программа ISOPLOT/Ex [25].

Геологическое положение и петрографическая характеристика сиенитов

Массив Крайний Камешек. На сопке Крайний Камешек сиениты образуют небольшой массив площадью около 3–4 км² (рис. 2). Интрузивный контакт с метаморфическими сланцами наблюдается на востоке и северо-востоке. К западу от массива, по данным бурения, сиениты перекрыты нижнесилурийскими известняками. В центральной части массива среди сиенитов отмечаются крупный (200 × 150 м) ксенолит интенсивно сиенитизированных оливин-керсутитовых

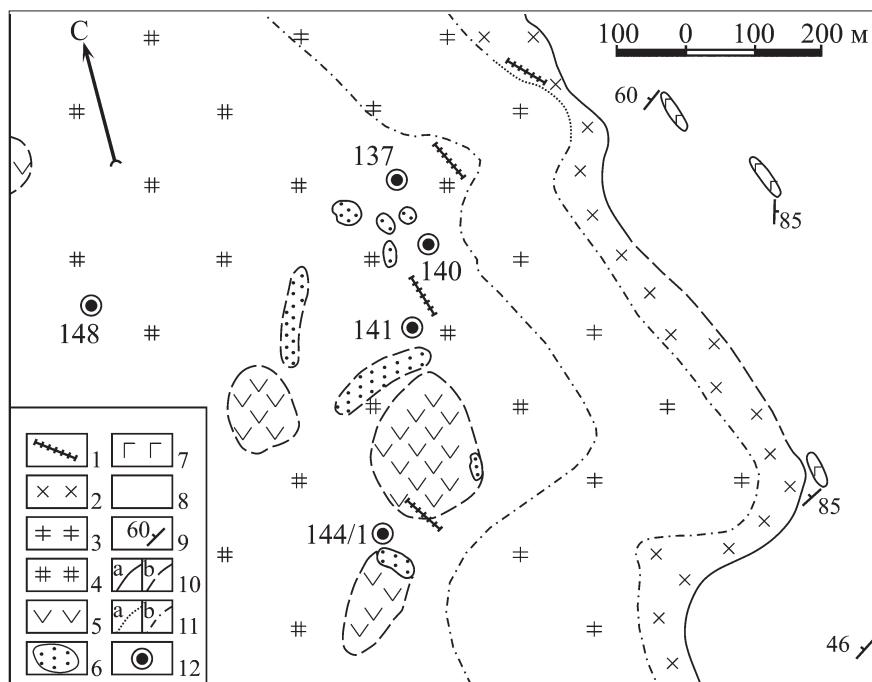


Рис. 2. Схематическая геологическая карта массива Крайний Камешек по [2]:

1 — дайки сиенит-аплитов; 2 — биотитовые кварцевые сиениты; 3 — амфибол-биотитовые кварцевые сиениты; 4 — биотит-амфибол-кварцосодержащие щелочные сиениты; 5 — ксенолиты сиенитизированных оливин-керсутитовых габбро; 6 — ксенолиты кварцитов; 7 — дайки долеритов; 8 — сланцы и кварциты барминской серии; 9 — элементы залегания; 10 — контакты: а — установленные, b — предполагаемые; 11 — постепенные переходы: а — установленные, b — предполагаемые; 12 — места взятия образцов

Fig. 2. Schematic geological map of the Krayny Kameshek pluton [2]:

1 — syenite-aplite dikes; 2 — biotite quartz syenite; 3 — amphibole-biotite quartz syenite; 4 — biotite-amphibole-quartz-bearing alkaline syenite; 5 — xenoliths of syenitized olivine-kersutite gabbro; 6 — xenoliths of quartzites; 7 — dolerite dikes; 8 — schists and quartzites of the Barmin Group; 9 — strike and dip; 10 — contacts: a — established, b — assumed; 11 — gradual transitions: a — established, b — assumed; 12 — sampling sites



габбро, рассекаемый жилоподобными телами сиенитов. Габбро на контактах с сиенитами биотитизированы, полевошпатизированы, амфиболизованы.

Породы массива представлены в основном крупно- и среднезернистыми серыми и розовато-бурыми кварцевыми сиенитами, которые сменяются по направлению к контакту розовыми разновидностями. В зоне эндоконтакта со сланцами наблюдаются мелкозернистые окварцованные, флюоритизированные разновидности сиенитов. Породообразующие минералы представлены микроклином, биотитом, амфиболом, клинопироксеном и кварцем. Альбит, мусковит, эпидот, клиноцоизит, карбонат и кварц (частично) имеют вторичное происхождение.

Массив Малый Камешек площадью около 2 км² имеет в плане изометричную форму (рис. 3). Сиениты слагают два дайкообразных, ориентированных в северо-западном направлении тела мощностью около 100 м каждое, прорывающих метабазиты и метаморфические сланцы. Контакт сиенитов с метаморфическими сланцами, наблюдаемый в северо-восточной части сопки, четкий, интрузивный. Центральная часть массива

сложена интенсивно сиенитизированными метабазитами, преобразованными в апобазитовые сиениты. Процессы сиенитизации метабазитов затушевывают первично интрузивный контакт между вмещающими породами основного состава и внедрившимися щелочными породами, придавая ему вид постепенного перехода. Впоследствии все породы испытали катаклаз и милонитизацию и подверглись процессам кремнекислотного и натриевого метасоматоза (окварцевание, карбонатизация, мусковитизация), конечные продукты которого представлены альбититами.

Сиениты — массивные, средне- и крупнозернистые породы светло-серого или розового цвета. В центральных частях тел развиты нефелиновые сиениты, в зоне эндоконтакта со сланцами — безнефелиновые разновидности. Апобазитовые сиениты более меланократовые и мелкозернистые. Это массивные темно-серые с розовым оттенком породы, имеющие мелкозернистую структуру. Нередко сиениты приобретают гнейсовидный облик за счет развития ориентированных агрегатов биотита. Субширотная гнейсовидность параллельна плоскостям кливажа и милонитизации.

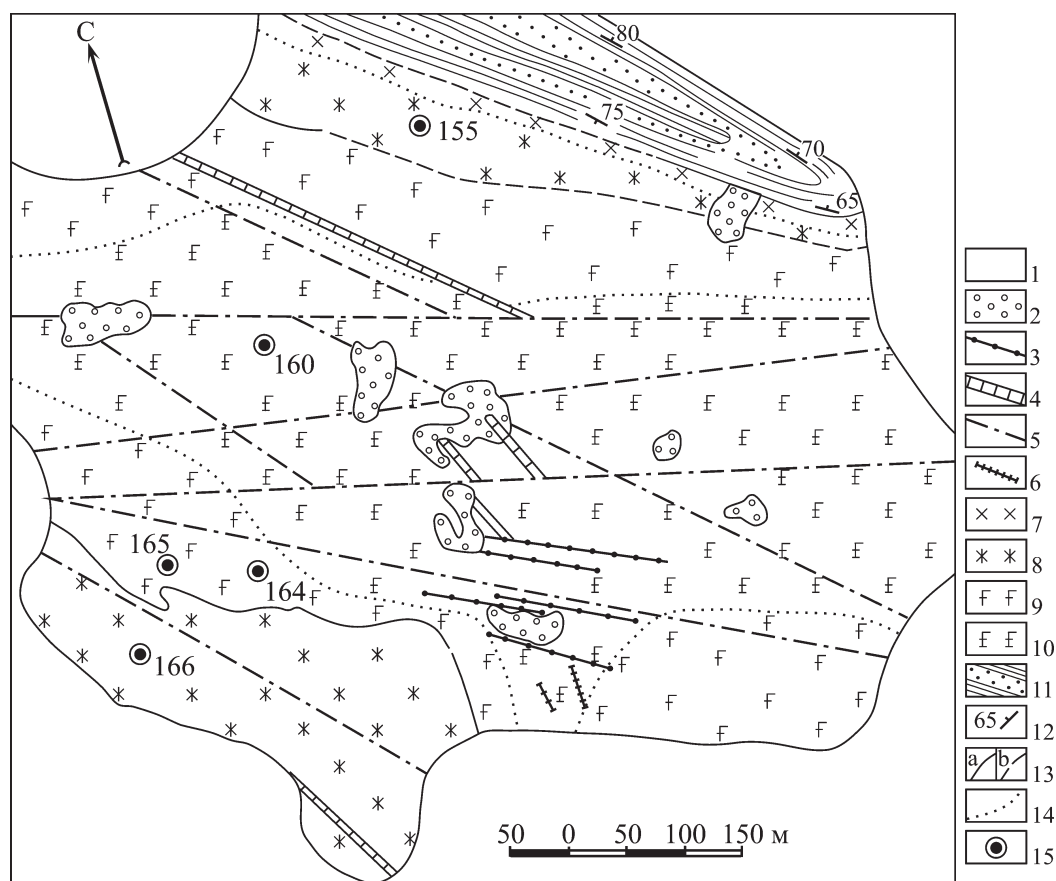


Рис. 3. Схематическая геологическая карта массива Малый Камешек по [8]:

1 — четвертичные отложения; 2 — альбититы; 3 — бластомилониты по апобазитовым сиенитам; 4 — зоны милонитизации; 5 — зоны интенсивного кливажа и разгнейсования пород; 6 — дайки сиенит-аплитов; 7 — биотитовые щелочные сиениты; 8 — биотит-амфиболовые нефелиновые сиениты; 9 — бескварцевые апобазитовые сиениты; 10 — окварцованные апобазитовые сиениты и сиенитизированные метабазиты; 11 — сланцы и кварциты барминской серии; 12 — элементы залегания; 13 — геологические границы (a — установленные, b — предполагаемые); 14 — постепенные переходы; 15 — места взятия образцов

Fig. 3. Schematic geological map of the Malyi Kameshek pluton after [8]:

1 — Quaternary sediments; 2 — albitite; 3 — blastomylonite after apobasite syenite; 4 — zones of mylonitization; 5 — zones of intense cleavage and gneissing of rocks; 6 — dykes of syenite-aplite; 7 — biotite alkaline syenite; 8 — biotite-amphibole nepheline syenite; 9 — quartz-free apobasite syenites; 10 — silicified apobasite syenite and syenitized metabasite; 11 — schists and quartzites of the Barmin Group; 12 — strike and dip; 13 — geological boundaries (a — established, b — assumed); 14 — gradual transitions; 15 — sampling sites

Структура сиенитов аллотриоморфнозернистая, реже гипидиоморфнозернистая. Нефелиновые сиениты сложены нефелином, канкринитом, содалитом и темноцветными минералами, представленными биотитом, амфиболами (гастингситом и феррогастингситом, рибекитом), клинопироксенами (ферроавгитом, эгирином). Акцессорные — циркон, апатит, титанит, гранат. Рудные минералы представлены магнетитом, ильменитом и пиритом, имеющими вторичное происхождение. К вторичным минералам относятся также альбит, мусковит, эпидот, клиноцоизит, карбонат, кварц, флюорит и лейкоксеновый агрегат. В альбитизированных разностях возрастает количество флюорита, появляются галенит, сфалерит, молибденит.

В центральной части массива сосредоточена основная часть альбититовых тел, которые залегают среди разгнейсованных апобазитовых сиенитов и приурочены к пересечениям зон кливажа и милонитизации. Отдельные тела альбититов наблюдаются в северо-восточной и северо-западной частях массива. Альбититы представляют собой массивные мелкозернистые, существенно альбитовые красно-розовые и желтовато-белые метасоматиты по бластомилонитам апобазитовых сиенитов.

Петрогеохимическая характеристика пород

Представительные анализы сиенитов приведены в табл. 1, составы пород показаны на рис. 4. Согласно петрохимической классификации плутонических пород породы массива Крайний Камешек относятся к сиенитам, щелочным сиенитам, кварцевым сиенитам и щелочным кварцевым сиенитам, а массива Малый Камешек — к сиенитам и щелочным (нефелиновым) сиенитам (рис. 4, а). Породы массива Крайний Камешек характеризуются содержанием (мас. %): SiO_2 — 61—65, Al_2O_3 — 15—17, $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ — 9—12 и имеют калиево-натриевый тип щелочности ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ — 0.7—1.1). Сиениты и нефелиновые сиениты массива Малый Камешек содержат (мас. %): SiO_2 — 57—59, Al_2O_3 — 18—19,

$(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ — 10—13 и по соотношению щелочей также являются калиево-натриевыми ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ — 0.8—1.1).

Породы массивов характеризуются достаточно высокими содержаниями редкоземельных элементов (РЗЭ) — 200—350 г/т и 137—367 г/т соответственно (табл. 2). Характерно преобладание легких РЗЭ над тяжелыми (рис. 4, б): La_N/Yb_N — 9—18 (Крайний Камешек), 8—28 (Малый Камешек). В породах слабо выражен или отсутствует дефицит европия: $\text{Eu}_N/\text{Eu}_N^*$ — 0.5—1.0 (Крайний Камешек), 0.5—1.1 (Малый Камешек).

Мультиэлементные диаграммы, построенные для составов пород, нормированных на примитивную мантию, демонстрируют обогащение крупноионными литофильными элементами по отношению к высокозарядным, с разнонаправленными аномалиями Rb, Th, U, Y, Nb, Y, Zr, Ta, минимумами Ti, P, Sr и максимумами Cs, K, Pb (рис. 4, с).

Результаты и их обсуждение

Возраст массива Крайний Камешек определен по цирконам из щелочного сиенита (обр. 148). Зерна циркона крупные (150—450 мкм) с коэффициентом удлинения K_u — 1.5—2, светло-розовато-бурые, полупрозрачные. В них много внутренних трещин, вблизи поверхности зерен наблюдаются крупные черные включения неправильной формы. Грани цирконов гладкие, блестящие или чуть шероховатые. На катодолюминесцентных изображениях (рис. 5) почти во всех зернах видна темная широкая центральная часть, обросшая более светлой каймой шириной в крупных зернах до 150 мкм. В центральных частях некоторых зерен видна неконтрастная, еле заметная осцилляционная зональность (зерна 4, 5, 8) или секториальная зональность (зерна 2, 6, 7), во внутренних частях остальных цирконов зональность отсутствует. Центральные части некоторых зерен (2, 5, 10, 11) не окатаны, имеют кристаллографические очертания и более темную окраску по своей периферии. В ядерных частях зерен 9 и 11 наблюдаются более светлые участки с кристаллографическими очертаниями (затравки?), содержащие

Таблица 1. Содержание петрогенных оксидов в сиенитах Северного Тимана, мас. %

Table 1. Content of petrogenic oxides in syenites of Northern Timan, wt. %

Компонент Component	Крайний Камешек / Krayny Kameshek					Малый Камешек / Maliy Kameshek				
	141	137	140	144/1	148	155	160	164	165	166
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO_2	61.30	65.40	64.71	62.10	61.61	58.60	58.59	57.04	59.12	57.78
TiO_2	1.03	0.61	0.67	0.76	0.52	0.62	0.95	0.54	0.25	0.25
Al_2O_3	15.49	15.57	15.72	16.09	17.25	18.25	17.89	19.17	19.59	19.52
Fe_2O_3	1.82	1.38	1.49	1.90	1.96	4.28	1.63	3.08	1.11	3.33
FeO	4.83	3.06	3.54	4.03	2.95	1.36	4.56	2.96	2.96	1.24
MnO	0.07	0.10	0.10	0.10	0.13	0.13	0.07	0.14	0.14	0.13
MgO	1.56	0.53	0.49	1.07	0.50	0.83	1.80	1.47	1.12	0.56
CaO	2.33	1.45	1.82	2.28	1.75	1.64	3.10	3.18	1.48	2.14
Na_2O	3.82	5.24	5.39	4.96	6.00	5.80	4.72	5.12	5.38	6.95
K_2O	5.53	5.60	4.95	5.02	6.14	6.70	4.87	5.69	6.44	6.10
P_2O_5	0.28	0.07	0.08	0.22	0.19	0.12	0.25	0.16	0.08	0.09
П.п.п / LOI	1.68	0.76	0.70	1.14	0.81	1.72	1.17	0.99	1.84	1.48
Сумма / Total	99.74	99.77	99.66	99.67	99.81	100.05	99.60	99.54	99.51	99.57

Примечание: 1 — амфибол-биотитовый кварцевый сиенит, 2—5 — биотит-амфиболовые кварцсодержащие щелочные сиениты, 6—10 — сиениты.

Note: 1 — amphibole-biotite quartz syenite, 2—5 — biotite-amphibole quartz-bearing alkaline syenite, 6—10 — syenite.

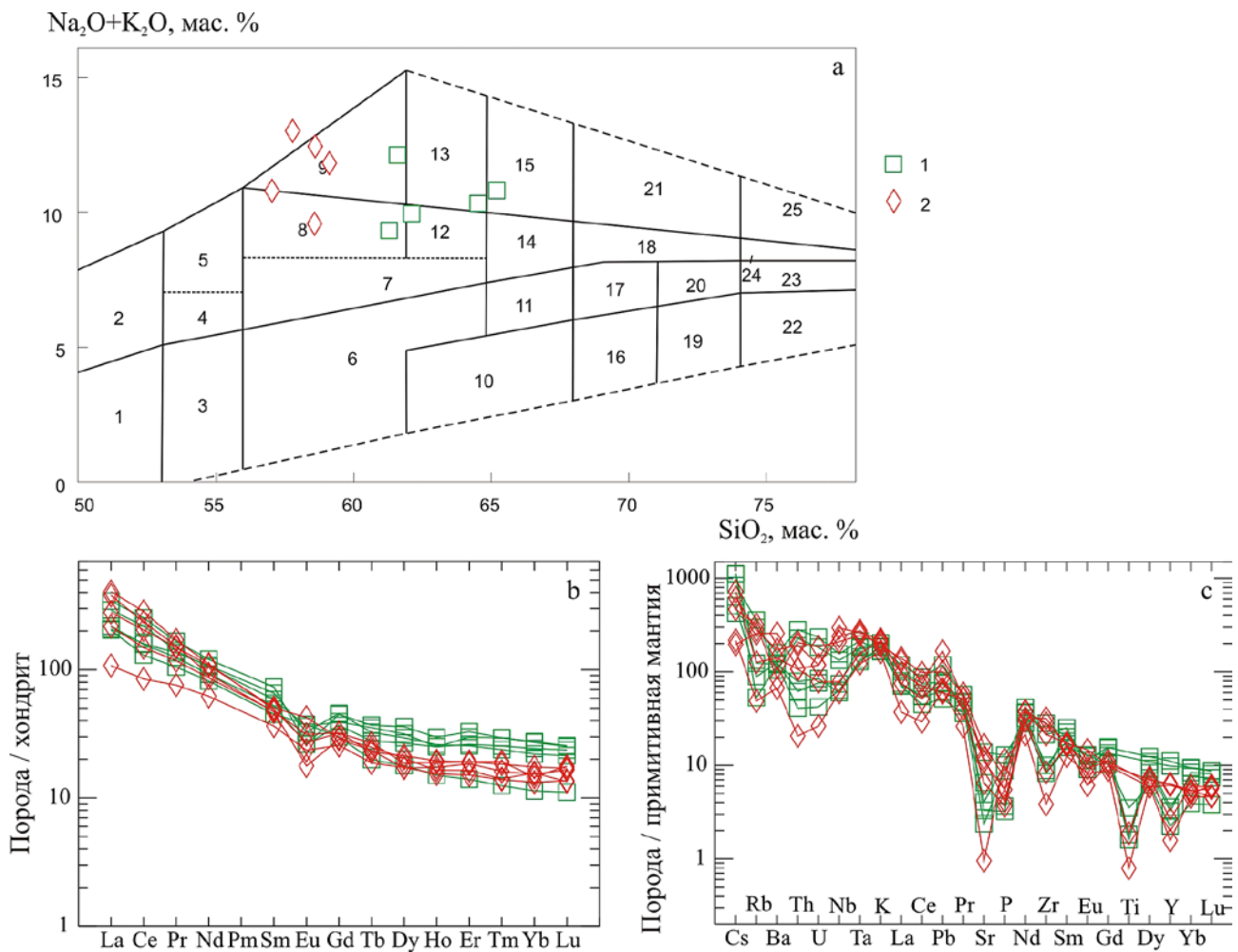


Рис. 4. Классификационная диаграмма $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}) - \text{SiO}_2$ по [12] (а), хондрит-нормализованные спектры РЗЭ (б), спайдерграмма распределения элементов-примесей, нормированных на ОРГ (с) для сиенитов Северного Тимана.

Массивы: 1 — Крайний Камешек, 2 — Малый Камешек. Поля на диаграмме (а): 1 — габбро-нориты, габбро, габбро-диориты; 2 — монзогаббро; 3 — диориты, 4 — монзодиориты; 5 — монзониты; 6 — кварцевые диориты; 7 — кварцевые монзодиориты; 8 — сиениты; 9 — щелочные сиениты; 10 — тоналиты; 11 — гранодиориты; 12 — кварцевые сиениты; 13 — щелочные кварцевые сиениты; 14 — граносиениты; 15 — щелочные граносиениты; 16 — трондjemиты; 17 — адамеллиты; 18 — субщелочные граниты; 19 — плагиограниты; 20 — граниты; 21 — щелочные граниты; 22 — плагиоклазовые лейкограниты; 23 — лейкограниты; 24 — аляскииты; 25 — щелочные аляскииты. Данные по составам хондрита и примитивной мантии взяты в работе [27]

Fig. 4. Classification diagrams for granitoids of the Northern Timan. (a) — $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})-\text{SiO}_2$ [12], (b) — chondrite-normalized REE chart, (c) — spider-diagram for trace elements normalized to ORG.

Numbers refer to plutons: 1 — Krayny Kameshek, 2 — Malyi Kameshek. Numbers refer to fields: 1 — gabbro-norite, gabbro, gabbro-diorite; 2 — monzogabbro; 3 — diorite, 4 — monzodiorite; 5 — monzonite; 6 — quartz diorite; 7 — quartz monzodiorite; 8 — syenite; 9 — alkaline syenite; 10 — tonalite; 11 — granodiorite; 12 — quartz syenite; 13 — alkaline quartz syenite; 14 — granosyenite; 15 — alkaline granosyenite; 16 — trondhjemite; 17 — adamellite; 18 — subalkaline granite; 19 — plagiogranite; 20 — granite; 21 — alkaline granite; 22 — plagioclase leucogranite; 23 — leucogranite; 24 — alaskite; 25 — alkaline alaskite. The data on the compositions of chondrite and primitive mantle are from [27]

черные в катодных лучах включения. Центральные части зерен 3, 4, 6, 7, 8 имеют неправильную форму и неровные границы, в них видна собственная осцилляционная зональность или же они незональны. Для внешних зон роста большинства цирконовых зерен характерна осцилляционная зональность.

Проанализировано 11 зерен, зерно 3 исследовано в центральной и периферической частях (табл. 3). Практически все возраста характеризуются незначительной дискордантностью (D от –8 до 16). Индивидуальные $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ возраста для когерентной группы из 8 точек образуют интервал 595–626 млн лет, рассчитанный по ним конкордантный возраст составля-

ет 602 ± 5 млн лет (рис. 6). Средневзвешенный $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ возраст, равный 602 ± 9 млн лет (95%, СКВО = 6), устанавливается при расчете по всем 12 определениям. Полученный возраст близок к Rb—Sr и Pb—Pb датировкам и, вероятно, соответствует времени кристаллизации сиенитов массива Крайний Камешек.

Цирконы из нефелинового сиенита массива Малый Камешек (обр. 155) представлены очень мелкими зернами размером 50–100 мкм ($K_u = 2-3$), бипирамидально-призматическими, светло-буровато-розовыми, мутными, полупрозрачными и непрозрачными, по-видимому, содержащими большое количество мельчайших включений. Грани цирконов шероховатые,

Таблица 2. Содержание элементов-примесей в сиенитах Северного Тимана, г/т

Table 2. Trace element contents in syenites of the Northern Timan, ppm

Массив / Massif	Крайний Камешек / Krayny Kameshek					Малый Камешек / Malyi Kameshek				
Компонент Component	141	144/1	148	137	140	160	165	155	164	166
V	100.44	20.19	12.47	11.8	<2.5	1.88	32.64	<2.5	37.7	14.5
Cr	185.40	15.36	14.13	32.3	30.2	11.31	28.07	33.3	42.6	39.4
Co	23.22	4.22	3.34	3.89	2.79	1.20	5.17	5.31	10.7	5.04
Ni	71.78	7.79	7.07	13.1	14.2	6.39	14.67	17.5	20	16.9
Cu	28.73	6.88	5.83	20.3	25.3	4.07	8.98	19.3	34.7	18.3
Zn	20.70	22.00	24.96	50.5	50.5	21.49	23.03	49.1	91.8	60.2
Ga	6.70	9.96	11.12	24.4	23.6	9.30	11.04	18.8	21.5	21.1
Rb	33.55	78.46	56.37	227	189	30.94	80.26	163	178	202
Sr	291.65	86.01	49.87	69.6	137	20.05	136.10	233	349	253
Y	10.21	16.31	14.75	50.6	44.7	7.15	12.03	28.8	28.7	27.9
Zr	92.01	98.43	112.04	238	315	42.84	94.06	239	316	355
Nb	45.37	42.82	53.04	94.6	111	43.06	55.53	211	170	150
Mo	3.54	0.96	8.51	1.69	2.17	0.75	1.36	1.56	1.04	1
Sn	2.69	5.19	4.92	5.54	4.17	2.03	6.16	2.29	3.05	2.91
Cs	8.76	8.85	4.01	6.62	3.34	1.71	5.72	1.55	4.88	3.68
Ba	827.93	848.04	872.16	728	1110	468.37	983.04	1800	1200	587
La	48.26	49.22	51.65	81.3	69	25.48	51.50	66.2	96.2	90
Ce	79.36	97.64	96.46	155	134	51.80	90.87	125	174	144
Pr	9.96	12.84	11.83	15.8	13.3	7.20	11.17	14.2	16.2	14.5
Nd	38.06	50.29	43.10	56.2	49.1	28.95	40.30	50.5	51.6	43.1
Sm	6.89	10.04	8.03	11.2	8.95	5.57	7.26	7.71	7.48	7.18
Eu	2.17	1.90	1.52	1.52	2.1	1.36	1.81	2.46	1.57	1.03
Gd	6.13	9.37	7.57	9.2	8.06	5.29	6.62	6.04	6.58	5.9
Tb	0.74	1.22	1.04	1.38	1.32	0.70	0.85	0.93	1	0.88
Dy	4.54	7.48	6.81	9.12	8.03	4.39	5.43	5.18	4.75	4.35
Ho	0.85	1.48	1.42	1.68	1.42	0.87	1.10	0.93	1.07	0.98
Er	2.31	4.22	4.34	5.44	4.93	2.50	3.16	2.71	3.16	3.07
Tm	0.32	0.61	0.65	0.75	0.75	0.35	0.47	0.36	0.49	0.41
Yb	1.93	3.74	4.13	4.61	4.67	2.25	2.96	2.67	2.47	2.6
Lu	0.28	0.54	0.60	0.64	0.65	0.35	0.43	0.34	0.45	0.42
Hf	4.38	4.82	5.73	7.52	9.52	3.24	4.79	6.31	8.17	8.84
Ta	5.23	5.52	7.55	7.36	8.73	4.99	6.38	10.6	11.2	10
Pb	3.64	4.31	5.34	8.4	5.46	4.42	6.14	4.23	7.14	11.8
Th	3.46	6.71	5.25	19.4	24	1.75	9.06	9.20	16.4	17.5
U	0.88	1.78	1.60	3.84	4.93	0.55	1.65	2.47	2.49	3.88

Примечание. Обр. 140 и 155 проанализированы во ВСЕГЕИ, остальные — в Институте геологии и геохимии УрО РАН.

Note. Samples 140 and 155 were analyzed at VSEGEI, other samples — at the Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.

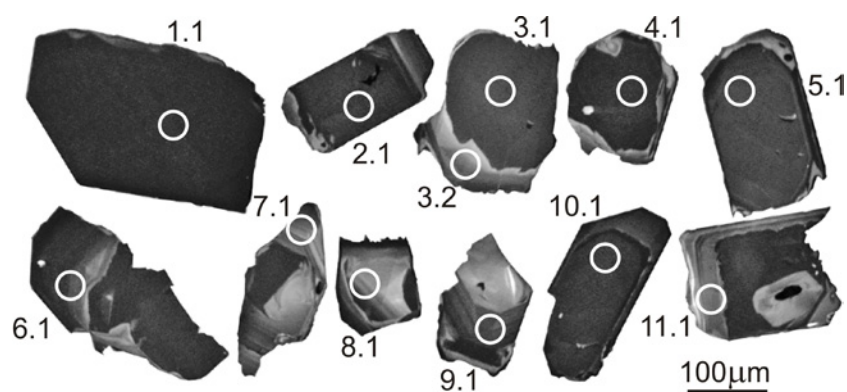


Рис. 5. Катодолюминесцентное изображение цирконов из щелочного сиенита массива Крайний Камешек (обр. 148) с номерами датированных зерен и аналитических кратеров

Fig. 5. Cathodoluminescent images of zircon grains from alkaline syenite of the Krayny Kameshek pluton, sample 148. The figure shows grain numbers and analyzed spots

Таблица 3. Результаты U—Pb изотопных исследований цирконов из сиенитов Северного Тимана

Table 3. Results of U—Pb isotopic studies of zircons from syenites of Northern Timan

Зерно, кратер Grain, crater	206Pb _c , %	Содержания, мкг/г Contents, ppm		²³² Th ²³⁸ U	Изотопные отношения ±% (1σ) Isotope ratios ±% (1σ)			Rho	Возраст ± 1σ, млн лет Age ± 1σ, Ma		D, %	
		206Pb*	U		Th	206Pb/ ²³⁸ U	207Pb/ ²³⁵ U		207Pb/ ²⁰⁶ Pb	206Pb/ ²³⁸ U		207Pb/ ²⁰⁶ Pb
Массив Крайний Камешек, обр. 148 Крайній Камешек massif, s. 148												
8.1	0.07	10	128	51	0.41	0.0937 ± 1.0	0.800 ± 2.2	0.0620 ± 2.0	0.5	577 ± 6	672 ± 42	16
4.1	0.09	45	545	325	0.62	0.0967 ± 0.7	0.815 ± 1.2	0.0611 ± 1.0	0.5	595 ± 4	644 ± 22	8
3.2	0.06	14	172	64	0.39	0.0970 ± 0.8	0.795 ± 2.0	0.0595 ± 1.8	0.4	597 ± 5	583 ± 38	-2
1.1	0.43	64	766	518	0.70	0.0973 ± 0.6	0.824 ± 1.6	0.0614 ± 1.5	0.4	598 ± 4	653 ± 31	9
10.1	н.п.о.	46	552	230	0.43	0.0975 ± 0.6	0.807 ± 1.1	0.0600 ± 0.9	0.6	600 ± 4	604 ± 19	1
2.1	0.06	54	644	419	0.67	0.0976 ± 1.1	0.824 ± 1.4	0.0612 ± 0.9	0.8	600 ± 6	646 ± 19	8
7.1	0.86	13	155	69	0.46	0.0990 ± 0.9	0.804 ± 3.7	0.0589 ± 3.6	0.2	609 ± 5	561 ± 79	-8
11.1	н.п.о.	9	104	44	0.43	0.1008 ± 1.0	0.870 ± 2.3	0.0626 ± 2.1	0.4	619 ± 6	695 ± 45	12
5.1	0.33	37	423	219	0.53	0.1019 ± 3.5	0.841 ± 3.8	0.0598 ± 1.5	0.9	626 ± 21	597 ± 33	-5
3.1	н.п.о.	31	349	211	0.62	0.1024 ± 1.4	0.868 ± 1.8	0.0614 ± 1.2	0.8	629 ± 8	654 ± 25	4
6.1	н.п.о.	27	296	103	0.36	0.1049 ± 1.9	0.879 ± 2.2	0.0608 ± 1.2	0.8	643 ± 11	631 ± 25	-2
9.1	0.20	30	315	157	0.52	0.1093 ± 4.0	0.929 ± 4.3	0.0617 ± 1.5	0.9	668 ± 25	661 ± 33	-1
Массив Малый Камешек, обр. 155 Малý Камешек massif, s. 155												
3.1	0.05	32	405	438	1.12	0.0933 ± 1.7	0.761 ± 2.0	0.0592 ± 1.1	0.8	575 ± 9	573 ± 24	0
7.1	0.36	103	1259	1271	1.04	0.0955 ± 1.3	0.791 ± 1.7	0.0600 ± 1.1	0.8	588 ± 7	604 ± 24	3
4.1	0.10	108	1299	1743	1.39	0.0968 ± 0.6	0.806 ± 0.9	0.0604 ± 0.6	0.6	596 ± 3	616 ± 14	3
11.1	0.05	214	2473	2953	1.23	0.1009 ± 1.3	0.842 ± 1.4	0.0605 ± 0.4	1.0	620 ± 8	621 ± 9	0
12.1	н.п.о.	35	392	273	0.72	0.1040 ± 3.7	0.876 ± 3.8	0.0611 ± 1.1	1.0	638 ± 22	642 ± 23	1
6.1	0.93	35	394	320	0.84	0.1047 ± 1.8	0.891 ± 4.4	0.0617 ± 4.0	0.4	642 ± 11	664 ± 87	3
8.1	н.п.о.	42	347	133	0.39	0.1418 ± 1.1	1.367 ± 1.3	0.0699 ± 0.8	0.8	855 ± 9	925 ± 16	8
1.1	0.06	72	434	597	1.42	0.1930 ± 1.3	2.175 ± 1.4	0.0818 ± 0.7	0.9	1137 ± 13	1239 ± 13	9
9.1	0.59	81	406	276	0.70	0.2328 ± 9.3	2.691 ± 9.5	0.0839 ± 2.1	1.0	1349 ± 113	1288 ± 40	-4
2.1	н.п.о.	35	157	45	0.30	0.2599 ± 0.8	3.351 ± 1.2	0.0935 ± 0.8	0.7	1489 ± 11	1498 ± 15	1
5.1	н.п.о.	138	586	181	0.32	0.2749 ± 0.9	3.634 ± 1.0	0.0959 ± 0.4	0.9	1566 ± 13	1544 ± 8	-1
10.1	н.п.о.	49	202	121	0.62	0.2793 ± 0.8	3.748 ± 1.0	0.0973 ± 0.7	0.7	1588 ± 11	1573 ± 13	-1

Примечание. Ошибка в калибровке стандарта составляет 0.15 %. 206Pb_c и 206Pb* — обыкновенный и радиогенный свинец, н.п.о. — ниже предела определения (≤0.04). Изотопные отношения и содержания 206Pb скорректированы по измеренному 204Pb. D — дискордантность: D = 100 × [возраст (207Pb/206Pb) / возраст (206Pb/238U) — 1]. Rho — коэффициент корреляции между ошибками определения изотопных отношений 206Pb/238U и 207Pb/235U.

Note. Error in the calibration of standard is 0.15%. 206Pb_c and 206Pb* — common and radiogenic lead, н.п.о. — below the limit of determination (≤0.04). Isotopic ratios and 206Pb contents are corrected from measured 204Pb. D — discordance: D = 100 × [age (207Pb / 206Pb) / age (206Pb / 238U) — 1]. Rho is the error correlation coefficient of radiogenic 206Pb/238U versus 207Pb/235U.

редко встречаются кристаллы с блестящими гранями. На катодолуминесцентных изображениях (рис. 7) по внутреннему строению выделяется четыре типа зерен: 1) очень темные незональные — зерна 5, 7, 11; 2) зональные с более светлым ядром, в котором иногда видна своя грубая осцилляционная зональность, и очень темной каймой без видимой зональности — зерна 1, 2, 6, 8, 12; 3) зерно с темным ядром без зональности и темной каймой без зональности, разделенными светлой просечкой — зерно 4; 4) более светлые зерна без ядер, с четкой грубой контрастной осцилляционной зональностью, с черными включениями в центральной части зерен или же с более темным ядром с нарушенной зональностью — зерна 3, 9, 10.

Результаты датирования 12 зерен (табл. 3, рис. 8) показывают, что, несмотря на достаточно близкое рас-

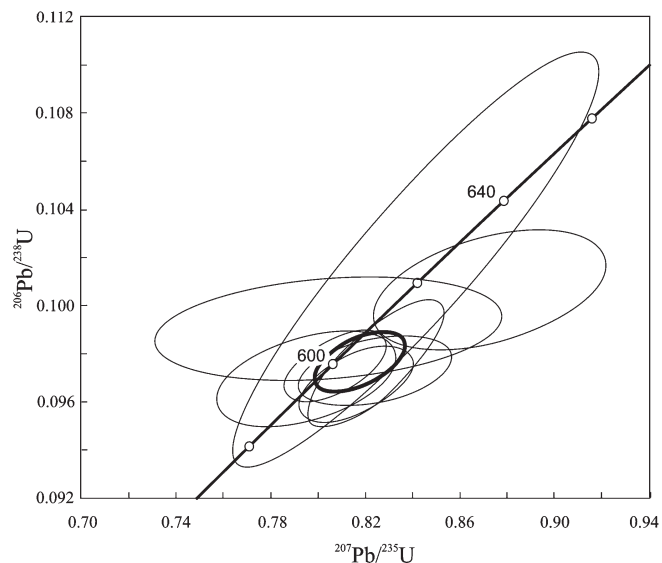


Рис. 6. Диаграмма с конкордией для цирконов из щелочного сиенита массива Крайний Камешек (обр. 148). Рассчитанный конкордантный возраст 602 ± 5 млн лет (95 %, $n = 8$, СКВО = 7.6) обозначен жирным эллипсом. Здесь и на следующей диаграмме координаты аналитических точек — центры эллипсов погрешностей (2σ)

Fig. 6. Concordia diagram for zircons from alkaline syenite of the Krayny Kameshek pluton, sample 148. The calculated concordant age of 602 ± 5 Ma (95 %, $n = 8$, MSWD = 7.6) is shown by the bold ellipse. In this and the next diagram, the analysis values are the centers of the error ellipses (2σ)

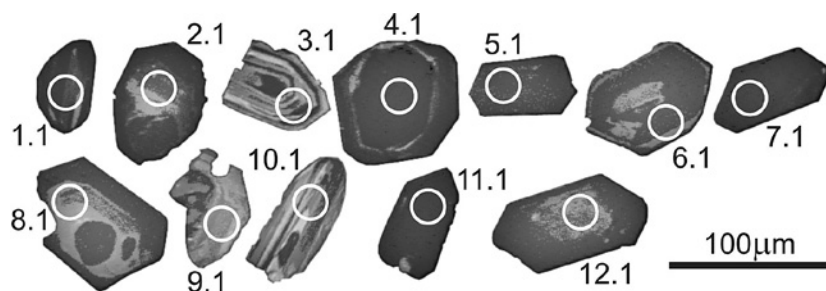


Рис. 7. Катодолуминесцентное изображение цирконов из нефелинового сиенита массива Малый Камешек (обр. 155) с номерами датированных зерен и аналитических кратеров

Fig. 7. Cathodoluminescent images of zircon grains from nepheline syenite of the Malyy Kameshek pluton, sample 155. The figure shows grain numbers and analyzed spots

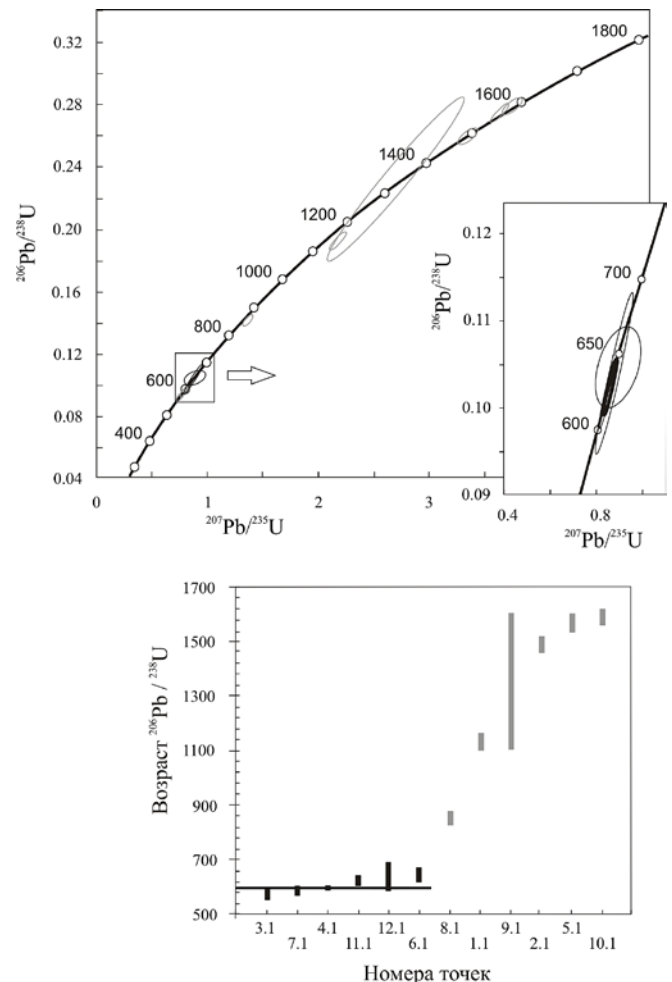


Рис. 8. Диаграмма с конкордией для цирконов из нефелинового сиенита массива Малый Камешек (обр. 155). На вставке жирный эллипс соответствует рассчитанному конкордантному возрасту 627 ± 10 млн лет (2σ , $n = 3$, СКВО = 0.098). Внизу — средневзвешенный $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ возраст 598 ± 17 млн лет (95%, $n = 6$, СКВО = 6.7); бары ошибок для 2σ . Анализы, исключенные из расчета среднего возраста, показаны серым

Fig. 8. Concordia diagram for zircons from nepheline syenite of the Malyy Kameshek pluton, sample 155. The calculated concordant age of 627 ± 10 Ma (2σ , $n = 3$, MSWD = 0.098) is shown by the bold ellipse in the insert. Below is the weighted average $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age 598 ± 17 Ma (95%, $n = 6$, MSWD = 6.7); error bars for 2σ . Analyses that were excluded from the mean age calculations are grey



положение сиенитовых массивов, цирконы различаются по содержаниям U, Th, по их изотопным отношениям и по возрастам. В половине зерен возрастные значения по изотопным отношениям $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ образуют интервал 642–575 млн лет, средневзвешенный возраст составляет 598 ± 17 млн лет (рис. 8, нижняя часть). Значительная дисперсия индивидуальных возрастов не позволяет рассчитать конкордантный возраст по всей совокупности этих точек. И лишь группируя их можно получить средний конкордантный возраст для зерен 11, 12 и 6 — 627 ± 10 млн лет (рис. 8, врезка). Он незначительно отличается от средневзвешенного $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ возраста, который и принимается за время кристаллизации сиенитов массива Малый Камешек, поскольку в большей степени сопоставим с возрастом сиенитов массива Крайний Камешек и мыса Большой Румяничный. Цирконы с возрастными больше 900 млн лет, по всей видимости, унаследованы из вмещающих пород при формировании сиенитов. Обращает на себя внимание их корреляция с U–Pb (LA-ICP-MS) возрастными цирконов из оливин-керсутитовых габбро, обнаженных в районе устья р. Румяничной, составляет 614 ± 2 млн лет [23], а из жильных гранитов на мысе Большой Румяничный — 614 ± 11 млн лет [16]. Практически такими же возрастными характеризуются цирконы из субщелочных гранитов массива Большой Камешек — 613 ± 6 млн лет [16], а также из ассоциируемых с ними габбро-долеритов — 617 ± 6 млн лет [23].

Таким образом, Pb–Pb и U–Pb возрастные данные по цирконам из сиенитов Северного Тимана свидетельствуют об их образовании в эдиакарии в возрастном интервале 613–600 млн лет. В это же время происходило формирование других магматических пород, наблюдаемых на Северном Тимане (рис. 1). U–Pb (SIMS) возраст цирконов из оливин-керсутитовых габбро, обнаженных в районе устья р. Румяничной, составляет 614 ± 2 млн лет [23], а из жильных гранитов на мысе Большой Румяничный — 614 ± 11 млн лет [16]. Практически такими же возрастными характеризуются цирконы из субщелочных гранитов массива Большой Камешек — 613 ± 6 млн лет [16], а также из ассоциируемых с ними габбро-долеритов — 617 ± 6 млн лет [23].

Проявления щелочного магматизма в северо-восточном обрамлении Восточно-Европейской платформы могли быть связаны с завершающими этапами распада Родинии при раскрытии океана Япетус в интервале 650–550 млн лет [18, 26], сопровождавшимися плюмовым магматизмом, продукты которого известны также в восточной части Лаврентии (дайки Лонг Рейндж с возрастом 615 ± 2 млн лет [22]) и на скандинавской стороне Балтики (дайки Эггесунд с возрастом 616 ± 3 млн лет [17]). Предполагается, что эти дайки относятся к магматической провинции Центрального Япетуса (CIMP) [20, 28]. Эдиакарские интрузивные породы Северного Тимана могут также принадлежать этой магматической провинции [16]. Их расположение в области позднеэдиакарской пассивной окраины Балтики, тесная ассоциация умеренно-щелочных и щелочных гранитов, сиенитов и щелочных габброидов свидетельствуют об анорогенной природе этих интрузивов и возможной связи с плюмовым магматизмом.

Авторы благодарны Э. Л. Миллер и М. А. Коблу (Стэнфордский университет, США) за содействие в определении возрастов цирконов.

Литература

- Акимов Г. Н. Геохронология докембрия Тимана // Сов. геология. 1980. № 12. С. 71–85.
- Андреичев В. Л. Изотопная геохронология интрузивного магматизма Северного Тимана. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 90 с.
- Андреичев В. Л., Ларионов А. Н. $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ датирование единичных кристаллов циркона из магматических пород Северного Тимана // Изотопное датирование геологических процессов: новые методы и результаты. Тезисы докладов I Российской конференции по изотопной геохронологии. М.: ГЕОС, 2000. С. 26–28.
- Андреичев В. Л., Соболева А. А., Герелс Дж. U–Pb-возраст детритовых цирконов из верхнедокембрийских терригенных отложений Северного Тимана. ДАН. 2013. Т. 450. № 5. С. 562–566.
- Андреичев В. Л., Соболева А. А., Хоуриган Дж. К. Результаты U–Pb (LA-ICP-MS) датирования детритовых цирконов из терригенных отложений верхней части докембрийского фундамента Северного Тимана // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2017. Т. 92, вып. 1. С. 10–20.
- Андреичев В. Л., Соболева А. А., Хубанов В. Б., Соболев И. Д. U–Pb (LA-ICP-MS) возраст детритовых цирконов из метасадочных пород основания верхнедокембрийского разреза Северного Тимана // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2018. Т. 93, вып. 2. С. 14–26.
- Ивенсен Ю. П. Магматизм Тимана и полуострова Канин. М.; Л.: Наука, 1964. 126 с.
- Костюхин М. Н., Степаненко В. И. Байкальский магматизм Канино-Тиманского региона. Л.: Наука, 1987. 232 с.
- Мальков Б. А. Новые данные о возрасте досилурийских интрузивных комплексов Тимана и Канина // Докл. АН СССР. 1966. Т. 170. № 3. С. 669–672.
- Мальков Б. А. Петрология дайковой серии щелочных габброидов Северного Тимана. Л.: Наука, 1972. 128 с.
- Оловянишников В. Г. Геологическое развитие полуострова Канин и Северного Тимана. Сыктывкар: Геопринт, 2004. 80 с.
- Петрография и петрология магматических, метаморфических и метасоматических горных пород / Ред. В. С. Попов, О. А. Богатиков. М.: Логос, 2001. 768 с.
- Скрипниченко В. А. Габбро-сиенитовый комплекс Северного Тимана // Докл. АН СССР. 1978. Т. 238. № 1. С. 211–214.
- Смирнов М. Ю. К вопросу о возрасте сиенит-гранитоидного комплекса Северного Тимана // Проблемы изучения и освоения природных ресурсов Севера. Апатиты. 1973. С. 51–54.
- Фишман М. В., Андреичев В. Л., Естафьева А. Д. Каталог определений возраста горных пород СССР радиогеохимическими методами (северо-восток европейской части СССР, север Урала, Пай-Хой, Новая Земля). Сыктывкар: Ин-т геологии Коми фил. АН СССР, 1981. 181 с. Деп. в ВИНТИ. № 531–82.
- Andreichev V. L., Soboleva A. A., Udoratina O. V., Ronkin Yu. L., Coble M. A., Miller E. L. Granites of the Northern Timan — probable indicators of Neoproterozoic stages of Rodinia break-up // Geodynamics & Tectonophysics. 2020. V. 11. Issue 2. P. 10–28. doi: 10.5800/GT-2020-11-2-0470.
- Bingen B., Demaiffe D., van Breemen O. The 616 Ma old Egersund basaltic dike swarm, SW Norway, and Late Neoproterozoic opening of the Iapetus ocean // Journal of Geology. 1998. V. 106. № 5. P. 565–574. https://doi.org/10.1086/516042.
- Cawood P. A., McCausland P. G. A., Dunning G. R. Opening Iapetus: constraints from the Laurentian margin in Newfoundland // Bull. Geol. Soc. Am. 2001. V. 113. P. 443–453.

19. Coble M. A., Vazquez J., Barth A. P., Wooden J., Burns D., Kylander-Clark A., Jackson S., Vennari C. E. Trace element characterization of MAD-559 zircon reference Material for ion microprobe analysis // *Geostandards and Geoanalytical Research*. 2018. V. 42. P. 481–497.
20. Ernst R. E., Bell K. Large Igneous Provinces (LIPs) and Carbonatites // *Mineralogy and Petrology*. 2010. V. 98. № 1–4. P. 55–76. <https://doi.org/10.1007/s00710-009-0074-1>.
21. Ireland T. R., Gibson G.M. SHRIMP monazite and zircon geochronology of high-grade metamorphism in New Zealand // *J. Metamorphic Geol.* 1998. V. 16. P. 149–167.
22. Kamo S. L., Gower C.F., Krogh T. E. Birthdate for the Iapetus ocean? A precise U-Pb zircon and baddeleyite age for the Long Range dikes, southeast Labrador // *Geology*. 1989. V. 17. № 7. P. 602–605. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1989\)017<0602:BFTLOA>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1989)017<0602:BFTLOA>2.3.CO;2).
23. Larionov A. N., Andreichev V. L., Gee D. G. The Vendian alkaline igneous suite of northern Timan: ion microprobe U-Pb zircon ages of gabbros and syenite // *The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica*. Eds. Gee D. G., Pease V. Geol. Soc. London. Mem. 2004. № 30. P. 69–74.
24. Ludwig K. R. SQUID 2 — A User's Manual, rev. 12 Apr, 2009 // *Berkeley Geochronology Center Special Publication*. 2009. № 5. 110 p.
25. Ludwig K. R. Isoplot 3.75, a geochronological toolkit for Excel // *Berkeley Geochronology Center Special Publication*. 2012. № 5. 75 p.
26. Pisarevsky S. A., Murphy J. B., Cawood P. A., Collins A. S. Late Neoproterozoic and Early Cambrian palaeogeography: models and problems // *West Gondwana: Pre-Cenozoic correlations across the South Atlantic region* / Eds. Pankhurst R. J., Trouw R. A. J., Neves Brito B. B., de Wit M.J. Geol. Soc. London. Mem. 2008. № 249. P. 9–31.
27. Sun S. S., McDonough W. F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // *Geol. Soc. Spec. Publ.* London. 1989. V. 42. P. 313–345.
28. Youbi N., Ernst R., Söderlund U., Soulaïmani A., Doblas M., Bertrand H., Marzoli A., El Hachimi H., Bensalah M. K., Hafid A., Ikenne M., Kouyaté D., El Bahat A., Mohamed B. A., Madeira J., Mata J., Martins L., Bellieni G., Vérati C., Mahmoudi A. The Central Iapetus magmatic province (CIMP) large igneous province. Distribution, nature, origin, and environmental impact // *American Association of Petroleum Geologists (AAPG) Search and Discovery*. 2011. Article #90137.
- Section of North Timan. *Doklady Earth Sciences*, 2013, V. 450, No. 2, pp. 592–596.
5. Andreichev V. L., Soboleva A. A., Hourigan J. K. *Rezultaty U-Pb (LA-ICP-MS) datirovaniya detritovykh cirkonov iz terrigen-nykh otlozhenij verhnjej chasti dokembrijskogo fundamenta Severnogo Timana* (Results of U-Pb (LA-ICP-MS) dating of detrital zircons from terrigenous sediments of the upper part of the Precambrian basement of the Northern Timan). *Bulletin MOIP, Geology section*, 2017, V. 92, No. 1, pp. 10–20.
6. Andreichev V. L., Soboleva A. A., Khubanov V. B., Sobolev I.D. *U-Pb (LA-ICP-MS) vozrast detritovykh tzirkonov iz metaosadochnykh porod osnovaniya verhnedokembrijskogo razreza Severnogo Timana* (U-Pb (LA-ICP-MS) age of detrital zircons from metasedimentary rocks of the Upper Precambrian basement of the Northern Timan). *Bulletin MOIP, Geology section*, 2018, V. 93, No. 2, pp. 14–26.
7. Ivensen Yu. P. *Magmatizm Timana i poluostrova Kanin* (Magmatism of the Timan and Kanin Peninsula). Moscow–Leningrad: Nauka, 1964, 126 p.
8. Kostyukhin M. N., Stepanenko V. I. *Bajkal'skij magmatizm Kanino-Timanskogo regiona* (Baikalian magmatism of the Kanin–Timan region). Leningrad: Nauka, 1987, 232 p.
9. Mal'kov B. A. *Novye dannye o vozraste dosilurijskikh intruzivnykh kompleksov Timana i Kanina* (New data on the age of the pre-Silurian intrusive complexes of Timan and Kanin). *Transactions of the USSR Academy of Sciences*, 1966, V. 170, No. 3, pp. 669–672.
10. Mal'kov B. A. *Petrologiya dajkovoj serii shchelochnykh gabbroidov Severnogo Timana* (Petrology of the dyke series of alkaline gabbroic rocks of the Northern Timan). Leningrad: Nauka, 1972, 128 p.
11. Olovyannishnikov V. G. 2004. *Geologicheskoe razvitie poluostrova Kanin i Severnogo Timana* (Geological development of the Kanin Peninsula and Northern Timan). Syktyvkar: Geoprint, 80 p.
12. *Petrografiya i petrologiya magmaticheskikh, metamorficheskikh i metasomaticheskikh gornyx porod* (Petrography and Petrology of Magmatic, Metamorphic and Metasomatic Rocks). Popov V. S., Bogatkov O. A. (Eds). Moscow: Logos Publishing House, 2001, 768 p.
13. Skripnichenko V. A. *Gabbro-sienitovyj kompleks Severnogo Timana* (Gabbro–syenite complex of the Northern Timan). *Transactions of the USSR Academy of Sciences*, 1978, V. 238, No. 1, pp. 211–214.
14. Smirnov M. Yu. *K voprosu o vozraste sienit-granitoidnogo kompleksa Severnogo Timana* (Age of the syenite-granitoid complex of the Northern Timan). *Problems of study and development of natural resources of the North*. Apatity, 1973, pp. 51–54.
15. Fishman M. V., Andreichev V. L., Estaf'eva A. D. *Katalog opredelenij vozrasta gornyx porod SSSR radiologicheskimi metodami (severo-vostok evropejskoj chasti SSSR, sever Urala, Paj-Hoj, Novaya Zemlya)* (Catalog of age determinations of the USSR rocks by radiological methods (the northeastern European part of the USSR, northern areas of the Urals, Pai-Khoi, Novaya Zemlya)). Available from VINITI, Institute of Geology, Komi Branch, USSR Academy of Sciences, Syktyvkar, No. 531–82, 181 p.
16. Andreichev V. L., Soboleva A. A., Udoratina O. V., Ronkin Yu. L., Coble M. A., Miller E. L. Granites of the Northern Timan — probable indicators of Neoproterozoic stages of Rodinia breakup. *Geodynamics & Tectonophysics*, 2020, V. 11, Issue 2, pp. 10–28. doi: 10.5800/GT-2020-11-2-0470.
17. Bingen B., Demaiffe D., van Breemen O. The 616 Ma old Egersund basaltic dike swarm, SW Norway, and Late



Neoproterozoic opening of the Iapetus ocean. *Journal of Geology*, 1998, V. 106, No. 5, pp. 565–574. <https://doi.org/10.1086/516042>.

18. Cawood P. A., McCausland P. G. A., Dunning G. R. Opening Iapetus: constraints from the Laurentian margin in Newfoundland. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 2001, V. 113, pp. 443–453.

19. Coble M. A., Vazquez J., Barth A. P., Wooden J., Burns D., Kylander-Clark A., Jackson S., Vennari C. E. Trace element characterization of MAD-559 zircon reference Material for ion microprobe analysis. *Geostandards and Geoanalytical Research*. 2018, V. 42, pp. 481–497.

20. Ernst R. E., Bell K. Large Igneous Provinces (LIPs) and Carbonatites. *Mineralogy and Petrology*, 2010, V. 98, No. 1–4, pp. 55–76. <https://doi.org/10.1007/s00710-009-0074-1>.

21. Ireland T. R., Gibson G.M. SHRIMP monazite and zircon geochronology of high-grade metamorphism in New Zealand. *J. Metamorphic Geol.*, 1998, V. 16, pp. 149–167.

22. Kamo S. L., Gower C. F., Krogh T.E. Birthdate for the Iapetus ocean? A precise U-Pb zircon and baddeleyite age for the Long Range dikes, southeast Labrador. *Geology*, 1989, V. 17, № 7, pp. 602–605. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1989\)017<0602:BFTLOA>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1989)017<0602:BFTLOA>2.3.CO;2).

23. Larionov A. N., Andreichev V. L., Gee D. G. The Vendian alkaline igneous suite of northern Timan: ion microprobe U-Pb zircon ages of gabbros and syenite. The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica. Eds. Gee D. G., Pease V. *Geol. Soc. London. Mem.*, 2004, No. 30, pp. 69–74.

24. Ludwig K. R. SQUID 2 — A User's Manual, rev. 12 Apr, 2009. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 2009, No. 5, 110 p.

25. Ludwig K. R. Isoplot 3.75, a geochronological toolkit for Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 2012, No. 5, 75 p.

26. Pisarevsky S. A., Murphy J. B., Cawood P. A., Collins A. S. Late Neoproterozoic and Early Cambrian palaeogeography: models and problems. *West Gondwana: Pre-Cenozoic correlations across the South Atlantic region*. Eds. Pankhurst R.J., Trouw R. A. J., Neves Brito B. B., de Wit M.J. *Geol. Soc. London. Mem.*, 2008, No. 249, pp. 9–31.

27. Sun S. S., McDonough W. F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geol. Soc. Spec. Publ. London*, 1989. V. 42, pp. 313–345.

28. Youbi N., Ernst R., Söderlund U., Soulaïmani A., Doblas M., Bertrand H., Marzoli A., El Hachimi H., Bensalah M. K., Hafid A., Ikenne M., Kouyaté D., El Bahat A., Mohamed B.A., Madeira J., Mata J., Martins L., Bellieni G., Vérati C., Mahmoudi A. The Central Iapetus magmatic province (CIMP) large igneous province. Distribution, nature, origin, and environmental impact. *American Association of Petroleum Geologists (AAPG) Search and Discovery*, 2011, article #90137.

Поступила в редакцию / Received 20.05.2021



Индийсодержащие металлоуглеродные композиты из фумарольной минерализации Большого трещинного Толбачинского извержения

В. И. Силаев¹, Л. П. Вергасова², В. Н. Филиппов¹, А. Ф. Хазов¹, А. В. Кокин³, Г. А. Карпов²

¹Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, silaev@geo.komisc.ru

²Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский

³Южно-Российский институт управления, филиал РАНХиГС при Президенте РФ, Ростов-на-Дону

Обсуждаются результаты исследований уникальных по составу и происхождению металлоуглеродных композитов, металлическая компонента в которых представляет собой оловянно-алюминиевый сплав с примесью In, Cu, Fe, Cr, Se. Проанализированы морфология и внутреннее строение частиц, вариации химического состава, изотопия примеси углерода. На основании диаграммы эвтектического типа сделан вывод о кристаллизации сплавов в температурном диапазоне 650–150 °C. Обсуждается вопрос индиенности продуктов вулканизма на Камчатке как нового и возможно промышленно перспективного типа фазово-разнообразной индиевой минерализации.

Ключевые слова: Камчатка, вулканизм, фумарольная минерализация, индийсодержащие металлоуглеродные композиты.

Indium-containing metal-carbon composites from volcano-fumarole mineralization of Great fissure Tolbachik eruption

V. I. Silaev¹, L. P. Vergasova², V. N. Filippov¹, A. F. Khazov¹, A. V. Kokin³, G. A. Karpov²

¹Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar

²Institute of Volcanology and Seismology, Far East Branch RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky

³South Russian Institute of Management, Rostov-on-Don

The results of studies of metal-carbon composites, unique in composition and origin, in which the metal component is a tin-aluminum alloy with an admixture of In, Cu, Fe, Cr, Se, are discussed. The morphology and internal structure of particles, variations in the chemical composition, and the isotopic of carbon impurities are analyzed. Based on the diagram of the eutectic type, a conclusion was made about the crystallization of alloys in the temperature range 650–150 °C. The question of the indium content of volcanic products in Kamchatka as a new and possibly industrially promising type of phase-diverse indium mineralization is discussed.

Keywords: Kamchatka, volcanism, fumarole mineralization, indium-containing metal-carbon composites.

Введение

Объектом исследования послужили углеродизированные металловидные частицы, обнаруженные Л. П. Вергасовой в пробе, отобранной в 1985 г. Е. К. Серафимовой на Втором шлаковом конусе Северного прорыва Большого трещинного Толбачинского извержения (БТТИ) вблизи фумаролы «Сиреновой» (рис. 1). Особое научное и, вероятно, прикладное значение этой находки состоит в значительном обогащении упомянутых частиц индием — в настоящее время чрезвычайно промышленно ценным и одновременно уникально-дефицитным металлом*.

* В 2004 г. мировые запасы индия в разведанных рудных месторождениях при содержании 8–10 г/т оценивались в 2500 т. В дополнение к этому предполагались геологические ресурсы примерно в 6000 т. Уже в 2005 г. мировое промышленное потребление индия составило 850 т, а в настоящее время некоторые эксперты заявляют, что природные запасы индия полностью исчерпаны.

Как известно, Толбачик представляет собой один из наиболее длительно действующих на Камчатке вулканических центров, функционирующих на протяжении всего голоцена в значительной степени за счет глубинного — литосферно-мантийного и астеносферного — вещества [17, 32]. В связи с весьма большой эксгалационной активностью именно этот вулкан считается эталонным объектом для изучения фумарольных минерализаций [5, 6, 19]. Одним из эпицентров эксгалационно-фумарольной деятельности на Толбачике является Второй шлаковый конус на Северном прорыве, образовавшийся в 1975 г. в три стадии [1]: 1) эксплозивную (9–16 августа), 2) эксплозивно-эффузивную (25 августа — 10 сентября) и 3) эффузивную (11–15 сентября). Эруптивная лавово-шлаковая «свеча» была обусловлена в основном раскаленной пирокластикой со значительным участием газовых струй, за счет вещества которых и образовались так называемые фумарольные площадки или попросту фумаролы. Средний состав газов, сопутствующих лавам и пирокластиче-

Для цитирования: Силаев В. И., Вергасова Л. П., Филиппов В. Н., Хазов А. Ф., Кокин А. В., Карпов Г. А. Индийсодержащие металлоуглеродные композиты из фумарольной минерализации Большого трещинного Толбачинского извержения // Вестник геонаук. 2021. 6(318). С. 28–37. DOI: 10.19110/geov.2021.6.3.

For citation: Silaev V. I., Vergasova L. P., Filippov V. N., Khazov A. F., Kokin A. V., Karpov G. A. Indium-containing metal-carbon composites from volcano-fumarole mineralization of Great fissure Tolbachik eruption. Vestnik of Geosciences, 2021, 6(318), pp. 28–37, doi: 10.19110/geov.2021.6.3.

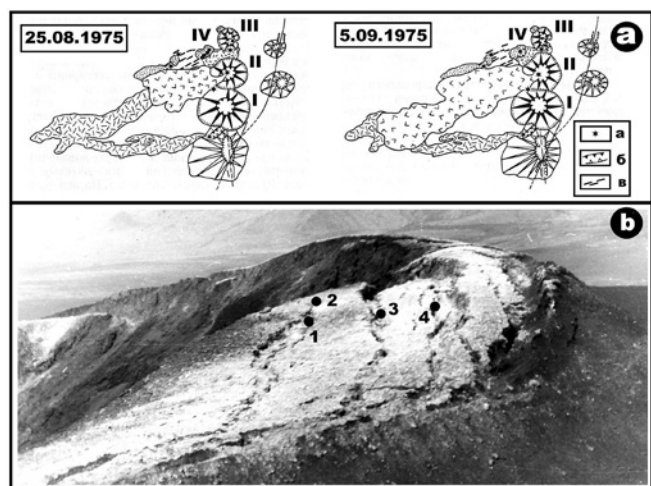


Рис. 1. Схема расположения шлаковых конусов Северного прорыва БТТИ [1], составленная Н. А. Гусевым по аэрофотоснимкам (а, I–IV — конусы) и основное фумарольное поле на юго-западном склоне Второго конуса (b, фумаролы наиболее интенсивного вулканогенно-экспляционного минералообразования: 1 — «Ядовитая», 2 — «Медная», 3 — «Сиреневая», 4 — «Меланоталлитовая») [6]

Fig. 1. The layout of the slag cones of Great fissure Tolbachik eruption (GFTE) Northern Breakthrough [1], compiled by N. A. Gusev from aerial photographs (a, I–V — cones) and main fumarole field on the southwestern slope of the Second Cone (b, fumaroles: 1 — «Yadovitaya», 2 — «Mednaya», 3 — «Sirenevaya», 4 — «Melanotallitovaya») [6]

скому материалу на конусах Северного прорыва определяется как (%): H_2O — 78.71; CO_2 — 5.1; CO — 0.41; H_2 — 3.95; N_2 — 11.08; CH_4 — 0.38. По расчетам доля летучих в продуктах извержения здесь составляла от 3 до 9 вес. %, что сильно превышает степень газонасыщенности базальтовой магмы. Из этого следует, что источником газовой эмиссии на лавово-шлаковых конусах Второго прорыва были не только поднимающиеся к поверхности расплавы. На последнее указывают и изотопные данные по газовым конденсатам: $\delta^{18}O_{SMOW} = 8 \pm 1.56$ ‰ [12] против 10.6 ‰ в магматической воде; $\delta^{13}C_{PDB} = -30$ ‰. Считается, что магматический материал в Северном прорыве не был загрязнен коровым веществом, а по изотопному составу H, Ar, Ne он может действительно иметь мантийное происхождение, как это предполагал по геофизическим данным еще Г. С. Горшков [20].

Проведенные Л. П. Вергасовой и Е. К. Серафимовой многолетние исследования показали, что выдающуюся роль на лавово-шлаковых конусах Северного прорыва БТТИ играют именно фумарольные минерализации, приуроченные к трещинам и бортам микрограбенов. Они образуют более или менее локальные сгущения, выделяющиеся на общем фоне зеленым, фиолетовым, буровато-желтым и бурым цветом (рис. 2). В настоящее время в составе таких минерализаций выявлено около 200 минералов [3—10, 24—29, 33, 36], в том числе (частоты встречаемости минеральных типов) — около 13.8 % самородно-металлических фаз, 2.1 % карбидов, 4.8 % халькогенидов, 10.3 % оксидов, 5.5 % карбонатов, 41.4 % сульфатов, 6.9 % арсенатов,



Рис. 2. Измененные вулканиты с фумарольными минерализациями на шлаковых конусах БТТИ: а — выходы газов из полости в основании западного борта микрограбена Второго шлакового конуса Северного прорыва; б — восточная кромка кратера шлакового конуса Южного прорыва (первооткрыватель десятков новых минералов Л. П. Вергасова); в — структура микрограбена (зона проседания) на основном фумарольном поле Второго шлакового конуса; г — выдающаяся исследователь фумарольных минерализаций Е. К. Серафимова

Fig. 2. Altered volcanic rocks with fumarole mineralizations on cinder cones GFTE: a — outflows of gases from the cavity at the base of the western flank of the micrograben of the Second cinder cone of the Northern Vent; b — the eastern edge of the crater of the cinder cone of the Southern Vent (the discoverers of dozens of new minerals in them L. P. Vergasova); c — micrograben structure (subsidence zone) on the main fumarole field of the Second cinder cone; d — E. K. Serafimova

5.5 % ванадатов и 9.7 % силикатов. Среди кислородных солей сильно преобладают ярко-зелёные оксо-сульфаты меди.

Объекты исследования

Исследованные нами металлоуглеродные композиты были обнаружены в процессе традиционных минералогических поисков в составе типичного фумарольного парагенезиса, включающего федотовит $K_2Cu_3O[SO_4]_3$, пийпит $K_4Cu_4O_2[SO_4]_4NaCl$, долерофанит $Cu_2O[SO_4]$, эвхлорин $KNaCu_3O[SO_4]_3$, англезит $Pb[SO_4]$, халькокианит $Cu[SO_4]$, набокоит $Cu_7TeO_4[SO_4]_5KCl$, атласовит $Cu_6FeBiO_4[SO_4]_5KCl$, арканит $K_2[SO_4]$, тенорит CuO . Наиболее тесно связанными с углерод-металлическими частицами являются федотовит, пийпит и долерофанит (табл. 1).

Выявленные в составе фумарольной минерализации металловидные частицы представляют собой углеродизированные сплавы на основе алюминия и олова. Это, очевидно, соответствует уже твердо установленному факту весьма широкого развития в продуктах современного вулканизма на Камчатке как самородно-металлических, так и разнообразных углеродных фаз [10, 13—15, 32, 33]. В рассматриваемом случае такие образования представлены буроватыми

Таблица 1. Химический состав основных оксосульфатов, сопутствующих металлоуглеродным композитам в фумароле «Сиреневой», мас. %

Table 1. Chemical composition of the main oxosulfates associated with metal-carbon composites in the fumarole «Sirenevaya», wt. %

№ п/п	CuO	ZnO	FeO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Cl	Эмпирические формулы Empirical formulas
1	46.62	0.2	0.06	14.15	0.52	38.45	He обн. N. F.	(K _{1.88} Na _{0.11}) _{1.99} (Cu _{3.66} (Zn,Fe) _{0.02}) _{3.68} O _{1.67} [SO ₄] ₃
2	49.06	He обн. N. F.	0.17	16.74	1.17	28.62	4.24	0.12K _{3.98} (Cu _{6.44} Fe _{0.03}) _{6.47} O _{4.46} [SO ₄] ₄ 0.42NaCl 0.46CuCl ₂
3	67.54	0.96	0.09	0.02	He обн. N. F.	31.37	0.02	(Cu _{2.17} (Zn,Fe) _{0.03}) _{2.2} O _{1.2} [SO ₄]

Примечание. Данные рентгеноспектрального микрозондового анализа: 1 — федотовит, 2 — пийпит, 3 — долерофанит.
Note. X-ray spectral microprobe analysis data: 1 — Fedotovite, 2 — Piypite, 3 — Dolerophanite.

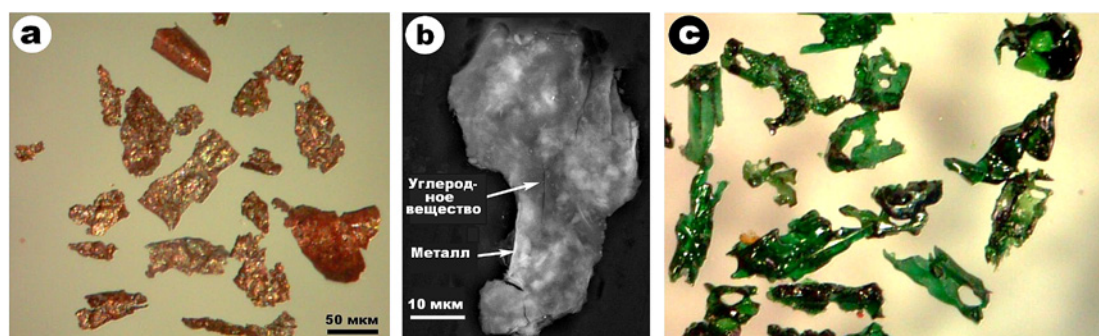


Рис. 3. Частицы углеродизированных металлических сплавов на основе алюминия и олова: а — морфология и размеры; б — внутреннее строение; в — зерна зеленых оксосульфатов меди из парагенезиса с самородно-металлическими фазами
Fig. 3. Particles of carbonized metal alloys based on aluminum and tin: a — morphology and dimensions; b — internal structure; c — grains of green copper oxosulfates from paragenesis with native metal phases

(«ржавыми») пластинчато-угловатыми, несколько вытянутыми частицами (рис. 3, а), незначительно варьирующимися по длине и ширине — $(65 \pm 30) \times (31 \pm 17)$ мкм, с коэффициентом удлинения (2.3 ± 1.2) . Между длиной и шириной частиц установлена значимая положительная корреляция ($r = 0.62$), что может свидетельствовать об их кристаллизации в свободном пространстве и, вероятно, в газовой среде. Углеродное вещество в частицах распределяется хаотично, чередуясь с металлами (рис. 3, б). Изотопный состав углерода варьируется в пределах $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} = -28.92 \dots -25.93$ ‰, что практически тождественно данным по свободному углеродному веществу в фумаролах на том же лавово-шлаковом конусе: $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} = -(25.99 \pm 2.27)$ ‰ [4]. В более широком аспекте изотопные данные по углероду в исследуемых частицах приходятся на середину непрерывного интервала варьирования значений $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ в генеральном ряду углеродных веществ, всегда присутствующих в продуктах современных извержений вулканов на Камчатке и Курилах [30].

Состав и условия образования

По данным локального рентгеноспектрального анализа исследуемые металло-углеродные композиты в своей металлической части являются поликомпонентными сплавами на основе алюминия и олова со значительной примесью меди, индия, железа. По соотношению главных металлов они могут быть подразделены на шесть разновидностей (табл. 2, рис. 4):

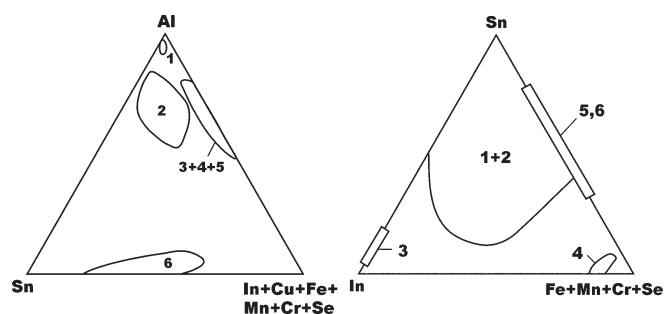


Рис. 4. Треугольные диаграммы атомного состава металлической компоненты в исследованных частицах; 1–6 — разновидности сплавов в табл. 3

Fig. 4. Triangular diagrams of the atomic composition of the metal component in the investigated particles; 1–6 — types of alloys in Table 3

1 — самородный алюминий без примеси индия; 2 — олово-медно-алюминиевый с примесью индия сплав; 3 — олово-медно-алюминиевый с примесью индия сплав; 4 — медно-железо-алюминиевый с примесью индия сплав; 5 — железо-медно-алюминиевый сплав; 6 — железо-оловянный сплав. Очевидно, что распределение индия по представленным разновидностям характеризуется большой неравномерностью, но при этом выявляется статистическая последовательность



Таблица 2. Химический состав металлоуглеродных композитов по данным аналитической СЭМ, мас. %

Table 2. Chemical composition of metal-carbon composites according to SEM, wt. %

	Содержание углерода Carbon content	Al	Sn	Cu	Fe	In	Mn	Cr	Se
<i>1. Самородный алюминий / Native aluminum</i>									
1	47.33	95.69	3.72	He обн. N. F.	0.59	He обн. N. F.	He обн. N. F.	He обн. N. F.	He обн. N. F.
2	63.43	95.98	1.29	1.45	1.28	«	«	«	«
3	54.99	96.73	1.00	1.2	He обн. N. F.	«	«	«	«
4	52.56	89.34	4.46	2.78	2.04	«	1.38	«	«
5	53.62	88.44	3.15	6.19	0.93	«	1.29	«	«
6	54.99	96.47	3.53	He обн. N. F.	He обн. N. F.	«	He обн. N. F.	«	«
7	45.89	96.8	3.12	«	«	«	«	«	«
8	47.85	96.26	2.7	1.04	«	«	«	«	«
9	67.97	95.07	3.18	He обн. N. F.	1.19	«	«	0.56	«
10	51.95	92.84	4.93	1.67	He обн. N. F.	«	«	He обн. N. F.	«
11	52.72	97.48	2.52	He обн. N. F.	«	«	«	«	«
12	80.37	79.62	13.55	5.5	«	«	«	1.33	«
13	59.28	91.28	6.11	1.95	0.66	«	«	He обн. N. F.	«
14	78.48	78.21	5.67	10.22	1.25	4.65	«	«	«
15	48.28	95.57	2.09	2.34	He обн. N. F.	He обн. N. F.	«	«	«
16	43.58	96.03	1.37	2.02	0.58	«	«	«	«
17	85.16	73.32	14.42	6.87	He обн. N. F.	5.39	«	«	«
18	63.26	94.18	He обн. N. F.	1.8	«	He обн. N. F.	«	«	«
19	38.44	100	«	He обн. N. F.	«	«	«	«	«
20	65.41	89.27	0.58	«	1.79	«	0.58	«	«
21	64.44	91.96	He обн. N. F.	«	He обн. N. F.	1.97	He обн. N. F.	«	«
Среднее Average	58.1	91.93	3.66	2.37	0.57	0.57	0.16	0.09	«
СКО RMSD	12.43	6.97	3.89	2.84	0.66	1.54	0.42	0.31	«
<i>2. Железо-олово-алюминиевый сплав / Iron-tin-aluminum alloy</i>									
22	52.33	34.74	58.78	He обн. N. F.	6.48	He обн. N. F.	He обн. N. F.	He обн. N. F.	«
23	59.32	67.09	25.77	«	3.4	«	«	9.87	2.87
24	64.75	26.52	42.72	2.1	24.85	«	«	He обн. N. F.	3.81
25	84.21	59.15	39.52	He обн. N. F.	1.27	«	«	«	He обн. N. F.
Среднее Average	65.15	46.87	41.71	0.52	9	«	«	2.47	1.67
СКО RMSD	13.68	19.33	13.55	1.05	10.78	«	«	4.93	1.97
<i>3. Олово-медно-алюминиевый сплав / Tin-copper-aluminum alloy</i>									
26	82.44	44.65	3.13	52.22	He обн. N. F.	He обн. N. F.	He обн. N. F.	He обн. N. F.	He обн. N. F.
27	83.86	59.97	10.17	19.27	1.61	8.98	«	«	«
Среднее Average	83.15	52.31	6.65	35.74	0.8	4.49	«	«	«
СКО RMSD	1.0	10.83	4.98	23.3	1.14	6.35	«	«	«

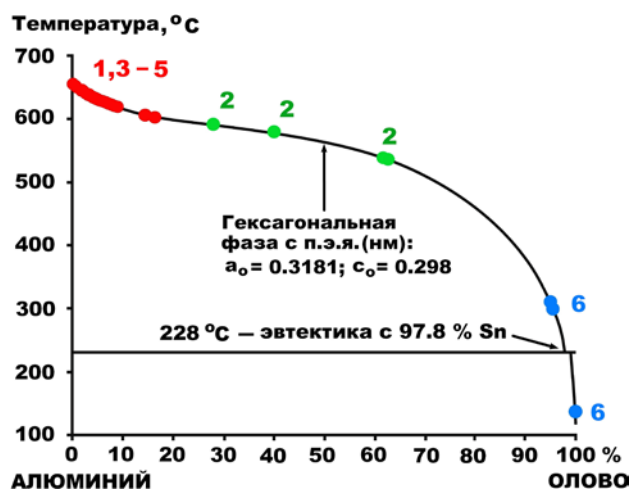


Рис. 5. Диаграмма эвтектического типа для алюминиевых сплавов, легированных оловом: 1—6 — разновидности исследованных металлоуглеродных композитов в табл. 3

Fig. 5. Eutectic type diagram for tin alloyed aluminum alloys: 1—6 — varieties of the investigated metal-carbon composites in Table 3

пературой кристаллизации — 600—550 °C — отличается железо-олово-алюминиевый сплав. Образование железоалюминиевого сплава, судя по рассматриваемой диаграмме, происходило в близко к эвтектическим условиям при температурах 300—150 °C. Содержание индия в сплавах прямо коррелируется с температурой кристаллизации (коэффициент ранговой корреляции — не ниже 0.5), а вот степень обогащения сплавов углеродным веществом от температуры не зависела. Последнее, скорее всего, свидетельствует об эндогенном происхождении и стационарном по содержанию углерода образовании металлоуглеродных композитов во всем выявленном температурном диапазоне 650—150 °C.

Феномен примеси индия

Как известно, до настоящего времени в природе индий за редким исключением [18] обнаруживался в сульфидной форме — рокезит CuInS_2 , индит FeIn_2S_4 , кадмоиндит CdInS_4 , сакураит $(\text{Cu,Zn,Fe})_3\text{InS}_4$, патрунит $(\text{Cu,Fe,Zn})_2(\text{Sn,In})\text{S}_4$, образуя промышленные концентрации в гидротермальных месторождениях именно в виде собственных сульфидов или как изоморфная примесь в сульфидах цинка и меди [16, 35]. Это вполне подтверждается и данными по дальневосточным вулканогенно-эпитермальным Au-Ag-полиметаллическим оруденениям, выявленным в пределах Охотско-Чукотского вулканогенного пояса, по месторождению Хисикари в Японии и по минерализациям непосредственно на Камчатке [21, 22].

Обнаружение факта обогащения индием практически до 9 мас. % исследованных нами металлоуглеродных композитов может свидетельствовать о существовании в природе неизвестного ранее, практически непрерывно возобновляющегося и, учитывая весьма невысокие требования к содержанию индия в геологических объектах, возможно промышленно перспективного типа индиевых минерализаций, непосредственно связанных как минимум с эксплозивными и эксгальационно-фумарольными продуктами современного вулканизма. Уже установлено, что на Камчатке индий присутствует в вулканических газах и газовых конденсатах при содержаниях от 1 до 130 мг/т, входя при этом в группу обогащающих газовые конденсаты элементов наряду с S, Te, Re, Cl, Br, F, Tl, As, Se [12, 34]. Кроме того, индий на Камчатке часто обнаруживается в эксгальационно-фумарольных минерализациях, показывая валовые содержания до 10 г/т. В таких случаях он концентрируется в наиболее ранних фумарольных минералах — оксо-сульфатах, арсенатах, хлоридах. Примером таких минерало-геохимических аномалий могут служить поликомпонентные оксосульфатные смеси с содержанием In_2O_3 до 4 мас. % (табл. 4). В результате рентгенофазового анализа в составе смесей диагности-

Таблица 4. Химический состав поликомпонентных сульфатных смесей со спорадической примесью индия и сурьмы, мас. %

Table 4. Chemical composition of multicomponent sulfate mixtures with sporadic with an admixture of indium and antimony, wt. %

№	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	CuO	In ₂ O ₃	Sb ₂ O ₃	SO ₃	Эмпирические формулы / Empirical formulas
1	25.07	8.14	14.98	1.16			50.65	$(\text{K}_{0.84}\text{Na}_{0.41}\text{Ca}_{0.42}\text{Cu}_{0.02})_{1.69}\text{O}_{0.06}[\text{SO}_4]$
2	27.94	3.19	16.27	1.45			51.15	$(\text{K}_{0.93}\text{Na}_{0.16}\text{Ca}_{0.46}\text{Cu}_{0.03})_{1.58}\text{O}_{0.04}[\text{SO}_4]$
3	23.94	4.77	15.37	1.32	3.61	2.74	48.25	$(\text{K}_{0.84}\text{Na}_{0.26}\text{Ca}_{0.45})_{1.55}[\text{SO}_4](\text{InSb})_{0.07}$
4	25.27	6.57	14.79	1.99			51.38	$\text{K}_{0.84}\text{Na}_{0.33}\text{Ca}_{0.41}\text{Cu}_{0.04}162\text{O}_{0.04}[\text{SO}_4]$
5	26.3	4.79	16.11	1.49			51.31	$(\text{K}_{0.87}\text{Na}_{0.24}\text{Ca}_{0.45}\text{Cu}_{0.03})_{1.59}\text{O}_{0.04}[\text{SO}_4]$
6	26.77	3.62	15.85	0.91			52.85	$(\text{K}_{0.86}\text{Na}_{0.18}\text{Ca}_{0.43}\text{Cu}_{0.02}\text{H}_{0.06})_{1.55}[\text{SO}_4]$
7	22.07	7.38	14.66	1.36	3.39		51.14	$0.96[(\text{K}_{0.73}\text{Na}_{0.37}\text{Ca}_{0.41}\text{Cu}_{0.03})_{1.54}][0.04[\text{In}_2[\text{SO}_4]_3]$
8	26.87	3.9	15.88	1.67			51.68	$(\text{K}_{0.88}\text{Na}_{0.19}\text{Ca}_{0.44}\text{Cu}_{0.03})_{1.54}[\text{SO}_4]$
9	26.53	4.48	16.76	1.69			50.54	$(\text{K}_{0.89}\text{Na}_{0.23}\text{Ca}_{0.47}\text{Cu}_{0.03})_{1.62}\text{O}_{0.06}[\text{SO}_4]$
10	31.97	15.23	4.45	1.45			46.9	$(\text{K}_{1.16}\text{Na}_{0.84}\text{Ca}_{0.14}\text{Cu}_{0.03})_{2.17}\text{O}_{0.17}[\text{SO}_4]$
11	32.4	15.6	4.42	1.27			46.31	$(\text{K}_{1.19}\text{Na}_{0.87}\text{Ca}_{0.14}\text{Cu}_{0.03})_{2.23}\text{O}_{0.2}[\text{SO}_4]$
12	30.61	14.57	4.01	1.25	3.85		45.71	$0.96[(\text{K}_{1.14}\text{Na}_{0.82}\text{Ca}_{0.13}\text{Cu}_{0.03})_{2.12}][0.04[\text{In}_2[\text{SO}_4]_3]$

Примечание. Фумарола на 3-м конусе СП БТТИ.
Note. Fumarole on GFTE NB 3rd cone.



рованы беломаринаит $\text{KNa}[\text{SO}_4]$ и тенардит. Согласно расчетам, в таких смесях индий может присутствовать минимум в двух минеральных формах — в виде стибита и собственного сульфата.

Таким образом, учитывая данные В. М. Округина [21, 22], уже сейчас можно говорить о вероятном минералогическом многообразии обогащающей продукты вулканизма на Камчатке примеси индия, представленной самородно-металлическими фазами, сульфидами, антимонидами и сульфатами. Важно подчеркнуть, что индиеносность продуктов современного вулканизма на российской территории вовсе не ограничивается Камчаткой. Например, на острове Итуруп Курильской гряды содержания индия до 10–15 г/т установлены в высокотемпературной (выше 500 °С) редкометалльной эксгальционно-фумарольной минерализации на вулкане Кудрявом [11, 23], что для индия является значительной концентрацией.

Заключение

В ходе минералогических исследований фумарольных минерализаций на втором лавово-шлаковом конусе Северного прорыва БТТИ выявлены частицы ранее неизвестных металлоуглеродных композитов на основе оловоалюминиевого сплава. По химическому составу металлической компоненты исследованные частицы подразделены на шесть разновидностей, кристаллизовавшихся в широком температурном диапазоне — от 650 до 150 °С. Основной особенностью исследованных металлоуглеродных композитов является существенная примесь в них индия, содержание которого достигает 9 мас. %. Обнаружение на Камчатке как минимум четырех минеральных форм индия — самородной, антимонидной, сульфидной и сульфатной — приводит к выводу о вероятном существовании в природе ранее неизвестного, практически непрерывно возобновляющегося и возможно экономически перспективного типа индиевых минерализаций, связанных с взрывными, эксгальционно-фумарольными и вулканогенно-гидротермальными продуктами вулканизма. Индий также обнаружен и в составе фумарольной минерализации прорыва Олимпийского на вулкане Алаид. Характерно, что на этом островном вулкане индий наблюдается только в безводных сульфатах щелочей из раскаленных трещин гребня шлакового конуса [2].

Литература

1. *Большое* трещинное Толбачинское извержение. Камчатка 1975–1976. М.: Наука, 1984. 637 с.
2. Вергасова Л. П. Фумарольные минералы прорыва Олимпийского // Бюллетень вулканологических станций. 1977. № 53. С. 77–89.
3. Вергасова Л. П., Карпов Г. А., Филатов С. К. Минералогия вулканических эксгальций и измененных пород современных газогидротермальных систем Камчатки // История науки и техники. 2017. № 7. С. 52–65.
4. Вергасова Л. П., Москалёва С. В., Шаблинский А. П., Силаев В. И., Карпов Г. А., Филатов С. К., Тарасов К. В., Назарова М. А. Об уникальном минеральном парагенезисе вулканических газов // Вулканизм и связанные с ним процессы: Материалы XXIII ежегод. конфер., посвящ. Дню вулканолога. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2020. С. 163–166.
5. Вергасова Л. П., Филатов С. К. Новые минералы в продуктах фумарольной деятельности Большого трещинного Толбачинского вулкана // Вулканология и сейсмология. 2012. № 5. С. 3–12.
6. Вергасова Л. П., Филатов С. К. Опыт изучения вулканогенно-эксгальционной минерализации // Вулканология и сейсмология. 2016. № 2. С. 3–17.
7. Вергасова Л. П., Филатов С. К., Серафимова Е. К., Вараксина Т. В. Камчаткит $\text{KCu}_3\text{OCl}(\text{SO}_4)_2$ — новый минерал из вулканических возгонов // ЗВМО. 1988. № 4. С. 459–461.
8. Вергасова Л. П., Филатов С. К., Серафимова Е. К., Старова Г. Л. Пийпит $\text{K}_4\text{Cu}_4\text{O}_2(\text{SO}_4)_4$ — новый минерал вулканических возгонов // Докл. АН СССР. 1984. Т. 275. № 3. С. 714–717.
9. Вергасова Л. П., Филатов С. К., Серафимова Е. К., Старова Г. Л. Федотовит $\text{K}_2\text{Cu}_3\text{O}(\text{SO}_4)_3$ — новый минерал из вулканических возгонов // Докл. АН СССР. 1988. Т. 299, № 4. С. 961–964.
10. Главатских С. Ф. Самородные металлы и интерметаллические соединения в продуктах эксгальций Большого трещинного Толбачинского извержения // Доклады АН СССР. 1990. Т. 113. № 2. С. 433–437.
11. Данченко В. Я., Рыбин А. В. Редкие металлы и рассеянные элементы в рудах Курильских островов // Современные проблемы геологии, поисков, разведки и оценки месторождений полезных ископаемых: Материалы междунар. конф. М.: Изд-во УДН, 1997. С. 77–80.
12. Зеленский М. Е., Малик Н. А., Таран Ю. А. Вулканические газы ТТИ-50 // Толбачинское трещинное извержение 2012–2013 гг. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2017. С. 216–235.
13. Карпов Г. А., Силаев В. И., Аникин Л. П., Васильев Е. А., Вергасова Л. П. Вулканогенный углеродный парагенезис на Камчатке // История науки и техники. 2017. № 7. С. 66–77.
14. Карпов Г. А., Силаев В. И., Аникин Л. П., Филиппов В. Н., Киселёва Д. В., Макеев Б. А., Шанина С. А., Вергасова Л. П., Хазов А. Ф., Тарасов К. В. Сравнительная петро-минералогическая характеристика пеплов извержений вулкана Ключевского 2020–2021 гг. // Вулканизм и связанные с ними процессы: Материалы XXIV ежегод. науч. конфер., посвящ. Дню вулканолога. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2021. С. 48–50.
15. Карпов Г. А., Силаев В. И., Аникин Л. П., Мохов А. В., Горностаева Т. А., Сухарев А. Е. Взрывная минерализация ТТИ-50 // Толбачинское трещинное извержение 2012–2013 гг. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2017. С. 133–174.
16. Кокин А. В., Силаев В. И., Киселёва Д. В., Филиппов В. Н. Новый потенциально промышленный сульфидно-индиево-марганцевый тип оруденения // Доклады РАН. 2010. Т. 430. № 3. С. 359–364.
17. Колосков А. В., Давыдова М. Ю., Ананьев В. В., Кандрин А. А. Толбачинский вулканический центр: состав продуктов, этапность проявления, петрологическая модель // Вулканология и сейсмология. 2017. № 4. С. 3–29.
18. Макеев А. Б., Макеев Б. А., Филиппов В. Н., Зайнуллин Г. Г., Янулова Л. А. AgIn_2 — новая природная фаза // Теоретическая, минералогическая и техническая кристаллография: Материалы 2-го Уральского кристаллографического совещания. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 1998. С. 130–131.



19. Меняйлов И. А., Никитина Л. П., Шапарь В. Н. Геохимические особенности эксгальций Большого трещинного Толбачинского извержения. М.: Наука, 1980. 285 с.
20. Озеров А.Ю. Ключевской вулкан: вещество, динамика, модель. М.: Геос, 2019. 306 с.
21. Округин В. М. О возрасте и генезисе эпitherмальных месторождений зоны перехода континент — океан (северо-западная Пацифика) // Современный вулканизм и связанные с ним процессы: Материалы юбилейной сессии Камчатского науч. центра ДВО РАН, 2002. С. 56—57.
22. Округин В. М., Шишканова К. О., Философова Т. М. Новые данные о рудах Вилучинского золото-серебро-полиметаллического рудопроявления, Южная Камчатка // Руды и металлы. 2017. № 1. С. 40—54.
23. Рыбин А. В., Данченко В. Я. Эксгальационное редкометалльное оруденение вулкана Кудрявый (Курильские острова) // Современные проблемы геологии, поисков, разведки и оценки месторождений полезных ископаемых: Материалы междунар. конфер. М.: Изд-во УДН, 1997. С. 77—80.
24. Серафимова Е. К. Минералогия возгонов вулканов Камчатки. М.: Наука, 1979. 168 с.
25. Серафимова Е. К. Минеральные парагенезисы вулканических возгонов // Постэруптивное минералообразование на активных вулканах. Владивосток, 1992. Ч. 1. С. 31—32.
26. Серафимова Е. К., Вергасова Л. П., Зиборова Т. А. Образование карбонатов на фумарольных полях Большого трещинного Толбачинского извержения // Вулканология и сейсмология. 1986. № 2. С. 46—59.
27. Серафимова Е. К., Пономарев В. В., Игнатович Ю. А., Перетолчина Н. А. Минералогия возгонов Северного прорыва Большого трещинного Толбачинского извержения (октябрь 1975 г. — сентябрь 1976 г.). // Бюл. вулканол. станций. 1979. № 56. С. 162—178.
28. Серафимова Е. К., Семенова Т. Ф., Вергасова Л. П. и др. Новые данные по малакдриту Na_2SiF_6 — минералу вулканических эксгальций Большого трещинного Толбачинского извержения // Вулканология и сейсмология. 1996. № 1. С. 46—55.
29. Серафимова Е. К., Сергеева С. В., Соловьева Н. А. Постэруптивная активность на Северном прорыве Большого трещинного Толбачинского извержения через 10 лет после его образования // Вулканология и сейсмология. 1988. № 5. С. 42—52.
30. Силаев В. И., Карпов Г. А., Аникин Л. П., Васильев Е. А., Вергасова Г. П., Смолева И. В. Минерально-фазовый парагенезис в эксплозивных продуктах современных извержений вулканов Камчатки и Курил. Часть 1. Алмазы, углеродные фазы, конденсированные органоиды // Вулканология и сейсмология. 2019. № 56. С. 54—67.
31. Силаев В. И., Карпов Г. А., Аникин Л. П., Вергасова Л. П., Филиппов В. Н., Тарасов К. В. Минерально-фазовый парагенезис в эксплозивных продуктах современных извержений вулканов Камчатки и Курил. Часть 2. Минералы-спутники алмазов толбачинского типа // Вулканология и сейсмология. 2019. № 6. С. 36—49.
32. Флеров Г. Б., Мелекесцев И. В. Извержение 2012—2013 гг. как результат продолжающейся активности Толбачинской региональной зоны шлаковых конусов (Ключевская группа вулканов) // Вулканизм и связанные с ним процессы: Материалы регион. науч. конфер., посвящ. Дню вулканолога. Петропавловск-Камчатский, 2014. С. 139—144.
33. Хазов А. Ф., Вергасова Л. П., Симакова Ю. С., Смолева И. В., Тарасов К. В., Силаев В. И. Фумарольные карбонатные минерализации на примере БТТИ (Камчатка) // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2019. № 12. С. 12—19.
34. Chaplygin I., Yudovskaya M., Vergasova L., Mokhov A. Native gold from volcanic gases at Tolbachik 1975—76 and 2012—13 Fessure Eruptions Kamchatka // J. of Volcanology and Geothermal Research, 2015. V. 307. pp. 200—209.
35. Silaev V. I., Kokin A. V., Kiseleva D. V., Piskunova N. N., Lutoev V. P. New Potentially Industrial Type of Indium Sulfide-Manganese Ore // Indium. Properties, Technological Applications and Health Issues. Nowa publishers. New York, 2013. pp. 261—284.
36. Vergasova L. P., Starova G. L., Krivovichev S. V., Filatov S. K., Ananiev V. V. Coparsite $\text{Cu}_4\text{O}_2[(\text{As},\text{V})\text{O}_4]\text{Cl}$, a new mineral species from the Tolbachik Volcano, Kamchatka Peninsula, Russia // Can. Mineral., 1999. V. 37. pp. 911—914.

References

1. Bolshoye treshchinnoye Tolbachinskoye izverzheniye. Kamchatka 1975—1976 (Large fissure Tolbachik eruption. Kamchatka 1975—1976). Moscow: Nauka, 1984, 637 p.
2. Vergasova L. P. Fumarolnyye mineraly proryva Olimpiyskogo (Fumarolic minerals of the breakthrough "Olympic"). Bulletin of volcanological stations, No. 53, Ed. "Science", Moscow, 1977, pp. 77—89.
3. Vergasova L. P., Karpov G. A., Filatov S. K. Mineralogiya vulkanicheskikh eksglyatsiy i izmenennykh porod sovremennykh gazo-gidrotermalnykh sistem Kamchatki (Mineralogy of volcanic exhalations and altered rocks of modern gas-hydrothermal systems of Kamchatka). History of Science and Technology, 2017, No. 7, pp. 52—65.
4. Vergasova L. P., Moskaleva S. V., Shablinsky A. P., Silaev V. I., Karpov G. A., Filatov S. K., Tarasov K. V., Nazarova M. A. Ob unikalnom mineralnom paragenezise vulkanicheskikh gazov (On the unique mineral paragenesis of volcanic gases). Volcanism and related processes: Proceedings of the XXIII annual conference dedicated to the Volcanologist's Day. Petropavlovsk-Kamchatsky: IVIS FEB RAS, 2020, pp. 163—166.
5. Vergasova L. P., Filatov S. K. Novyye mineraly v produktakh fumarol'noy deyatel'nosti Bol'shogo treshchinного Tolbachinskogo vulkana (New minerals in the products of fumarolic activity of the Big Fissure Tolbachinsky Volcano). Volcanology and Seismology, 2012, No. 5, pp. 3—12.
6. Vergasova L. P., Filatov S. K. Opyt izucheniya vulkano-genno-eksglyatsionnoy mineralizatsii (Experience of studying volcanogenic-exhalation mineralization). Kanologiya i seismologiya, 2016, No. 2, pp. 3—17.
7. Vergasova L. P., Filatov S. K., Serafimova E. K., Varaksina T. V. Kamchatkit $\text{KSu}_3\text{OCl}(\text{SO}_4)_2$ — novyy mineral iz vulkanicheskikh vozgonov (Kamchatkite $\text{KCu}_3\text{OCl}(\text{SO}_4)_2$ — a new mineral from volcanic sublimates). Proceedings of RMS, 1988, No. 4, pp. 459—461.
8. Vergasova L. P., Filatov S. K., Serafimova E. K., Starova G. L. Piypit $\text{K}_4\text{Cu}_4\text{O}_2(\text{SO}_4)_4$ — novyy mineral vulkanicheskikh vozgonov (Piypite $\text{K}_4\text{Cu}_4\text{O}_2(\text{SO}_4)_4$ — a new mineral of volcanic sublimates). Doklady Earth Sciences, 1984, V. 275, No. 3, pp. 714—717.
9. Vergasova L. P., Filatov S. K., Serafimova E. K., Starova G. L. Fedotovite $\text{K}_2\text{Cu}_3\text{O}(\text{SO}_4)_3$ novyy mineral iz vulkanicheskikh vozgonov (Fedotovite $\text{K}_2\text{Cu}_3\text{O}(\text{SO}_4)_3$ a new mineral from volcanic sublimates). Doklady Earth Sciences, 1988, V. 299, No. 4, pp. 961—964.



10. Glavatskikh S. F. *Samorodnyye metally i intermetallicheskiye soyedineniya v produktakh eksglyatsiy Bol'shogo treshchinnogo Tolbachinskogo izverzheniya* (Native metals and intermetallic compounds in the products of exhalations of the Great fissure Tolbachik eruption). Doklady Earth Sciences, 1990, V. 113, No. 2, pp. 433–437.
11. Danchenko V. Ya., Rybin A. V. *Redkiye metally i rasseyannyye elementy v rudakh Kuril'skikh ostrovov* (Rare metals and trace elements in the ores of the Kuril Islands). Modern problems of geology, prospecting, exploration and evaluation of mineral deposits: Proceedings of the international conference. Moscow: Publishing house of UDN, 1997, pp. 77–80.
12. Zelensky M. E., Malik N. A., Taran Yu. A. *Vulkanicheskiye gazy TTI-50* (Volcanic gases TTI-50). Tolbachinskoe fissure eruption 2012–2013. Novosibirsk: Publishing house of SB RAS, 2017, pp. 216–235.
13. Karpov G. A., Silaev V. I., Anikin L. P., Vasiliev E. A., Vergasova L. P. *Vulkanogennyy uglerodnyy paragenезis na Kamchatke* (Volcanogenic carbon paragenesis in Kamchatka). History of Science and Technology, 2017, No. 7, pp. 66–77.
14. Karpov G. A., Silaev V. I., Anikin L. P., Filippov V. N., Kiseleva D. V., Makeev B. A., Shanina S. A., Vergasova L. P., Khazov A. F., Tarasov K. V. *Sravnitel'naya petro-mineralo-geokhimicheskaya kharakteristika peplov izverzheniy vulkana Klyuchevskogo 2020–2021 gg.* (Comparative petro-mineralogical-geochemical characteristics of ash eruptions of Klyuchevsky volcano in 2020–2021). Volcanism and related processes: Materials of the XXIV annual scientific conference dedicated to the Day of the volcanologist. Petropavlovsk-Kamchatsky: IViS FEB RAS, 2021, pp. 1–3.
15. Karpov G. A., Silaev V. I., Anikin L. P., Mokhov A. V., Gornostaeva T. A., Sukharev A. E. *Eksplzivnaya mineralizatsiya TTI-50* (Explosive mineralization TTI-50). Tolbachinskoe fissure eruption 2012–2013. Novosibirsk: Publishing house of the SB RAS, 2017, pp. 133–174.
16. Kokin A. V., Silaev V. I., Kiseleva D. V., Filippov V. N. *Novyy potentsial'no promyshlennyy sul'fidno-indiyevo-margantsevy tip orudneniya* (New potentially industrial sulfide-indium-manganese type of mineralization). Doklady Earth Sciences, 2010, V. 430, No. 3, pp. 359–364.
17. Koloskov A. V., Davydova M. Yu., Ananiev V. V., Kandrin A. A. *Tolbachinskiy vulkanicheskiy tsentr: sostav produktov, etapnost' proyavleniya, petrologicheskaya model'* (Tolbachinsky volcanic center: composition of products, stages of manifestation, petrological model). Volcanology and seismology, 2017, No. 4, pp. 3–29.
18. Makeev A. B., Makeev B. A., Filippov V. N., Zainullin G. G., Yanulova L. A. *AgIn₂ – novaya prirodnyaya faza* (AgIn₂ – a new natural phase). Theoretical, mineralogical and technical crystallography: Materials of the 2nd Ural crystallographic meeting. Syktyvkar: Institute of geology Komi SC UB RAS, 1998, pp. 130–131.
19. Menyailov I. A., Nikitina L. P., Shapar V. N. *Geokhimicheskiye osobennosti eksglyatsiy Bol'shogo treshchinnogo Tolbachinskogo izverzheniya* (Geochemical peculiarities of exhalations of the Great fissure Tolbachik eruption). Moscow: Nauka, 1980, 285 p.
20. Ozerov A. Yu. *Klyuchevskoy vulkan: veshchestvo, dinamika, model* (Klyuchevskoy volcano: matter, dynamics, model). Moscow: Geos, 2019, 306 p.
21. Okrugin V. M. *O vozraste i genezise epitermal'nykh mesotorozhdeniy zony perekhoda kontinent-okean (severo-zapadnaya Patsifika)* (On the age and genesis of epithermal deposits in the continent-ocean transition zone (northwestern Pacific). Modern volcanism and related processes: Materials of the jubilee session of the Kamchatka Scientific Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 2002, pp. 56–57.
22. Okrugin V. M., Shishkanova K. O., Filosofova T. M. *Novyye dannyye o rudakh Vilyuchinskogo zoloto-serebro-polimetallichesko-rudoproyavleniya, Yuzhnaya Kamchatka* (New data on the ores of the Vilyuchinsky gold-silver-polymetallic ore occurrence, South Kamchatka). Ores and metals, 2017, No. 1, pp. 40–54.
23. Rybin A. V., Danchenko V. Ya. *Eksglyatsionnoye redkometal'noye orudneniye vulkana Kudryavyy (Kuril'skiye ostrova)* (Exhalation rare-metal mineralization of the Kudryavyy volcano (Kuril Islands). Modern problems of geology, prospecting, exploration and evaluation of mineral deposits: Proceedings of the international conference. Moscow: Publishing house of UDN, 1997, pp. 77–80.
24. Serafimova E. K. *Mineralogiya vozgonov vulkanov Kamchatki* (Mineralogy of sublimates of Kamchatka volcanoes). Moscow: Nauka, 1979, 168 p.
25. Serafimova E. K. *Mineral'nyye paragenезisy vulkanicheskikh vozgonov* (Mineral parageneses of volcanic sublimates). Post-eruptive mineral formation on active volcanoes. Vladivostok, 1992, Part 1, pp. 31–32.
26. Serafimova E. K., Vergasova L. P., Ziborova T. A. *Obrazovaniye karbonatov na fumarol'nykh polyakh Bol'shogo treshchinnogo Tolbachinskogo izverzheniya* (Formation of carbonates on fumarole fields of the Great Tolbachik fissure eruption). Volcanology and seismology, 1986, No. 2, pp. 46–59.
27. Serafimova E. K., Ponomarev V. V., Ignatovich Yu. A., Peretolchina N. A. *Mineralogiya vozgonov Severnogo proryva Bol'shogo treshchinnogo Tolbachinskogo izverzheniya (oktyabr 1975 g. – sentyabr 1976 g.)* (Mineralogy of sublimates of the Northern Outburst of the Great Fissure Tolbachik Eruption (October 1975 – September 1976), Bul. volcanol. Stations, 1979, No. 56, pp. 162–178.
28. Serafimova E. K., Semenova T. F., Vergasova L. P. et al. *Novyye dannyye po malladritu Na₂SiF₆ – mineralu vulkanicheskikh eksglyatsiy Bol'shogo treshchinnogo Tolbachinskogo izverzheniya* (New data on malladrite Na₂SiF₆ – a mineral of volcanic exhalations of the Great Tolbachik fissure eruption). Volcanology and seismology, 1996, No. 1, pp. 46–55.
29. Serafimova E. K., Sergeeva S. V., Solovyeva N. A. *Posteruptivnaya aktivnost' na Severnom proryve Bol'shogo treshchinnogo Tolbachinskogo izverzheniya cherez 10 let posle yego obrazovaniya* (Post-eruptive activity at the Northern Breakthrough of the Great Tolbachik Fissure Eruption 10 years after its formation). Volcanology and seismology, 1988, No. 5, pp. 42–52.
30. Silaev V. I., Karpov G. A., Anikin L. P., Vasiliev E. A., Vergasova L. P., Smoleva I. V. *Mineral'no-fazovyy paragenезis v eksplzivnykh produktakh sovremennykh izverzheniy vulkanov Kamchatki i Kuril. Chast' 1. Almazы, uglerodnyye fazy, kondensirovannyye organoidy* (Mineral-phase paragenesis in the explosive products of recent volcanic eruptions in Kamchatka and the Kuriles. Part 1. Diamonds, carbon phases, condensed organelles). Volcanology and seismology, 2019, No. 56, pp. 54–67.
31. Silaev V. I., Karpov G. A., Anikin L. P., Vergasova L. P., Filippov V. N., Tarasov K. V. *Mineral'no-fazovyy paragenезis v eksplzivnykh produktakh sovremennykh izverzheniy vulkanov Kamchatki i Kuril. Chast' 2. Mineraly sputniki almazov tolbachinskogo tipa* (Mineral-phase paragenesis in the explosive products of recent volcanic eruptions in Kamchatka and the Kuriles. Part 2. Minerals satellites of Tolbachik type diamonds). Volcanology and seismology, 2019, No. 6, pp. 36–49.



32. Flerov G. B., Melekestsev I. V. *Izverzheniye 2012—2013 gg. kak rezul'tat prodolzhayushcheysya aktivnosti Tolbachinskoy regional'noy zony shlakovykh konusov (Klyuchevskaya gruppa vulkanov)* (The eruption of 2012—2013 as a result of the continuing activity of the Tolbachik regional zone of cinder cones (Klyuchevskoy group of volcanoes). Volcanism and related processes: Materials of the regional scientific conference dedicated to the Volcanologist's Day. Petropavlovsk-Kamchatsky, 2014, pp. 139—144.

33. Khazov A. F., Vergasova L. P., Simakova Yu. S., Smoleva I. V., Tarasov K. V., Silaev V. I. *Fumarol'nyye karbonatnyye mineralizatsii na primere BTI (Kamchatka)* (Fumarolic carbonate mineralizations as exemplified by GFTE (Kamchatka). *Vestnik of Institute of geology Komi SC UB RAS*, 2019, No. 12, pp. 12—19.

34. Chaplygin I., Yudovskaya M., Vergasova L., Mokhov A. Native gold from volcanic gases at Tolbachik 1975—76 and 2012—13 Fissure Eruptions Kamchatka. *J. of Volcanology and Geothermal Research*, 2015, V. 307, pp. 200—209.

35. Silaev V. I., Kokin A. V., Kiseleva D. V., Piskunova N. N., Lutoev V. P. New Potentially Industrial Type of Indium Sulfide-Manganese Ore. Indium. Properties, Technological Applications and Health Issues. Nowa publishers. New York, 2013, pp. 261—284.

36. Vergasova L. P., Starova G. L., Krivovichev S. V., Filatov S. K., Ananiev V. V. Coparsite $\text{Cu}_4\text{O}_2[(\text{As},\text{V})\text{O}_4]\text{Cl}$, a new mineral species from the Tolbachik Volcano, Kamchatka Peninsula, Russia. *Can. Mineral.*, 1999, V. 37, pp. 911—914.

Поступила в редакцию / Received 10.06.2021

Новые данные о титановой минерализации в фенитизированных докембрийских карбонатных породах быстринской серии Среднего Тимана

И. И. Голубева¹, А. С. Шуйский¹, В. Н. Филиппов¹, Е. М. Тропников¹, С. И. Исаенко¹,
И. Н. Бурцев¹, В. Н. Леденцов²

¹Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, *IGolubeva2@yandex.ru*; ²АО «Боксит Тимана»

Фенитизированные докембрийские карбонатные породы на Среднем Тимане являются материнскими породами для боксито-фосфатных кор выветривания. В этой связи вызывает большой интерес вещественный состав фенитов, характеризующихся обильной разнородной минерализацией. Особое внимание привлекает титановая минерализация, так как в боксито-фосфатных корях выветривания отмечаются высокие концентрации титановых минералов. Например, в бокситах Верхнешугорского месторождения количество рутила может достигать 6–7 кг/т. Титановая минерализация в фенитизированных карбонатных породах представлена титанитом, рутилом, рутиловым лейкоксеном, анатазом и редким минералом – касситом.

Ключевые слова: Средний Тиман, рифей, фенитизация, карбонатные отложения, титановая минерализация.

New data on titanium mineralization in fenitized precambrian carbonate rocks of Middle Timan bystrinskaya series

I. I. Golubeva¹, A. S. Shuisky¹, V. N. Filippov¹, E. M. Tropnikov¹, S. I. Isaenko¹,
I. N. Burtsev¹, V. N. Ledentsov²

¹Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar; ²JSC «Timan's Bauxite»

Fenitized Precambrian carbonate rocks (Middle Timan) are parent rocks for bauxite – phosphate weathering crusts. Therefore, the mineral composition of fenites, characterized by rich and varied mineralization, is of great interest. Titanium minerals especially attract attention, since their high concentrations are noted in bauxite-phosphate weathering crusts. For example, in the bauxites of the Verkhne-Shchugorsk area, the amount of rutile may reach 6000–7000 g/t. Titanium mineralization is represented by titanite, rutile, anatase, and cassite.

Keywords: Middle Timan, Riphean, fenitization, carbonate deposits, titanium mineralization.

На Среднем Тимане в Четласском блоке выделена флюидоэксплозивная структура (ФЭС) карбонатито-щелочного типа [3], в которую входят карбонатиты, дайковый комплекс эксплозивных карбонатизированных ультрамафитовых пород и фенитизированные терригенные и карбонатные докембрийские толщи. Во всех породах выявлены редкоземельные карбонаты, доказывающие парагенетическую общность всех составных частей ФЭС и единый мантийный источник [1; 2; 12; 16; 17]. Карбонатиты Тиманского региона кальцит-анкерит-сидеритового состава с редкоземельно-сульфидной минерализацией являются типичными низкотемпературными карбонатитами последней стадии процесса карбонатитообразования [11; 16]. Поздние карбонатиты такого типа могут залегать вдали от материнских щелочных комплексов в виде самостоятельных приповерхностных субвулканических тел. Карбонатиты региона пространственно не ассоциируют с какими-либо щелочными комплексами, поэтому их формационная принадлежность пока не уста-

новлена. Карбонатитовое тело в районе р. Косью представлено штоком с установленными размерами в перечнике 250 × 400 м, а на глубине 500 м по геофизическим данным — до 2000 м [16]. Поздние низкотемпературные карбонатиты обычно характеризуются мощным проявлением флюидного ореола с метасоматическим проявлением (фенитизацией). Площадь ореола фенитизации в данном случае может превышать мощность карбонатитовых тел в десятки раз [11]. Карбонатитовый магматизм на Среднем Тимане сопровождается не только эксплозивными прорывами флюидных потоков с образованием карбонатизированных ультрамафических даек, но и проявлением К-Na-метасоматоза, затронувшим обширные территории [9; 10; 15]. Фенитизации подверглись силикатные и карбонатные докембрийские толщи с редкоземельно-редкометалльной, титановой и сульфидной минерализацией. В работе рассмотрена титановая минерализация в фенитизированных карбонатных породах быстринской серии. Большой вклад в изучение

Для цитирования: Голубева И. И., Шуйский А. С., Филиппов В. Н., Тропников Е. М., Исаенко С. И., Бурцев И. Н., Леденцов В. Н. Новые данные о титановой минерализации в фенитизированных докембрийских карбонатных породах быстринской серии Среднего Тимана // Вестник геонаук. 2021. 6(318). С. 38–47. DOI: 10.19110/geov.2021.6.4.

For citation: Golubeva I. I., Shuisky A. S., Filippov V. N., Tropnikov E. M., Isaenko S. I., Burtsev I. N., Ledentsov V. N. New data on titanium mineralization in fenitized precambrian carbonate rocks of Middle Timan bystrinskaya series. Vestnik of Geosciences, 2021, 6(318), pp. 38–47, doi: 10.19110/geov.2021.6.4.



титановых минералов в фенитизированных докембрийских карбонатных породах и их корях выветривания в свое время внесли В. В. Лихачев и И. В. Швецова [9; 18]. Наши исследования увеличили список титановых минералов в фенитизированных карбонатных породах быстринской серии и расширили представление о генезисе данных минералов.

Методика исследования

Состав титановых минералов исследовался на сканирующем микроскопе JSM-6400 JEOL и VEGA3 TESCAN (ИГ Коми НЦ УрО РАН), а также на высокоразрешающем рамановском спектрометре HR800 (ИГ Коми НЦ УрО РАН) с использованием внешнего Ar^+ лазера ($\lambda = 514.5$ нм, мощность при регистрации спектров составляла 12 мВт). В процессе регистрации спектров была задействована решетка спектрометра 600 ш/мм, размер конфокального отверстия — 300 мкм, щели — 100 мкм, объектив с увеличением $\times 50$, время накопления сигнала — 1 секунда, количество измерений на одном участке спектрального диапазона — 10. Регистрация спектров осуществлялась при комнатной температуре. Содержание Ti, V и Nb (ppm) в фенитизированных карбонатных породах определялось методом ICP MS на квадрупольном масс-спектрометре ELAN 9000 (Perkin Elmer Instruments) (ИГиГ УрО РАН, г. Екатеринбург).

Объект исследования и обсуждения

Фактическим материалом исследования титановых минералов послужил керн фенитизированных карбонатных отложений быстринской серии поздневерхнерифейского возраста, полученный при разведке Верхнешугорского бокситового месторождения (рис. 1, а) и поисковых работах на фосфориты. Апокарбонатные фениты этой же серии были отобраны из коренного обнажения, расположенного в левом борту реки Светлой (рис. 1, а).

Отложения быстринской серии (RF_3) на Среднем Тимане расположены в виде узкой полосы (2–3 км) северо-западного простирания вдоль восточного склона Цилемско-Четласского мегавала и тектонически ограничены по западному и восточному краям. В быстринскую серию входит ворыквинская свита, сложенная в основном доломитами и доломитизированными известняками с примесью терригенного и глинистого материалов. Выше залегает павьюгская свита существенно известкового состава, отличающаяся от подстилающей ворыквинской более широким распространением строматолитов. Завершают разрез данной серии отложения паунской свиты, представленные филлитами и черными сланцами [8]. Породы быстринской серии в разной степени подверглись фенитизации.

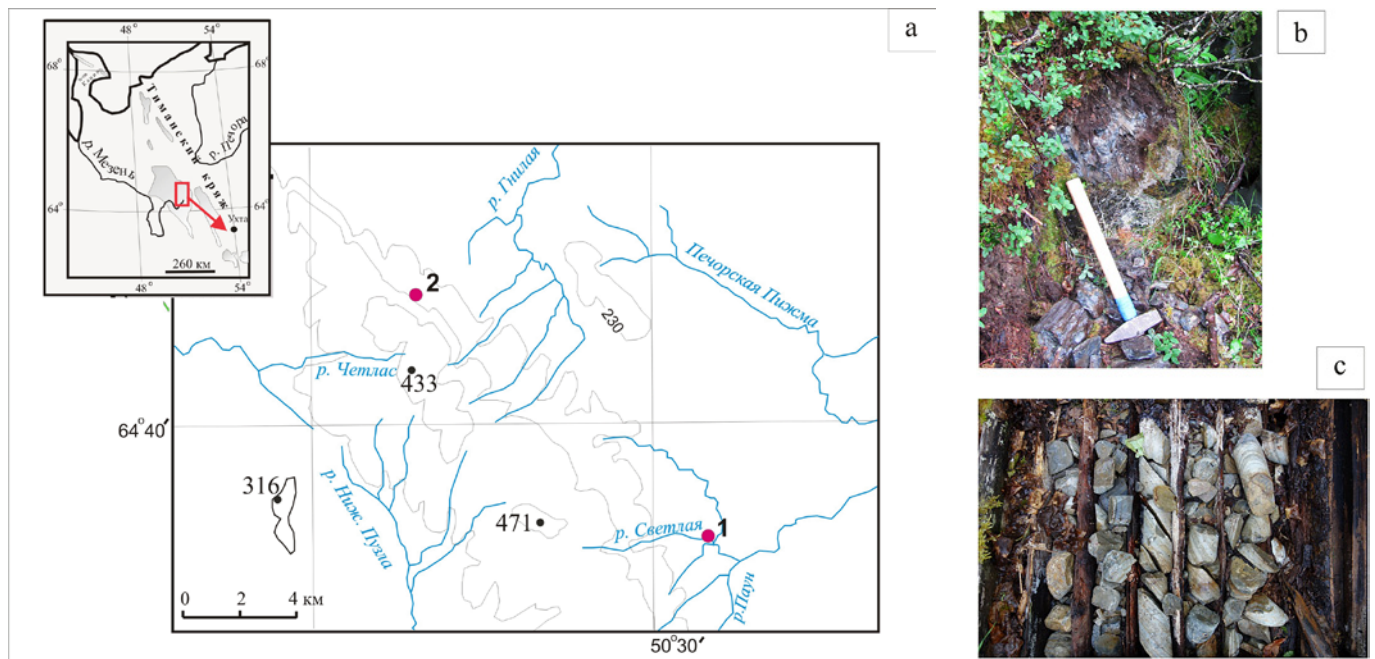


Рис. 1. Расположение пунктов отбора фенитизированных карбонатных пород быстринской серии:

а — схематическая географическая карта с обозначенными пунктами отбора фактического материала. Условные обозначения: красный кружок № 1 — коренное обнажение фенитизированных пород на реке Светлой; красный кружок № 2 — старый геологический лагерь с керном фенитов; б — коренное обнажение фенитизированных карбонатных пород на реке Светлой (точка на карте 1); с — керн фенитизированных карбонатных пород, отобранный при разведке фосфатноносных кор выветривания (точка на карте 2)

Fig. 1. Location of sampling points for fenitized carbonate rocks of the Bystrinskaya Group:

а — schematic geographic map with designated points of selection of factual material. Legend: red circle No 1 — radical outcrop of fenitized rocks on the Svetlaya River; red circle No 2 — old geological camp with fenite core; б — bedrock outcrop of fenitized carbonate rocks on the Svetlaya River (point on map 1); с — core of fenitized carbonate rocks taken during the exploration of phosphate-bearing weathering crusts (point on map 2)

Титановые минералы в фенитизированных карбонатных породах Верхнешугорского района

Фенитизированные породы быстринской серии в районе Северного участка Верхнешугорского месторождения бокситов довольно хорошо изучены, так как они являются материнским субстратом для бокситового корообразования [9; 15]. Фенитизацией затронуты в большей степени терригенно-карбонатные породы павьюгской свиты и нижняя часть ворыквинской свиты. В карбонатной части пород наблюдаются широкие вариации содержания доломита и кальцита. Минералы щелочной минерализации представлены альбитом, микроклином, эгирином, реже рибекитом. В исследованной фенитизированной толще карбонатных пород отмечаются две разнородные по минеральному составу зоны: полевошпат-эгириновая (рибекитовая) и полевошпатовая [15]. Метасоматиты Северного участка Верхнешугорского месторождения имеют специфическую полосчатую текстуру, иногда брекчированную, серой, розовой, кремовой окраски (рис. 2, а). Полосчатые текстуры пород обусловлены чередованием слоев с разным минеральным составом и размерностью зерен (рис. 2, б). **Подобные полосчатые текстуры** характерны для парасланцев динамотермального (регионального) метаморфизма, унаследованные от материнского субстрата осадочных пород, характеризующихся слоистым строением. В данном случае первичную осадочную слоистость выявляет метасоматическое минералообразование, обусловленное просачиванием вдоль многочисленных поверхностей тонкого напластования карбонатных пород разнотемпературных щелочных растворов.

Полевые шпаты образуют мелкозернистые агрегаты в виде слойков мощностью менее одного миллиметра или кристаллизуются в виде рассеянных крупных гипидиоморфных кристаллов с размерностью 1.0—3.0 мм. Альбит представлен гипидиоморфными таблитчатыми кристаллами с полисинтетическими двойниками, в отличие от калиевого шпата с неясными морфологическими очертаниями и плохо выраженными специфическими оптическими свойствами. В перекристаллизованных крупнозернистых карбонатных (в основном доломитовых) слоях развиваются отдельные крупные гипидиоморфные кристаллы калиевого полевого шпата с размерностью 0.6—1.0 мм. В слабофенитизированных породах полевые шпаты представлены единичными зернами, в случае увеличения их количества до 60—70 % появляется эгирин. Эгирин кристаллизуется в виде игольчатых кристаллов, собранных в виде звездчатых агрегатов. Появление эгирина свидетельствует о повышенном температурном режиме щелочного флюида. Особенности фенитизации проявляются в разнообразии титановой минерализации. В мелкозернистых полевошпатовых слоях отмечаются обильные выделения титановых агрегатов в форме изометричных пластинок или уплощенных лепешек наподобие лейкоксена (рис. 2, с, d).

Лейкоксен имеет довольно крупные размеры — диаметр до 0.2 мм и толщина около 0.05 мм (рис. 2, e). На электронно-микроскопических снимках в титановом агрегате хорошо прослеживается рутиловый сагениит с пойкилитовыми включениями полевых шпатов и кальцита (рис. 2, f). Подобные агрегаты в виде рутиловых

сагениитов но с обильными включениями кварца характерны для лейкоксена Ярегской и Пижемской палеороссыпей Тимана, характеризующегося как аутигенно-метаморфогенный лейкоксен или вторичные продукты замещения ильменита. Следует отметить, что лейкоксен на сегодняшний день не имеет внятного определения и традиционно рассматривается как продукт изменения ильменита или титанита в виде агрегата оксидов титана с кварцем. В данном случае описываемый лейкоксен в виде рутилового (анатазового?) агрегата имеет первичное происхождение, развивается в виде пойкилобласт с многочисленными пойкилитовыми включениями кальцита и полевых шпатов. Кристаллизация лейкоксена в описываемых щелочных метасоматитах также первичная, как и в докембрийских зеленых сланцах, что дополняет понимание генезиса титанового агрегата. Известно, что в условиях динамотермального метаморфизма серицит-хлоритовой субфации фации зеленых сланцев кристаллизуется тонкоигольчатый аутигенный рутил в виде сагениитового агрегата с включениями породообразующих минералов (в основном кварца) [4—6]. Первичную природу сагениитового рутила в фенитизированных карбонатных породах ранее отмечали И. В. Швецова и В. А. Лебедев, противопоставляя принятому гипергенному генезису [10, 18].

В крупнокристаллических перекристаллизованных карбонатных прослоях с эгирином и калиевым полевым шпатом развивается другая модификация титанового минерала в виде отдельных кристаллов рутила с размерностью от 0.05 мм до 0.15 мм (рис. 1, g, j). Рутил был установлен методами рамановской спектроскопии (рис. 2, h, i, k). Крупнокристаллический рутил, в отличие от сагениитового, как правило, содержит примесь ниобия (табл. 1). Ранее в метасоматизированных карбонатных породах В. А. Лебедев отмечал длительный многофазный процесс их формирования, сочетающий несколько фаз щелочного метасоматоза и перекристаллизации [10], что привело к развитию разной модификации титанового минерала и изменению его химического состава. Рутил, образованный в разных температурных режимах, различается разными количественными показателями элементов примесей — Nb_2O_5 , Cr_2O_5 и V_2O_5 . В сагениитовом рутиле содержание Nb_2O_5 не превышает 1.5 мас. %, тогда как в крупных индивидах его количество резко возрастает до 6.28 мас. %. Высокой концентрации в титановых минералах Nb_2O_5 , скорее всего, способствует метасоматическая переработка карбонатных пород высокотемпературными щелочными флюидами и привнос данного элемента. Например, в наиболее метасоматизированной породе (образец № 59-146) с высоким содержанием эгирина, свидетельствующего о максимальном температурном ингредиенте просачивающихся флюидов, отмечены самые высокие количественные показатели ниобия — 150 г/т — и титана — 2800 г/т (табл. 2). Максимальные концентрации Cr_2O_5 (2.02 мас. %) и V_2O_5 (1.95 мас. %) в ниобиевом рутиле (Nb_2O_5 — 6.28 мас. %) повлияли на высокие количественные показатели ванадия (190 г/т) и хрома (280 г/т) в породе в целом (табл. 2). Ранее В. В. Лихачев при обнаружении в ниобиевом рутиле в описываемых породах постоянной примеси V_2O_5 отмечал, что такая особенность минерала проявляется при его кристаллизации в карбонати-

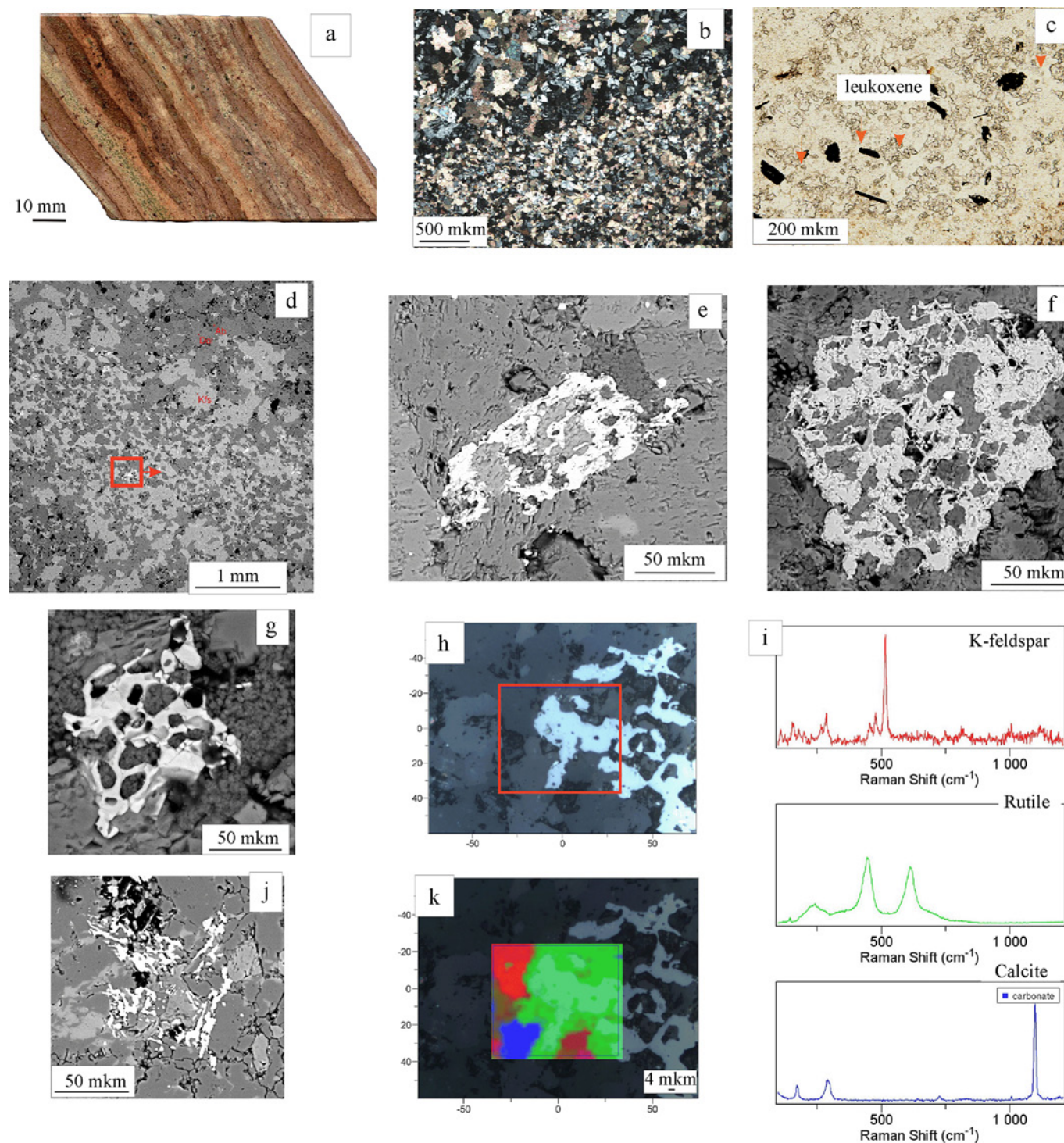


Рис. 2. Титановые минералы в фенитизированных карбонатных породах Верхнешугорского района:

a — полосчатая текстура фенитизированных карбонатных пород; *b* — разномасштабные фенитизированные слои с резкими контактами (фотография с анализатором); *c* — пластинки лейкоксена в прослое мелкозернистого агрегата полевых шпатов (фотография без анализатора); *d* — электронно-микроскопический снимок лейкоксена в мелкозернистом полевошпатовом прослое фенита; *e* — поперечное сечение пластинки лейкоксена; *f* — сагенитовая структура рутила; *g* — ниобиевый рутил с пойкилитовыми включениями кальцита; *h* — область картирования рутила на рамановском спектрометре; *i* — КР-спектры минералов (рутила, калиевого полевого шпата, кальцита); *j* — длиннопризматические кристаллы ниобиевого рутила в крупнокристаллическом полевошпатовом прослое; *k* — рутил (обозначен светло-зеленым цветом) в области картирования 60 x 60 мкм по сетке 30 x 30 точек с шагом 2 мкм

Fig. 2. Titanium minerals in fenitized carbonate rocks of the Verkhne-Shchugorsk region:

a — banded texture of fenitized carbonate rocks; *b* — uneven-grained fenitized layers with sharp contacts (photograph with an analyzer); *c* — leucoxene plates in an interlayer of a fine-grained feldspar aggregate (photograph without an analyzer); *d* — electron microscopical image of leucoxene in a fine-grained feldspar interlayer of fenite; *e* — cross-section of a leucoxene plate; *f* — sagenite rutile; *g* — niobium rutile with poikilitic inclusions of calcite; *h* — rutile mapping area on a Raman spectrometer; *i* — Raman spectra of minerals (rutile, potassium feldspar, calcite); *j* — long-prismatic niobium rutile crystals in a coarse-crystalline feldspar interlayer; *k* — rutile (marked with light green colour) in the mapping area 60 x 60 μm on a grid of 30 x 30 points with a step of 2 μm



Таблица 1. Химический состав (мас. %) рутила в фенитизированных карбонатных породах

Table 1. Chemical composition (wt. %) of rutile in fenitized carbonate rocks

Фенитизированные карбонатные породы Верхнещугорского бокситового месторождения Fenitized carbonate rocks of the Verkhne-Shchugorsk bauxite deposit							
Номер образца Sample number	Анализируемое зерно Analyzed grain	TiO ₂	FeO	Cr ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	V ₂ O ₅	Сумма Total
SRK 59 - 141	1 - 5	97.42	не обн. / N. F.	0.26	не обн. / N. F.	не обн. / N. F.	97.68
	2 - 1	96.5	0.47	не обн. / N. F.	1.5	1.2	99.67
SRK 3 - 1	5 - 1	87.75	0.78	2.0	6.28	1.95	98.76
SRK 58	3 - 1	97.9	не обн. / N. F.	не обн. / N. F.	не обн. / N. F.	1.12	99.02
SRK 56a-1	1 - 4	98.7	не обн. / N. F.	0.59	0.83	0.94	101.06
	2 - 1	97.03	0.56	0.48	1.4	0.75	100.22
	2 - 2	95.67	0.77	0.49	0.77	1.08	98.78
	4 - 1	98.48	0.17	0.19	0.23	0.89	99.96
	5 - 1	93.46	0.95	1.13	3.5	1.04	100.08
	5 - 2	94.3	0.38	2.02	2.52	1.0	99.4
SRK 56a	1 - 3	98.44	0.22	не обн. / N. F.	не обн. / N. F.	0.82	99.48
	4 - 6	99.59	0.48	не обн. / N. F.	не обн. / N. F.	0.96	101.2
SRK 3-2	1 - 6	96.72	0.76	не обн. / N. F.	1.47	0.98	98.95
	1 - 7	92.27	1.58	не обн. / N. F.	2.72	1.2	97.77
	2 - 2	98.14	не обн. / N. F.	не обн. / N. F.	0.46	0.8	100.36
	8 - 3	94.1	1.48	не обн. / N. F.	3.52	1.16	100.26
SRK 59-146	1 - 3	96.17	1.06	не обн. / N. F.	0.35	1.04	98.62
	1 - 4	93.09	1.44	0.45	2.77	0.88	98.63
	3 - 3	90.16	2.63	0.66	5.03	0.99	99.47
	5 - 3	94.1	1.48	0.51	3.23	0.93	100.26
	6 - 1	94.1	2.42	0.38	5.88	1.1	103.88
Фенитизированные карбонатные породы обнажения р. Светлая Fenitized carbonate rocks of the Svetlaya river							
20 - 19	3-1	95.85	0.81	не обн. / N. F.	не обн. / N. F.	0.81	97.47
	4-1	99.15	1.2	не обн. / N. F.	не обн. / N. F.	1.2	101.55
	5-1	98.24	0.86	не обн. / N. F.	не обн. / N. F.	0.86	99.96
20-14	1-1	92.91	0.34	не обн. / N. F.	не обн. / N. F.	0.53	93.78
	1-2	91.87	0.57	не обн. / N. F.	не обн. / N. F.	0.84	93.28
	2-1	97.74	0.33	не обн. / N. F.	не обн. / N. F.	0.74	98.81
	2-2	98.04	не обн. / N. F.	не обн. / N. F.	не обн. / N. F.	1.11	99.15
	3-1	97.71	0.46	не обн. / N. F.	не обн. / N. F.	0.76	98.93

Примечания: 1. Жирным шрифтом обозначены крупные перекристаллизованные ниобиевые рутилы. 2. Анализируемое зерно SRK 3-1 (5-1) ниобиевого рутила изображено на рис. 2, г. 3. Анализируемое зерно SRK 59-146 (6-1) ниобиевого рутила изображено на рис. 2, ж.

Notas: 1. Large recrystallized niobium rutiles are shown in bold. 2. Analyzed grain SRK 3-1 (5-1) of niobium rutile is shown in Fig. 2 g. 3. Analyzed grain SRK 59-146 6-1 niobium rutile is shown in Fig. 2 j.

Таблица 2. Содержание (г/т) Ti, V, Cr, Nb в фенитизированных карбонатных породах быстринской серии

Table 2. The content (ppm) of Ti, V, Cr, Nb in the fenitized carbonate rocks of the Bystrinskaya series

	71 - 2	3 - 2	56a - 2	58	59 - 146	59 - 141 - 9	60 - 1	64 - 77	65 - 40	67 - 66	20 - 14	20 - 136	226 - 13 - 1	Кларки карбонатных пород Carbonate rocks clarkes
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Ti	150	300	500	90	2800	110	110	500	400	600	400	600	2400	600
V	8.0	50.0	4.0	7.0	190	10.0	9.0	10.0	8.0	8.0	12.0	13.0	40.0	19.0
Nb	3.9	9.0	23.0	23.0	150	6.0	4.0	2.5	1.9	31.0	1.3	2.5	8.0	0.5
Cr	29.0	28.0	29.0	18.0	280.0	16.0	21.0	10.0	8.0	21.0	9.0	10.0	27.0	11.0

Примечание: Щугорский участок бокситового месторождения — столбцы 1—10; обнажение на реке Светлой — столбцы 11, 12; разведочный керн на фосфатные коры выветривания — столбец 13.

Note: Shchugorsky site of the bauxite deposit—columns 1—10; outcrop on the Svetlyaya River—columns 11, 12; exploration core for phosphate crusts of weathering — column 13.



тах последней, низкотемпературной стадии процесса карбонатитообразования [9]. Ниобиевые рутилы образуются в породах даже с низкими кларковыми значениями титана, но с достаточно высоким содержанием ниобия. Например, в образце № 3-2 количество TiO_2 составляет 300 г/т, что в два раза меньше кларка (600 г/т) для карбонатных пород, при этом концентрация ниобия (9.0 г/т) превышает кларк (0.6 г/т) в 15 раз (табл. 2). Это объясняется тем, что единственным концентратом ниобия в данном случае является рутил.

Титановые минералы в коренных выходах фенитизированных карбонатных пород на реке Светлой

Фенитизированные карбонатные породы на реке Светлой обнаружены в виде небольшого коренного выхода, представленного пачкой мощностью около 50 см

и протяженностью около метра (рис. 1, б). Порода кальцитового состава имеет темно-серый цвет с хорошо выраженной полосчатой текстурой, обусловленной развитием фенитизированных прослоев (рис. 3, а). Фенитизация характеризуется послойным развитием метасоматических минералов (слюды и альбита) с резкими контактами с карбонатными участками. В породе проявлен будинаж за счет разрыва карбонатных, более жестких слоев, заключенных в пластичных слюдястых метасоматизированных участках, с последующим смещением их вдоль кливажа сланцеватости (рис. 3, а, б). **Метасоматическая слюда, классифицируемая** пограничным составом сидерофиллита и аннита (рис. 3, с), образует мелкие чешуйки со слабо выраженным плеохроизмом в светло-коричневых тонах с размерностью 0.1–0.15 мм. Альбит кристаллизуется в виде мелкозернистого мозаичного агрегата с размерами около 0.06 мм. В фенитизированных участках

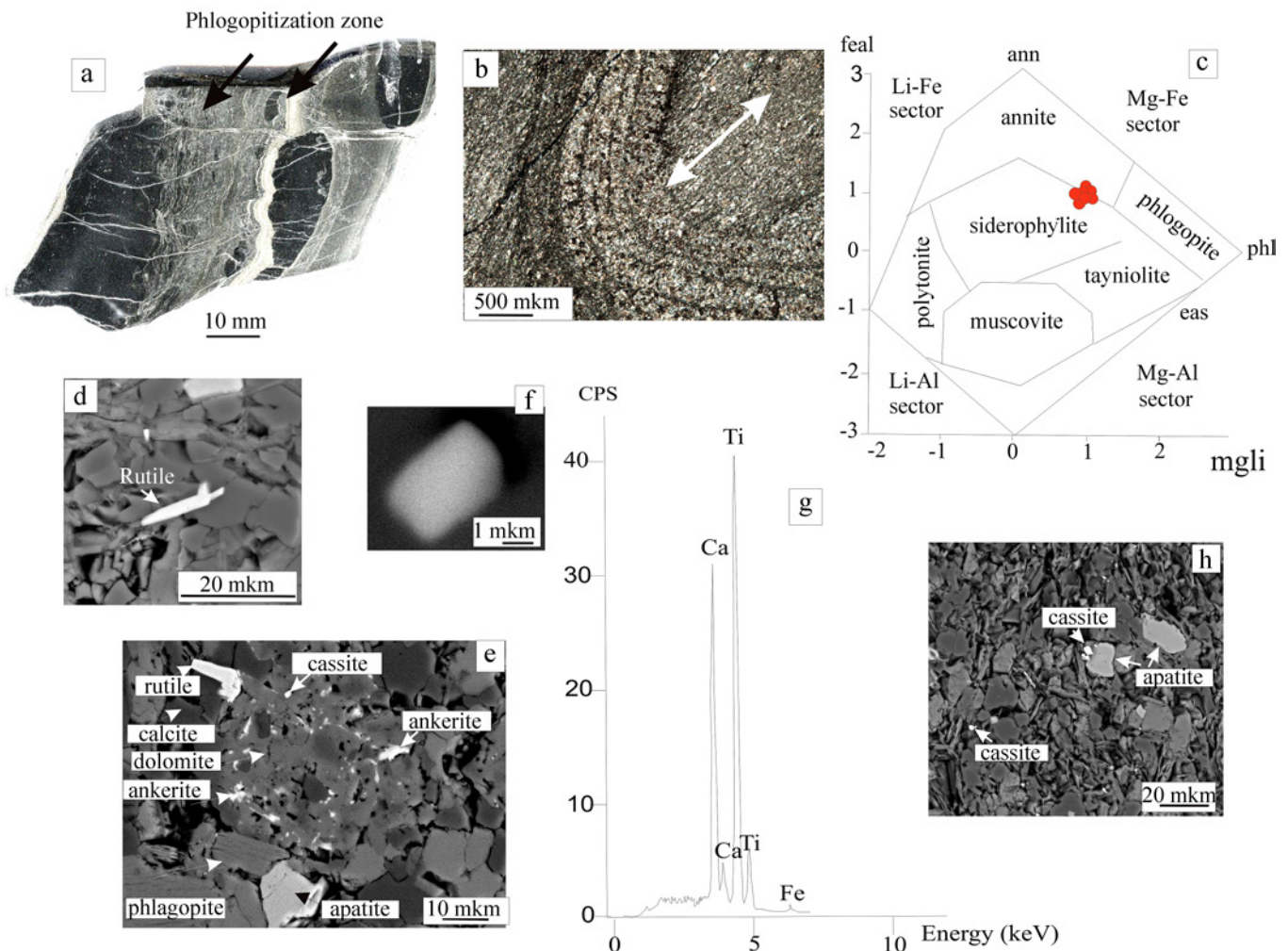


Рис. 3. Титановые минералы в коренных выходах фенитизированных карбонатных породах на реке Светлой: а — фенитизированная карбонатная порода со структурой будинажа; б — кливаж сланцеватости; с — классификационная диаграмма* ($\text{Fe-Mn} + \text{Ti} + \text{Al}^{\text{IV}}$) — (Mg-Li) с фигуративными точками химических составов слюд; д — коленчатый двойник рутила; е — кристаллизация кассита на краю регенерационной каемки доломита; ф — электронно-микроскопический увеличенный снимок кассита, изображенного на рис. е; г — энергодисперсионный спектр кассита; h — кассит в виде отдельных мелких зерен

Fig. 3. Titanium minerals in bedrock outcrops of fenitized carbonate rocks on the Svetlaya River:

а — fenitized carbonate rock with a boudinage structure; б — cleavage cleavage; с — classification diagram* with figurative points of chemical compositions of micas; д — cranked twin of rutile; е — crystallization of cassite at the edge of the regeneration rim of dolomite; ф — electron microscopic enlarged image of the cassite shown in Fig. 3, e; j — energy dispersion spectrum of cassite; h — cassite in the form of individual small grains

Таблица 3. Химический состав кассита (мас.%)

Table 3. Chemical composition of cassite (wt. %)

Номер образца / Sample number	20 - 19			
Номера точек исследования Number of study points	1-5	1-4	1	2
CaO	19.45	15.81	17.62	21.87
TiO	66.56	71.05	53.71	56.45
FeO	не обн.	0.39	0.77	0.76
Сумма / Total	86.01	87.25	72.1	79.08

карбонатной породы рутил наблюдается в виде отдельных мелких игольчатых кристалликов с размерностью около 0.01—0.015 мм (рис. 3, d), ассоциирует с фтористым апатитом, монацитом и торитом. В рутиле, в отличие от такового в вышеописанных фенитизированных карбонатных породах, ниобий не обнаружен (табл. 1), хотя содержание данного элемента в породе превышает кларковые значения в 2—4 раза (табл. 2). В рутиле есть примеси железа (0.0—1.2 мас. %) и ванадия (0.63—1.2 мас. %). Отсутствие ниобия в рутиле объясняется, скорее всего, недостаточной прогремостью толщи. В породе обнаружен минерал, по составу соответствующий касситу $[\text{CaTi}_2\text{O}_4(\text{OH}_2)]$. В таблице 3 приведен химический анализ данного минерала. Сумма компонентов низкая, так как предполагается наличие групп OH. Кассит впервые был описан в 1965 г. в миа-ролах рудных пегматитов щелочно-ультраосновного массива Африканда [7]. Развивается по титановым минералам — ильмениту, перовскиту и титаниту — или образует собственные пластинчатые и листоватые кристаллы. Он также был встречен в нефелиновых сиенитах на Среднем Урале [14]. Во всех описываемых случаях минерал кристаллизуется в магматических щелочных формациях в условиях низкотемпературного гидротермального режима. Кассит в фенитизированной карбонатной породе представлен гипидиоморфными и ксеноморфными пластинчатыми зернами с размерностью 0.003 мм, ассоциирует с метасоматическими апатитом и рутилом (рис. 3, e—h). Минерал, скорее всего, кристаллизовался на завершающей стадии формирования породы в условиях дислокационных подвижек, сопровождающихся низкотемпературными гидротермальными процессами перекристаллизации.

Титановые минералы в фенитизированных породах, отобранных при разведочных работах на фосфатноносные коры выветривания.

Керн фенитизированных пород, оставленный в заброшенном геологическом лагере (рис. 1, c) в верховьях р. Гнилой, по устному сообщению В. А. Лебедева, был получен при разведочных работах на фосфатное и фосфат-бокситовое сырье (1976—1984 гг.). Породы привлекли внимание полосчатой текстурой, типичной для фенитизированных карбонатных пород быстринской серии (рис. 4, a). Полосчатость обусловлена переслаиванием слоев, сложенных разнотекстурным агрегатом серицит-альбит-кальцитового и хлорит-кальцитового состава. В слоях с серицит-альбитовой минерализацией обнаружены фтористый апатит, бастнезит, алланит, титаномагнетит [1]. Цериевый бастнезит выявлен во всех объектах флюидоэксплозивной структуры — в карбонатах, флюидоэксплозивных

дайках и вмещающих фенитизированных осадочных толщах силикатно-карбонатного состава [1; 2; 12; 15; 17]. Крупнокристаллические карбонатные слои отличаются более темной зеленой окраской за счет многочисленных чешуек хлорита с размерностью до 0.1—0.3 мм. В этих же слоях обнаружены обильные пойкилобласты титанита с многочисленными включениями кальцита, реже кварца с размерами около 0.1—0.2 мм (рис. 4, b—d, k). Пойкилитовых включений в титаните порой бывает так много, что титанит приобретает ситовидную структуру (рис. 4, g). В данном случае минерал, по существу, развивается в интерстициях породообразующих минералов. Форма срезов зерен титанита в петрографических шлифах нередко характеризуется идиоморфными ромбовидными очертаниями, типичными для данного минерала (рис. 4, d). При кристаллизации титанита были заимствованы элементы Ca и Si из карбонатного субстрата. Законсервированные пойкилитовые включения кальцита в титаните отличаются от вмещающего изометричной формой и меньшими размерами, что свидетельствует о кристаллизации титанита до перекристаллизации кальцита с укрупнением размеров и приобретением новой, удлиненной формы в условиях дислокационной деформации. В титанитовых прослоях кальцит в условиях динамического напряжения, возникшего за счет сдвиговых деформаций, образует плоскопараллельные агрегаты с размерностью по удлинению до 0.1—0.3 мм. Удлиненные зерна формируются вдоль плоскости кливажа кристаллизационной сланцеватости и ориентируются относительно первичной слоистости породы под углом 40° (рис. 4, b).

Динамическая дислокация породы сопровождается не только перекристаллизацией кальцита, но и низкотемпературной минерализацией, представленной анатазом. Анатаз развивается в краевых частях пойкилобласт титанита, иногда с замещением до полных псевдоморфоз. Титанит в серицит-альбитовых метасоматизированных прослоях с редкоземельной минерализацией полностью исчезает, представлен только псевдоморфозами анатаз-кальцитового состава (рис. 4, k). При этом размеры анатаза значительно увеличиваются, а первичная форма замещаемого титанита утрачивается. Анатаз во всех случаях диагностирован методами дифракции обратноотраженных электронов (рис. 4, i, j, l, m) и рамановской спектроскопией (рис. 4, n). Надо отметить, что перекристаллизованный анатаз намного крупнее, чем в метаморфогенном первичном лейкоксеном агрегате в зеленых сланцах или лейкоксеновых псевдоморфозах, развивающихся по ильмениту в палеороссыях Тимана. Обнаружение титанита, замещаемого анатазом, так же как и метаморфогенного лейкоксена в фенитизированных карбонатных породах Щугорского участка,

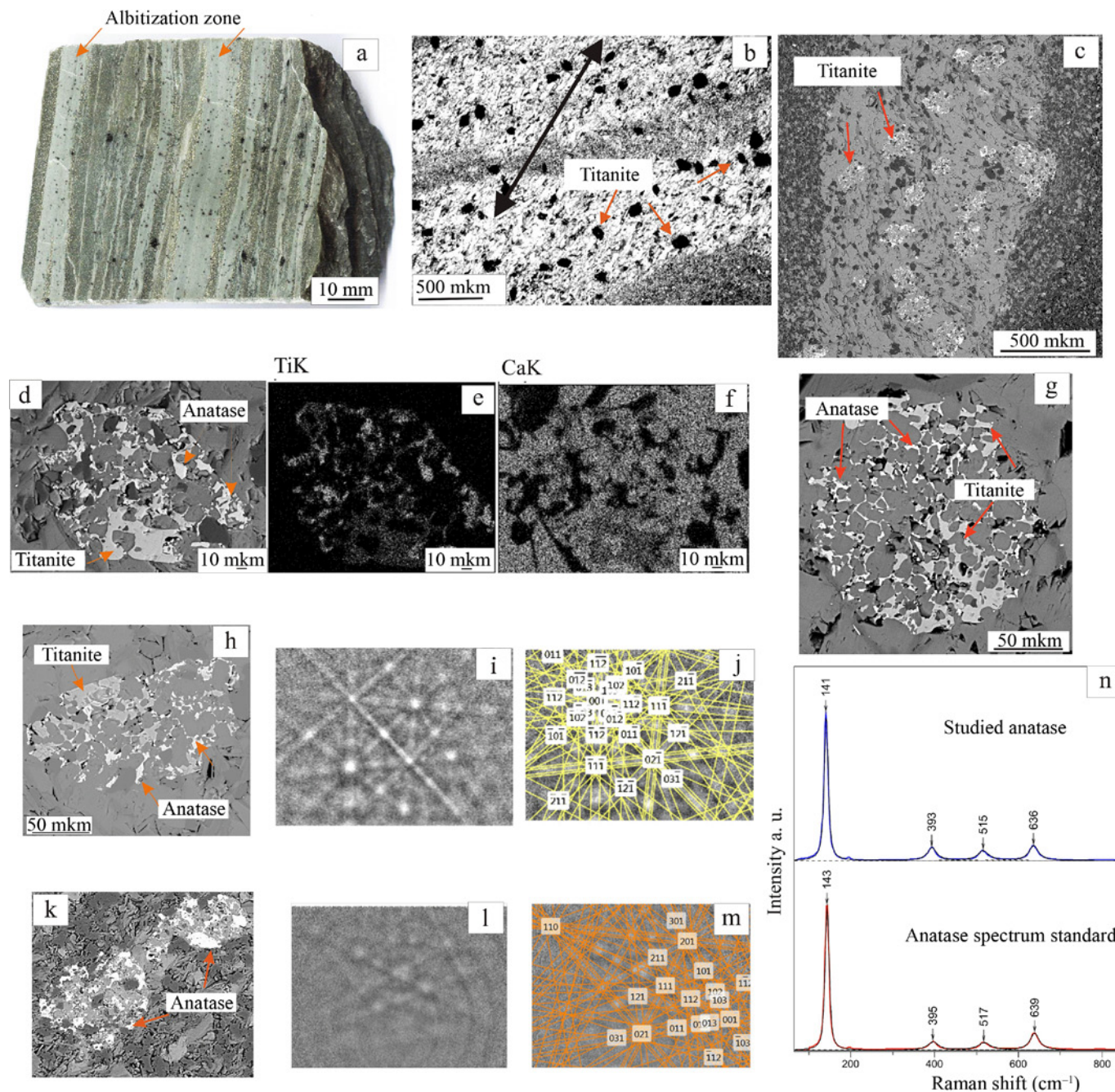


Рис. 4. Титановые минералы в фенитизированных породах, отобранных при разведочных работах на фосфатные коры выветривания:

a — фенитизированная карбонатная порода; *b* — граница контакта слоев серицит-альбитового состава с кальцит-хлоритовым, содержащим титанит (микрофотография с анализатором). Стрелкой указано направление кливажа сланцеватости; *c* — хлоритизированный кальцитовый прослой с пойкилобластиками титанита (снимок сделан в отраженных электронах); *d* — хорошо ограниченный кристалл титанита, замещаемый анатазом; *e*–*f* — титанит-анатазовый агрегат в режиме характеристического рентгеновского излучения; *g* — ситовидное зерно титанита, замещаемого анатазом; *h* — пойкилобласт титанита замещается анатазом; *i* — линии Кикуча анатаза, замещающего титанит (метод дифракции обратноотраженных электронов); *j* — кристаллографические индексы Миллера анатаза, замещающего титанит (метод дифракции обратноотраженных электронов); *k* — перекристаллизованный анатаз; *l* — линии перекристаллизованного анатаза (метод дифракции обратноотраженных электронов); *m* — кристаллографические индексы Миллера перекристаллизованного анатаза (метод дифракции обратноотраженных электронов); *n* — рамановские спектры анатаза

Fig. 4. Titanium minerals in fenitized rocks sampled during exploration for phosphate weathering crusts:

a — fenitized carbonate rocks; *b* — border of contact of sericite-albite layers with calcite-chlorite ones, containing titanite (micro image with an analyzer). The arrow indicates the schistosity cleavage direction; *c* — chloritized calcite layer with titanite poikiloblasts (picture was taken in reflected electrons); *d* — well-faceted titanite crystal replaced by anatase; *e*–*f* — titanite - anatase aggregate in the mode of characteristic X-ray radiation; *g* — sieve-like grain of titanite replaced by anatase; *h* — titanite poikiloblast replaced by anatase; *i* — Kikuchi lines of anatase replacing titanite (backscattered electron diffraction method); *j* — Miller crystallographic indices of anatase replacing titanite (backscattered electron diffraction method); *k* — recrystallized anatase; *l* — lines of recrystallized anatase (method of diffraction of back reflected electrons); *m* — Miller crystallographic indices of recrystallized anatase (backscattered electron diffraction method); *n* — Raman spectra of anatase.

**Таблица 4.** Химический состав (мас. %) титанита из фосфатных кор выветривания**Table 4.** Chemical composition (wt. %) of titanite from phosphate weathering crusts

Номер образца / Sample number	22В-13-1			
Номера точек исследования Number of study points	1-1	2-1	4-1	6-1
SiO ₂	31.11	30.68	30.88	30.77
TiO ₂	37.8	37.1	37.43	38.12
CaO	29.12	28.69	28.84	29.26
FeO	0.65	0.71	0.77	0.7
Al ₂ O ₃	1.75	2.04	1.99	1.62
V ₂ O ₅	0.54	не обн.	0.46	0.29
F	0.76	0.79	0.75	0.65
Сумма / Total	100.97	99.22	99.6	100.76

Таблица 5. Химический состав анатаза (мас. %) в фенитизированных породах, отобранных при разведке фосфатных кор выветривания**Table 5.** Chemical composition of anatase (wt. %) in fenitized rocks sampled during exploration for phosphate weathering crusts

	Анализируемое зерно Analyzed grain	TiO ₂	FeO	Nb ₂ O ₅	V ₂ O ₅	Сумма / Total
Анатаз, развивающийся по титаниту / Anatase evolving from titanite						
226-13-1	2-1	98.53	0.5	не обн.	0.83	99.86
	1-1	97.8	0.82	0.31	0.52	98.93
	3-1	99.21	0.47	0.41	не обн.	100.09
	4-1	96.01	0.64	не обн.	0.65	97.3
	Перекристаллизованный анатаз / Recrystallized anatase					
	10-1	99.21	0.83	0.35	не обн.	100.39
	10-2	97.41	0.16	не обн.	0.56	98.13
	5-1	97.89	0.71	не обн.	0.88	99.48
	6-1	93.76	1.13	0.28	0.62	95.79
	7-1	96.48	0.43	-	0.7	97.61

дополнило область сноса для титановых палеороссыпей Тимана. Развитие титанита связано с фенитизацией карбонатной толщи с привнесом титана, содержание которого имеют значительные показатели 2400 г/т (табл. 2). В титаните обнаружена примесь V₂O₅ до 0.54 мас. % (табл. 4), что отразилось на его высоких значениях в породе в целом — 40 г/т (табл. 2). В данном минерале был обнаружен также F в количестве 0.75 мас. %. В анатазе, замещающем титанит, выявлены примеси Nb₂O₃ (до 0.41 мас. %) и V₂O₅ (до 0.88 мас. %) (табл. 5).

Заключение

Минералогия фенитизированных карбонатных пород в научной литературе практически не освещена, так как все известные карбонатито-щелочные магматические комплексы расположены в блоках докембрийского фундамента и находятся в контакте с гнейсами. Поэтому на Среднем Тимане апокарбонатные фениты являются уникальным объектом для изучения метасоматической минерализации в таких породах, в частности титановой. Апокарбонатные фениты примечательны не только своей уникальностью, но и возможностью визуального наблюдения, даже в небольшом образце, кристаллизации титановых минералов в разных температурных режимах щелочных флюидов, просачивающихся вдоль многочисленных плоскостей напластования карбонатных пород. Разнотемпературный режим прогрева или остывающего флюида объясняется многофазностью процесса фенитизации, возникшей в результате импульсив-

но-неравномерного истечения флюида из охлаждающегося и кристаллизующегося карбонатитового расплава [19]. Рутиловый лейкоксен кристаллизуется в относительно низкотемпературных полевошпатных прослоях, тогда как в случае появления в них высокотемпературного эгрина развивается Nb-содержащий рутил. В фенитах, подвергшихся геодинамическим дислокациям, за счет наложенных гидротермальных процессов отмечается развитие низкотемпературных (уже вторичных) титановых минералов — анатаза и кассита. В апокарбонатных фенитах образуются два типа метаморфогенных лейкоксеновых агрегатов — рутиловый и анатазовый. Рутиловый лейкоксен имеет первичную метасоматическую природу, а анатазовый лейкоксен представлен как вторичный агрегат, развивающийся по титаниту в эндогенных условиях.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Республики Коми в рамках научного проекта № 20-45-110010.

Авторы благодарят Игоря Филипповича Любинского и Виктора Алексеевича Лебедева за ценные консультации и содействие в получении kernового материала Верхнещугорского месторождения бокситов.

Литература

1. Голубева И. И., Шуйский А. С., Филиппов В. Н., Исаенко С. И., Макеев Б. А., Смолева И. В., Бурцев И. Н. Редкоземельная и титановая минерализация в метасоматизированных карбонатных породах быстринской серии (Средний Тиман) // Современные проблемы теоретической, эксперименталь-



ной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения — 2020). Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2020. С. 34—35.

2. Голубева И. И., Филиппов В. Н., Бурцев И. Н. Метасоматические редкоземельная и редкометалльная минерализации в ультрамафитах дайкового комплекса на Среднем Тимане (Поднятие Четласс) // Современные проблемы теоретической экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения — 2018). Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2018. 278 с.

3. Голубева И. И., Ремизов Д. Н., Бурцев И. Н., Филиппов В. Н., Шуйский А. С. Флюидоэксплозивные ультрамафиты дайкового комплекса Среднего Тимана и их парагенетическая связь с карбонатитами // Региональная геология и металлогения. 2019. № 8. С. 30—44.

4. Игнатьев В. Д., Бурцев И. Н. Лейкоксен Тимана. СПб.: Наука, 1997. 213 с.

5. Кочетков О. С. Акцессорные минералы в древних толщах Тимана и Канина. Л.: Наука, 1968. 121 с.

6. Коробова Н. И. Ильменитсодержащие метаморфические сланцы Таймыра // ДАН СССР. 1965. Т. 162. № 1. С. 15—20.

7. Кухаренко А. А., Орлова М. П., Булах А. Г. и др. Каледонский комплекс ультраосновных щелочных пород и карбонатитов Кольского полуострова и Северной Карелии. М.: Недра, 1965. 772 с.

8. Лебедев В. А., Землянский В. Н. Рифейско-вендский складчатый фундамент Среднего Тимана. Ухта: УГТУ, 2016. 273 с.

9. Лихачев В. В. Редкометалльность бокситоносной коры выветривания Среднего Тимана. Сыктывкар, 1993. 224 с.

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

11. Месторождения литофильных редких металлов. М.: Недра, 1980. 559 с.

12. Недосекова И. Л., Замятин Д. А., Удоратина О. В. Рудная специализация карбонатитовых комплексов Урала и Тимана // Литосфера. 2017. Том 17. № 2. С. 60—77.

13. Овчинников А. Н. Прикладная геохимия М.: Недра, 1990. 248 с.

14. Попова В. И., Попов В. А., Канонеров А. А. Хром-содержащий кассит $\text{CaTi}_2\text{O}_4(\text{OH})_2$ из сарановского месторождения — первая находка на Урале // Минералогия Урала. Миасс: ИМин УрО РАНС, 1998. Том II. С. 75—77.

15. Степаненко В. И., Лихачев В. В., Швецова И. В. Щелочной метасоматоз и ниобиевая минерализация в рифейских терригенно-карбонатных образованиях Тимана // Эндеогенные комплексы Европейского Северо-Востока СССР. Сыктывкар, 1988. Вып. 65. С. 33—46.

16. Степаненко В. И. Особенности геологического строения и состава карбонатитового комплекса Среднего Тимана // Магматические формации Европейского Северо-Востока СССР. Сыктывкар, 1979. С. 52—61 (Тр. Ин-та геологии Коми филиала АН СССР, вып. 29).

17. Удоратина О. В., Варламов Д. А., Капитанова В. А. Рудная минерализация кварцевых жил Новобобровского месторождения, Средний Тиман: новые данные // Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения — 2016). Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2016. С. 257—258.

18. Швецова И. В., Степаненко В. И., Лихачев В. В. Ильменорутитовый лейкоксен // Минераловедение и минералогенезис. Сыктывкар, 1988. С. 85—69. (Тр. Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН СССР, вып. 66).

19. Elliott H. A. L., Wall F., Chkhmouradian P. R. and other. Fenites associated with carbonatite complexes: A review // Ore Geology Reviews. 2018. Vol. 93. P. 38—59

References

1. Golubeva I. I., Shuyskiy A. S., Filippov V. N., Isayenko S. I., Makeyev B. A., Smoleva I. V., Burtsev I. N. *Redkozemel'naya i titanovaya mineralizatsii v metasomatizirovannykh karbonatnykh porodakh bystrinskoy serii (Sredniy Timan)* *Sovremennyye problemy teoreticheskoy, eksperimental'noy i prikladnoy mineralogii* (Rare earth and titanium mineralization in metasomatized carbonate rocks of the Bystrinskaya series (Middle Timan). Modern problems of theoretical, experimental and applied mineralogy) (Yushkin Readings 2020) Syktyvkar: Institute of geology Komi SC UB RAS, 2020, pp. 34—35.

2. Golubeva I. I., Filippov V. N., Burtsev I. N. *Metasomaticheskiye redkozemel'naya i redkometall'naya mineralizatsii v ultramafitakh daykovogo kompleksa na Srednem Timane (Podnyatiye Chetlass)*. *Sovremennyye problemy teoreticheskoy, eksperimental'noy i prikladnoy mineralogii* (Metasomatic rare-earth and rare-metal mineralization in ultramafic rocks of the dike complex on the Middle Timan (Chetlass uplift). Modern theoretical problems. experimental and applied mineralogy. Yushkin Readings 2018). Syktyvkar: Institute of geology Komi SC UB RAS, 2018, 278 p.

3. Golubeva I. I., Remizov D. N., Burtsev I. N., Filippov V. N., Shuyskiy A. S. *Flyuidoeksplozivnyye ultramafity daykovogo kompleksa Srednego Timana i ikh parageneticheskaya svyaz s karbonatitami. Regional'naya geologiya i metallogeniya* (Fluid-explosive ultramafic rocks of the Middle Timan dike complex and their paragenetic connection with carbonatites. Regional geology and metallogeny). No. 80, 2019, pp. 30—44.

4. Ignatyev V. D., Burtsev I. N. *Leykoksen Timana* (Timan leucoxene). St. Petersburg: Nauka, 1997, 213 p.

5. Kochetkov O. S. *Aktsessornyye mineraly v drevnikh tolshchakh Timana i Kanina* (Accessory minerals in the ancient strata of Timan and Kanin). Leningrad: Nauka, 1968, 121 p.

6. Korobova N. I. *Ilmenitsoderzhashchiye metamorficheskiye slantsy Taymyra* (Ilmenite-bearing metamorphic shales of Taimyr). Doklady Earth Sciences, 1965, V. 162, No.1, pp.15—20.

7. Kukharenskiy A. A., Orlova M. P., Bulakh A. G. et al. *Kaledonskiy kompleks ul'raosnovnykh shchelochnykh porod i karbonatitov Kolskogo poluoostrova i Severnoy Karelii* (Caledonian complex of ultrabasic alkaline rocks and carbonatites of the Kola Peninsula and North Karelia). Moscow: Nedra, 1965, 772 pp.

8. Lebedev V. A., Zemlyanskiy V. N. *Rifeysko-vendskiy skladchatyy fundament Srednego Timana* (Riphean-Vendian folded basement of the Middle Timan). Ukhita, USTU, 2016, 273 p.

9. Likhachev V. V. *Redkometal'nost boksitonosnoy kory vyvetrivaniya Srednego Timana* (The rare metal content in the bauxite-bearing weathering crust of the Middle Timan). Syktyvkar, 1993, 224 p.

10. Makeyev A. B., Lebedev V. A., Bryanchaninova N. I. *Magmatity Srednego Timana* (Magmatites of the Middle Timan). Yekaterinburg, UB RAS, 2008, 348 p.

11. *Mestorozhdeniya litofil'nykh redkikh metallov* (Deposits of lithophilic rare metals). Moscow: Nedra, 1980, 559 p.

12. Nedosekova I. L., Zamyatin D. A., Udoratina O. V. *Rudnaya spetsializatsiya karbonatitovykh kompleksov Urala i Timana* (Ore specialization of carbonatite complexes of the Urals and Timan). Litosfera, 2017, V. 17, No. 2, pp. 60—77.

13. Ovchinnikov A. N. *Prikladnaya geokhimiya* (Applied Geochemistry). Moscow: Nedra, 1990, 248 p.



14. Popova V. I., Popov V. A., Kanonerov A. A. *Khromsoderzhashchiy kassit $\text{CaTi}_2\text{O}_4(\text{OH})_2$ iz saranovskogo mestorozhdeniya — pervaya nakhodka na Urale* (Chromium cassite $\text{CaTi}_2\text{O}_4(\text{OH})_2$ from Saranovskoe deposit — first find in the Urals). *Mineralogiya Urala*, V. II, Miass: IMin UB RAS, 1998, pp. 75–77
15. Stepanenko V. I., Likhachev V. V., Shvetsova I. V. *Shchelochnoy metasomatoz i niobiyevaya mineralizatsiya v rifeyskikh terrigenno-karbonatnykh obrazovaniyakh Timana. Endogennyye komplekсы Yevropeyskogo S-V SSSR* (Alkaline metasomatism and niobium mineralization in the Riphean terrigenous-carbonate formations of Timan. Endogenous complexes of the European North-East of the USSR). 65, Syktyvkar. 1988, pp. 33–46.
16. Stepanenko V. I. *Osobennosti geologicheskogo stroyeniya i sostava kor'anotitovogo kompleksa Srednego Timana. Magmatische formatsii Yevropeyskogo Severo-Vostoka SSSR* (Features of the geological structure and composition of the korbnotite complex of the Middle Timan. Magmatic formations of the European North — East of the USSR). Syktyvkar, 1979, pp. 52–61
17. Udoratina O. V., Varlamov D. A., Kapitanova V. A. *Rudnaya mineralizatsiya kvartsevykh zhil Novobobrovskogo mestorozhdeniya, Sredniy Timan: novyye dannyye. Sovremennyye problemy teoreticheskoy, eksperimental'noy i prikladnoy mineralogii* (Ore mineralization of quartz veins of the Novobobrovskoye deposit, Middle Timan: new data. Modern problems of theoretical, experimental and applied mineralogy) (Yushkin Readings 2016). Syktyvkar. Institute of geology Komi SC UB RAS, 2016, pp. 257–258
18. Shvetsova I. V., Stepanenko V. I., Likhachev V. V. *Ilmenorutyl leucoxene. Mineralogy and mineralogy* (Ilmenorutile leucoxene. Mineralogy and mineralogenesis). Syktyvkar. 1988, pp. 85–69.
19. Elliott H. A. L., Wall F., Chkhmouradiao P. R. and other. Fenites associated with carbonjtite complexes: A review. *Ore Geology Reviews*, 2018, V. 93, pp. 38–59.

Поступила в редакцию / Received 05.04.2021



И. Б. Борозденко — геолог, преподаватель, защитник Отечества

I. B. Borozdenko — geologist, teacher, defender of the Fatherland

The article describes Ivan Borisovich Borozdenko's life and scientific activities — a geologist, Head of the Department of Geography at the Komi State Pedagogical Institute, the author of the book «Geology and Mineral Resources of the Komi ASSR» and the first generalizing paper on the mineralogy of the Komi ASSR, who died in 1944 at war.

*Геологам, погибшим
в годы Великой Отечественной войны,
посвящается*



История времени и общества — это история миллионов конкретных людей. Нам удалось восстановить судьбу одного из талантливых преподавателей естественного факультета Коми государственного педагогического института (КГПИ), выпускника Пермского университета Ивана Борисовича Борозденко.

Иван Борисович родился 31 декабря 1912 г. в Перми в рабочей семье (по другим данным — в Читинской области, поселке Чикай). Лишившись в 1919 г. отца, а в 1925 г. и матери, Иван Борозденко воспитывался по сентябрь 1929 г. в детском доме Перми, а затем поступил учеником слесаря на Молотовский машиностроительный завод, где закончил школу ФЗУ.

В 1931 г. И. Б. Борозденко поступил в Свердловский горный институт, но после года учебы вернулся в г. Пермь по семейным обстоятельствам и лишь в сентябре 1933 г. был зачислен на второй курс геологического факультета Пермского университета. В июле 1937 г. Иван Борисович получил диплом и квалификацию научного работника второго разряда в области геологических наук с правом преподавания.

Еще будучи студентом кафедры динамической геологии последних курсов университета И. Б. Борозденко участвовал в геологических изысканиях в пределах Пермской области [1]. В частности в полевой сезон 1936 г. он принимал участие в экспедиции геологического факультета Пермского университета, организованной в южные районы Пермской области, под руководством профессора Г. А. Максимовича.

Эта экспедиция была организована для всестороннего изучения верхнепермских континентальных отложений в связи с подготовкой геологической экскурсии к XVII Международному геологическому конгрессу, который проходил в Москве с 21 по 29 июля 1937 г. Для этой экскурсии Пермский университет выпустил специальный том «Ученых записок», в котором были изложены результаты литолого-минералогических ис-

следований верхнепермских отложений, широко развитых в бассейне Камы. В сборник вошла статья Н. Н. Борозденко и И. Б. Борозденко [2] (возможно, второй автор — Нина Н. Борозденко — жена Ивана Борисовича, см. ниже). Статья пятикурсников Борозденко была написана на основе значительного материала, полученного в результате собственных исследований и привлеченных из публикаций других геологов. Это была одна из первых статей, посвященных геологии Пермско-Сарапульского Прикамья. Первая часть статьи отражала литологию отложений, вторая — минералогию. «Весь минеральный комплекс района можно разбить на две группы: 1) кластические минералы и 2) вторичные минералы» [2, с. 132]. Кластических минералов он описывает 50, вторичных — 20. Некоторые минералы для этой территории были описаны впервые. Статья показывает, что И. Б. Борозденко уже к окончанию университета был способен самостоятельно выполнять сложные задачи по характеристике геологического строения территории и анализу минералогического состава горных пород.

Возможно, И. Б. Борозденко принимал участие в организации и проведении экскурсии в первой половине июля для части участников «Пермской экскурсии...» XVII Геологического конгресса по р. Каме от г. Перми до г. Сарапула, так как он значится в списках членов конгресса.

В октябре 1937 г. И. Б. Борозденко по приглашению директора КГПИ П. И. Размыслова приехал в г. Сыктывкар на должность старшего преподавателя по курсу геологии, а с ноября 1937 г. по сентябрь 1939 г. выполнял, кроме того, обязанности декана факультета естествознания и зав. кафедрой геологии и географии. С 16 сентября 1939 г. И. Б. Борозденко работал в должности помощника директора Учительского института, продолжая чтение лекций по геологии в КГПИ.

В 1938 г. в институте на факультете естествознания была организована кафедра геологии и географии, обязанностями зав. кафедрой исполнял И. Б. Борозденко [3].

Надо отметить большую активность и научный потенциал молодого ученого. За короткое время им было подготовлено несколько работ, получивших высокую оценку специалистов. Так, в плане научно-исследовательской работы по кафедре геологии и географии 1939–1940 гг. было намечено три темы: 1. Минералогия Коми АССР. 2. Геология города Сыктывкара и его окрестностей. 3. Характеристика тиманского девона. Исполнителем всех трех тем был Иван Борисович Борозденко.

Тема «Характеристика южнотиманского девона» была предложена Северной базой Акад. наук и согласована с Ухто-Ижемским геологическим трестом. «Данная работа заключается в микроскопическом описании образцов девонских пород и, кроме того, дана общая характеристика девонских отложений на южном Тимане. В конечном итоге предполагается освещение вопроса в разрезе палеогеографическом, что даст возможность быстро ориентироваться в девонских отложениях при бурении на нефть. Эта работа может быть использована как диссертационная. По первым двум темам руководителя нет. По последней теме руководителем является проф. Чернов А. А.» [3, с. 15].

Знакомство Ивана Борисовича с известным ученым-геологом, исследователем Европейского Северо-Востока Александром Александровичем Черновым к этому времени уже состоялось. Так, в архиве хранится отзыв А. А. Чернова на статью И. Б. Борозденко «К минералогии Коми АССР», датированный 14 апреля 1940 г. В частности, А. А. Чернов пишет: «Работа И. Б. Борозденко представляет большой интерес и заслуживает напечатания в трудах Института. Возможно, что некоторые неточности еще остались, но они не являются препятствием для напечатания статьи, представляющей первую работу по минералогии Коми АССР и потому очень ценную» [3, с. 15].

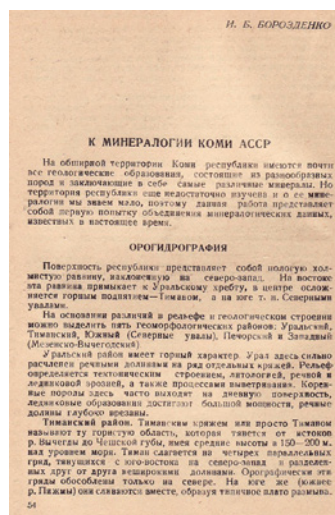
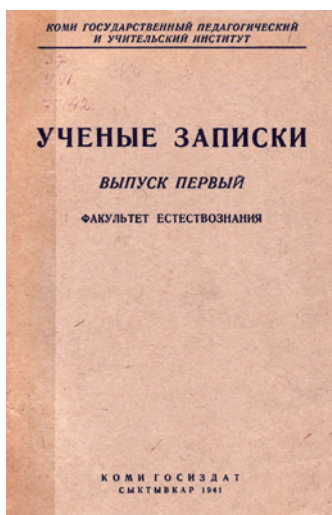
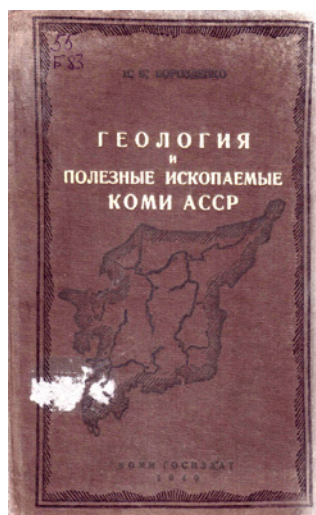
Приступив к чтению лекций по геологии в октябре 1937 г. в Коми пединституте, И. Б. Борозденко, временно исполняющий обязанности декана факультета, несмотря на большую административную занятость, практически в течение одного года подготовил и на-

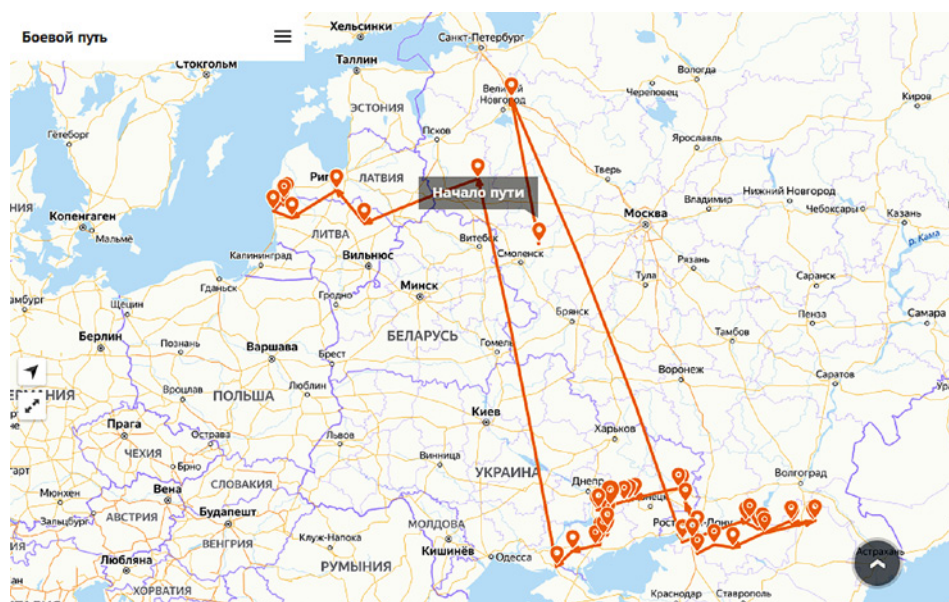
писал сводку «Геология и полезные ископаемые Коми АССР» [4], которая была опубликована в 1940 г. В этой книге он впервые привел наиболее полные сведения по размещению полезных ископаемых на территории Коми республики, кроме того, описал в сжатой форме историю геолого-географических исследований Коми края и представил физико-географический очерк с элементами анализа геоморфологии, гидрографии, климата и почв. В истории исследования Коми края И. Б. Борозденко выделяет 4 периода: 1) с XV по XIX века; 2) с XIX века до Октябрьской революции; 3) с Октябрьской революции до 1929 г.; 4) с 1929 по 1940 гг. Близкая к этой периодизация истории освоения и изучения территории сохраняется до настоящего времени.

Ценна работа и как сводка опубликованной литературы по геологии республики (321 наименование).

Помимо этой работы Иван Борисович опубликовал в «Ученых записках КГПИ» статью «К минералогии Коми АССР» [5]. Это первая статья, в которой комплексно рассмотрены особенности минералогии значительной территории Европейского Северо-Востока. В ней автор отмечает: «...данная работа представляет собой первую попытку объединения минералогических данных, известных в настоящее время» [5, с. 54].

В статье после краткой характеристики орографии, стратиграфии и тектоники И. Б. Борозденко пишет: «Приступая к описанию минералов, имеющих в Коми АССР, мы будем придерживаться следующей упрощенной классификации: 1. Самородные элементы. 2. Окислы. 3. Сернистые соединения. 4. Галоидные соединения. 5. Соли кислородных кислот. 6. Органические соединения» [5, с. 60]. Автор отдавал себе отчет в неполноте описаний минералогического состава региона, и сам это подчеркивал. [5, с. 54, 60]. При написании работы он активно пользовался консультациями А. А. Чернова и приводил многие данные из экспедиций самого Александра Александровича и геологов его группы: Т. А. Добролюбовой, В. А. Варсанюфьевой и др. Несколько ссылок было на работы ухтинских и воркутинских геологов. Помимо характеристики минералов И. Б. Борозденко привел обзор распространения химических элементов и одну из первых схем выделения областей республики по ком-





Боевой путь 91 стрелковой Мелитопольской Краснознамённой дивизии <https://pamyat-naroda.ru/warunit/91+%D1%81%D0%B4/>
 Battle route of the 91st Infantry Melitopol Red Banner Division <https://pamyat-naroda.ru/warunit/91+%D1%81%D0%B4/>

плексу полезных ископаемых: «Вся территория Коми АССР может быть подразделена на 6 областей. В каждой области мы имеем определенный комплекс полезных ископаемых:

- 1) Сысольская (железо, фосфориты, сланцы, пирит);
- 2) Вычегодская (железо, соль, нефть);
- 3) Южнотиманская (нефть, сланцы, ради, газы, асфальтиты);
- 4) Северотиманская (медь, абразивы);
- 5) Печорская (уголь, нефть, абразивы);
- 6) Уральская (полиметаллы, золото, железо)» [5, с. 76].

В 1940 г. в связи с призывом И. Б. Борозденко в ряды Рабоче-крестьянской Красной армии, кафедра геологии и географии прекратила свое существование. На факультете стало опять две кафедры, деканом был назначен биолог Николай Иванович Нечаев, через год ушедший на войну и не вернувшийся домой [6]. Вместо И. Б. Борозденко его обязанности стал выполнять прибывший по путевке Наркомпроса известный впоследствии гляциолог Леонид Дмитриевич Долгушин [7].

А. Я. Зильберг (1972) в числе погибших выпускников и преподавателей института приводит и фамилию И. Б. Борозденко [8]. В Книге Памяти Республики Коми читаем: «Борозденко Иван Борисович, 1912 г. р., уроженец г. Перми. Призван Сыктывкарским ГВК в феврале 1940 г., рядовой. Демобилизован в 1945 г. [9, с. 112]». Однако эти данные ничем не подтверждаются.

Долгие поиски, к сожалению, говорят о другом. На сайте «Память народа» читаем: «Борозденко Иван Борисович, 1912 года рождения, погиб 04.02.1944 г. Захоронен — с. Зеленое, Верхнерогачикский р-н Херсонской области. Перезахоронен из с. Васильевка». Из следующего документа узнаем: «Место службы: 561 сп. 91 сд. 4 мбр. 2 гв. А. УПК. В одной из послужных карточек указывается: Борозденко Иван Борисович. Дата рождения: 1912. Дата поступления на службу: 1940—41. Воинское звание: лейтенант. Наименование

воинской части: 561 сп*». В другой карточке отмечается место рождения: Читинская обл., г. Молотово, п. Красный Чакон, дата поступления на службу 02.01.1943, дата окончания службы 04.02.1944**.

Разница в датах обусловлена, скорее всего, проведением документации при переформировании дивизии, так как 91 гвардейская мотострелковая дивизия формировалась многократно. Сформирована дивизия была в 1939 г., участвовала в Советско-финской и Великой Отечественной войнах. В августе-сентябре 1941 года дивизия принимала участие в Духовщинской операции в составе 19-й Армии. В октябре 1941 года была фактически уничтожена в окружении под Вязьмой. Официально была расформирована 27 декабря 1941 года. В 1942 г. сформирована заново. Дивизия воевала с сентября 1941 года на Западном фронте, в 1942 г. на Кавказском, Сталинградском фронтах, в 1943 г. — на Южном фронте, с конца 1943 г. — на 4-м Украинском фронте, с июля 1944 г. — на 1-м Прибалтийском фронте. Участвовала в боях за Сталинград, в Ростовской, Донбасской, Мелитопольской, Крымской наступательных операциях. Во всех этих битвах принимал участие Иван Борисович Борозденко.

За время Великой Отечественной войны 91-я стрелковая Мелитопольская краснознаменная дивизия прошла славный боевой путь от Сталинграда до Балтийского — 7265 км, освободила 1139 населённых пунктов и железнодорожных станций, уничтожила около 260 танков и самоходных орудий, свыше 400 орудий, 266 миномётов, 18 самолётов, более 550 бронетомашин и много другой боевой техники, более 28 тыс. солдат и офицеров противника, взяла в плен около 2 тыс. человек. За боевые действия, храбрость и мастерство личного состава дивизия награждена орде-

* ЦАМО. Номер карточки: 1510086. Картотека личных дел.

CAMD. Card number: 1510086. Personal files file.

** ЦАМО. Номер шкафа: 24. Номер ящика: 31.

CAMD. Cabinet number: 24. Drawer number: 31.



ном Красного Знамени, получила 6 благодарностей от Верховного главнокомандующего И. В. Сталина.

В донесении о безвозвратных потерях отмечает-ся: «Гвардии старший лейтенант Борозденко Иван Борисович — командир минометной роты 4 гвардей-ской механизированной бригады умер от ран 4.02.1944 г. Жена Борозденко Нина Николаевна. Село Красный Чикой»*.

У Ивана Борисовича в п. Красный Чикой осталась дочь от первого брака, на сайте «Память народа» находим следующий документ: «По заявлению гр. Бирюковой Евгении Михайловны, проживающей в г. Молотове по ул. Ленина д. № 49, кв.1, её бывший муж гвардии ст. лейтенант Борозденко Иван Борисович, уроженец Читинской области, поселок Красный Чикой, убит 4 февраля 1944 года на фронте Отечественной войны, о чем якобы имеется извещение у его второй жены, проживающей в г. Чита. У гр. Бирюковой от погибшего гв. ст. лейтенанта Борозденко имеется несовершенно-летняя дочь, которая имеет право на пенсию» [10].

В интернете имя геолога отмечается в списке воинов, погибших на территории Великопетихского района Херсонской области: «Борозденко Иван Борисович, гв. ст. лейтенант — убит 04.11.44 г.». Имя выбито на памятнике у с. Васильевка.

И. Б. Борозденко за очень непродолжительное вре-мя сделал очень многое, как геолог: привел сведения о геологии Пермского края, написал одну из первых сводок по характеристике полезных ископаемых Коми АССР, первую комплексную статью о минералогии Коми АССР, возглавил первую кафедру географии Коми государственного педагогического института (КГПИ). Его имя занимает достойное место в ряду учёных, внёс-ших весомый вклад в развитие геологической науки Республики Коми.

Литература

1. Канев Г. П., Силин В. И. Незаслуженно забытое имя (И. Б. Борозденко) // Геолог Севера. 1993. 26 октября.
2. Борозденко Н. Н., Борозденко И. Б. К литологии и ми-нералогии отложений Казанского яруса // Ученые записки Молотовского университета. 1940. Т. 3. Вып. 3. С. 113—140.
3. Силин В. И. История географо-биологического фа-культета Коми государственного педагогического инсти-тута. Сыктывкар, 2003. 133 с.
4. Борозденко И. Б. Геология и полезные ископаемые Коми АССР. Сыктывкар, 1940. 118 с.
5. Борозденко И. Б. К минералогии Коми АССР // Ученые записки Коми государственного педагогического инсти-тута. Вып. 1. Сыктывкар: Коми Госиздат, 1941. С. 54—79.

* ЦАМО. Ф. 33. О. 11458. Д. информации: 588.
СAMD. Ф. 33. О. 11458. Information file: 588.

Редакторы издательства:

О. В. Габова, К. В. Ордин

Компьютерная верстка:

А. Ю. Перетягин

Свид. о рег. средства массовой информации ПИ № ФС77-75435 от 19.04.2019, выданное Роскомнадзором. Отпечатано: 30.07.2021. Формат бумаги 60 × 84 ¹/₈. Печать RISO. Усл. п. л. 6,5. Тираж 140. Заказ 1164. Учредитель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» (ФИЦ Коми НЦ УрО РАН). Редакция, издательство, типография: издательско-информационный отдел Института геологии имени академика Н. П. Юшкина Коми науч-ного центра Уральского отделения Российской академии наук Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» (ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН).

Адрес: 167982, Республика Коми, Сыктывкар, Первомайская, 54. Тел.: (8212) 24-51-60. Эл. почта: vestnik@geo.komisc.ru

На обложке использованы фото А. Соболевой, Ю. Глухова, В. Салдина, К. Романова.

6. Силин В. И. Похоронен в братской могиле // Звезда. 2020. 21 августа.

7. Силин В. И. Один из миллионов — Л. Д. Долгушин // История и культура Российского Севера в исследователь-ском, образовательном и просветительском измерениях: Материалы 1 съезда историков Республики Коми. Сыктывкар, 2018. Ч. 2. С. 68—69.

8. Зильберг А. Я. Первый вуз Коми республики. Сык-тывкар, 1972. 136 с.

9. Книга Памяти Республики Коми. С. 112.

10. Управление кадров НКО // https://pamyat-naroda.ru/heroes/memorial-chelovek_dopolnitelnoe_donesenie78222081/?static_hash=26ed7d23ab73c2598d56233aec54f5e4

References

1. Kanev G. P., Silin V. I. *Nezasluzhenno zabytoye imya (I. B. Borozdenko)* (An undeservedly forgotten name (I. B. Borozdenko)). *Geologist of the North*, 1993, 26 October.
2. Borozdenko N. N., Borozdenko I. B. *K litologii i miner-alogii otlozheniy Kazanskogo yarusa* (Lithology and mineralogy of the Kazanian deposits). *Scientific notes of the Molotov University*, 1940, V.3, Issue 3, pp. 113—140.
3. Silin V. I. *Istoriya geografo-biologicheskogo fakul'teta Komi gosudarstvennogo pedagogicheskogo instituta*. (History of the Faculty of Geography and Biology of the Komi State Pedagogical Institute. Syktyvkar, 2003, 133 p.
4. Borozdenko I. B. *Geologiya i poleznyye iskopayemye Komi ASSR* (Geology and minerals of the Komi ASSR). Syktyvkar, 1940, 118 p.
5. Borozdenko I. B. *K mineralogii Komi ASSR* (Mineralogy of the Komi ASSR). *Scientific notes of the Komi State Pedagogical Institute*, Issue 1, Syktyvkar: Komi State Publishing House, 1941, pp. 54—79.
6. Silin V. I. *Pokhoronen v bratskoy mogile* (Buried in a mass grave). *Zvezda* (Kortkeros), 2020, 21 August.
7. Silin V. I. *Odin iz millionov — L. D. Dolgushin* (One of the millions — L. D. Dolgushin). *Istoriya i kul'tura Rossiyskogo Severa v issledovatel'skom, obrazovatel'nom i prosvetitel'skom izmereniyakh* (History and culture of the Russian North in research, ed-ucational and enlightenment dimensions). *Materials of the 1st Congress of Historians of the Komi Republic*, Part 2, Syktyvkar, 2018, pp. 68—69.
8. Zilberg A. Ya. *Pervyy vuz Komi respubliki* (The first uni-versity of the Komi Republic). Syktyvkar, 1972, 136 p.
9. *Kniga Pamyati Respubliki Komi* (Book of Memory of the Komi Republic). p. 112.
10. *Upravleniyu kadrov NKO* (To NKO personnel depart-ment). https://pamyat-naroda.ru/heroes/memorial-chelovek_dopolnitelnoe_donesenie78222081/?static_hash=26ed7d23ab73c2598d56233aec54f5e4

Д. г. н. В. И. Силин
ИЯЛИ ФИЦ Коми научный центр УрО РАН