Научный журнал

Основан в 2010 г.
Выходит шесть раз в год

Учредитель
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
«Коми научный центр УрО РАН»

Известия

КОМИ НАУЧНОГО ЦЕНТРА УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

№ 2 (54) **Серия «НАУКИ О ЗЕМЛЕ»** **2022**

Главный редактор – акад. А.М. Асхабов
Зам. главного редактора – чл.-корр. РАН В.Н. Лаженцев
Зам. главного редактора – д.э.н. А.Г. Шеломенцев
Ответственный секретарь – к.х.н. А.Я. Полле

Редакционный совет:

акад. В.В. Алексеев, чл.-корр. РАН А.А. Барях, акад. В.И. Бердышев, д.м.н. Е.Р. Бойко, чл.-корр. РАН И.Н. Болотов, акад. В.Н. Большаков, проф. Т.М. Бречко, к.г.-м.н. И.Н. Бурцев, акад. А.Д. Гвишиани, д.ф.-м.н. Н.А. Громов, д.б.н. С.В. Дёгтева, д.и.н. И.Л. Жеребцов, д.б.н. В.Г. Зайнуллин, д.э.н. В.А. Ильин, чл.-корр. РАН С.В. Кривовичев, чл.-корр. РАН А.В. Кучин, чл.-корр. РАН Ю.Б. Марин, акад. В.П. Матвеенко, акад. Г.А. Месяц, д.э.н. Л.А. Попова, чл.-корр. РАН В.Н. Пучков, чл.-корр. РАН И.М. Рощевская, акад. М.П. Рощевский, д.х.н. С.А. Рубцова, д.и.н. Э.А. Савельева, чл.-корр. РАН А.Ф. Титов, д.б.н. С.Н. Харин, акад. В.Н. Чарушин, д.т.н. Ю.Я. Чукреев, д.б.н. Е.В. Шамрикова, акад. В.С. Шацкий, к.э.н. А.А. Юдин

Редакционная коллегия серии «Науки о Земле»:

д.г.-м.н. А.М. Пыстин (ответственный редактор), д.г.-м.н. Н.С. Бурдельная (ответственный секретарь), д.г.-м.н. В.Л. Андреичев, д.г.-м.н. Л.Н. Андреичева, д.г.-м.н. А.И. Антошкина, к.г.-м.н. Е.В. Антропова, д.г.-м.н. Т.М. Безносова, к.г.-м.н. И.Н. Бурцев, д.г.-м.н. Д.А. Бушнев, акад. Л.А. Вайсберг, к.геогр.н. Т.Е. Дмитриева, д.г.-м.н. В.А. Жемчугова, к.г.-м.н. А.В. Журавлев, д.г.-м.н. С.Г. Ковалев, д.т.н. С.А. Кондратьев, д.г.-м.н. О.Б. Котова, д.г.-м.н. Н.Б. Кузнецов, д.г.-м.н. С.К. Кузнецов, чл.-корр. РАН В.Н. Лаженцев, д.г.-м.н. Н.А. Малышев, д.г.-м.н. В.В. Мурзин, д.г.-м.н. Н.Ю. Никулова, к.г.-м.н. А.А. Соболева, д.геогр.н. Г.Г. Осадчая, д.г.-м.н. О.М. Прищепа, д.г.-м.н. В.И. Ракин, д.т.н. В.И. Ростовцев, к.г.-м.н. В.А. Салдин, д.г.-м.н. С.А. Светов, к.г.-м.н. Н.Н. Тимонина, к.г.-м.н. В.В. Удоратин, д.г.-м.н. Т.Г. Шумилова, д.г.-м.н. В.В. Щипцов, prof. E. Ciftic (Стамбул, Турция), prof. P. Mannik (Таллинн, Эстония)

Адрес редакции:

167982, ГСП-2, Республика Коми, г. Сыктывкар,
ул. Коммунистическая, д. 24
ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, каб. 317, 318.
Тел. (8212) 24-47-79, факс (8212)24-22-64
E-mail: journal@frc.komisc.ru
www.izvestia.komisc.ru

ISSN 1994-5655

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия.

Свид. о регистрации средств массовой информации ПИ № ФС 77- 26969 от 11 января 2007 г.

Подписной индекс в каталоге «Почта России» 52047
Журнал включен в перечень рецензируемых научных изданий ВАК

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Коми научный центр УрО РАН», 2022

Science Journal

Founded in 2010
Published 6 times a year

Established by
Federal State Budgetary
Institution of Science
Federal Research Centre
«Komi Science Centre, Ural Branch, RAS»

PROCEEDINGS

OF THE KOMI SCIENCE CENTRE URAL BRANCH RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

№ 2 (54) **«EARTH SCIENCES» series** **2022**

Editor-in-chief – academician A.M. Askhabov
Deputy editor-in-chief – RAS corresp. member V.N. Lazhentsev
Deputy editor-in-chief – Dr. Sci. (Econ.) A.G. Shelomentsev
Executive Secretary – Cand. Sci. (Chem.) A.Ya. Polle

Editorial Council:

acad. V.V. Alekseev, RAS corresp. member A.A. Baryakh, Dr. Sci. (Med.) E.R. Bojko, acad. V.I. Berdyshev, RAS corresp. member I.N.Bolotov, acad. V.N. Bolshakov, Cand. Sci. (Geol.&Mineral.) I.N.Burtsev, Prof. T.M. Brechko, acad. A.D. Gvishiani, Dr. Sci. (Phys.&Math.) N.A.Gromov, Dr. Sci. (Biol.) S.V. Degteva, Dr. Sci. (Hist.) I.L.Zherebtsov, Dr. Sci. (Biol.) V.G.Zainullin, Dr. Sci. (Econ.) V.A. Ilyin, RAS corresp. member S.V. Krivovichev, RAS corresp. member A.V. Kuchin, RAS corresp.member Yu.B. Marin, acad. V.P. Matveenko, acad. G.A. Mesyats, Dr. Sci. (Econ.) A.A.Popova, RAS corresp. member V.N. Puchkov, RAS corresp. member I.M. Roshchevskaya, acad. M.P. Roshchevsky, Dr. Sci. (Chem.) S.A. Rubtsova, Dr. Sci. (Hist.) E.A. Savelyeva, RAS corresp. member A.F. Titov, Dr. Sci. (Biol.) S.N.Kharin, acad. V.N. Charushin, Dr. Sci. (Tech.) Yu.Ya. Chukreev, Dr. Sci. (Biol.) E.V. Shamrikova, acad. V.S. Shatsky, Cand. Sci. (Econ.) A.A.Yudin

Editorial Board of the series «Earth Sciences»:

Dr. Sci. (Geol.&Mineral.) A.M. Pystin (Executive Editor), Dr. Sci. (Geol.&Mineral.) N.S.Burdelnaya (Executive Secretary), Dr. Sci. (Geol.&Mineral.) V.L. Andreichev, Dr. Sci.(Geol.&Mineral.) L.N. Andreicheva, Dr. Sci. (Geol.&Mineral.) A.I. Antoshkina, Cand. Sci. (Geol.&Mineral.) E.V.Antropova, Dr. Sci. (Geol.&Mineral.) T.M. Beznosova, Cand. Sci. (Geol.&Mineral.) I.N. Burtsev, Dr. Sci. (Geol.&Mineral.) D.A. Bushnev, acad. L.A. Vaisberg, Cand. Sci. (Geogr.) T.E. Dmitrieva, Dr. Sci. (Geol.&Mineral.) V.A. Zhemchugova, Cand. Sci. (Geol.&Mineral.) A.V. Zhuravlev, Dr. Sci. (Geol.&Mineral.) S.G.Kovalev, Dr. Sci. (Tech.) S.A. Kondratyev, Dr. Sci. (Geol.&Mineral.) O.B. Kotova, Dr. Sci. (Geol.&Mineral.) N.B. Kuznetsov, Dr. Sci. (Geol.&Mineral.) S.K. Kuznetsov, RAS corresp. member V.N. Lazhentsev, Dr.Sci. (Geol.&Mineral.) N.A. Malyshev, Dr. Sci.(Geol.&Mineral.) V.V. Murzin, Dr. Sci. (Geol.&Mineral.) N.Yu. Nikulova, Cand. Sci. (Geol.&Mineral.) A.A. Soboleva, Dr. Sci. (Geogr.) G.G. Osadchaya, Dr. Sci. (Geol.&Mineral.) O.M. Prishchepa, Dr. Sci. (Geol.&Mineral.) V.I. Rakin, Dr. Sci. (Tech.) V.I. Rostovtsev, Cand. Sci. (Geol.&Mineral.) V.A. Saldin, Dr. Sci. (Geol.&Mineral.) S.A. Svetov, Cand. Sci. (Geol.&Mineral.) N.N. Timonina, Cand. Sci. (Geol.&Mineral.) V.V. Udoratin, Dr. Sci. (Geol.&Mineral.) T.G. Shumilova, Dr. Sci. (Geol.&Mineral.) V.V. Shchiptsov, Prof. E. Ciftic (Istanbul, Turkey), Prof. P. Mannik (Tallinn, Estonia)

Editorial Office:

Office 317, 318 Komi Science Centre, Ural Branch, RAS
24, Kommunisticheskaya st., GSP-2,
Syktyvkar 167982, Komi Republic
Tel. +7 8212 244779 Fax +7 8212 242264
E-mail: journal@frc.komisc.ru
www.izvestia.komisc.ru

The "Russian Post" catalogue subscription index 52047

The journal is included in the list of peer-reviewed scientific publications of the Higher Attestation Commission of the Russian Federation

ISSN 1994-5655

Registered by the Russian Federal Surveillance Service for Compliance with the Law in Mass Communications and Cultural Heritage Protection.

The certificate of mass media registration - ПИ № ФС 77-26969 dated 11 January, 2007

© Federal State Budgetary Institution of Science Federal Research Centre "Komi Science Centre, Ural Branch, RAS", 2022

СОДЕРЖАНИЕ

В.С. Пономарев, Ю.В. Ерохин, К.С. Иванов, Н.Н. Фаррахова
Вещественный состав кварц-мусковитовых сланцев из доюрского фундамента Западно-Сибирского мегабассейна (Западно-Яротинская площадь, полуостров Ямал) 5

А.Н. Сандула, Л.А. Шмелёва
Верхнебашкирские карбонатные отложения в бассейне реки Шаръю (гряда Чернышева): литология, изотопия углерода и кислорода, условия осадконакопления 14

О.В. Валяева, Д.А. Бушнев
Геохимическая характеристика нефтей из отложений нижнего палеозоя Варандей-Адзьвинской структурной зоны Печорской синеклизы 30

К.В. Куликова, О.В. Удоратина, Б.А. Макеев, А.С. Шуйский
Калиевый полевой шпат рудных щелочных метасоматитов (Средний Тиман) 41

О.В. Гракова
Бадделеит и циркон из алмазосодержащих отложений (D_{2-3}*as*) на Южном Тимане 47

Ю.И. Пыстина
Типоморфизм апатитов метаморфических пород Приполярного Урала (бассейн реки Кожим) 55

Ю.В. Денисова
Цирконий-гафниевый геотермометр для А-гранитов Приполярного Урала 64

С.К. Кузнецов, И.Н. Бурцев, Н.Н. Тимонина, Д.С. Кузнецов
Минерально-сырьевые ресурсы российского Севера 72

Т.П. Митюшева
Исторический очерк о соляных трубах (скважинах) Сереговского солеваренного завода (XVII-XIX вв.) 84

М.Д. Гаджиев, А.В. Стрекалов
Многосекционный вибрационный насос как элемент гидравлической системы, влияющий на реологические свойства добываемой продукции 94

РЕЦЕНЗИИ

В.И. Оноприенко
Вера Варсанофьева: вклад в природоохранную деятельность. Рецензия на книгу 102

ЮБИЛЕИ

Яков Эльевич Юдович (к 85-летию со дня рождения) 104

Борис Алексеевич Голдин (1931-2021) 106

CONTENTS

V.S. Ponomarev, Yu.V. Erokhin, K.S. Ivanov, N.N. Farrakhova
Composition of quartz-muscovite shales from pre-Jurassic basement of the West Siberian megabasin (West-Yarotinskaya area, Yamal) 5

A.N. Sandula, L.A. Shmeleva
Upper Bashkirian deposits in the Sharyu River basin (the Chernyshev Ridge): lithology, carbon and oxygen isotopes, conditions of sedimentation 14

O.V. Valyaeva, D.A. Bushnev
Geochemical characteristics of oils from the lower paleozoic deposits of the Varandei-Adzva structural zone of the Pechora syneclise 30

K.V. Kulikova, O.V. Udoratina, B.A. Makeev, A.S. Shuisky
Potassium feldspar of ore alkaline metasomatites (Middle Timan) 41

O.V. Grakova
Baddeleyite and zircon from diamond-bearing deposits ($D_{2\text{-}3}$*as*) in the Southern Timan 47

Yu.I. Pystina
Typomorphism of apatites from metamorphic rocks of the Subpolar Urals (basin of the river Kozhim) 55

Yu.V. Denisova
Zirconium-hafnium geothermometer for A-granites of the Subpolar Urals 64

S.K. Kuznetsov, I.N. Burtsev, N.N. Timonina, D.S. Kuznetsov
Mineral resources of the Russian North 72

T.P. Mityusheva
Historical essay on salt pipes (wells) of Seregovo saltworks (17th–19th centuries) 84

M.D. Gadzhiev, A.V. Strekalov
Multisectional vibration pump as an element of the hydraulic system that affects the rheological properties of the extracted product 94

REVIEWS

V.I. Onoprienko
Vera Varsanofyeva: contribution to environmental protection. Book review 102

ANNIVERSARIES

Yakov Elievich Yudovich (to the 85th anniversary) 104

Boris Alekseevich Goldin (1931-2021) 106

Вещественный состав кварц-мусковитовых сланцев из доюрского фундамента Западно-Сибирского мегабассейна (Западно-Яротинская площадь, полуостров Ямал)

В.С. Пономарев, Ю.В. Ерохин, К.С. Иванов, Н.Н. Фаррахова

Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург

p123v@yandex.ru
erokhin-yu@yandex.ru
ivanovks@igg.uran.ru
atlantida21@mail.ru

Аннотация

Исследования геологии Западно-Сибирского мегабассейна являются приоритетными, поскольку месторождения углеводородов этого огромного региона крайне важны для экономики России. В работе детально описана минералогия и микроэлементный состав кварц-мусковитовых сланцев из фундамента полуострова Ямал (скв. Западно-Яротинская 303). Минеральный состав пород следующий: кварц, мусковит, хлорит (донбассит), альбит, карбонат (доломит, сидерит, кальцит), турмалин (дравит, шерл), рутил, циркон, фторапатит, пирит, халькопирит, сфалерит, галенит, виоларит, гояцит, флоренсит-(Ce). Установленный нами флоренсит-(Ce) является первой находкой для пород из фундамента Западно-Сибирской плиты. Распределение редких, рассеянных и редко-земельных элементов в исследуемых породах сходно с таковым метаморфических сланцев из фундамента Арктической (Лензитская площадь Тазовского полуострова и Верхнереченская площадь полуострова Ямал) и Приуральской (сланцы Шаимско-Кузнецовского мегантиклинория) частей Западно-Сибирского мегабассейна. Вероятно, исследуемые метапелиты сформировались в результате прогрева толщи осадочных пород гранитной интрузией, расположенной в непосредственной близости на территории Верхнереченской площади. Позже породы подверглись пропилитизации с образованием вторичного карбоната, гояцита, флоренсита-(Ce) и сульфидов.

Ключевые слова:

минералогия, флоренсит-(Ce), геохимия, метаморфические породы, фундамент, Ямал, Западная Сибирь

Composition of quartz-muscovite shales from pre-Jurassic basement of the West Siberian megabasin (West-Yarotinskaya area, Yamal)

V.S. Ponomarev, Yu.V. Erokhin, K.S. Ivanov, N.N. Farrakhova

Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg

p123v@yandex.ru
erokhin-yu@yandex.ru
ivanovks@igg.uran.ru
atlantida21@mail.ru

Abstract

Geological studies of the West Siberian megabasin are a priority, since the hydrocarbon deposits of this vast region are extremely important for the Russian economy. The paper describes in detail the mineralogy and trace element composition of quartz-muscovite shales from the basement of the Yamal Peninsula (well West-Yarotinskaya 303). The mineral composition of the rocks is as follows: quartz, muscovite, donbassite, albite, dolomite, siderite, calcite, dravite, schorl, rutile, zircon, fluorapatite, pyrite, chalcopyrite, sphalerite, galena, violarite, goyazite, florensite-(Ce). The florensite-(Ce) determined by us is the first find for rocks from the basement of the West Siberian Plate. The distribution of rare, trace, and rare-earth elements in the studied rocks is similar to that of metamorphic shales from the basement of the Arctic (Lenzitskaya area and Verkhnerechenskaya area) and Cis-Ural (Shaimsko-Kuznetsovsk meganticlinorium shales) parts of the West Siberian megabasin. Probably, the studied metapelites were formed as a result of heating of the sedimentary rocks by a granite intrusion located in the immediate vicinity on the territory of the Verkhnerechenskaya area. Later, the rocks underwent propilitization with the formation of secondary carbonate, goyazite, florensite-(Ce) and sulfides.

Keywords:

mineralogy, florensite-(Ce), geochemistry, metamorphic rocks, basement, Yamal, Western Siberia

Введение

Исследования геологии арктических широт Западно-Сибирского мегабассейна важны для поиска нефти и газа на этой огромной, но недостаточно изученной территории. Перспективными породами для поиска нефти и газа, помимо юрских и меловых отложений осадочного чехла, являются также гранитоиды и их метаморфическое обрамление из фундамента Западно-Сибирского мегабассейна [1–3 и др.].

На полуострове Ямал метаморфические породы фундамента вскрыты на территории Верхнереченской (скв. 2) (рис. 1) и Западно-Яротинской (скв. 300 и 303) площадей. Эти сланцы рассматриваются нами как северное обрамление Верхнереченского гранитного плутона [1], возраст которого позднепермский [4, 5]. Возраст метаморфических сланцев из фундамента Ямала до недавнего времени считался докембрийским [6]. За последнее время В.С. Бочкаревым с коллегами было получено несколько U-Pb-датировок по акцессорным цирконам из кристаллических сланцев. В сланцах из скв. Верхнереченская 2 был установлен возраст 1168 ± 13 млн лет, а в породах Западно-Яротинской площади в скв. 302–552 ± 13 млн лет, в скв. 303–519 и 978 ± 10 млн лет [7], что в целом подтверждало древний, кембрийский и докембрийский возраст. Но указанные авторы, по-видимому, не вполне учли то, что циркон – очень устойчивый минерал, легко переотлагается и при этом не перезапускает изотопную систему при относительно слабом метаморфизме [8], поэтому полученные датировки являются возрастом детритового циркона, который к тому же зачастую имел округлую (т.е., вероятно, окатанную) форму. Нами был установлен возраст метаморфизма ($^{40}Ar/^{39}Ar$-метод, ≈ 271 млн лет) подобных метаморфических сланцев из фундамента Тазовского полуострова Западно-Сибирского мегабассейна (Лензитская площадь, скв. 77) [9 и др.].

Рисунок 1. Схема расположения скважин. Скважины: 1-3 – Верхнереченская; 300, 303 – Западно-Яротинская; 77 – Лензитская.
Figure 1. Well layout. Wells: 1-3 – Verkhnerechenskaya; 300, 303 – West-Yarotinskaya; 77 – Lenzitskaya.

В настоящей работе приводится первое описание минералогии и особенностей микроэлементного состава кварц-мусковитовых сланцев из фундамента Западно-Сибирского мегабассейна (скв. Западно-Яротинская 303, полуостров Ямал, рис. 1).

Объект исследования

Нами исследовались образцы керна кварц-мусковитовых сланцев с глубин 2757 и 2762 м. Порода визуально имеет серую окраску, структура – мелкозернистая и тонкочешуйчатая, текстура – слоистая. Минеральный состав сланцев: кварц, мусковит, хлорит (донбассит), альбит, карбонат (доломит, сидерит, кальцит), турмалин (дравит, шерл), рутил, циркон, фторапатит, пирит, халькопирит, сфалерит, галенит, виоларит, гояцит и флоренсит-(Ce).

Методы исследования

Аналитические исследования выполнены в лаборатории ФХМИ Института геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург. Петрохимический состав кварц-мусковитовых сланцев установлен на рентгенофлуоресцентном волновом спектрометре XRF 1800 (Shimadzu), аналитик Н.П. Горбунова. Потери при прокаливании и окисное железо определены методом мокрой химии, аналитик Г.С. Неупокоева. Содержание редких рассеянных и редкоземельных элементов определялось на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой ELAN-9000 (PerkinElmer Instruments), аналитики Н.В. Чередниченко и Д.В. Киселева. Химический состав минералов проанализирован в полированных шлифах на микроанализаторе CAMECA SX100, аналитик И.А. Готтман. Изучение акцессорных минералов и сульфидов проводилось с помощью СЭМ JSM-6390LV (Jeol) с ЭДС INCA Energy 450 X-Max 80 (Oxford Instruments), аналитик Н.Н. Фаррахова. На этом же приборе получены фотографии минералов в режиме обратнорассеянных электронов.

Результаты исследования

Кварц-мусковитовые сланцы характеризуются чередованием слоев альбит-кварцевого агрегата и хлорит-мусковитовых лейст (рис. 2). Порода претерпела интенсивную деформацию, о чем свидетельствует наличие микроскладчатости, которая видна невооруженным взглядом.

Кварц в породе слагает зерна полигональной формы размером до 0,5 мм. Присутствуют зерна с неравномерным погасанием. Совместно с альбитом кварц образует мелкозернистый агрегат между слоями хлорит-мусковитовых лейстов. В кварце встречаются мелкие включения апатита и мусковита. Мусковит – один из главных породообразу-

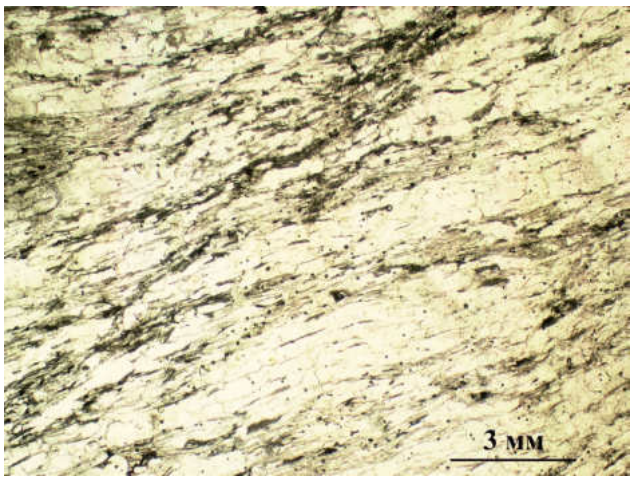


Рисунок 2. Кварц-серицитовый сланец. Скважина Западно-Яротинская 303, глубина 2757 м. Проходящий свет.
Figure 2. Quartz-sericite schist. Well West-Yarotinskaya 303, depth 2757 m. Transmitting light.

примесей в минерале отмечается небольшое количество FeO – до 2,42 мас.%, MgO – 2,00 мас.% и TiO_2 – 0,48 мас.%. Хлорит в сланце бесцветный, образует скопления вытянутых лейстов совместно с мусковитом, часто смятые в складки. Размер лейстов – до 1 мм. В химическом составе хлорита отмечаются только SiO_2 (47,09–47,69 мас.%), Al_2O_3 (36,93–37,38 мас.%) и небольшая примесь K_2O (до 1,12 мас.%), поэтому минерал относится к донбасситу (табл. 1, ан. 6–7). Отличается от теоретического состава немного повышенным содержанием SiO_2 и меньшим количеством Al_2O_3. Альбит образует короткопризматические зерна с неровными ограничениями среди кварцевого и хлорит-слюдистого агрегатов. Размер зерен – до 0,5 мм. По данным микрозондового анализа, отвечает чистому альбиту (табл. 1, ан. 8–11).

Турмалин в породе встречается в плагиоклаз-кварцевом и хлорит-слюдистом агрегатах, где образует короткопризматические зерна и изометричные треугольные сечения зерен, характерные для кристаллов турмалина.

Таблица 1

Химический состав (мас.%) минералов из кварц-мусковитового сланца

Table 1

Chemical composition (wt. %) of minerals from quartz-muscovite schist

№	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Cr_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	F	Сумма
Мусковит												
1	47,86	0,22	31,44	0,08	2,07	0,06	1,49	-	0,76	9,08	0,21	93,27
2	49,68	0,39	30,82	0,04	2,42	0,06	1,70	-	0,76	9,75	0,15	95,77
3	50,57	0,24	30,40	0,02	2,34	0,05	1,91	-	0,71	9,76	0,12	96,12
4	51,14	0,26	29,99	0,04	2,15	0,02	2,00	0,02	0,64	9,90	0,25	96,41
5	48,62	0,48	32,95	-	1,65	-	1,11	0,01	0,56	9,33	0,19	94,90
Хлорит												
6	47,69	0,09	37,38	0,07	0,36	-	0,11	0,02	0,17	1,12	0,09	87,10
7	47,09	-	36,93	0,08	0,25	-	0,29	0,02	0,09	0,86	0,01	85,62
Альбит												
8	68,29	-	18,81	-	0,19	-	-	0,05	12,35	0,04	-	99,73
9	69,07	-	19,07	-	0,01	-	-	0,03	12,11	0,05	-	100,34
10	68,37	-	19,14	-	0,04	-	-	0,06	12,22	0,04	-	99,87
11	68,69	-	19,21	-	-	0,03	-	0,04	12,13	0,03	-	100,13
Турмалин												
12	34,11	1,77	32,08	0,10	9,49	-	4,86	2,06	1,38	0,06	0,25	86,16
13	36,18	1,00	30,38	0,04	7,89	-	6,81	0,62	2,48	0,03	0,33	85,76
14	36,78	0,68	31,62	0,03	6,65	-	6,84	0,15	2,53	0,01	0,29	85,58
15	36,69	0,82	30,98	0,05	7,73	-	6,73	0,15	2,77	-	0,26	86,18
Карбонат												
16	-	-	-	-	0,04	0,04	0,01	55,79	-	-	-	55,88
17	-	-	-	-	14,08	0,26	12,01	28,44	-	-	-	54,79
18	-	-	-	-	14,34	0,24	11,58	25,87	-	-	-	52,03
19	-	-	-	-	42,63	0,47	11,05	0,67	-	-	-	54,82
20	-	-	-	-	36,92	0,43	16,26	1,74	-	-	-	55,35
21	-	-	-	-	38,20	0,45	14,79	1,55	-	-	-	54,99
22	-	-	-	-	36,65	0,36	17,53	1,13	-	-	-	55,67

Примечание. ан. 12 – шерл; 13-14 – дравит; 16 – кальцит; 17, 18 – доломит; 19-22 – сидерит.
Note. an. 12 – schorl; 13-14 – dravite; 16 – calcite; 17, 18 – dolomite; 19-22 – siderite.

ющих минералов в породе. Размер индивидов минерала – до 1 мм. Образует тонкопереслаивающийся агрегат с лейстами хлорита. По химическому составу слюда отвечает практически чистому мусковиту (табл. 1, ан. 1–5). Среди

Минерал плеохроирует в буровато-зеленоватых тонах. Размер зерен – до 20 мкм. Установлено, что кристаллы имеют зональность. Центральная часть индивида сложена кальциево-магнезиальным шерлом (табл. 1, ан. 12), а

промежуточная и краевая части кристалла – железистым дравитом (см. табл. 1, ан. 13–15). Шерл содержит значимое количество CaO – 2,06 мас.%, что отвечает 38 % минала увита. При этом дравит практически не содержит кальций и характеризуется большим содержанием FeO – до 7,89 мас.%, что пересчитывается на 36 % минала шерла. Ранее нами уже описывался турмалин в метаморфических сланцах из фундамента Шаимского нефтегазоносного района, который относился к железистому дравиту [1].

Рутил образует зерна неправильной формы с неровными ограничениями в слюдистом агрегате. Размер зерен – до 250 мкм. В шлифе темно-коричневый, без плеохроизма. В минерале отмечаются примеси FeO и V_2O_3 до 0,43 и 0,49 мас.% соответственно. Циркон встречается в хлорит-мусковитовом слоистом агрегате в виде единичных, призматических и окатанных зерен размером до 30 мкм. По данным микрозондового анализа, в минерале отмечается только примесь HfO_2 – 1,94 мас.%.

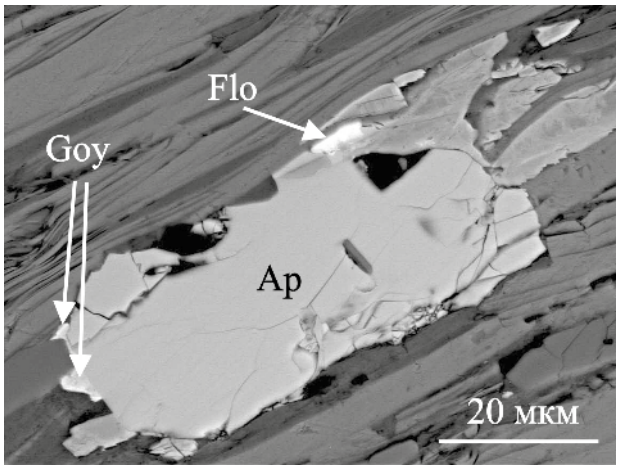


Рисунок 3. Включения флоренсита (Flo) и гояцита (Goy) во фторапатите (Ap). Скважина Западно-Яротинская 303, глубина 2757 м. BSE-фото.
Picture. 3. Inclusions of Florensite (Flo) and goyazite (Goy) in fluorapatite (Ap). Well West-Yarotinskaya 303, depth 2757 m. BSE-photo.

В кварц-мусковитовом сланце отмечаются три минеральных вида карбоната: доломит, сидерит и кальцит. Кальцит образует вытянутые зерна размером до 150 мкм, с неровными ограничениями в плагиоклаз-кварцевом агрегате. Он практически не содержит примесей (см. табл. 1, ан. 16). Доломит встречается в виде зерен неправильной формы размером 80–100 мкм и ассоциирует с мусковитом и хлоритом. В химическом составе доломита содержание FeO достигает 14,34 мас.% (см. табл. 1, ан. 17, 18), что отвечает 40 % минала анкерита. Сидерит слагает зерна неправильной формы, занимая интерстиции между лейстами мусковита и хлорита. Размер зерен – до 100 мкм. Сидерит содержит MgO до 17,53 мас.%, что пересчитывается на 45 % минала магнезита. Среди примесей также отмечаются CaO и MnO до 1,74 и 0,47 мас.% соответственно (см. табл. 1, ан. 19–22).

Апатит равномерно распределен по всему объему породы. Встречается он в виде игольчатых и призматических зерен размером до 120 мкм в длину, часто разбитых трещинами (рис. 3). По химическому составу соответствует фторапатиту. На некоторых индивидах фторапатита наблюдаются более поздние «наросты» зерен минералов группы крандаллита – гояцита и флоренсита. Гояцит образует зерна неправильной формы размером до 10 мкм (рис. 3). Состав минерала немного отличается от теоретического дефицитом P и избытком Al, а также большим количеством примесей Ce, La, Nd и Ca (табл. 2, ан. 1). Такие примеси объясняются тем, что гояцит представляет собой твердый раствор ряда гояцит – флоренсит-(Ce) – флоренсит-(La) – флоренсит-(Nd) – крандаллит. Гояцит близок по составу к описанному нами ранее гояциту из метаморфических сланцев скважины Западно-Яротинская 300 на глубине 2762 м [10], а также в кварц-хлорит-слюдистой породе из фундамента Западно-Семивидовской площади (скв. 1245, глубина отбора – 1840 м) Шаимского района Западной Сибири [1]. Флоренсит-(Ce) встречается в виде единичных вытянутых зерен размером до 10 мкм (рис. 3). Под электронным микроскопом на BSE-изображении минерал отличается от гояцита более интенсивной белой окраской, так как содержит большее количество редкоземельных элементов. Химический состав минерала показан в табл. 2 (ан. 2 – 3). В фосфате отмечаются небольшой избыток Al, дефицит P и примеси Sr, Nd, La, Na, K, Pr, Ca и Fe относительно теоретического состава минерала.

Таблица 2

Состав гояцита и флоренсита (мас.%) из кварц-мусковитового сланца

Table 2

Composition of goyazite and florensite (wt. %) from quartz-muscovite schist

№	Гояцит	Флоренсит-(Ce)	
	1	2	3
Al_2O_3	33,80	31,04	32,55
P_2O_5	27,30	25,49	26,28
La_2O_3	3,80	5,03	4,10
Ce_2O_3	7,37	14,97	11,82
Pr_2O_3	-	1,91	1,30
Nd_2O_3	2,39	4,98	5,64
SrO	10,42	4,76	5,80
FeO	-	1,01	0,47
CaO	1,25	0,28	0,38
Na_2O	-	-	0,60
K_2O	-	-	0,52
H_2O	13,66	10,53	10,53
Сумма	86,34	89,47	89,47
Формульные единицы, рассчитанные на шесть катионов			
1	$(Sr_{0.48}Ce_{0.22}La_{0.11}Ca_{0.11}Nd_{0.07})_{0.99}Al_{3.17}(PO_4)_{1.84}(OH)_5{*}H_2O$		
2	$(Ce_{0.46}Sr_{0.23}La_{0.15}Nd_{0.15}Fe_{0.07}Pr_{0.06}Ca_{0.03})_{1.15}Al_{3.05}(PO_4)_{1.80}(OH)_6$		
3	$(Ce_{0.35}Sr_{0.27}Nd_{0.16}La_{0.12}Na_{0.09}K_{0.05}Pr_{0.04}Ca_{0.03}Fe_{0.03})_{1.14}Al_{3.07}(PO_4)_{1.79}(OH)_6$		

Примечание. Содержание H_2O взято из теоретического состава минералов.
Note. The content of H_2O is taken from the theoretical composition of the minerals.

Сульфидная минерализация в породе представлена пиритом, халькопиритом, сфалеритом, виоларитом и галенитом. Сульфиды в основном тяготеют к хлорит-мусковитовым лейстам. Пирит в сланце образует вытянутые, изометричные, неправильной формы зерна размером до 70 мкм. Зерна пирита часто раздроблены. В минерале отмечается примесь Ni – до 4,31 мас.%. Халькопирит слагает вытянутые

зерна с неровными ограничениями. Обычно однородный, но иногда срастается со сфалеритом. Размер зерен – до 80 мкм. Химический состав халькопирита, мас.%: Cu – 34,3; Fe – 29,9; S – 35,4; сумма – 99,6, т.е. близок к теоретическому. Сфалерит встречается редко, в основном на периферии скоплений халькопирита. Размер зерен не превышает 20 мкм. Химический состав сфалерита, мас.%: Zn – 67,02; Fe – 0,34; Cd – 0,02; Pb – 0,11; S – 32,71; сумма – 100,20.

Виоларит ассоциирует с пиритом и галенитом, его химический состав следующий, мас.%: Fe – 15,80; Co – 13,37; Ni – 27,15; S – 41,90; сумма – 98,22. Кристаллохимическая формула – $Fe_{0,87}(Ni_{1,42}Co_{0,70})_{2,12}S_{4,01}$. Из нее видно, что в минерале наблюдается небольшой дефицит железа, который, видимо, компенсируется либо никелем, либо кобальтом. Виоларит с примесью Co нами уже встречался в кварц-серицитовых сланцах из скважины Малотетеревская № 1П (глубина – 1983 м), пробуренной в Шаимском нефтегазоносном районе Западно-Сибирской плиты [11]. Галенит образует редкие, мелкие, вытянутые индивиды размером до 5 мкм, ассоциируя с пиритом. В спектре минерала отмечаются только пики Pb и S.

Химический состав кварц-мусковитового сланца показан в табл. 3. Содержание SiO_2 – 54,07 – 62,11 мас.%; Al_2O_3 – 17,21 – 19,10 мас.%. В метаморфических сланцах отмечаются высокие концентрации, г/т: Ti (2600–3000), V (110–130), Cr (180–240), Mn (370–500), Rb (87–120), Sr (100–160) и Ba (330–400). Содержание редкоземельных элементов в метаморфических сланцах – 47–72 г/т (табл. 3). Тренд распределения редкоземельных элементов, нормированный на пост-архейский австралийский сланец (PAAS) [17] в кварц-мусковитовых сланцах характеризуется небольшой отрицательной Ce аномалией и положительными Eu и Gd аномалиями (рис. 4). (La/Yb)n в породах – 0,66-0,69. В целом содержание редкоземельных элементов в исследуемых породах ниже, чем в PAAS, и наблюдается небольшое обеднение легкими РЗЭ [17]. Распределение редких, рассеянных и редкоземельных элементов при нормировании на примитивную мантию [12] в породах характеризуется положительными аномалиями по U, Pb и отрицательными – по Nb, Ta, Zr и Ti (рис. 5).

Обсуждение результатов

Метапелиты широко распространены в фундаменте Западно-Сибирской плиты. Подобными породами, например, в основном сложен крупный Шаимско-Кузнецовский мегантиклинорий [1 и др.].

Минералогия кварц-мусковитовых сланцев близка с ранее изученными нами метаморфическими сланцами из скважины Западно-Яротинская 300 с глубины 2762 м [10], расположенной в 25 км западнее. Отличие наблюдается в преобладании кварца над альбитом, а также в наличии: железистого дравита, магнезиального шерла, халькопи-

Таблица 3

Химический (мас.%) и микроэлементный (г/т) состав сланцев

Table 3

Chemical (wt. %) and trace element (ppm) composition of schists

Элементы	1	2	Элементы	1	2	Элементы	1	2
SiO_2	62,11	54,07	Ni	37,00	40,00	La	9,00	14,00
TiO_2	0,66	0,70	Cu	26,00	35,00	Ce	14,00	23,00
Al_2O_3	17,21	19,10	Zn	70,00	80,00	Pr	2,60	3,80
Fe_2O_3	1,27	1,56	Cd	0,09	0,14	Nd	11,00	16,00
P_2O_5	0,11	0,10	Sn	1,20	1,30	Sm	2,60	3,50
MnO	0,08	0,10	Sb	0,40	0,40	Eu	0,70	0,90
FeO	3,90	4,90	Te	<0,01	0,02	Gd	2,80	3,70
MgO	1,69	2,32	Cs	2,10	2,40	Tb	0,30	0,50
CaO	1,29	2,72	Ba	330,00	400,00	Dy	1,80	2,70
NaO	2,01	1,52	Hf	1,60	1,50	Ho	0,35	0,50
K_2O	2,27	2,45	Ta	0,36	0,36	Er	1,00	1,50
П.п.п.	7,20	10,40	W	1,60	1,60	Tm	0,15	0,23
Сумма	99,81	99,95	Tl	0,40	0,50	Yb	1,00	1,50
Li	15,00	17,00	Pb	9,00	10,00	Lu	0,15	0,23
Be	0,80	0,90	Bi	0,18	0,20	Ga	18,00	20,00
Sc	14,00	20,00	Th	5,00	7,00	Ge	1,20	1,20
Ti	2600,00	3000,00	U	5,10	3,80	As	2,30	3,50
V	110,00	130,00	Rb	87,00	120,00	Se	0,18	0,59
Cr	240,00	180,00	Sr	100,00	160,00	Nb	7,00	7,00
Mn	370,00	500,00	Y	11,00	17,00	Mo	1,30	1,10
Co	15,00	17,00	Zr	61,00	57,00	Ag	0,38	0,33

Примечание. 1 – З-Яр 303/2757; 2 – З-Яр 303/2762.
Note. 1 – W-Yar 303/2757; 2 – W-Yar 303/2762.

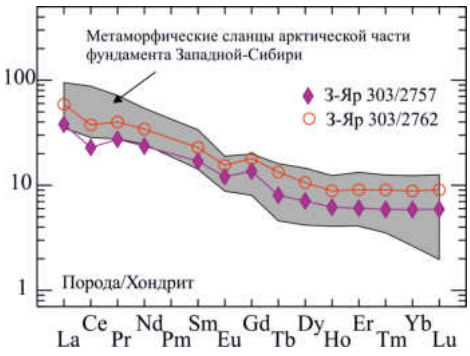


Рисунок 4. Распределение редкоземельных элементов в сланцах, нормированных на пост-архейский австралийский сланец (PAAS) [17]. Скважина Западно-Яротинская 303.
Figure 4. Distribution of rare earth elements in schists, normalized to PAAS [17]. Well West-Yarotinskaya 303.

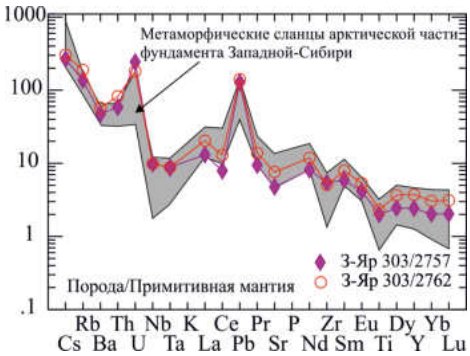


Рисунок 5. Распределение редких, рассеянных и редкоземельных элементов в сланцах, нормированных на примитивную мантию [16]. Скважина Западно-Яротинская 303.
Figure 5. Distribution of rare, trace and REE in schists, normalized to primitive mantle [16]. Well West-Yarotinskaya 303.

рита, виоларита, флоренсита-(Ce) и кальцита. В исследуемых породах не найден кобальтин, кубанит, синхизит, самородная медь и серебро, отмеченные в сланцах из скважины Западно-Яротинская 300. От метаморфических сланцев из фундамента Тазовского полуострова (скважина Лензитская 77 [13]) кварц-мусковитовые сланцы отличаются отсутствием альмандина, титанита и ксенотима-(Y). Установленный нами флоренсит-(Ce) является редким минералом и первой находкой для пород из фундамента Западно-Сибирской плиты. На Приполярном Урале флоренсит-(Ce) встречается в виде крупных кристаллов и сростков с ксенотимом в хрусталеносных жилах Au-РЗЭ рудопроявления Сводовый на хребте Малдынырд [14]. Также находки флоренсита известны из русловых отложений рек Б. Авняр, Миселя, М. Авзян и Б. Авзян на Южном Урале, которые образовались в результате размыва метаморфических пород рифея и венда [15, 16]. В нашем случае флоренсит-(Ce) и гояцит наблюдаются как в трещинах, так и в виде наростов на фторапатите и могли образоваться за счет разложения раннего монацита в процессе наложенной пропилитизации.

Высокие концентрации в породах титана обусловлены наличием рутила, главного акцессорного минерала сланцев. С этим же связано и присутствие значимых количеств ванадия, являющегося главным примесным элементом в рутиле. Повышенное содержание рубидия напрямую связано с основным породообразующим минералом – слюдой, поскольку рубидий, как известно, имеет геохимическое сродство с калием. Со слюдами и местами с хлоритом связана концентрация марганца, который изоморфно входит в позицию железа. Высокое содержание стронция в некоторых сланцах объясняется присутствием обильной карбонатной минерализации, так как известно, что стронций часто входит в позицию кальция в карбонатах. Это же касается и бария – примесного элемента в карбонатах и полевых шпатах, хотя в некоторых случаях он слагает барит в сланцах. Значимое присутствие хрома в сланцах связано, по всей видимости, с акцессорной вкрапленностью магнетита. Распределение редких рассеянных и редкоземельных элементов в исследуемых породах близко к таковому для метаморфических сланцев из фундамента Арктической части Западной Сибири и Приуральской части Западно-Сибирского мегабассейна, слагающих обрамление монцодиорит-гранитных массивов Шаимско-Кузнецовского мегантиклинория (Толумская, Малотетеревская, Окуневская площади в пределах Шаимского нефтеносного района) Западной Сибири [1].

Выводы

Таким образом, нами детально описана минералогия и установлен микроэлементный состав кварц-мусковитовых сланцев из фундамента полуострова Ямал (скв. Западно-Яротинская 303). Минеральный состав пород следующий: кварц, мусковит, хлорит (донбассит), альбит, карбонат (доломит, сидерит, кальцит), турмалин (дравит, шерл), рутил, циркон, фторапатит, пирит, халькопирит, сфалерит, галенит, виоларит, гояцит, флоренсит-(Ce). Распределение редких рассеянных и редкоземельных элементов в исследуемых породах подобно таковому для метаморфических сланцев из фундамента Арктической (Лензитская площадь Тазовского полуострова и Верхнереченская площадь полуострова Ямал) и Приуральской (сланцы Шаимско-Кузнецовского мегантиклинория Западной Сибири) частей Западно-Сибирского мегабассейна. Несмотря на малое количество доступных для исследования образцов для достаточно большой территории, можно предположить, что исследуемые метапелиты являются результатом прогрева толщи осадочных горных пород гранитной интрузией, расположенной в непосредственной близости на территории Верхнереченской площади. Позже породы подверглись пропилитизации с образованием вторичного карбоната, гояцита, флоренсита-(Ce) и сульфидов.

Литература

1. Алексеев, А.А. Редкоземельные фосфаты в горных породах и аллювиальных отложениях западного склона Южного Урала / А.А. Алексеев, Е.А. Тимофеева // Литосфера. – 2008. – № 1. – С. 140–145.
2. Бочкарев, В.С. Распространение докембрийских метаморфитов, карбонатных платформ и палеозойских чехлов Западно-Сибирской геосинеклизы (методико-геофизический аспект) / В.С. Бочкарев // Геология нефти и газа. – 2018. – № 3. – С. 49–58.
3. Ерохин, Ю.В. Минералогия метаморфических сланцев из доюрского основания южной части полуострова Ямал / Ю.В. Ерохин, В.В. Хиллер, К.С. Иванов, С.А. Рыльков, В.С. Бочкарев // Литосфера. – 2014. – № 5. – С. 136–140.
4. Ерохин, Ю.В. Минералогия включений и возраст циркона из гранитов фундамента Верхнереченской площади (полуостров Ямал) / Ю.В. Ерохин, К.С. Иванов, В.А. Коротеев, В.В. Хиллер // Литосфера. – 2017. – Т. 17, № 6. – С. 81–90.
5. Иванов, К.С. Геологическое строение фундамента Приуральской части Западно-Сибирского нефтегазоносного мегабассейна / К.С. Иванов, Ю.Н. Федоров, Ю.В. Ерохин, В.С. Пономарев. – Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2016. – 302 с.
6. Паленова, Е.Е. Минералогия аллювиальных отложений Авзянского золоторудного района (Южный Урал) / Е.Е. Паленова, К.А. Новоселов, Е.В. Белогуб, И.А. Блинов, С.Д. Григорьева // Литосфера. – 2018, Т. 18, № 3. – С. 459–474.
7. Пономарев, В.С. Сульфидная минерализация серицит-кварцевых сланцев из доюрского основания Шаимского района (Западная Сибирь) / В.С. Пономарев, К.С. Иванов // Ежегодник-2015. – 2016. – С. 146–148. – (Тр. ИГГ УрО РАН. Вып. 163).
8. Репина, С.А. Онтогения сростка кристаллов флоренсита и ксенотима, осложненных осцилляционной зональностью, в жилах Au-РЗЭ рудопроявления Сводовый, Приполярный Урал / С.А. Репина, В.А. Муфтахов // Минералогия. – 2020. – Т. 6, № 3. – С. 26–43.

9. Рудкевич, М.Я. Тектоника Западно-Сибирской плиты и ее районирование по перспективам нефтегазоносности / М.Я. Рудкевич. – Москва: Недра, 1969. – 280 с. – (Труды ЗапСибНИГНИ. Вып. 14).
10. Тугарева, А.В. Гранитоидный магматизм в пределах Фроловской мегавпадины Западной Сибири / А.В. Тугарева, М.Л. Мороз, Г.А. Чернова, Е.В. Белова // Известия Высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2018. – № 6. – С. 33–40.
11. Ivanov, K.S. Nature and age of metamorphic rocks from the basement of the West Siberian megabasin (according to U-Pb isotopic dates) / K.S. Ivanov, Yu.N. Fedorov, V.S. Ponomarev, V.A. Koroteev, Yu.V. Erokhin // Doklady Earth Sciences. – 2012. – Vol. 443, Part 2. – P. 321–325.
12. Ivanov, K.S. Precambrian complexes of the West Siberian plate: problem and solution / K.S. Ivanov, V.A. Koroteev, V.S. Ponomarev, Yu.V. Erokhin // Doklady Earth Sciences. – 2018. – V. 482, Part 1. – P. 1152–1156.
13. Ivanov, K.S. First data on the age at metamorphic schists from the Taz peninsula (Arctic, Western Siberia) / K.S. Ivanov, V.A. Koroteev, Yu.V. Erokhin, V.S. Ponomarev, A.V. Travin // Doklady Earth Sciences. – 2020. – Vol. 491. – Part 1. – P. 135–138.
14. Khiller, V.V. Chemical composition and age of monazite-(Ce) in granitoids of the crystalline basement from the South Yamal / V.V. Khiller // Известия УГГУ. – 2020. – Вып. 4 (60). – С. 28–34.
15. Ponomarev, V.S. Mineralogy of schists from the basement of the southwestern part of the Tazovsky peninsula of the West Siberian megabasin (Lenzitskaya oil exploration area, YNAD) / V.S. Ponomarev, K.S. Ivanov, V.V. Khiller // Известия УГГУ. – 2019. – № 2 (54). – С. 20–27.
16. Sun, S.S. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes / S.S. Sun, W.F. McDonough // Magmatism in Ocean Basins. London, Geol. Soc. Spec. Publ. – 1989. – P. 313–345.
17. Taylor, S.R., McLennan, S.M., 1985. The Continental Crust: Its Composition and Evolution. Blackwell Scientific Publication, Oxford. P. 312.

References

1. Alekseev, A.A. Redkozemelnyye fosfaty v gornyh porodah i allyuvialnyh otlozheniyah zapadnogo sklona Yuzhnogo Urala [Rare earth phosphates in rocks and alluvial deposits of the western slope of the Southern Urals] / A.A. Alekseev, E.A. Timofeeva // Lithosphere. – 2008. – No. 1. – P. 140-145.
2. Bochkarev, V.S. Rasprostraneniye dokembriyskih metamorfitov, karbonatnyh platform i paleozoyskih chehlov Zapadno-Sibirskoy geosineklizy (metodiko-geofizicheskiy aspekt) [Distribution of Precambrian metamorphites, carbonate platforms and Paleozoic covers of the West Siberian geosyneclise (methodological and geophysical aspect)] / V.S. Bochkarev // Geology of oil and gas. – 2018. – No. 3. – P. 49-58.
3. Erokhin, Yu.V. Mineralogiya metamorficheskih slantsev iz doyurskogo osnovaniya yuzhnoy chasti poluostrova Yamal [Mineralogy of metamorphic shales from the pre-Jurassic basement of the southern part of the Yamal Peninsula] / Yu.V. Erokhin, V.V. Khiller, K.S. Ivanov, S.A. Rylkov, V.S. Bochkarev // Lithosphere. – 2014. – No. 5. – P. 136-140.
4. Erokhin, Yu.V. Mineralogiya vklyucheniy i vozrast tsirkona iz granitov fundamenta Verhnerechenskoy ploshchadi (poluostrov Yamal) [Mineralogy of inclusions and age of zircon from granites of the basement of the Verkhnerechenskaya area (Yamal Peninsula)] / Yu.V. Erokhin, K.S.Ivanov, V.A. Koroteev, V.V. Khiller // Lithosphere. – 2017. – Vol. 17, No. 6. – P. 81-90.
5. Ivanov, K.S. Geologicheskoye stroyeniye fundamenta Priuralskoy chasti Zapadno-Sibirskogo neftegazonosnogo megabasseyna [Geological structure of the basement of the Ural part of the West Siberian oil and gas megabasin] / K.S. Ivanov, Yu.N. Fedorov, Yu.V. Erokhin, V.S. Ponomarev. – Yekaterinburg: Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of the RAS, 2016. – 302 p.
6. Palenova, E.E. Mineralogiya allyuvialnykh otlozheniy Avzyanskogo zolotorudnogo rayona (Yuzhnyy Ural) [Mineralogy of alluvial deposits of the Avzyan gold ore region (South Urals)] / E.E. Palenova, K.A. Novoselov, E.V. Belogub, I.A. Blinov, S.D. Grigorieva // Lithosphere. – 2018, Vol. 18, No. 3. – P. 459-474.
7. Ponomarev, V.S. Sulfidnaya mineralizatsiya seritsit-kvartsevykh slantsev iz doyurskogo osnovaniya Shaimskogo rayona (Zapadnaya Sibir) [Sulfide mineralization of sericite-quartz schists from the pre-Jurassic basement of the Shaim region (Western Siberia)] / V.S. Ponomarev, K.S. Ivanov // Yearbook-2015. – 2016. – P. 146-148. – (Proceedings of the Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of the RAS. Issue 163).
8. Repina, S.A. Ontogeniya srostka kristallov florensita i ksenotima, oslozhnennyh ostsillyatsionnoy zonalnostyu, v zhilakh Au-RZE rudoproyavleniya Svodovyj, Pripolyarnyj Ural [Ontogeny of an intergrowth of florensite and xenotime crystals complicated by oscillatory zoning in Au-REE veins of the Svodovy ore occurrence, Subpolar Urals] / S.A. Repina, V.A. Muftakhov // Mineralogy. – 2020. – Vol. 6, No. 3. – P. 26-43.
9. Rudkevich, M.Ya. Tektonika Zapadno-Sibirskoy plity i yeye rayonirovaniye po perspektivam neftegazonosnosti [Tectonics of the West Siberian Plate and its regionalization in terms of oil and gas potential] / M.Ya. Rudkevich. – Moscow: Nedra, 1969. – 280 p. – (Proceedings of ZapSibNIGNI. Issue 14).
10. Tugareva, A.V. Granitoidnyy magmatizm v predelah Frolovskoy megavpadiny Zapadnoy Sibiri [Granitoid magmatism within the Frolov megadepression of Western Siberia] / A.V. Tugareva, M.L. Moroz, G.A. Chernova, E.V. Belova // News of higher educational institutions. Oil and gas. – 2018. – No. 6. – P. 33-40.
11. Ivanov, K.S. Nature and age of metamorphic rocks from the basement of the West Siberian megabasin (according to U-Pb isotopic dates) / K.S. Ivanov, Yu.N. Fedorov, V.S. Ponomarev, V.A. Koroteev, Yu.V. Erokhin // Doklady Earth Sciences. – 2012. – Vol. 443, Part 2. – P. 321-325.

12. Ivanov, K.S. Precambrian complexes of the West Siberian plate: problem and solution / K.S. Ivanov, V.A. Koroteev, V.S. Ponomarev, Yu.V. Erokhin // Doklady Earth Sciences. – 2018. Vol. 482, Part 1. – P. 1152-1156.
13. Ivanov, K.S. First data on the age at metamorphic schists from the Taz peninsula (Arctic, Western Siberia) / K.S. Ivanov, V.A. Koroteev, Yu.V. Erokhin, V.S. Ponomarev, A.V. Travin // Doklady Earth Sciences. – 2020. – Vol. 491. Part 1. – P. 135-138.
14. Khiller, V.V. Chemical composition and age of monazite-(Ce) in granitoids of the crystalline basement from the South Yamal / V.V. Khiller // Preceedings of the Ural State Mining University. – 2020. – Issue 4 (60). – P. 28-34.
15. Ponomarev, V.S. Mineralogy of schists from the basement of the southwestern part of the Tazovsky peninsula of the West Siberian megabasin (Lenzitskaya oil exploration area, YNAD) / V.S. Ponomarev, K.S. Ivanov, V.V. Khiller // Preceedings of the Ural State Mining University. – 2019. – No. 2 (54). – P. 20-27.
16. Sun, S.S. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes / S.S Sun, W.F. McDonough // Magmatism in Ocean Basins. London, Geol. Soc. Spec. Publ. – 1989. – P. 313-345.
17. Taylor, S.R., McLennan, S.M., 1985. The Continental Crust: Its Composition and Evolution. Blackwell Scientific Publication, Oxford. P. 312

Благодарность (госзадание)

Работа выполнена в рамках государственной бюджетной темы ИГГ УрО РАН АААА-А18-118052590032-6.

Информация об авторах:

Пономарев Владимир Сергеевич – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института геологии и геохимии УрО РАН; Scopus Author ID: 57197213923, https://orcid.org/0000-0002-1651-1281 (Российская Федерация, 620016, г. Екатеринбург, ул. Академика Вонсовского, д. 15; e-mail: p123v@yandex.ru).

Ерохин Юрий Викторович – кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Института геологии и геохимии УрО РАН; Scopus Author ID: 7004563052, https://orcid.org/ 0000-0002-0577-5898 (Российская Федерация, 620016, г. Екатеринбург, ул. Академика Вонсовского, д. 15; e-mail: erokhin-yu@yandex.ru).

Иванов Кирилл Святославич – доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Института геологии и геохимии УрО РАН; Scopus Author ID: 13309974900, https://orcid.org/ 0000-0002-8292-4658 (Российская Федерация, 620016, г. Екатеринбург, ул. Академика Вонсовского, д. 15; e-mail: ivanovks@igg.uran.ru).

Фаррахова Надежда Николаевна – научный сотрудник Института геологии и геохимии УрО РАН; Scopus Author ID: 57216738078, https://orcid.org/ 0000-0002-3067-4044 (Российская Федерация, 620016, г. Екатеринбург, ул. Академика Вонсовского, д. 15; e-mail: atlantida21@mail.ru).

About the authors:

Vladimir S. Ponomarev – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher, Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; Scopus Author ID: 57197213923, https://orcid.org/0000-0002-1651-1281 (15, Academician Vonsovsky Str., Yekaterinburg, 620016, Russian Federation; e-mail: p123v@yandex.ru).

Yury V. Yerokhin – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; Scopus Author ID: 7004563052, https://orcid.org/ 0000-0002-0577-5898 (15, Academician Vonsovsky Str., Yekaterinburg, 620016, Russian Federation; e-mail: erokhin-yu@yandex.ru).

Kirill S. Ivanov – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Chief Researcher, Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; Scopus Author ID: 13309974900, https://orcid.org/ 0000-0002-8292-4658 (15, Academician Vonsovsky Str., Yekaterinburg, 620016, Russian Federation; e-mail: ivanovks@igg.uran.ru).

Nadezhda N. Farrakhova – Research Associate, Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; Scopus Author ID: 57216738078, https://orcid.org/ 0000-0002-3067-4044 (15, Academician Vonsovsky Str., Yekaterinburg, 620016, Russian Federation; e-mail: atlantida21@mail.ru).

Для цитирования:

Пономарев, В.С. Вещественный состав кварц-мусковитовых сланцев из доюрского фундамента Западно-Сибирского мегабассейна (Западно-Яротинская площадь, полуостров Ямал) / В.С. Пономарев, Ю.В. Ерохин, К.С. Иванов, Н.Н. Фаррахова // Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия "Науки о Земле". – 2022. – № 2 (54). – С. 5-13. УДК 549+552.44(571.121). DOI 10.19110/1994-5655-2022-2-5-13

For citation:

Ponomarev, V.S. Composition of quartz-muscovite shales from pre-Jurassic basement of the West Siberian megabasin (West-Yarotinskaya area, Yamal) / V.S. Ponomarev, Yu.V. Yerokhin, K.S. Ivanov, N.N. Farrakhova // Proceedings of the Komi Science

Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Earth Sciences Series. – 2022. – No. 2 (54). – P. 5-13. УДК 549+552.44(571.121). DOI 10.19110/1994-5655-2022-2-5-13

Дата поступления рукописи: 04.06.2021
Прошла рецензирование: 28.01.2022
Принято решение о публикации: 04.04.2022
Received: 04.06.2021
Reviewed: 28.01.2022
Accepted: 04.04.2022

Верхнебашкирские карбонатные отложения в бассейне реки Шаръю (гряда Чернышева): литология, изотопия углерода и кислорода, условия осадконакопления

А.Н. Сандула, Л.А. Шмелёва

Институт геологии имени академика Н.П. Юшкина
ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
г. Сыктывкар

sandula@geo.komisc.ru
lyubov.shmeleva@inbox.ru

Аннотация

Верхнебашкирские отложения Средних ворот р. Шаръю на гряде Чернышева представлены преимущественно не измененными известняками. В составе известняков $\delta^{13}C_{PDB}$ = 0,3…3,9 ‰, $\delta^{18}O_{SMOW}$ =19,0…24,3 ‰. Их вариации зависят от изменений условий осадконакопления в течение позднего башкира.
Формирование изученных отложений проходило в два этапа. На первом этапе, в период максимума регрессии и активизации тектонического режима, формировались породные ассоциации микробиально-пелитоморфных и биокластовых известняков. Сначала $\delta^{13}C$ в составе известняков постепенно увеличивается от 1,4 до 3,1 ‰, а затем уменьшается до 1,2 ‰. Одновременно с этим $\delta^{18}O$ сначала равен 22,3…23,2 ‰, а затем уменьшается до 20,9 ‰. На втором этапе в условиях мелководного карбонатного шельфа во время постепенного углубления моря формировались породные ассоциации водорослевых, микробиально-биокластовых и биокластовых известняков с криноидеями и кораллами. В изотопной системе наблюдается постепенное увеличение значений $\delta^{13}C$ от 2,7 до 3,7 ‰, средние значения $\delta^{18}O$ равны 22,18…22,88 ‰ с отлонениями 2–3 ‰.

Ключевые слова:

Карбонатные отложения, изотопия углерода и кислорода, архангельский (верхнебашкирский) подъярус, средний карбон, гряда Чернышева

Upper Bashkirian deposits in the Sharyu River basin (the Chernyshev Ridge): lithology, carbon and oxygen isotopes, conditions of sedimentation

A.N. Sandula, L.A. Shmeleva

Institute of Geology named after academician N. P. Yuskin, Komi Science Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar

sandula@geo.komisc.ru
lyubov.shmeleva@inbox.ru

Abstract

The Upper Bashkirian deposits in the Srednie vorota section (the Sharyu River, the Chernyshev Ridge) are composed of unchanged limestones. In their composition $\delta^{13}C_{PDB}$ = 0.3…3.9‰, $\delta^{18}O_{SMOW}$ = 19.0…24.3‰. Isotopic ratios depend on changes of sedimentation conditions during Late Bashkirian.
Formation of studied deposits took place in two stages. At the first stage, during the period of maximum regression and activation of tectonic mode, rock associations of microbial-pelitomorphic and bioclastic limestones were formed. $\delta^{13}C$ gradually increases from 1,4 to 3,1‰, and then decreases to 1,2‰, and $\delta^{18}O$ is first equal to 22,3…23,2‰, and then decreases to 20,9‰. At the second stage rock associations of algal, microbial-bioclastic and bioclastic limestones with crinoids and corals were formed on a shallow carbonate shelf during the gradual deepening of the sea. In the isotopic system, there is a gradual increase of average values of $\delta^{13}C$ from 2,75 to 3,69‰, and average values of $\delta^{18}O$ are equal to 22,18…22,88‰ with deviations of 2–3‰.

Keywords:

carbonate deposits, $\delta^{13}C$ and $\delta^{18}O$, Late Bashkirian, Middle Carboniferous, the Chernyshev Ridge

Введение

Одним из наиболее полных и стратиграфически расчлененных разрезов башкирских отложений на гряде Чернышева является разрез Средних ворот, расположенный в бассейне р. Шаръю (рис. 1, 2). По фауне фузулинид он подразделяется на краснополянский, северокельтменский, прикамский горизонты, по современным стратиграфическим схемам соответствующие каменогорскому, акавасскому, аскынбашскому подъярусам, и верхнебашкирскую толщу (архангельский подъярус) [1, 2]. Верхнебашкирский диапазон не разделялся на горизонты, а на границе с породами московского возраста предполагался скрытый стратиграфический перерыв [1].

Основа стратиграфии башкирских отложений гряды Чернышева была сделана А.И. Елисеевым в середине прошлого века [1]. Верхнебашкирский диапазон он не разделял на горизонты, в виду бедности фауны. Большинство приведенных в его работах фузулинид из этой толщи является переходящими, а зональные для данного стратиграфического диапазона виды им не встречены. В 2005 г. была опубликована монография А.И. Николаева [3], в которой рассматри-

вался разрез Средних ворот р. Шаръю. Им выделены интервалы, соответствующие ташастинскому и асатаускому горизонтам. Однако использование этих данных возможно лишь с некоторой условностью, так как приведенные им описание разреза и литологическая характеристика пород не достаточны для надежной привязки к естественным выходам. У А.И. Елисеева [1], наоборот, — выделенные им пачки легко узнаются в обнажении [4].

Рисунок 1. Средние ворота на реке Шаръю на гряде Чернышева. Выход верхнебашкирских отложений расположен на переднем плане. Снято сверху вниз по реке.
Figure 1. The Srednie vorota (Middle Gate) of the Shar`yu River on the Chernyshev ridge. The Upper Bashkirian deposits is located in the foreground. Snapshots are taken from above down the river.

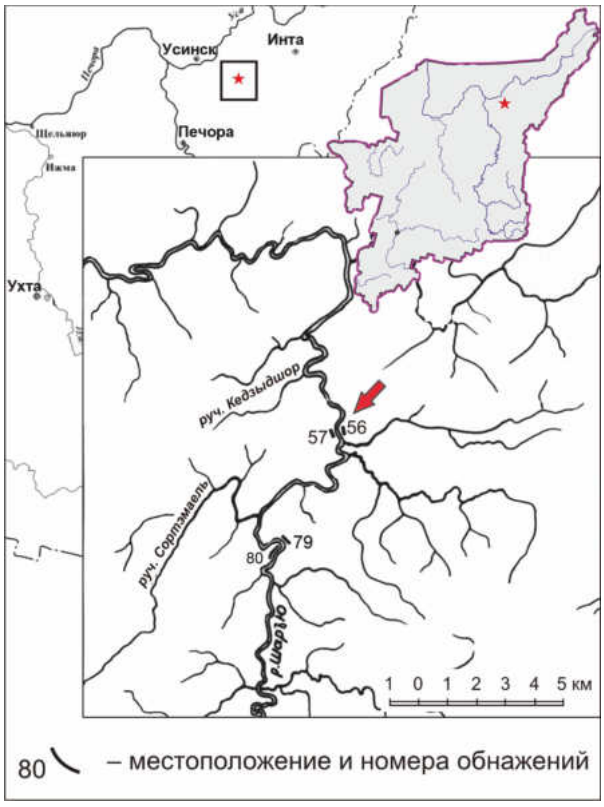


Рисунок 2. Местоположение изученных обнажений. Номера даны по А.И. Елисееву [1].
Figure 2. Location of the studied outcrops. Their numbers are given by [1].

В башкирское время на территории западной части гряды Чернышева господствовали условия мелководного открытого моря, а на востоке существовала область, где довольно часто проявлялись условия островного мелководья, зафиксированные в разрезе интервалами грубообломочных известняковых брекчий [1, 5]. Колебательные движения, проявившиеся на краю платформы, имели место и на западе, о чем свидетельствует ритмичность отложений. В основании этих ритмов выступают отложения сильного мелководья (обломочные и оолитовые известняки), сменяющиеся вверх по разрезу биокластовыми, водорослевыми и шламовыми известняками, часто с большим количеством кремней. Интересно, что в нижнебашкирской части их мощность составляет 10–20 м, а уровни максимумов регрессии совпадают с границами упомянутых стратиграфических подразделений. Верхнебашкирские отложения существенно отличаются от нижележащих. Мощность архангельского подъяруса почти в три раза больше, а в его строении можно выделить несколько интервалов, отличающихся литологическим составом пород и строением [6, 7]. Отсюда позднебашкирское время являлось переломным в истории осадконакопления на территории гряды Чернышева.

С целью уточнения условий осадконакопления и стратиграфии пород данного возрастного диапазона нами было дополнительно изучено строение разреза, определены литологическая и изотопно-геохимическая характеристики верхнебашкирских отложений Средних ворот на р. Шаръю.

Объекты и методы исследования

Скалы Средних ворот расположены в среднем течении р. Шаръю по ее обоим берегам, примерно в 3 км выше устья руч. Кедзыдшор (рис. 2). Разрез наращивается снизу вверх по реке. Породы падают на юго-запад под углами 60–65°. При этом непосредственно верхнебашкирские отложения наиболее хорошо доступны для наблюдения в правом борту реки, в верхней части обн. 56. Здесь они залегают выше пачки (1,4 м мощностью) тонкослоистых шламово-микробиальных, пелитоморфных и мелкобиокластовых коричневато-серых известняков, относимых еще к аскынбашскому подъярусу.

Литолого-фациальный анализ этих пород проводился на основе детального литологического описания разреза, результатов изучения шлифов (более 300 шт.), штуфов, пришлифовок известняков и аналитических данных.

Определение значений $\delta^{13}C$ и $\delta^{18}O$ проводилось в 60 пробах известняков, отобранных через 0,5 м по мощности в непосредственной близости от мест отбора литологических образцов на участках, свободных от проявлений вторичных процессов (кальцитовых прожилок, стилолитовых швов, окремнения и доломитизации) и не содержащих крупные органические остатки. Изотопный анализ проводился на базе ЦКП «Геонаука» ИГ Коми НЦ УрО РАН на аналитическом комплексе Flash EA, соединенном с масс-спектрометром Delta V Advantage, аналитик И.В. Смолева. Значения $\delta^{13}C$ приведены в промилле относительно стандарта PDB, $\delta^{18}O$ – относительно стандарта SMOW. Ошибка измерений составляет 0,04 и 0,06 ‰ соответственно.

Строение разреза

Нижняя граница верхнебашкирской толщи в Средних воротах р. Шаръю (обн. 56) проводится по первому появлению *Ozawainella* и *Pseudostaffella gorskyi* (Dutk.) [1, 3]. Граница московского яруса – в основании пачки (8 м) пластовых желтовато-серых мелкобиокластовых известняков с крупными (до 1 м в поперечнике) желваками кремней. Из этих пород были определены фузулиниды *Depratina prisca* (Deprat), являющиеся зональными для верейского горизонта [1, 3]. Интервал пачек 51–63 общей мощностью 40,8 м относится к ташастинскому горизонту архангельского подъяруса (табл. 1, рис. 3) [2, 8]. Вышележащие пачки 64–67 мощностью 17,5 м, по данным А.И. Николаева, должны быть отнесены к асатаускому горизонту (по появлению *Tikhonovichiella nibelensis* (Raus.)) [3]. В списках форминифер из работы А.И. Елисеева [1] эта граница практически не обособляется. Им указываются только единичные *Pseudostaffella* cf. *compressa* (Raus.) и *P.* ex gr. *gorskyi* (Dutk.), но выше в пачке 66 комплекс фораминифер обновляется существенно — появляются *Pseudostaffella subquadrata* Grozd. et Leb., *Eoschubertella mosquensis* Raus., *Pseudoendothyra keltmensis* Raus. Ниже приведены основные характеристики упомянутых пачек.

Ташастинский горизонт

Пачка Мощность, м

51. Литокластовые известняки.....1,0
    На этом интервале пласты смяты и клиньями вдвинуты друг в друга, из-за чего мощность пачки иногда может достигать 1,5 м. В ее разрезе можно выделить три пласта литокластовых известняков мощностью до 0,3 м, разделенных маломощными (первые сантиметры) слоями тонкослоистых известняков. В первом пласте наблюдается плавный переход биокластовых известняков с округлыми обломками (до 15–20 %) в мелкообломочную конглобрекчию с угловатыми, реже окатанными обломками биокластовых известняков. Выше по разрезу пласт конглобрекчий, сложенный округлыми гальками размером от первых миллиметров до 5–7 см (преобладают гальки размером около 2–3 см). Порода сложена обломками различной окатанности серых пелитоморфных известняков, а также темными угловатыми обломками кремней размером 0,5–0,8 см. Далее идет линза (?) серых биотурбированных биокластовых известняков, сменяющихся вверх по разрезу мелкообломочным конгломератом, в котором отмечается обратная градационная сортировка обломочного материала.
52. Линзовиднонаслоенные коричневато-серые известняки.....0,8
    В разрезе пачки наблюдается постепенная смена мелкобиокластовых фораминиферо-водорослевых известняков микробиально-шламовыми со значительным количеством створок брахиопод и фораминиферо-водорослевыми известняками с включениями по трещинкам темного пиритизированного вещества.
53. Мелкобиокластовые водорослевые известняки.....1,5
    Пластовых отдельностей в пачке нет. Слоистость пород (10–15 см) подчеркивается неравномерным распределением по отдельным слоям и линзам небольшого количества органогенного материала (обломков раковин брахиопод и члеников криноидей). Примерно в 0,8 м от основания пачки наблюдается серия слоев мощностью 0,5 м с частыми эрозионными срезами. Один из них представляет собой волнистую поверхность синусоидного типа с длиной волны равной 50 см и амплитудой 5 см, ниже которой размыты горизонтально залегающие тонкозернистый пелитоморфный и тонко-, волнистослоистый микрокомковатый известняки, а выше – биокластовый известняк (рис. 4 А).
54. Пелитоморфные и биокластовые известняки.....1,9
    В основании пачки залегают микробиально-пелитоморфные известняки, которые в интервале 0,1–0,2 м от подошвы пачки сменяются крупнобиокластовыми фораминиферо-водорослевыми массивными известняками с криноидеями, слагающими пласт мощностью 1,75 м. Здесь граница между этими двумя литологическими разностями или плохо различима, или наблюдается лишь в виде прихотливо изгибающейся линии, закручивающейся в сложные витиеватые узоры — текстура взмучивания (рис. 4 Б), осложненная в настоящее время небольшими (до 10 см) субгоризонтальными трещинками, выполненными яснокристаллическим кальцитом. В биокластовом материале присутствует большое количество обломков члеников криноидей, количество которых снизу вверх по разрезу практически сходит на нет после появления почти в самой кровле пласта кремней. Кремнистые стяжения наблюдаются в виде зональных вытянутых лепешковидных прослоев и линз размером от первых сантиметров до 0,5–0,8 м и имеют концентрически-зональную текстуру. В их строении сохранены реликтовые биокластовые структуры, хорошо различимы обломки члеников криноидей и брахиопод.
55. Пелитоморфные и крупнобиокластовые известняки с кремнями.....2,0
    В основании залегает пласт (0,2 м) слоистых, биотурбированных пелитоморфных известняков. В их строении наблюдаются небольшие участки доломитизации, а также пустоты, выполненные яснокристаллическим кальцитом с тонкими пленками ожелезнения и мелкими округлыми включениями пирита. Выше по разрезу наблюдаются биокластовые известняки, размер структурных компонентов в которых по ходу наслоения увеличивается. Кремни образуют вытянутые лепешковидные желваки темно-серого цвета с реликтами замещенных пород.
56. Слоеватые шламовые известняки в кровле с единичными мелкими желваками кремней.....1,2
57. Слоистые крупнобиокластовые известняки.....2,0
    В нижней части пачки породы имеют толстоплитчатую, а в верхней — тонкоплитчатую отдельность. В составе известняков в значительном количестве наблюдаются кремнистые образования. Они образуют округлые желваки размером от 10 до 25 см, расположенные цепочками согласно напластованию пород. Желваки иногда сливаются в более крупные вытянутые кремнистые стяжения, одиночные овальные конкреции с гладкой

Таблица 1

Распределение фораминифер в разрезе верхнебашкирских отложений Средних ворот на реке Шаръю по спискам А.И. Елисеева [1] с дополнениями по А.И. Николаеву [3]

Table 1

Distribution of foraminifera in the section of the Upper Bashkirian deposits of the Srednie vorota (Middle Gate) of the Shar`yu River according to the lists of [1] with additions by [3]

Ярус		Башкирский												Московский	
Горизонт		Аскынбашский		Ташастинский							Асатауский			Верейский	
Номера пачек	по А.И. Николаеву [3]		38	39	39–40	41–42	1–4	5–6	6	8–10	12–13	14	15–19	20–22	23–24
	по А.И. Елисееву [1]	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
	авторские		50	51	52–56	57–58	59–60	61–62	62	63	64–65	66	67		
Pseudostaffella antiqua (Dutk.)		#	#+	+				+			+		++		+
Pseudostaffella composita keltmica Raus.		#	#			+							+		
Pseudostaffella praegorskvi Raus.		#	+					#			+		++	++	
Pseudostaffella sofronizkyi Saf.		#		+						++	+			+	
Topilinia proozawai (Kir.)		#	#		#			#							
Ozawainella vozhgalica Saf.				+	#			#		+		+	+		
Pseudostaffella cf. gorskyi (Dutk.)				+				#							
Pseudostaffella gorskyi (Dutk.)					#	#+		+	+	#+	+	#	#++++	#	#
Pseudostaffella posterior Saf.							+			+	+	+	#		
Staffellaeformes staffellaeformis (Kir.)							+	+				#	+	#	#
Ozawainella ex gr. aurora Grozd. et Leb.								#							
Parastaffella variabilis Raus.								#							
Pseudostaffella sp.									#						
Pseudoendothyra cf. pseudosphaeroidea (Dutk.)										#					
Pseudostaffella cf. compressa (Raus)											#				
Pseudostaffella ex gr. gorskyi (Dutk.)											#				
Tikhonovichiella nibelensis (Raus.)											++		++	++	
Millerella umbilicata Raus.												+		+	#
Pseudoendothyra keltmensis (Raus.)												#			
Pseudostaffella subquadrata Grozd. et Leb.												#	#+	+	+
Depratina ex gr. prisca (Deprat)													#		
Earlandia aljutovica (Reitl.)													+		#
Millerella carbonica (Grozd. et Leb.)													#		
Ozawainella mosquensis Raus.													#	#+	+
Parastaffella struvei umbilicata Raus.													#		
Parastaffella timanica Raus.													#		
Parastaffella umbonata Raus.													#		#
Pseudoendothyra pseudosphaeroidea (Dutk.)													#		
Staffellaeformes tashliensis (Leb.)													+	++	
Varistaffella irinovkensis (Raus.)													#		
Aljutovella paraaljutovica Saf.														+	
Depratina prisca (Deprat)														#++	
Depratina timanica (Kir.)														+	#
Depratina kireevae (Dzhent.)														+	
Depratina prisca (Deprat) f. elliptica														+	
Depratina prisca sphaerica (Raus.)														+	
Eoschubertella pseudoglobulosa (Saf.)														#	
Pseudostaffella ex gr. subquadrata Grozd. et Leb.														#	
Staffellaeformes cf. trisulcata (Thomson)														#	
Tikhonovichiella ex gr. pseudorhomboides (Putrja)														#	
Tikhonovichiella ex gr. rhombiformis (Brazhn. et Pot.)														#	

Определения фауны в работе [1] – З.П. Михайлова, современная номенклатура определений – Р.М. Иванова (ИГГ УрО РАН).
Definitions of fauna in [1] – Z.P. Mikhailova, modern nomenclature of definitions – R.M. Ivanova (IGG UB RAS).

#	– находки фораминифер по спискам А.И. Елисеева [1].	+	– по спискам А.И. Николаева [3].
#	– finds of foraminifera according to A.I. Eliseev's lists [1].	+	– to A.I. Nikolaev's lists [3].

Слои 7 и 11 из описания Николаева – не обнаженные участки, соответствуют перерывам между пачками 26–28, по Елисееву.
Layers 7 and 11 from the description of Nikolaev are closed intervals, correspond to breaks between units 26 27 and 28 according to Eliseev.

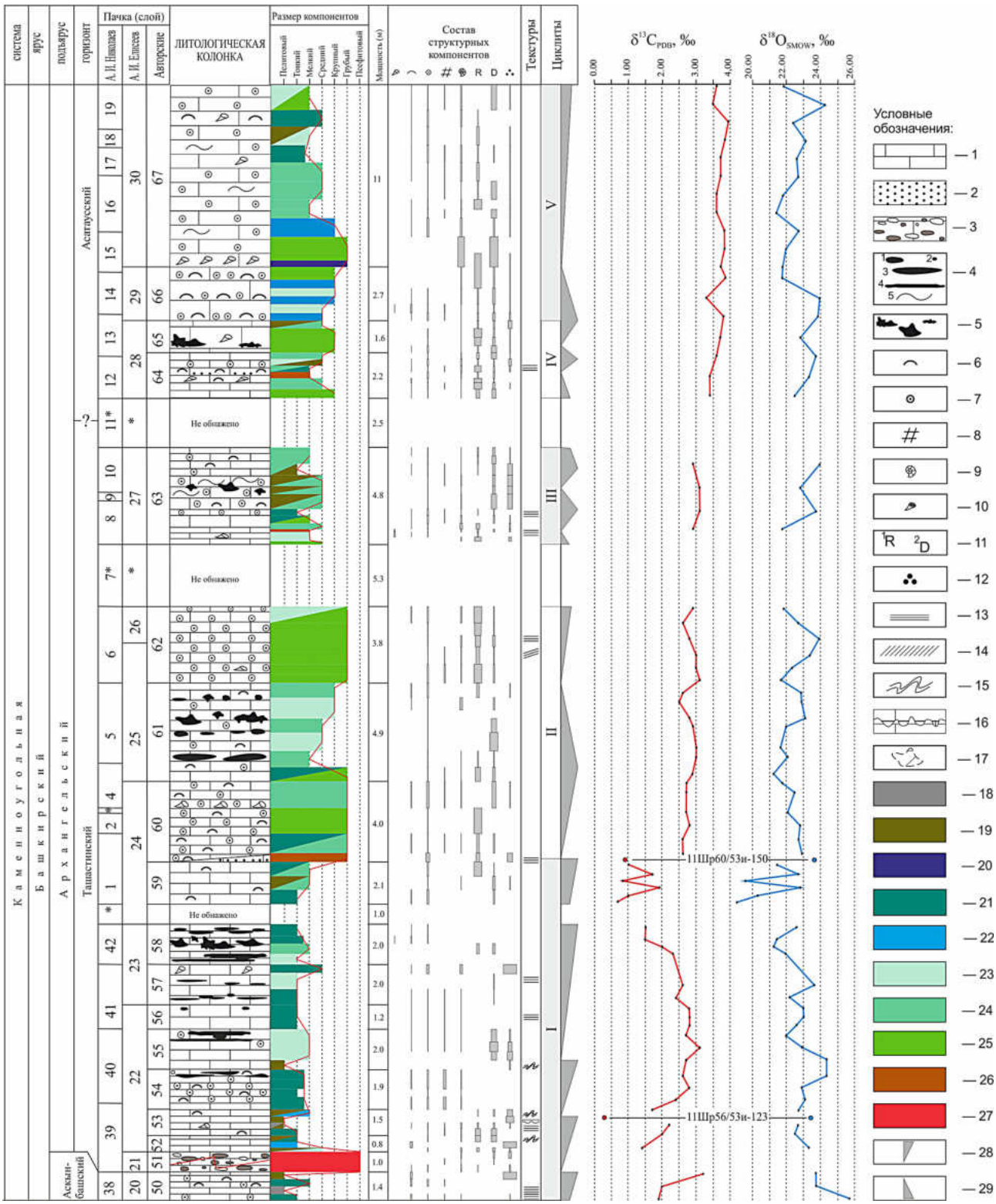


Рисунок 3. Литолого-стратиграфический разрез с кривыми изотопного состава углерода и кислорода в Средних воротах (обн. 56) на реке Шарью. Условные обозначения: 1 – известняки; 2 – известняковый биокластовый песчаник; 3 – известняковый конгломерат; 4–5 – кремни: 4.1 – крупные округлые желваки, 4.2 – сферические и эллипсоидальные концентрически-зональные конкреции небольшого размера, 4.3 – вытянутые лепешковидные конкреции с неровной, слабо бугорчатой поверхностью, 4.4 – вытянутые горизонтальные прослои и линзы, 4.5 – равномерно окремненные (50–90 %) известняки, 5 – неправильной, причудливой формы, а также окремнение по органическим остаткам; 6–12 – структурные компоненты: 6 – створки брахиопод, 7 – членики криноидей, 8 – мшанки, 9 – фораминиферы, 10 – кораллы, 11 – красные (1) и зеленые (2) водоросли, 12 – микробиальные образования; 13–16 – текстуры: 13 – слоистость горизонтальная, 14– слоистость косая, 15 – текстуры «взмучивания», 16 – поверхность размыва; 17 – участки доломитизации; 18–27 литотипы известняков: 18 – пелитоморфные, 19 – микробиальные, 20 – биоморфные органогенные, 21 – биокластовые, 22 – фито-биокластовые, 23 – био-фитокластовые, 24 – фитокластовые, 25 – биоморфные водорослевые, 26 – известняковые биокластовые песчанники, 27 – литокластовые, 28–29 – трангрессивные (28) и регрессивные (29) циклиты.

Figure 3. Lithological-stratigraphic section of the Upper Bashkirian deposits with curves of carbon and oxygen isotopic composition (outcroup # 56, Srednie vorota (Middle Gate), Sharyu River).

Legend: 1 – limestones; 2 – bioclastic calcareous sandstone; 3 – calcareous conglomerate; 4–5 – cherts: 4.1 – large rounded nodules, 4.2 – small size spherical and ellipsoidal concentric-zonal nodules, 4.3 – flat siliceous nodules with uneven bumpy outlines, 4.4 – elongated horizontal siliceous interlayers and lenses, 4.5 – uniformly silicified (50-90%) limestones, 5 – irregular and bizarre shape of the nodules and silicified fossils; 6–12 – structural components of rock: 6 – brachiopods shells, 7 – segments of crinoids, 8 – bryozoans, 9 – foraminifera, 10 – corals, 11 – red (1) and green (2) algae, 12 – microbial creation; 13–16 – textures: 13 – horizontal lamination, 14 – cross lamination, 15 – roiling, 16 – erosion surface; 17 – areas of dolomitization; 18–27 – limestones types: 18 – pelitomorphic, 19 – microbial, 20 – biomorphic (organogenic), 21 – bioclastic, 22 – phyto-bioclastic, 23 – bio-phytoclastic, 24 – phytoclastic, 25 – algae (biomorphic), 26 – bioclastic calcareous sandstones, 27 – lithoclastic; 28–29 – transgressive (28) and regressive (29) cyclites.

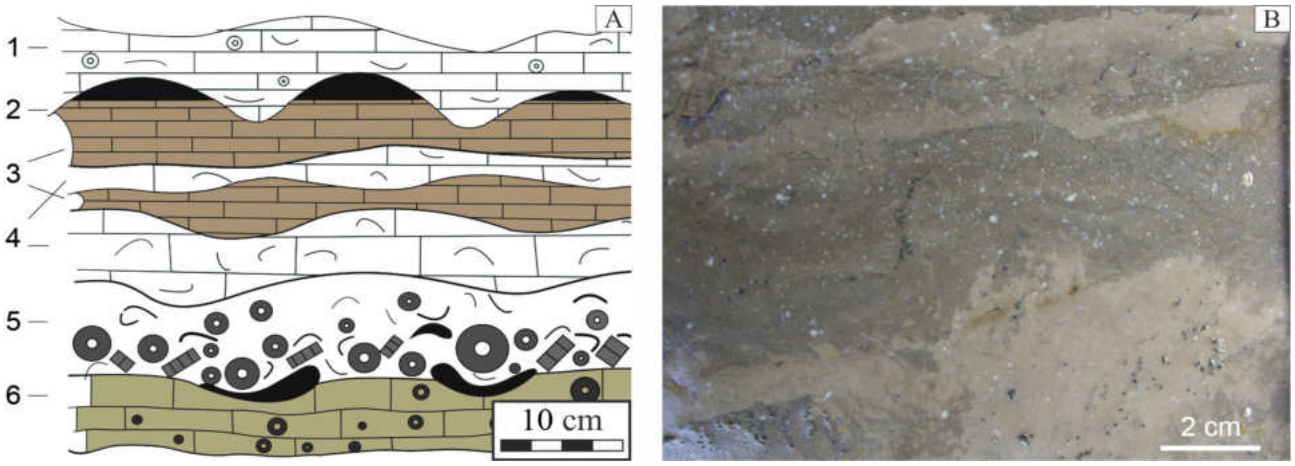


Рисунок 4. Текстурные особенности известняков. А – эрозионное налегание слоев в пачке 53 (полевая зарисовка Л.А. Шмелевой). 1 – микробиально-пелитоморфные известняки; 2 – микрокомковатый известняк; 3 – тонкозернистые пелитомофные известняки; 4–6 – разности биокластовых известняков. В – текстура взмучивания на границе биокластовых и пелитоморфных известняков пачки 54.
Figure 4. Textural features of limestone. A – the erosion unconformity of layers unit 53 (field sketch by L. A. Shmeleva). 1 – microbial-pelitomorphic limestone; 2 – the micropellets limestone; 3 – wackstone; 4–6 – differences types of bioclastic limestone. B – roiling texture at the boundary of bioclastic and pelitomorphic limestone of the unit 54.

поверхностью размером до 20 см, а в самой кровле пачки — тоненькие линзочки толщиной 2–3 мм.

58. Шламовые известняки с многочисленными и разнообразными по морфологии кремнистыми образованиями.....2,0
Породы слоистые в нижней части пачки и массивные — в верхней. Кремни по форме подразделяются на вытянутые горизонтальные прослои и линзы, неправильные, причудливые стяжения, лепешковидные конкреции с неровной, слабо бугорчатой поверхностью и окремнения по органическим остаткам [7, 9]. В желваках повсеместно наблюдаются реликтовые органогенные структуры. Вытянутые горизонтальные прослои и линзы кремней приурочены к подошве пачки. Кремни неправильной, причудливой формы встречаются в основном в средней части пачки и реже в ее кровле, к которой приурочены вытянутые лепешковидные конкреции и окремненные органические остатки.

Не обнаженный участок.....1,0

59. Массивные светло-серые (почти белые) мелкозернистые биокластово-водорослевые известняки с единичными створками мелких (до 1 см) брахиопод.....2,1
60. Фораминиферо-водорослевые известняки с единичными ругозами в верхней части пачки.....4,0
Породы имеют массивное сложение, за исключением основания, где наблюдается линза темного слоеватого известнякового биокластового песчаника мощностью 10–20 см. Слоистость в ней обусловлена ориентацией удлиненных компонентов.
61. Массивные крупнобиокластовые водорослевые известняки с многочисленными кремнями.....4,9
Вблизи подошвы пачки наблюдаются довольно крупные лепешковидные конкреции с неровной слабо бугорчатой поверхностью. Выше по разрезу преобладают кремни неправильной формы в сочетании с небольшим количеством округлых концентрически-зональных конкреций небольшого размера.
62. Водорослевые и крупнобиокластовые криноидно-водорослевые известняки.....3,8
Основную массу пород (до 60 %) образуют остатки красных (*Ungdarella*) и зеленых (*Donezella* и филлоидных) водорослей. Биокластовый материал, членики криноидей, редкие обломки брахиопод составляют не более 20 % от объема породы. Встречаются единичные, иногда окремненные фрагменты колоний *Chaetetes*. На отмытых поверхностях наблюдаются неясно выраженные косо- и горизонтально слоистые текстуры, обусловленные ориентировкой удлиненных компонентов.

Не обнаженный участок.....5,3

63. Водорослевые и биокластовые известняки.....3,8
В основании пачки в интервале 0,7 м наблюдается переслаивание маломощных слоев (0,2–0,3 м) биоморфных водорослевых известняков с члениками криноидей и шламовых горизонтально слоистых известняков. На них залегает прослой органогенного песчаника мощностью 0,2 м, выше которого наблюдается чередование среднебиокластовых массивных водорослевых и водорослево-фораминиферовых известняков, слагающих пласты 0,5–1,5 м, с полибиокластовыми, менее мощными (0,3–0,6 м). К водорослевым и водорослево-фораминиферовым известнякам приурочены редкие кремни

неправильной формы с сохранившимися органогенными компонентами.

Не обнаженный участок.....2,5

Асатауский горизонт

64. Биокластовые и водорослевые известняки.....2,2
    В основание и кровле данная пачка сложена биокластовыми водорослевыми известняками, в средней части наблюдаются часто переслаивающиеся маломощные (0,1–0,3 м) слои массивных биоморфных водорослевых, криноидно-фораминиферовых, криноидно-водорослевых и полибиокластовых известняков.
65. Светло-серые массивные биоморфные водорослевые известняки.....1,6
    Мощность отдельных пластов – 0,7–0,9 м. Породы содержат редкие желваки темных кремней размером до 0,5–0,7 м в поперечнике.
66. Светло-серые биокластовые известняки.....2,7
    Пачка состоит из трех слоев мощностью 0,2, 0,7, 1,8 м с одинаковым строением. В их основании наблюдаются скопления брахиопод и члеников криноидей, количество которых к кровле слоев заметно уменьшается. В последнем из них встречаются единичные колонии *Chaetetes* (до 6–7 см толщиной и 25 см длиной).
67. Светло-серые биокластово-водорослевые известняки с многочисленными члениками криноидей и кораллами.....11,0
    Мощность отдельных пластов – 0,7–0,9 м. Кораллы в составе пород встречаются редко, только в основании пачки залегает пласт (0,4 м), переполненный кораллами, преимущественно *Syryngopora, Chaetetes* и в меньшей степени *Rugosa*. Колонии кораллов чаще всего захоронены в опрокинутом состоянии. Породы подвержены выборочному окремнению по остаткам крупных биокластов (криноидей и кораллов).

Общая мощность архангельского (верхнебашкирского) подъяруса составляет 58.3 м.

Литологический состав пород

Типы пород

Согласно проведенным исследованиям, изученный разрез сложен преимущественно известняками (см. предыдущий раздел, а также публикации [6, 7]). Среди них можно выделить группы пород *биогенного, хемобиогенного* и *механогенного* генезиса. Биогенные известняки в зависимости от принадлежности и сохранности форменных структурных компонентов подразделяются на *зоогенные, фитогенные, биоморфные* и *биокластовые* разности. Хемобиогенные породы представлены тонкозернистыми разностями *пелитоморфных* и *микробиально-пелитоморфных* известняков. Среди обломочных пород выделяются *известняковые биокластовые песчаники* и *литокластовые известняки*.

Известняки биоморфные зоогенные. Единственный пласт известняков этого типа мощностью 0,4 м встречен в нижней части пачки 67. Он сложен преимущественно колониями кораллов *Syryngopora, Chaetetes* и в меньшей степени *Rugosa*, сильно сгруженных и чаще всего захороненных в опрокинутом состоянии. Для известняков характерно выборочное окремнение по остаткам крупных криноидей и кораллов.

Известняки фитогенные (водорослевые) представлены толстоплитчатыми светлыми, коричневато-серыми, массивными породами. Основная их часть образована остатками водорослей (55–80 %) унгдарелл, березелл (рис. 5 A, B) и донецелл (с преобладанием того или иного вида). Встречается биокластовый материал (5–10 %). Он не окатан и равномерно распределен по объему пород без какой-либо сортировки. Матрикс этих известняков (20–45 %) представлен пятнисто расположенными участками микритового и комковато-сгусткового строения, реже крустификационным и спаритовым поровым цементом. В зависимости от сохранности остатков водорослей в данном типе известняков выделяются *биоморфные* и *фитокластовые* разности.

Известняки биокластовые (рис. 5 C, D) сложены преимущественно средним и крупным биокластовым материалом. Размер органогенных компонентов обычно колеблется от 0,7 до 1,5 мм, в отдельных случаях – до 2,5–3 мм. Наибольшее значение среди них играют водорослевые, фораминиферовые, криноидные и брахиоподовые фрагменты. В зависимости от их количества выделяются водорослево-фораминиферовые и фораминиферо-водорослевые, водорослевые, криноидные, криноидно-водорослевые и брахиоподовые, а также полибиокластовые разности. В значительно меньшей степени встречаются мелкобиокластовые и шламовые известняки.

Известняки пелитоморфные и микробиально-пелитоморфные (рис. 5 E, F) представлены темными, коричневато-серыми породами, на выветрелой поверхности которых часто наблюдается слоистость в виде чередования темных и светлых полосок. При макроскопическом изучении эти породы часто имеют сложное строение и сложные взаимоотношения с другими известняками. К ним часто приурочены своеобразные текстуры «взмучивания» (см. рис. 4 B), образующиеся при переходе пелитоморфных известняков в микробиально-пелитоморфные, реже – в биокластовые. Микроскопически пелитоморфные известняки состоят на 80–95 % из темной микрозернистой массы, в которой рассеян мелкобиокластовый материал. Микробиально-пелитоморфные разности отличаются наличием неясновыраженной микрокомковато-сгустковой структурой.

Мелкообломочные известняковые конгломераты (литокластовые известняки). Обломочный материал в конгломератах слагает до 20–30 % от объема породы (рис. 5 G–J). Обломки известняков в различной степени окатаны и представлены следующими типами: темными (до 15 %) и более светлыми (5 %) пелитомофными и мелкобиокластовыми (на 25 % сложенными водорослями унгдарелла и кальцисферами) известняками, сцементированными микритовым кальцитом (до 10 %). Размер обломочного материала колеблется от первых миллиметров до 5–7 см (преобладают гальки размером около 2–3 см). Матрикс конгломератов представлен биокластовой массой, сложенной мелкими (0,1–0,5 мм) фораминиферами, фрагментами брахиопод, обрывками водорослей унгдарелла, редкими члениками криноидей.

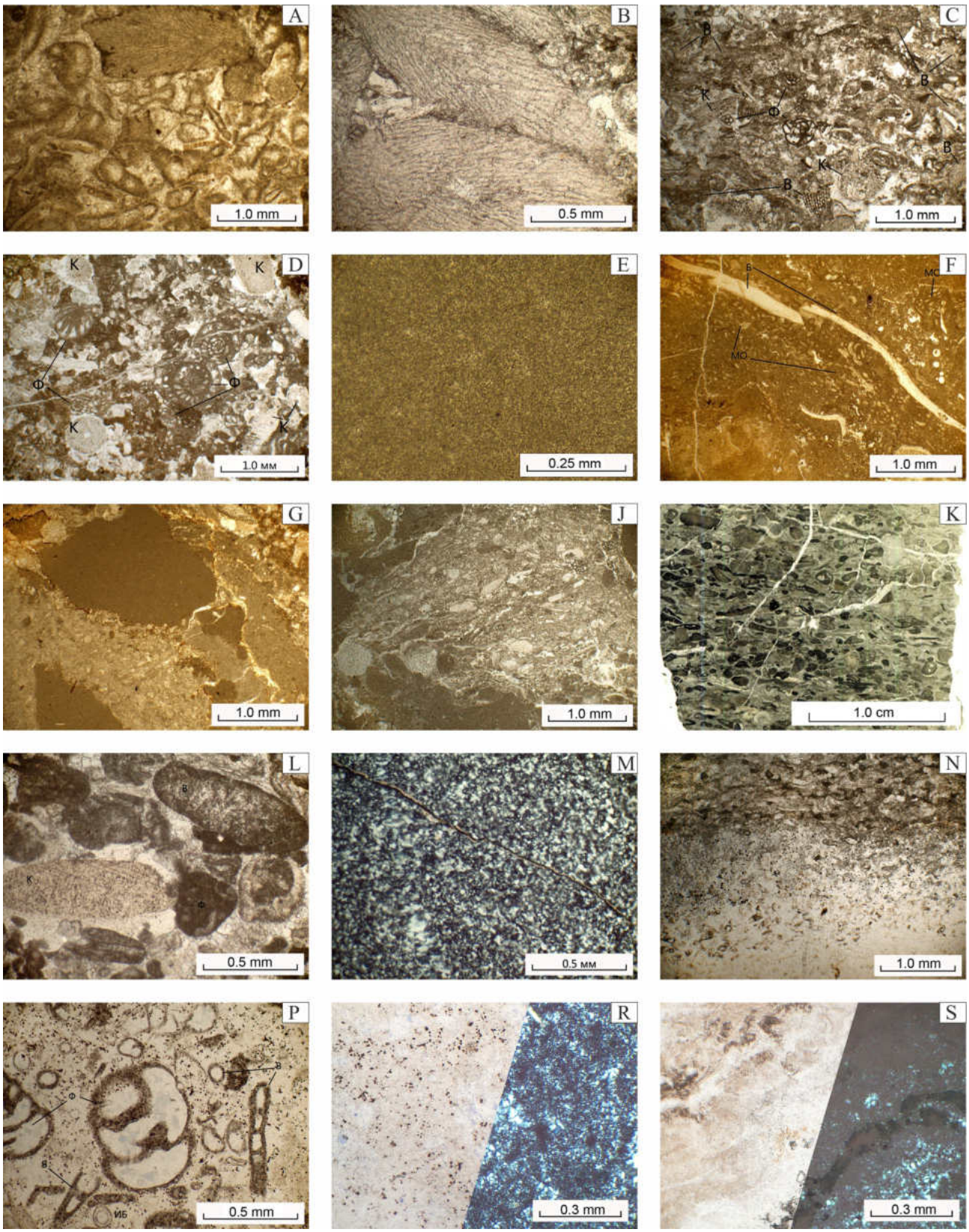


Рисунок 5. Микрофотографии литологических типов известняков (A–K) и особенности строения кремнистых образований (Л–C). A–B – биоморфный водорослевый березелловый (A), шл. 11Шр56/458, и унгдарелловый (B), шл. 11Шр56/454; C – фито-биокластовый водорослево-фораминиферовый, шл. 11Шр56/408; D – биокластовый криноидно-фораминиферовый, шл. 11Шр56/457; E – пелитоморфный, шл. 11Шр56/401; F – тонкостенные раковины брахиопод и микробиальные образования (МО) неясного систематического происхождения в пелитоморфной массе, шл. 11Шр56/403; G – гравелитовый матрикс (обломки пелитоморфных известняков) в известняковом конгломерате, шл. 11Шр56/404; J – биокластовые известняки, выступающие в конгломератах в роли связующей массы, шл. 11Шр56/406; K – известняковый биокластовый песчаник, шл. 11Шр56/406; L – окатанные структурные компоненты в спаритовом (регенерационном) кальците (увеличенный фрагмент K); M – микрогранобластическая текстура кварц-халцедоновой конкреции (шл. 11Шр56/425); N – зона перехода кремня (нижняя часть снимка) к вмещающей породе (шл. 11Шр56/428); P – теневые реликтовые текстуры фораминифер, водорослей

и игл брахиопод в кремнистых образованиях, шл. 11Шр56/436; R–S – микрофотографии кремней с тромболитовыми (R, шл. 11Шр56/435) и строматолитовыми (S, шл. 11Шр56/464) теневыми структурами. Буквенные обозначения на снимках: криноидеи (К), фораминиферы (Ф), водоросли (В), брахиоподы (Б), иглы брахиопод (ИБ). Снимки A–L, N–P и левая сторона R–S сделаны без анализатора, а M и правая сторона R–S – с анализатором.

Figure 5. Microphotographs of thin slices of lithological types of limestones (A–K) and structural features of siliceous concretions (L–C).

A–B – algae biomorphic limestone with Beresella (A, sample 11Шр56/458) and Ungdarella (B, smp. 11Шр56/454); C – phyto-, bioclastic limestone, smp. 11Шр56/408; D – bioclastic limestone, smp. 11Шр56/457; E – pelitomorphic limestone, шл. 11Шр56/401; F – thin-walled brachiopod shells and microbial creations in a pelitomorphic matrix, smp. 11Шр56/403; G – rubbles of pelitomorphic limestones from gravelly matrix of conglomerates, smp. 11Шр56/404; J – bioclastic limestones - matrix of conglomerates, smp. 11Шр56/406; K – bioclastic calcareous sandstone, шл. 11Шр56/406; L – rounded biosparite (enlarged area of the microphotograph K); M – micro granoblastic texture of quartz-chalcedony nodule (smp. 11Шр56/425); N – the transition zone of the chert (lower part of the image) into the host limestone (smp. 11Шр56/428); P – relict textures of foraminifera, algae and brachiopod spines in the chert nodules, smp. 11Шр56/436; R–S – microphotographs of chert thin slices with thrombolite (R, smp. 11Шр56/435) and stromatolite (S, шл. 11Шр56/464) relict structures. Letter designations in the pictures: crinoidea (K), foraminifera (Ф), algae (B), brachiopods (Б), brachiopod spines (ИБ), microbial creations (МО). Pictures A–L, N–P and the left side of R–S were taken without an analyzer, and picture M and right side of R–S were taken with an analyzer.

Известняковые биокластовые песчанники (см. рис. 5 K–L). Породы имеют обычно темную окраску. От биокластовых известняков они отличаются хорошей окатанностью структурных компонентов (рис. 5 J, L). Основную часть этих пород (60–80 %) составляют обломки (0,7–1,3 мм) красных водорослей и морских лилий, в значительном количестве присутствуют слабоокатанные фрагменты раковин брахиопод и фораминифер. Цемент – поровый, сложенный микритовым и спаритовым кальцитом, реже пленочный регенерационный вокруг члеников криноидей.

Вторичные изменения известняков

Грануляция, перекристаллизация и доломитизация. Основные изменения известняков в большей степени проходили на стадии диагенеза. При микроскопическом изучении пород по всему разрезу можно наблюдать признаки пелитизации биокластов, окруженных микробиальными пленками, незначительное кородирование структурных компонентов и формирование регенерационного кальцита вокруг члеников криноидей. Следы перекристаллизации известняки содержат в крайне незначительном количестве. Отмечаются лишь единичные слои в интервале пачек 53–61, где биокластовый материал частично гранулирован. Доломитизация отмечается только в пачке 55 в виде небольших участков в сочетании с порами, выполненными яснокристаллическим кальцитом с тонкими пленками ожелезнения.

Окремнение. В отложениях верхнебашкирского подъяруса присутствуют многочисленные желваки и линзы кремней различного размера и степени замещения пород кремнеземом. Основная их масса приурочена к нижней части разреза. Здесь в составе пород пачек 58 и 61 они встречаются в виде уплощенных стяжений и образований со сложной и причудливой формой, множеством выростов, бугров, шипов, ориентированных как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях. В верхней части разреза (пачки 63, 65) встречаются лишь единичные слои с кремнистыми стяжениями. Вне зависимости от формы, размера и расположения кремни сложены тонко- и микрозернистым халцедоном и кварцем (см. рис. 5 M), практически нацело замещающими известняки. Переход кремень-известняк визуально резкий, поверхность стяжений обычно гладкая, реже шероховатая, однако под микроскопом она размыта и на толщину 0,3–0,5 мм имеет смешанный кремнисто-карбонатный состав (см. рис. 5 N).

Почти во всех случаях в кремнях присутствуют в различной степени сохранности теневые структуры. Преимущественно они совпадают со структурами вмещающих пород (см. рис. 5 P). Обращает на себя внимание, что в биокластово-водорослевых и водорослевых известняках с большим количеством обрывков водорослей *Donezella* (пачки 58, 61 и 65) с микрокомковато-сгустковым матриксом были встречены кремни с теневыми микробиальными структурами. Они образуют прослойки, линзочки и стяжения неправильной формы. Теневые структуры этих кремней можно подразделить на тромболитовые и строматолитовые (см. рис. 5 R–S), образованные в толще частично литифицированных карбонатных биокластово-водорослевых и водорослевых осадков, включавших в себя различное количество микробиальных образований (фенестровый микрокомковато-сгустковый матрикс, тромболитовые желвачки, почкообразные строматолиты) [9].

Распространение выделенных литотипов пород в верхнебашкирском разрезе

Анализ распространения выделенных литотипов по разрезу показывает, что биокластовые известняки слагают большую его часть (см. рис. 3). Среди них водорослево-фораминиферовые (фораминиферо-водорослевые) и водорослевые разности наиболее распространены. Так, *водорослево-фораминиферовые* и *фораминиферо-водорослевые* известняки наблюдаются в основном в нижней части разреза, при незначительном распространении в верхней, где слагают лишь небольшой прослой мощностью 0,5 м. Это толстоплитчатые, массивные, часто в различной степени перекристаллизованные, преимущественно крупнобиокластовые породы. *Водорослевые* разности также слагают основную долю нижней части разреза, хотя в верхней пользуются уже значительно большим распространением по сравнению с водорослево-фораминиферовыми и фораминиферо-водорослевыми. В разрезе встречаются в виде пластов мощностью от 0,5 м до 2–3 м и представлены массивными известняками, образованными прежде всего крупным фитогенным материалом. В верхней части разреза данный тип пород встречается в виде небольших пластов мощностью 0,2–1,0 м, а также слагает 2-метровый интервал (основание пачки 62) толстоплитчатых массивных известняков. *Криноидные* разности слагают лишь небольшой, волнистонаслоенный слой мощностью в 5–6 см в интервале разреза с эрозионным налеганием слоев примерно в 4 м от основания верхнебашкирских отложений. *Криноидно-водорослевые* разности встречаются в верхней части разреза в виде различных по мощности пластов – от 0,2 до 2,7 м. Это породы в основном со сло-

истой (неясной, косой или линзовидной) текстурой, обусловленной распределением органогенных компонентов. *Криноидно-фораминиферовые* известняки встречены только в нижней части разреза и слагают маломощные слои от 0,1 до 0,25 м и представлены темными массивными среднебиокластовыми породами. *Брахиоподовые* разности встречаются также в виде небольших слоев мощностью 15–20 см в нижней части разреза. Известняки *полибиокластовые* пользуются достаточно ограниченным распространением. Они наблюдаются лишь в верхней части разреза в виде небольших слоев мощностью 0,25–0,6 м. Шламовые разности характерны для нижней части разреза, слагают пласты массивных и слоистых известняков мощностью от 0,5 до 2 м.

Пелитоморфные и *микробиально-пелитоморфные слоистые* известняки встречаются в нижней части разреза в виде слоев небольшой мощности 0,05–0,75 м. К ним часто приурочены своеобразные текстуры «взмучивания», приуроченные к зоне перехода пелитоморфных известняков в микробиально-пелитоморфные, реже в биокластовые. Данные текстуры представляют собой или плохо различимую границу между двумя литологическими разностями, или прихотливо изгибающуюся линию, закручивающуюся в сложные витиеватые узоры. Участками она отсутствует, и в этом случае наблюдается постепенный переход от одной разности к другой.

Обломочные известняки встречаются гораздо реже всех остальных литотипов пород. Пачка *известковых мелкообломочных конгломератов* мощностью около 1 м залегает в основании верхнебашкирских отложений. *Известняковые биокластовые песчанники* слагают лишь линзы неясно слоистого характера мощностью 10–20 см в основании пачки 63 и средней части пачки 64.

Изотопный состав углерода и кислорода в верхнебашкирских известняках

Изотопный состав углерода и кислорода известняков изученных отложений варьирует в широких пределах: $\delta^{13}C_{PDB}$ = 0,3...3,9 ‰, $\delta^{18}O_{SMOW}$ = 19,0...24,3 ‰ (табл. 2) [10]. Как можно заметить, область полученных значений находится за пределами поля современных осадочных морских карбонатов ($\delta^{13}C$ = –2...2 ‰; $\delta^{18}O$ > 28 ‰) [11–13]. В то же время среднестатистический состав стабильных изотопов углерода верхнебашкирских карбонатных отложений, полученный из брахиопод и слабоизмененных карбонатов Восточно-Европейской платформы [14, 15], находится в пределах 3,6...6,5 ‰ (среднее арифметическое – 5,5 ‰ PDB), кислорода – 18,9...29,0 ‰ (среднее арифметическое –

Таблица 2

Результаты анализа изотопного состава углерода и кислорода в верхнебашкирских породах из обн. 56 (река Шаръю, гряда Чернышева)

Table 2

The carbon and oxygen isotope value of the Late Bashkirian rocks from the outcrops #56 (Shar`uy river, Chernyshev Ridge)

Шифр обнажения	Пачка	Образец	$\delta^{13}C$, ‰	$\delta^{18}O$, ‰	Пачка	Образец	$\delta^{13}C$, ‰	$\delta^{18}O$, ‰	Пачка	Образец	$\delta^{13}C$, ‰	$\delta^{18}O$, ‰
11Шр 56	52	и-120	1,40	23,10	59	и-146	0,80	19,50	63	и-179	2,90	21,60
	53	и-121	2,00	22,30		и-147	1,70	22,50		и-181	3,10	23,50
		и-122	2,20	22,50		и-149	1,00	21,30		и-183	3,10	22,60
		и-123	0,30	23,20	60	и-150	0,90	23,40		и-185	2,90	23,70
		и-124	1,70	22,50		и-151	2,60	22,70	64	и-187	3,40	22,30
	54	и-125	2,40	22,90		и-153	2,60	22,50		и-189	3,40	23,10
		и-126	2,80	22,70		и-154	2,80	22,60		и-191	3,60	23,50
		и-127	2,60	24,10		и-155	2,70	21,90	65	и-193	3,70	22,60
	55	и-128	2,70	24,10		и-157	2,70	22,30	66	и-195	3,80	23,60
		и-129	3,10	22,70		и-158	2,70	21,60		и-197	3,30	23,70
		и-130	2,70	21,80	61	и-159	2,90	21,10		и-199	3,80	21,60
	56	и-131	2,80	22,40		и-161	3,00	21,90	67	и-201	3,7	21,7
		и-132	2,80	22,80		и-162	3,00	21,50		и-202	3,8	22
		и-133	2,80	22,80		и-163	2,90	21,80		и-203	3,8	22,6
	57	и-134	2,40	22,00		и-165	2,80	22,90		и-204	3,6	21,3
		и-135	2,60	23,40		и-166	2,50	22,70		и-205	3,6	21,7
	58	и-137	2,30	21,80		и-167	2,60	22,80		и-206	3,7	22,7
		и-138	2,00	21,10	62	и-169	3,10	21,70		и-207	3,7	22,6
		и-139	1,50	21,30		и-170	3,00	22,30		и-208	3,8	23,1
		и-141	1,50	22,40		и-171	3,00	23,40		и-209	3,9	22,4
	59	и-142	0,70	19,00		и-173	2,80	23,90		и-210	3,5	24,3
		и-143	1,00	20,20		и-175	2,60	22,70		и-211	3,6	21,9
		и-145	1,90	22,60		и-177	2,90	21,90				

Примечание. * Значения $\delta^{13}C$ приведены к стандарту PDB, $\delta^{18}O$ – SMOW. Анализы проводились И.В. Смолевой в ЦКП «Геонаука» ИГ Коми НЦ УрО РАН.
Note. * $\delta^{13}C$ values fit the PDB standard, $\delta^{18}O$ – SMOW standard. Analyses were conducted at Geonauka Center for Collective Use of the IG Komi SC UB RAS by I.V. Smoleva.

28,85 ‰ SMOW[1]), а в гипостратотипе башкирского яруса – в разрезе р. Аскын $\delta^{13}C$ = 0,7…4,1 ‰; $\delta^{18}O$ = 24,4…30,0 ‰ [13]. В то же время результаты анализа изотопного состава углерода и кислорода изученных пород в изученном разрезе (см. рис. 3) показывают, что вариации $\delta^{13}C_{PDB}$ и $\delta^{18}O_{SMOW}$ зависят как от литологического состава пород, так и от их стратиграфической приуроченности. На этом основании отложения архангельского подъяруса в изученном разрезе разделены на пять интервалов (см. рис. 3): I – пачки 52–59, II – пачки 60, 62, III – пачка 63, IV – пачки 64, 65, V – пачки 66, 67.

Разрез первого из них мощностью 14,5 м сложен преимущественно мелко- и тонкобиокластовыми известняками с обилием кремнистых стяжений. Величины изотопного состава углерода и кислорода на этом интервале преимущественно уменьшаются в среднем на 3–4 ‰. Интересно, что эти величины здесь меняются вслед за изменениями условий осадконакопления, образующими четыре трансгрессивных последовательности, сложенных отличными друг от друга ассоциациями пород (см. рис. 3).

В основании разреза после слоя с известняковым конгломератом выступает ассоциация известняков, тонко-мелкозернистых, пелитоморфно-микробиальных, шламовых и фитокластово-шламовых (пачки 52, 53). Сменяет их по разрезу пачка брахиоподово-криноидных мелкобиокластовых известняков (пачка 54). На этих двух интервалах значения $\delta^{18}O$ варьируют около среднего в пределах 22,3…23,2 ‰, а изотопный состав углерода постепенно утяжеляется от 1,40 до 2,8 ‰. На границе между ними в пробе из известняков средней части пачки 53 (11Шр56/53и-123) с текстурами интенсивного взмучивания и эрозионной поверхности наблюдается аномальная величина $\delta^{13}C$ =0,3 ‰ (см. рис. 3). На интервале пачек 55–58 преобладают шламовые и мелкозернистые био-фитокластовые известняки, часто содержащие мелкие желваки и прослои кремней. Изотопный состав как углерода, так и кислорода на этом интервале постепенно облегчается и в шламовых известняках пачки 58 достигает соответственно 1,5 и 21,3 ‰. В пачке 59, сложенной массивным тонко-мелкозернистым, почти белым известняком, наблюдаются резкие синхронные колебания изотопных соотношений с амплитудой 1,5 ‰ ($\delta^{13}C$) и 3,5 ‰ ($\delta^{18}O$), обусловленные, по всей видимости, влиянием совокупности седиментационных и эпигенетических факторов. Так, несмотря на визуальное однородное строение, известняк данной пачки имеет довольно разнообразный литологический состав. Согласно микроскопическому изучению шлифов пород, здесь снизу вверх по разрезу наблюдается смена шламового известняка (обр. 58Шр56/919а) микробиально-фитокластовым (обр. 11Шр56/430) и фитокластовым (обр. 58Шр56/919в). Меняется состав основных и второстепенных компонентов пород. В средней части пачки преобладают обрывки талломов сифониковых водорослей, а в верхней — унгдарелл. В шламовом известняке отмечается лишь редкая примесь мелкого криноидного лома, выше него порода содержит уже небольшое количество мелко-среднеразмерной полибиокластовой примеси (криноидеи, брахиоподы, фораминиферы), а ближе к кровле количество мелких обломков члеников криноидей достигает 5 %.

Визуальные проявления эпигенетических процессов (трещиноватости, кальцитовых прожилков, стилолитов, грануляции компонентов и перекристаллизации) в породах данного интервала отсутствуют. В отличие от вмещающих пород известняки пачки 59 имеют светлую, практически белую окраску. А в составе пород отмечаются пониженные содержания стронция (среднее по разрезу равно 250 г/т), в то же время соотношения содержаний Mn/Sr близки к 1 (пороговому значению для не измененных известняков [17]).

На интервале II (пачки 60–62) мощностью 12,7 м разрез сложен сериями светлых водорослевых и биокластово-водорослевых известняков с единичными слоями, содержащими желваки кремней. Изотопный состав углерода здесь устанавливается в пределах 2,5…3,1 ‰, а кислорода – 21,1…23,9 ‰. На границе с отложениями предыдущего интервала наблюдается выход линзы известнякового биокластового песчаника (обр. 11Шр56/60и-150) с аномальным изотопным составом. В нем $\delta^{13}C$, так же как и в подстилающем слое, равна 0,90 ‰, а $\delta^{18}O$ больше близки к значениям перекрывающих слоев 23,40 ‰ (см. рис. 3).

По литологическому составу на этом интервале снизу вверх по разрезу последовательно сменяются три породных ассоциации: фитокластовых и биоморфных водорослевых известняков (пачка 60); мелкозернистых био-фитокластовых, фитокластовых и известняков с кремнями (пачка 61); биоморфных водорослевых известняков (пачка 62). Как можно заметить, породы этих ассоциаций сложены преимущественно водорослевыми остатками. Однако по родовой принадлежности и размеру они имеют значительные отличия. В нижней части пачки 60 среди основных структурных компонентов преобладают обрывки красных водорослей *Ungdarella* грубой размерности, выше по разрезу до верхней части пачки 62 – мелко- и среднеразмерные остатки зеленых водорослей *Donezella* и *Dvinella*, а до конца пачки 62 в биоморфных известняках – водоросли *Ungdarella*. Одновременно с данными изменениями происходят колебания состава изотопов кислорода: в пачке 60 облегчается от 23,0 до 21,1 ‰, в пачке 61 утяжеляется до 22,8, в основании пачки 62 резко падает до 21,7 ‰, затем возрастает к 23,9 ‰ и снова падает до 21,9 ‰.

Отложения III интервала (пачка 63) отделены от вмещающих отложений не обнаженными участками. На этом интервале залегают пластовые преимущественно микробиально-фитокластовые известняки с включениями редких кремней неправильной формы и прослоями биоморфных водорослевых, шламовых и микробиальных карбонатов. При этом в составе структурных компонентов по всему объему преобладают остатки зеленых водорослей и микробиальных образований. Изотопный состав углерода здесь устанавливается в пределах 2,9…3,1 ‰, а кислорода – скачкообразно утяжеляется от 21,6 до 23,7 ‰.

На интервале IV (мощностью 3,8 м) породные ассоциации по литологическому составу и строению в пачке 64 схожи с подстилающими отложениями, где было выявлено чередование пластовых фитокластовых известняков и серий тонкоплитчатых известняковых песчаников, био-

[1] Пересчитано по формуле $\delta^{18}O_{SMOW}$ = 1,03091 $\delta^{18}O_{PDB}$ + 30,91 ‰ [16].

морфных водорослевых и криноидно-фораминиферовых разностей. Разрез пачки 65 сложен толстоплитчатыми биоморфными водорослевыми известняками с редкими крупными желваками темных кремней. В составе пачки отмечается частая смена слоев, образованных водорослевыми остатками различной родовой принадлежности. Если в основании данной толщи среди породообразующих компонентов известняков талломы красных и зеленых водорослей встречаются в равной степени, то выше по разрезу наблюдается чередование слоев био-фитокластовых известняков, в которых преобладают либо первые, либо вторые, а также микробиальные образования. Изотопный состав углерода здесь находится в пределах 3,4...3,7 ‰, а $\delta^{18}O$ постепенно увеличивается от 22,3 до 23,5 ‰.

Отложения интервала V (мощностью 13,7 м) образованы толстоплитчатыми биокластово-водорослевыми известняками с заметным содержанием члеников криноидей и редкими обломками колоний кораллов *Chetetis, Syryngopora* и *Rugosa* (размером до 25 см в наибольшем измерении). В разрезе данной части разреза последовательно наблюдается смена интервалов, сложенных ассоциациями известняков: крупнокомпонентных био-фитокластовых и фито-биокластовых известняков (основная часть пачки 66); биоморфных водорослевых; среднекомпонентных фитокластовых; средне-мелкокомпонентных био-фитокластовых и биокластовых (см. рис. 3). В составе пород данного интервала, как и в отложениях интервала IV, основную роль попеременно играют остатки зеленых и красных водорослей. В большей степени здесь встречаются органогенные компоненты, особенно фораминиферы, например, в ассоциации биоморфных водорослевых известняков (основание пачки 67). В то же время в отличие от вмещающих толщ породы подвержены лишь выборочному окремнению по некоторым членикам криноидей или фрагментам кораллов.

Изотопный состав углерода интервала V в ассоциации крупнокомпонентных био-фитокластовых и фито-биокластовых известняков (пачка 66) слегка облегчается на 0,5 ‰, а выше утяжеляется на ту же величину и устанавливается в пределах 3,5...3,9 ‰. В то же время величины $\delta^{18}O$ варьируют в пределах 21,3...24,3 ‰. В целом изотопный состав кислорода имеет тенденцию к утяжелению с тремя отрицательными скачками в основании ассоциации биоморфных водорослевых известняков (до 21,7 ‰), в основании пачки фитокластовых известняков (до 21,3 ‰) и на границе с отложениями московского яруса (до 21,9 ‰).

Условия осадконакопления

Обращает на себя внимание, что от одного выделенного интервала разреза к другому меняется не только их литологическое содержание, напластование и изотопно-геохимический состав, но и ритмичность отложений (см. рис. 3). По характеру развития и смене трансгрессивно-регрессивных последовательностей можно предположить, что выделенные интервалы соответствуют отдельным седиментационным циклам.

Первый из них накапливался, по всей видимости, в относительно нестабильной гидродинамической обстановке. Дно палеобассейна в это время испытывало регулярные кратковременные резкие поднятия и более медленные опускания. В результате этих процессов в разрезе данного цикла формировались только трансгрессивные последовательности обычно небольшой мощности (до 2–3 м). К основанию этих последовательностей приурочены обычно литокластовые и мелкобиокластовые известняки, а в породах наблюдаются текстуры интенсивного взмучивания осадка и эрозионные срезы (см. рис. 3). В средней и заключительной частях данных трансгрессивных последовательностей в ассоциации с пелитоморфными и шламовыми известняками наблюдаются уровни окремнения, характеризующиеся развитием разнообразных по морфологии и размеру кремневых образований, что является весьма характерным для среднекаменноугольных отложений на Печорском Урале [18].

Отложения второго седиментационного цикла накопились в более спокойной гидродинамической обстановке. Основная часть этих пород относится к группам биоморфных водорослевых и фито-кластовых известняков, что говорит о господстве относительно мелководных условий осадконакопления с образованием основной части породообразующих компонентов в фотической зоне моря. Скорость колебания уровня моря в это время была более продолжительной, чем ранее. На это указывает наличие в строении седиментационного цикла относительно более мощных (4–5 м) последовательностей как трансгрессивного, так и регрессивного типа (см. рис. 3). В основании первых отмечаются известняковые песчаники и водорослевые (унгдарелловые) известняки с неясно выраженными косослоистыми текстурами, а после максимума трансгрессии накапливался уже мелко-среднеразмерный биокластовый материал и обрывки талломов зеленых водорослей, а также формировались желваки кремней различной морфологии [Там же].

Несколько схожие обстановки осадконакопления господствовали во время формирования III и IV седиментационных циклов. В их строении также участвуют и трансгрессивные, и регрессивные последовательности. Однако мощность отдельных циклитов не превышает 1 м, что может свидетельствовать о более частых эвстатических колебаниях. Большинство изученных пород этих циклов скреплены микритовым материалом, и лишь в основании трансгрессивных последовательностей – спаритовым цементом. Море так же, как и прежде, было относительно мелководным, на что указывает большое количество фитокластового материала. Возможно, в это время зона формирования верхнебашкирских отложений Средних ворот на р. Шаръю находилась в области развития шельфовых лагун со свободным водообменом. И именно из-за этого в составе пород наблюдается смешение различных типов структурных компонентов: известкового пелитового материала, мелко-среднеразмерных изредка окатанных биокластов и водорослевых фрагментов, а также большое количество микробных образований. В породах этих двух седиментационных циклов также наблюдаются желваки кремней в виде образований неправильной причудливой формы, однако центрами стяжения кремнистого материала, по нашим данным, служили микробные образования (рис. 5 R, S) [9].

Во время формирования V седиментационного цикла обстановки осадконакопления снова установились относительно более глубоководными. Циклиты снова стали более продолжительными. Однако гидродинамика, возможно, еще оставалась весьма активной. Например, на границе регрессивного и трансгрессивних последовательностей выступает пласт (0,4 м) коралловых известняков, в которых колонии захоронены в опрокинутом состоянии. В составе пород отмечается, кроме водорослей, большое количество биокластового материала – члеников криноидей, обломков раковин брахиопод и фрагментов колоний кораллов.

Заключение

Мощность верхнебашкирских отложений в разрезе Средних ворот на р. Шаръю составляет 58,3 м. По фауне фузулинид они подразделяются на ташастинский и асатауский горизонты архангельского подъяруса. Нижняя граница (с аскынбашским подъярусом) проводится по первому появлению *Ozawainella* и *Pseudostaffella gorskyi* (Dutk.). В обн. 56 (см. рис. 2) литологически она хорошо выражена. На этом уровне выступает тектонически смятая пачка (1 м) с мелкообломочными конгломератами (пачка 51). Граница ташастинского и асатауского горизонтов попадает на не обнаженный интервал перед пачкой 64 (см. рис. 3), в которой А.И. Николаевым определены *Tikhonovichiella nibelensis* (Raus.) [3]. Граница с отложениями московского яруса соответствует смене в разрезе пластовых серых известняков с большим количеством криноидей и кораллов (пачка 67) желтовато-серыми мелкобиокластовыми известняками с крупными (до 1 м в поперечнике) желваками кремней и с фузулинидами *Depratina prisca* (Deprat) [4].

Условия осадконакопления в начале позднебашкирского времени некоторое время находились под влиянием процессов, приведших к падению уровня моря с литокластовых известняков на рубеже аскынбашского и архангельского веков. Это хорошо видно по характеру ритмичности и построению элементарных циклитов седиментационного цикла I (пачки 52–59), в которых краткосрочные трансгрессии часто сменяются резкими регрессиями. Последующие седиментационные циклы были образованы в относительно более глубоководных условиях. В их строении элементарные циклиты состоят как из трансгрессивных, так и регрессивных последовательностей.

Отличия условий седиментации в разрезе хорошо заметны как по литологическому составу пород, так и по тенденциям изменения изотопии углерода и кислорода в известняках. Так, в основании разреза на интервале пачек 52–54 последовательно выступают ассоциации известняков тонко-мелкозернистых и пелитоморфно-микробиальных, шламовых и фитокластово-шламовых, брахиоподово-криноидных мелкобиокластовых. Здесь сначала наблюдаются постепенное увеличение в составе известняков $\delta^{13}C$ от 1,40 до 2,8 ‰ и незначительные вариации $\delta^{18}O$ около среднего в пределах 22,3…23,2 ‰, затем субсинхронное облегчение $\delta^{13}C$ от 3,1 до 1,5 ‰ и $\delta^{18}O$ от 24,1 до 21,3 ‰, а в пачке 59 — резкие синхронные колебания отношений около средних значений $\delta^{13}C$ 1,18 ‰ и $\delta^{18}O$ 20,85 ‰. Причем в слоях, отвечающих моментам резких регрессий, отмечены аномальные падения $\delta^{13}C$: до 0,3 ‰ (11Шр56/53и-123) и до 0,9 ‰ (11Шр60/53и-150).

Выше по разрезу существенно меняется литологический состав отложений. Так, основная часть пород второго седиментационного цикла относится к группам биоморфных водорослевых и фитокластовых известняков. В известняках III и IV седиментационных циклов основными структурными компонентами выступают известковый пелитовый материал, мелко-среднеразмерные биокласты, иногда окатанные, и водорослевые фрагменты, а также большое количество микробных образований. В составе пород V цикла, кроме водорослей, отмечается большое количество биокластового криноидного, брахиоподового и кораллового материалов. В изотопной системе от основания пачки 60 до кровли башкирских отложений наблюдается постепенное утяжеление средних значений $\delta^{13}C$ от 2,75 до 3,69 ‰. При этом вариации соотношений изотопов углерода в отдельных пачках незначительны. Средние значения соотношений изотопов кислорода практически не меняются и равны 22,18…22,88 ‰ с отклонениями 2–3 ‰. Такой разброс происходит за счет постепенного изменения величин $\delta^{18}O$ на отдельных интервалах: пачки 60, 62 (верхняя часть) и 66 — уменьшение; пачки 61, 62 (нижняя часть), 63–65, 67 — увеличение. Описанная тенденция может быть обусловлена постепенным установлением условий нормально-морского осадконакопления, с периодическими активизациями гидродинамического режима.

Литература

1. Елисеев, А.И. Стратиграфия и литология каменноугольных отложений гряды Чернышева / А.И. Елисеев; отв. ред. А.А. Чернов. – Москва–Ленинград: Изд-во АН СССР, 1963. – 173 с.
2. Постановление о расчленении на подъярусы башкирского и московского ярусов каменноугольной системы / отв. ред. А.И. Жамойда // Постановления межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий. Выпуск 36. – Санкт-Петербург: ВСЕГЕИ, 2006. – С. 10–13.
3. Николаев, А.И. Фораминиферы и зональная стратиграфия башкирского яруса востока Тимано-Печорской провинции / А.И. Николаев. – Санкт-Петербург: Недра, 2005. – 158 с. – (Бюлл. ВНИГРИ № 2, 2005).
4. Sandula, A.N. The stratigraphy of The Upper Bashkirian deposits of The Middle Gate outcrop of the Shar'yu River (Chernyshev ridge) (Стратиграфия верхнебашкирских отложений Средних ворот р. Шаръю (гряда Чернышева) / A.N. Sandula // Abstract Volum. Kazan Golovkinsky Stratigraphic Meeting, 2019. – Fifth All-Russian Conference "Upper Paleozoic of Russia." – September 24–28, 2019, Kazan, Russia. – Казань, 2019. – С. 215–216.
5. Сандула, А.Н. Известняковые брекчии в каменноугольных отложениях Печорского Урала / А.Н. Сандула; отв. ред. А. И. Елисеев. – Екатеринбург: УрО РАН, 2008. – 143 с.

6. Симакова, Л.А. Особенности литологического строения верхнебашкирских отложений р. Шаръю / Л.А. Симакова // Геолого-археологические исследования в Тимано-североуральском регионе. Доклады 14 науч. конф. – Сыктывкар: Геопринт, 2011. – С.11–15.
7. Сандула, А.Н. Литология ташастинского горизонта башкирского яруса среднего карбона в разрезе р. Шаръю (гряда Чернышева) / А.Н. Сандула, Л.А. Шмелёва // Геология и минеральные ресурсы европейского северо-востока России: материалы XVI Геологического съезда Республики Коми. – Сыктывкар: Геопринт, 2014а. – С 266–267.
8. Кулагина, Е.И. Граница башкирского и московского ярусов (средний карбон) на южном Урале в свете развития фузулинид / Е.И. Кулагина // Бюл. МОИП. Отд. геол. – 2008 – Т. 83, вып. 1. – С. 33–44.
9. Сандула, А.Н. Кремни и микробиолиты верхнебашкирских отложений на р. Шаръю (гр. Чернышева) / А.Н. Сандула // Водоросли в эволюции биосферы: мат-лы II палеоальгологической конф. (10–16 октября 2016 г.) / под ред. Н.К. Лебедевой, А.А. Горячевой. – Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2016. – С. 148–150.
10. Сандула, А.Н. Изотопия углерода и кислорода отложений ташастинского горизонта р. Шаръю (башкирский ярус, средний карбон, гряда Чернышева) / А.Н. Сандула, Л.А. Шмелёва // Виртуальные и реальные литологические модели: материалы 10-го Уральского литологического совещания. – Екатеринбург: 2014б. – С. 169–170.
11. Кулешов, В.Н. Эволюция изотопных систем углекислотно-водных систем в литогенезе. Сообщение 1. Седиментогенез и диагенез / В.Н. Кулешов // Литология и полезные ископаемые. – 2001. – № 5. – С. 491–508.
12. Кулешов, В.Н. Марганцевые породы и руды: геохимия изотопов, генезис, эволюция рудогенеза / В.Н. Кулешов; отв.ред. М.А. Федонкин. – Москва: Научный мир, 2013. – 508 с. – (Тр. ГИН РАН, Вып. 606).
13. Кулешов, В.Н. Гипостратотип башкирского яруса каменноугольной системы (р. Аскын, Башкортостан): литология, изотопные особенности ($\delta^{13}C$, $\delta^{18}O$) и условия образования карбонатных пород / В.Н. Кулешов, К.М. Седаева, В.М. Горожанин, Е.Н. Горожанина // Стратиграфия. Геол. корреляция. – 2018. – № 6. – С. 41–64.
14. Bruckschen, P., Oesmann, S., Veizer, J. Isotope stratigraphy of the European Carboniferous: proxy signals for ocean chemistry, climate and tectonics // Chemical Geology. – 1999. – V. 161. – P. 127–163.
15. Mii, H.-S., Grossman, E.L., Yancey, T.E., Chuvashov, B., Egorov, A. Isotopic records of brachiopod shells from the Russian Platform – evidence for the onset of mid-Carboniferous glaciation // Chemical Geology. – 2001. – V. 175. – P. 133–147.
16. Hoefs, J. Stable isotope geochemistry. 5th, completely rev., updated, and enl. – Springer, New York, 2004. – 244 p.
17. Кузнецов, А.Б. Изотопный состав Sr в карбонатных породах Каратавской серии Южного Урала и стандартная кривая вариаций отношения 87Sr/86Sr в позднерефейском океане / А.Б. Кузнецов, М.А. Семихатов, И.М. Горохов, Н.Н. Мельников, Г.В. Константинова [и др.] // Стратиграфия. Геол. корреляция. – 2003. – Т. 11, № 5. – С. 3–39.
18. Сандула, А.Н. Кремнистые образования в карбонатных породах среднего карбона бассейна Верхней Печоры / А.Н. Сандула, Е.С. Пономаренко // Литогенез и геохимия осадочных формаций. – № 6. – Сыктывкар: Геопринт, 2007. – С. 32–45. – (Тр. ИГ КНЦ УрО РАН. Вып. 121).

Reference

1. Eliseev, A.I. Stratigrafiya i litologiya kamennougolnyh otlozhenij gryady Chernysheva [Stratigraphy and lithology of Carboniferous deposits of the Chernyshev Ridge] / A.I. Eliseev; executive editor A.A. Chernov – Moscow–Leningrad: Publishing house of the Academy of Sciences of the USSR, 1963. – 173 p.
2. Postanovlenie o raschlenenii na podjarusy bashkirskogo i moskovskogo yarusov kamennougolnoj sistemy [Resolution on the division of the Bashkirian and Moscowian of the Carboniferous] / executive editor A.I. Zhamoida // Postanovleniya mezhvedomstvennogo stratigraficheskogo komiteta i ego postoyannyh komissij [Resolutions of the interdepartmental stratigraphic committee and its permanent commissions]. – Issue 36. – St. Petersburg: VSEGEI, 2006. – P. 10–13.
3. Nikolaev, A.I. Foraminifery i zonalnaya stratigrafiya bashkirskogo yarusa vostoka Timano-Pechorskoj provintsii [Foraminifera and zonal stratigraphy of the Bashkirian of the East of the Timan-Pechora province] / A.I. Nikolaev. – St. Petersburg: Nedra, 2005. – 158 p. (Bull. VNIGRI No. 2, 2005).
4. Sandula, A.N. The stratigraphy of The Upper Bashkirian deposits of The Middle Gate outcrop of the Sharyu River (Chernyshev ridge) / A.N. Sandula // Abstract Volume. Kazan Golovkinsky Stratigraphic Meeting, 2019. – Fifth All-Russian Conference "Upper Paleozoic of Russia." – September 24–28, 2019, Kazan, Russia. – Kazan, 2019. – P. 215–216.
5. Sandula, A.N. Izvestnyakovye brekchii v kamennougolnyh otlozheniyah Pechorskogo Urala [Limestone breccias in carboniferous deposits of the Pechora Urals] / A.N. Sandula; executive editor A.I. Eliseev. – Yekaterinburg: Ural Branch of the RAS, 2008. – 143 p.
6. Simakova, L.A. Osobennosti litologicheskogo stroeniya verhnebashkirskih otlozhenij r. Sharyu [Features of the lithological structure of the Upper Bashkirian deposits of the Sharyu river] / L.A. Simakova // Geologo-arheologicheskie issledovaniya v timano-severouralskom regione. Doklady 14 nauch. konf. [Geological and archaeological research in the Timan-North Ural region. Reports of the 14th scientific conference] – Syktyvkar: Geoprint, 2011. – P. 11–15.
7. Sandula, A.N. Litologiya tashastinskogo gorizonta bashkirskogo yarusa srednego karbona v razreze r. Sharyu (gryada Chernysheva) [Lithology of the Tashastinsky

horizon of the Bashkirian of the Middle Carboniferous in the section of the Sharyu River (Chernyshev ridge)] / A.N. Sandula, L.A. Shmeleva // Geologiya i mineralnye resursy evropejskogo severo-vostoka Rossii: Materialy XVI Geologicheskogo sjezda Respubliki Komi [Geology and mineral resources of the European North-East of Russia: Proceedings of the XVI Geological Congress of the Komi Republic]. – Syktyvkar: Geoprint, 2014a. – P. 266–267.
8. Kulagina, E.I. Granica bashkirskogo i moskovskogo yarusov (srednij karbon) na yuzhnom Urale v svete razvitiya fuzulinid [The border of the Bashkirian and Moscowian (Middle Carboniferous) in the Southern Urals in the light of the development of the Fuzulinids] / E.I. Kulagina // Bull. of MOIP [Moscow Society of Naturalists]. Department of Geology. – 2008 – Vol. 83, issue 1. – P. 33–44.
9. Sandula, A.N. Kremni i mikrobiality verhnebashkirskih otlozhenij na r. Sharyu (gr. Chernyshyova) [Cherts and microbialites of the Upper Bashkirian deposits on the Sharyu River (Chernyshev ridge)] / A.N. Sandula // Algae in the evolution of the biosphere: materials of the II paleoalgological conference (October 10–16, 2016) / ed. by N. K. Lebedeva, A. A. Goryacheva. – Novosibirsk: Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of the RAS, 2016. – P. 148–150.
10. Sandula, A.N. Izotopiya ugleroda i kisloroda otlozhenij tashastinskogo gorizonta r. Sharyu (bashkirskij yarus, srednij karbon, gryada Chernysheva) [Isotopy of carbon and oxygen deposits of the Tashastinsky horizon of the Sharyu River (Bashkian, Middle Carboniferous, Chernyshev ridge)] / A.N. Sandula, L.A. Shmeleva // Virtual and real Lithological Models: Proceedings of the 10th Ural Lithological Conference. – Yekaterinburg: 2014b. – P. 169–170.
11. Kuleshov, V.N. Evolyuciya izotopnyh sistem uglekislotno-vodnyh sistem v litogeneze. Soobshchenie 1. Sedimentogenez i diagenez [Evolution of isotopic systems of carbon dioxide-water systems in lithogenesis. Message 1. Sedimentogenesis and diagenesis] / V.N. Kuleshov // Lithology and minerals. – 2001. – No. 5. – P. 491–508.
12. Kuleshov, V.N. Margancevye porody i rudy: geohimiya izotopov, genezis, evolyuciya rudogeneza [Manganese rocks and ores: geochemistry of isotopes, genesis, evolution of ore genesis] / V.N. Kuleshov; executive editor M.A. Fedonkin. – Moscow: Nauchnyj mir, 2013. – 508 p. (Proceedings of the Institute of Geology of the RAS, issue 606).
13. Kuleshov, V.N. Gipostratotip bashkirskogo yarusa kamennougolnoj sistemy (r. Askyn, Bashkortostan): litologiya, izotopnye osobennosti ($\delta^{13}C$, $\delta^{18}O$) i usloviya obrazovaniya karbonatnyh porod [Hypostratotype of the Bashkirian stage of the Carboniferous system (Askyn River, Bashkortostan): lithology, isotopes ($\delta^{13}C$, $\delta^{18}O$), and carbonate depositional settings)] / V.N. Kuleshov, K.M. Sedaeva, V.M. Gorozhanin, E.N. Gorozhanina // Stratigraphy. Geological correlation. – 2018. – No. 6. – P. 41–64.
14. Bruckschen, P., Oesmann, S., Veizer, J. Isotope stratigraphy of the European Carboniferous: proxy signals for ocean chemistry, climate and tectonics // Chemical Geology. – 1999. – Vol. 161. – P. 127–163.
15. Mii, H.-S., Grossman, E. L., Yancey, T. E., Chuvashov, B., Egorov, A. Isotopic records of brachiopod shells from the Russian Platform – evidence for the onset of mid-Carboniferous glaciation // Chemical Geology. – 2001. – Vol. 175. – P. 133–147.
16. Hoefs, J. Stable isotope geochemistry. 5th, completely rev., updated, and enl. – Springer, New York, 2004. – 244 p.
17. Kuznetsov, A. B. Izotopnyj sostav Sr v karbonatnyh porodah Karatavskoj serii Yuzhnogo Urala i standartnaya krivaya variacij otnosheniya 87Sr/86Sr v pozdnerefejskom okeane [Isotopic composition of Sr in carbonate rocks of the Karatovskaya series of the Southern Urals and the standard curve of variations of the 87Sr/86Sr ratio in the Late Pacific Ocean] / A.B. Kuznetsov, M.A. Semihatov, I.M. Gorohov, N.N. Melnikov, G.V. Konstantinova [et al.] // Stratigraphy. Geological correlation. – 2003. – Vol. 11, No. 5. – P. 3–39.
18. Sandula, A.N. Kremnistye obrazovaniya v karbonatnyh porodah srednego karbona bassejna Verhnej Pechory [Siliceous formations in carbonate rocks of the Middle carboniferous of the Upper Pechora basin] / A.N. Sandula, E.S. Ponomarenko // Lithogenesis and geochemistry of sedimentary formations. – No. 6. – Syktyvkar: Geoprint, 2007. – P. 32–45. (Proceedings of the Institute of Geology, Komi Science Centre, Ural Branch of the RAS. Isuue 121).

Благодарность (госзадание)

Работа выполнена в рамках темы НИР государственного задания ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН № 1021062311457-5-1.5.6 (FUUU-2022-0054).

Информация об авторах:

Сандула Андрей Николаевич — кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник Института геологии имени академика Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН; SPIN-код: 8473-9675, https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=123202, Scopus Author ID: 36774125600, https://orcid.org/0000-0001-6885-7965 (Российская Федерация, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54; e-mail: sandula@geo.komisc.ru).

Шмелёва Любовь Алексеевна — младший научный сотрудник Института геологии имени академика Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН; SPIN-код: 2212-1744, https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=934935 (Российская Федерация, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54; e-mail: lyubov.shmeleva@inbox.ru).

About the authors:

Andrey N. Sandula – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Research Associate, Institute of Geology, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; SPIN-code: 8473-9675, https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=123202, Scopus Author ID: 36774125600, https://orcid.org/0000-0001-6885-7965 (54, Pervomayskaya Str., Syktyvkar, Komi Republic, 167982, Russian Federation; e-mail: sandula@geo.komisc.ru).

Lyubov A. Shmeleva – Junior Researcher, Institute of Geology, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; SPIN-code: 2212-1744, https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=934935 (54, Pervomayskaya Str., Syktyvkar, Komi Republic, 167982, Russian Federation; e-mail: lyubov.shmeleva@inbox.ru).

Для цитирования:

Сандула, А.Н. Верхнебашкирские карбонатные отложения в бассейне реки Шаръю (гряда Чернышева): литология, изотопия углерода и кислорода, условия осадконакопления / А.Н. Сандула, Л.А. Шмелёва // Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия "Науки о Земле". – 2022. – № 2 (54). – С. 14-29. УДК [552.54+550.42]:551.735.21 (470.13). DOI 10.19110/1994-5655-2022-2-14-29

For citation:
Sandula, A.N. Upper Bashkirian deposits in the Sharyu River basin (Chernyshev Ridge): lithology, carbon and oxygen isotopes, conditions of sedimentation / A.N. Sandula, L.A. Shmeleva // Proceedings of the Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Earth Sciences Series. – 2022. – No. 2 (54). – P. 14-29. УДК [552.54+550.42]:551.735.21 (470.13). DOI 10.19110/1994-5655-2022-2-14-29

Дата поступления рукописи: 20.04.2022
Прошла рецензирование: 29.04.2022
Принято решение о публикации: 26.04.2022
Received: 20.04.2022
Reviewed: 29.04.2022
Accepted: 26.04.2022

Геохимическая характеристика нефтей из отложений нижнего палеозоя Варандей-Адзьвинской структурной зоны Печорской синеклизы

О.В. Валяева, Д.А. Бушнев

Институт геологии имени академика Н.П. Юшкина
ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
г. Сыктывкар

valyaeva@geo.komisc.ru, oval71@mail.ru
boushnev@geo.komisc.ru

Аннотация

Изучен углеводородный состав нефтей отложений ордовикско-нижнедевонского карбонатного нефтегазоносного комплекса в северной части Тимано-Печорской провинции. По составу нормальных алканов исследуемые нефти уверенно делят на две группы. Первая группа характеризуется доминированием гомолога C_{17} среди *n*-алканов, характерного для органического вещества морских карбонатов, а вторая группа – C_{17} и C_{19} с резким снижением содержания C_{20}+ *n*-алканов (что является признаком особого ОВ морских карбонатов – водорослей *G. Prisca*). Генетические показатели, определяемые по распределению полициклических биомаркеров, например, соотношение αββ стеранов состава C_{27}:C_{28}:C_{29} также свидетельствуют о том, что нефти I и II типов имеют несколько иной состав исходного ОВ, но характеризуются близкими условиями осадконакопления исходного ОВ, которое происходило в мелководно-морских обстановках. Показатели термической зрелости позволяют отнести изученные нефти к нефтям главной фазы нефтеобразования. Вероятно, что генерация нефтей произошла в породах, органическое вещество которых достигло градации катагенеза $МК_2$. Данные по полициклическим биомаркерам дают немного более низкую оценку зрелости, чем показатели по ароматическим (фенантрены и дибензотиофены) соединениям.

Ключевые слова:

биомаркеры, нефть, Варандей-Адзьвинская структурная зона, нижний палеозой

Geochemical characteristics of oils from the lower paleozoic deposits of the Varandei-Adzva structural zone of the Pechora syneclise

O.V. Valyaeva, D.A. Bushnev

Institute of Geology named after academician N. P. Yuskin, Komi Science Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar

valyaeva@geo.komisc.ru, oval71@mail.ru
boushnev@geo.komisc.ru

Abstract

The hydrocarbon composition of oils from the Ordovician-Lower Devonian carbonate oil and gas complex in the northern part of the Timan-Pechora province has been studied. According to the composition of normal alkanes, the studied oils are confidently divided into two groups. The first group is characterized by the dominance of the C_{17} homologue among *n*-alkanes, which is characteristic of the organic matter of marine carbonates, and the second group is characterized by C_{17} and C_{19} predominance with a sharp decrease in the content of C_{20}+ *n*-alkanes (which is a sign of a special OM of marine carbonates – algae *G Prisca*). Genetic indicators determined by the distribution of polycyclic biomarkers, for example, the ratio of αββ steranes of the composition C_{27}:C_{28}:C_{29}, also indicate that oils of types I and II have a slightly different composition of the initial OM, but are characterized by close conditions of sedimentation of the initial OM, which occurred in shallow sea environments. The indicators of thermal maturity make it possible to attribute the studied oils to the peak of oil window. It is probable that the generation of oils occurred in rocks whose organic matter reached the catagenesis grade $МК_2$. Data for polycyclic biomarkers give slightly lower maturity scores than those for aromatic (phenanthrenes and dibenzothiophenes) compounds.

Keywords:

biomarkers, oil, Varandei-Adzva structural zone, Lower Paleozoic

Введение

В настоящее время изучение Арктической зоны относится к числу приоритетных направлений исследований как в России, так и за рубежом. В Арктической части Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции (ТПНГП) располагается 89 месторождений углеводородного (УВ) сырья. Для дальнейших работ и выявления новых залежей и месторождений в Арктической зоне России весьма актуальным является изучение уже открытых месторождений и их промысловых характеристик.

Нами были изучены нефти Варандейского, Наульского, Лабаганского, Черпаюского, Хасырейского, Нядейюского, Тобойского, Мядсейского и Западно-Леккейягинского месторождений из отложений силура и нижнего девона Варандей-Адзьвинской нефтегазоносной области, рас-

положенной в северо-восточной части ТПНГП. Соответствующая ей сложно построенная одноименная структура первого порядка северо-западного простирания имеет размеры 180 х 80 км, сужается к северу и погружается под воды Печорского моря [1]. В ее составе на суше выделяются структуры второго порядка: валы Сорокина и Гамбурцева, Сарембой-Леккейягинская зона, Мореюская и Верхнеадзьвинская депрессии. Валы представлены в виде вытянутых линейных структур, разбитых тектоническими блоками.

Вал Сорокина ограничивает Варандей-Адзьвинскую структурную зону (ВАСЗ) на западе от Хорейверской впадины и простирается в северо-западном направлении более чем на 200 км при ширине от 8 до 12 км. Амплитуда вала не превышает 700 м по подошве доманика, достигая максимума в районе Седьягинской структуры. От нее вал погружается как в северном, так и в южном направлениях. Вал Сорокина ограничен с запада и востока на всем протяжении разрывными нарушениями, но они прослеживаются не по всем горизонтам осадочного чехла. Всего в пределах вала Сорокина выделяется 12 локальных структур, разделенных небольшими седловинами. В северной части вала расположены Варандейская, Торавейская, Южно-Торавейская, Наульская и Лабоганская структуры, к которым приурочены одноименные месторождения [2].

Согласно работе [3], вал Гамбурцева, расположенный в центре ВАСЗ, разделяет Мореюскую и Верхнеадзьвинскую депрессии. Это антиклинальный субмеридиональный дизпликат размером 100 × 5 ÷ 7 км, осложненный с запада и востока взбросо-надвигами с падением плоскостей сместителей к оси вала. К северу от Нядейюской антиклинали ось вала испытывает быстрое погружение. На севере, за пределами территории, он сочленяется с Сарембой-Леккейягинским (Медынским) валом, на юге перекрыт надвигом Хоседаюского вала. Наличие автохтонных и аллохтонных блоков подтверждено бурением. Западный взбросо-надвиг падает на восток под углами 45–70°, восточный более крутой. В аллохтоне, в направлении с севера на юг, выделены Нядейюская, Хасырейская и Черпаюская антиклинали. К антиклиналям приурочены одноименные нефтяные месторождения.

Сарембой-Леккейягинская зона (180 х 20 км) ограничивает Варандей-Адзьвинскую зону с востока, представляет собой сложнодислоцированную структуру северо-западной ориентировки. Вал простирается в северо-западном направлении на расстояние до 150 км при ширине до 20 км. Он состоит из двух практически параллельных систем поднятий, разделенных седловиной: Няртейягинского вала, включающего в себя Вашуткинскую, Талотинскую, Томяхинскую, Северо-Томяхинскую и Усть-Талотинскую локальные структуры, и Сарембойского вала с Южно-Сарембойской, Сарембойской, Северо-Сарембойской, Западно-Леккейягинской, Леккейягинской, Енганехойской, Северо-Енганехойской и Хайпудырской локальными структурами. В северной части Сарембойского вала выделяются Южно-Мядсейская, Мядсейская, Тобойская, Медынская и Перевозная структуры [4].

Материал и методы исследования

Фракционирование нефти. Из навески нефти методом осаждения 40-кратным объемом *н*-гексана были выделены асфальтены, полученную мальтеновую фракцию разделили на колонке с оксидом алюминия на аполярную (масла, 50 мл 20 %-го раствора дихлорметана в *н*-гексане) и полярную (смолы, 50 мл смеси 1 : 1 этанол-бензол). Аполярная фракция была разделена на колонке с силикагелем на фракции насыщенных углеводородов (элюент – *н*-гексан) и ароматическую (элюент – бензол).

Газохроматографический анализ (ГХ) выполнялся на приборе Кристалл-2000М. Колонка DB-5, 30 м * 0,32 мм, толщина слоя неподвижной фазы – 0,25 мкм. Температура программировалась от 110 до 300° С со скоростью 5° С/мин. Температура инжектора и детектора – 300 °С.

Хромато-масс-спектрометрия (ХМС) осуществлялась на приборе Shimadzu 2010 Ultra. Колонка HP-5, 30 м * 0,25 мм, толщина слоя неподвижной фазы – 0,25 мкм. Температуры: программировалась от 110 до 300° С со скоростью 5° С/мин. Температура инжектора – 300° С, детектора – 250° С. Для стерановых углеводородов (УВ) отстраивались масс-фрагментограммы по m/z 217 и 218, терпановых – m/z 191. Масс-хроматограммы ароматической фракции нефти отстраивались по 141, 142, 155, 156 ионам для нафталинов, 178, 191, 205 ионам для фенантрена, его метил и диметилпроизводных, 91 и 92 ионам для алкилбензолов, 184 и 198 ионам для дибензотиофена и его метилпроизводных.

Изучением с геохимической точки зрения нефтей ВАСЗ занимались Г.И. Андреев, Л.А. Анищенко, Т.К. Баженова, Д.А. Бушнев, С.А. Данилевский, Т.А. Кирюхина, З.П. Склярова и др.

Коллекция исследованных нами нефтей включает 11 проб из девяти месторождений, залегающих в широком интервале глубин 1987 – 4540 м (табл. 1).

Изученные нефти различаются по плотности, содержанию серы, смол и асфальтенов. Так, на валу Гамбурцева залегают нефти средней плотности, смолистые, среднесернистые. В Сарембой-Леккейягинской зоне нефти средней плотности, малосернистые и среднесернистые, смолистые. Классификация нефтей приведена по работе [5].

Обсуждение результатов

Распределение алкановых и изопреноидных углеводородов. В насыщенной фракции нефтей были идентифицированы *н*-алканы состава C_{11}–C_{34}, которые характеризуются одномодальным распределением, с максимумами распределения при *н*-C_{15}, *н*-C_{17}, *н*-C_{19} с постепенным снижением концентраций *н*-алканов состава C_{19}–C_{33}. Однако, как видно из гистограмм (рис. 1) и табл. 2, распределение *н*-алканов представлено двумя типами.

К I типу можно отнести нефти вала Гамбурцева и Западно-Леккейягинского месторождения Сарембой-Леккейягинской зоны. Максимум распределения приходится на *н*-C_{15}, *н*-C_{17} (рис. 1 а, 2). Содержание *н*-алканов состава C_{12}–C_{18} варьирует от 45 до 50 %. Доля высокомолекулярных алканов состава *н*-C_{25}–C_{34} достигает 23 %. Для нефтей ха-

Таблица 1

Характеристика нефтей

Table 1

Characteristics of oils

№ п/п	Месторождение	Возраст	Глубина залегания, м	Структура	Плотность, г/см^3	Содержание, %		
						Сера	Смолы	Асфальтены
1	Варандейское	$S+D_1$	4488 – 4540	Вал Сорокина	-	-	8,8	3,3
2	Наульское	D_1	4050 – 4092		0,832	0,49	7,5	2,5
3	Лабаганское	D_1l	3936 – 3980		0,876	0,42	8,82	1,18
4	Нядейюское	D_1l	2170	Вал Гамбурцева	0,859	0,61	8,6	3,0
5	Черпаюское	D_1	1987		0,862	0,77	10,3	1,8
6	Хасырейское	S_2+D_1	2422 – 2506		0,867	0,68	9,9	2,5
7	Тобойское	D_1	4033 – 4066	Сарембой-Леккейягинская зона	0,850	0,45	6,5	2,6
8	Мядсейское	D_1e	3916 – 3927		0,857	0,64	9,2	1,1
9	Западно-Леккейягинское	D_1e	3054 – 3074		0,875	0,73	-	-

рактерно незначительное преобладание *н*-C_{15} и *н*-C_{17} над соседними гомологами; коэффициенты нечетности $K_{нч}C_{15}=2*C_{15}/(C_{14}+C_{16})$ и $K_{нч}C_{17}=2*C_{17}/(C_{16}+C_{18})$ соответственно равны 1,11–1,20 и 1,37–1,38. Отношение *н*-C_{27} к *н*-C_{17} находится в пределах 2,48–3,31 [6].

Значение коэффициента нечетности высокомолекулярных *н*-алканов $K_{нч}C_{29}$, рассчитанное по формуле $2*C_{29}/(C_{28}+C_{30})$, не превышает единицы (0,89–0,95). Коэффициент нечетности CPI (Carbon Preference Index), рассчитанный по формуле (1), чуть больше единицы.

$$CPI=1/2\left(\frac{C_{25}+C_{27}+C_{29}+C_{31}+C_{33}}{C_{24}+C_{26}+C_{28}+C_{30}+C_{32}}\right)+\left(\frac{C_{25}+C_{27}+C_{29}+C_{31}+C_{33}}{C_{26}+C_{28}+C_{30}+C_{32}+C_{34}}\right). \quad (1)$$

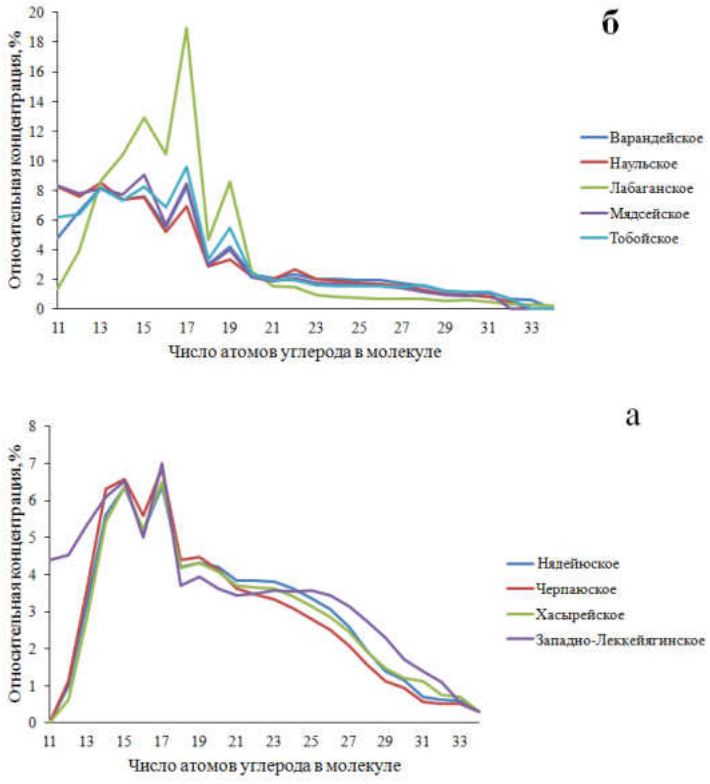


Рисунок 1. Гистограмма распределения *н*-алканов в насыщенной фракции нефтей: а) тип I, б) тип II.

Figure 1. Histogram of the distribution of n-alkanes in the saturated fraction of oils: a) type I, b) type II.

Среди *изо*-алканов идентифицированы i-C_{15}, i-C_{16}, i-C_{18}, Pr и Ph. В наибольших концентрациях присутствует фитан. В целом содержание *изо*-алканов невелико (изо/*н*-алканы – 0,13–0,15). Отношение Pr/Ph – 0,79–0,83. Значения коэффициента $(Pr+Ph)/(C_{17}+C_{18})$, а также отношений Pr/C_{17} и Ph/C_{18} во всех нефтях практически идентичны и не превышают единицу.

Нефти вала Сорокина и Сарембой-Леккейягинской зоны можно отнести ко II типу. Здесь на долю низкомолекулярных *н*-алканов состава C_{11}–C_{18} приходится от 65 до 72 % (табл. 2). Среди *н*-алканов наблюдаются характерное доминирование углеводородов состава C_{17}, C_{19} над соседними четными гомологами и значительное снижение концентраций углеводородов C_{20}+ (рис. 1 б, 2), что является отличительной характеристикой исследованной группы нефтей [7].

Коэффициент нечетности CPI колеблется в районе единицы.

Для всех указанных нефтей характерен, в общем, невысокий уровень концентраций изопреноидных алканов (табл. 2). Коэффициенты $(Pr+Ph)/(C_{17}+C_{18})$, Pr/C_{17} и Ph/C_{18} не превышают единицу и характеризуются несколько пониженными значениями по сравнению с нефтями вала Гамбурцева.

Распределение стерановых и гопановых углеводородов. Для выяснения особенностей распределения полициклических биомаркеров, которые несут в себе важную информацию о составе исходного органического вещества нефтей, об условиях его накопления и термической преобразованности [8], методом хромато-масс-спектрометрии была исследована фракция нефти, содержащая насыщенные углеводороды. Данные о распределении стеранов и гопанов и полученные коэффициенты приведены в табл. 3.

Распределение стеранов состава C_{27}–C_{29} показано на масс-хроматограммах, построенных по m/z = 217 (рис. 3 а, 4 а), а также на треугольной диаграмме (рис. 5). Концентрация холестана (C_{27}) изменяется от 25 до 34 %, метилхолестана (C_{28}) – от 25 до 32 %. Концентрация этилхолестана (C_{29})

Таблица 2

Геохимическая характеристика нефтей по данным газовой хроматографии

Table 2

Geochemical characteristics of oils according to gas chromatography data

№ п/п	Месторождение	Группа	$\sum$н-C_{11}–C_{18}	$\sum$н-C_{19}–C_{24}	$\sum$н-C_{25}–C_{34}	*изо-/н-*алканы	Pr/Ph	(Pr+Ph)/(C_{17}+C_{18})	Pr/C_{17}	Ph/C_{18}	$K_{нч}$ C_{15}	$K_{нч}$ C_{17}	$K_{нч}$ C_{19}	$K_{нч}$ C29	CPI
1	Варандейское	II	65,41	19,18	15,41	0,07	1,24	0,17	0,12	0,28	1,18	1,93	1,59	0,89	1,07
2	Наульское	II	69,45	18,14	12,41	0,07	1,06	0,17	0,12	0,28	1,19	1,71	1,33	0,89	0,99
3	Лабаганское	II	71,37	17,22	5,81	0,08	1,01	0,12	0,07	0,30	1,24	2,51	2,38	0,88	0,98
4	Нядейюское	I	44,82	33,13	22,06	0,13	0,79	0,47	0,34	0,66	1,18	1,37	1,03	0,90	1,02
5	Черпаюское	I	49,62	31,79	18,59	0,15	0,83	0,48	0,35	0,67	1,11	1,38	1,05	0,89	1,02
6	Хасырейское	I	44,56	32,59	22,85	0,14	0,81	0,47	0,34	0,66	1,20	1,38	1,04	0,95	1,08
7	Тобойское	II	65,67	19,50	14,83	0,07	0,74	0,23	0,14	0,42	1,03	1,58	1,52	0,77	1,04
8	Мядсейское	II	72,29	16,90	10,81	0,08	0,93	0,23	0,15	0,46	1,36	1,96	1,58	0,92	1,19
9	Западно-Леккейягинское	I	48,13	25,36	26,50	0,11	0,71	0,52	0,33	0,87	1,17	1,16	1,15	0,85	1,03

несколько повышена по сравнению с другими гомологами и достигает 48 %. В нефтях Нядейюского, Черпаюского и Хасырейского месторождений холестан и метилхолестан присутствуют в нефтях в одинаковых концентрациях: на их долю приходится по 30 %.

Отношение концентраций стереоизомеров 20S/(20S+20R), рассчитанное для C_{29} стерана (K_1), меньше 0,5. Коэффициент K_2 (ααβ/(ααβ+αααC$_{29}$ стераны) для нефтей вала Гамбурцева меньше 0,5, а для остальных нефтей значения этого коэффициента превышают 0,5.

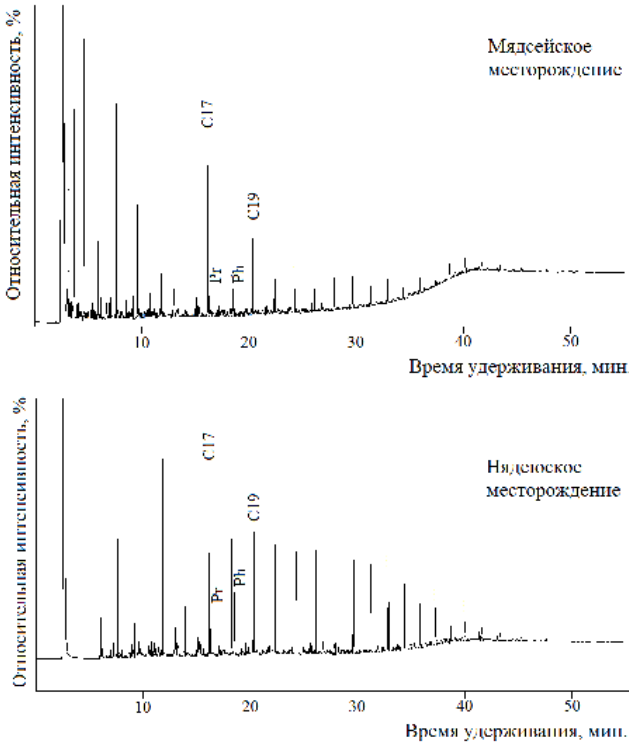


Рисунок 2. Хроматограмма распределения нормальных и изопреноидных алканов в нефтях разных типов. С (число) – *н*-алканы, Pr – пристан, Ph – фитан.

Figure 2. Chromatogram of the distribution of normal and isoprenoid alkanes in different types of oils. C (number) – *n*-alkanes, Pr - pristane, Ph - phytane.

Стерановые углеводороды нефтей представлены как регулярными, так и перегруппированными соединениями (диастеранами). Величина отношения диастеранов к регулярным стеранам (диа/рег) составляет 0,47–0,51 для нефтей Черпаюского, Хасырейского и Нядейюского месторождений. В нефтях вала Сорокина и Сарембой-Леккейягинской зоны преобладают регулярные стераны (диа/рег – 0,02–0,05).

Распределение терпанов представлено на масс-хроматограммах по m/z = 191 (рис. 3 б, 4 б). На масс-хроматограммах четко идентифицируются трициклические углеводороды, гопаны, моретан. Нефти характеризуются низким содержанием трициклических углеводородов (отношение три/пента составляет 0,05–0,12).

17αH 22,29,30-трисноргопан (Tm) и 18αH 22,29,30-триснорнеогопан (Ts) в ряде нефтей присутствуют практически в одинаковых концентрациях (отношение Ts/Tm – 1,02–1,04), в большинстве же нефтей преобладает Ts (см. табл. 3).

Гопаны представлены соединениями от $Г_{27}$ до $Г_{35}$. Гомогопановый индекс (C_{35}/(C_{31}+C_{35})), показывающий распределение αβ-гопанов состава C_{31}–C_{35}, характеризуется низкими значениями – 0,09–0,14. Соотношение адиантана (C_{29}) к гопану C_{30} практически одинаково для всех нефтей и меньше единицы. Коэффициент 22S/(22S+22R), рассчитанный для гомогопана C_{31}, не превышает 0,6. Концентрация моретана (βα, C_{30}) достигает 10 % от нефтяного αβ гопана.

Компоненты ароматической фракции нефти. Компоненты ароматической фракции в нефтях I типа представлены алкилпроизводными нафталина и фенантрена, алкилбензолами (АБ), производными тиофена и т.д. В нефтях II типа (за исключением нефти Лабаганского месторождения) доминируют *н*-алкилбензолы. Коэффициенты, отражающие соотношения между концентрациями отдельных углеводородов и широко применяемые в геохимических

Таблица 3

Геохимическая характеристика нефтей по данным хромато-масс-спектрометрии

Table 3

Geochemical characterization of oils according to chromato-mass spectrometry data

№ п/п	Месторождение	Группа	abβ–стераны $C_{27}:C_{28}:C_{29}$	Диа/рег	Стераны/гопаны	$Г_{29}/Г_{30}$	Три/пента	$C_{35}/\sum C_{31-35}$	*K_1	**K_2	ba, % C_{30}	22S/(22S+22R)	Ts/Tm	MPI-1	Ro, расчет, %	4-MDBT/1-MDBT	T_{max} расчет, °C	***АБ $2*C_{27}/(C_{20}+C_{22})$	АБ $2*C_{23}/(C_{22}+C_{24})$
1	Варандейское	II	33:25:42	0,04	0,15	0,65	0,12	0,09	0,43	0,63	9,86	0,59	1,37	-	-	-	-	6,29	4,89
2	Наульское	II	29:28:43	0,02	0,17	0,65	0,11	0,09	0,39	0,62	8,15	0,59	1,60	-	-	-	-	6,85	6,27
3	Лабаганское	II	34:27:39	0,05	0,10	0,54	0,07	0,13	0,44	0,55	8,51	0,58	0,98	0,39	0,61	4,74	447	7,74	9,07
4	Нядейюское	I	30:30:40	0,50	0,14	0,78	0,09	0,14	0,44	0,48	7,57	0,58	1,04	0,55	0,70	2,68	436	10,35	3,92
5	Черпаюское	I	30:30:40	0,47	0,14	0,80	0,07	0,14	0,49	0,47	7,89	0,59	1,03	0,54	0,69	2,72	437	10,57	3,89
6	Хасырейское	I	29:31:40	0,51	0,14	0,79	0,08	0,14	0,48	0,47	8,10	0,59	1,02	0,56	0,71	2,70	437	10,31	4,07
7	Тобойское	II	33:28:39	0,04	0,14	0,67	0,11	0,13	0,40	0,62	7,67	0,57	1,51	-	-	-	-	8,07	10,25
8	Мядсейское	II	25:27:48	0,03	0,13	0,60	0,07	0,10	0,39	0,63	7,52	0,60	3,46	-	-	-	-	8,75	3,82
9	Западно-Леккейягинское	I	27:32:41	0,04	0,11	0,78	0,05	0,13	0,41	0,50	8,36	0,59	1,03	-	-	-	-	9,56	5,04

Примечание. *K_1 = 20S/(20S+20R) (C_{29} 5α(H),14α(H),17α(H) стераны). **K_2 = αββ/(ααβ + ααα) (C_{29} 5α(H),14β(H),17β(H)- и 5α(H),14α(H),17α(H)-стераны). ***АБ – алкилбензолы.

Note. *K_1 = 20S/(20S+20R) (C_{29} 5α(H),14α(H),17α(H) steranes). **K_2 = αββ/(ααβ + ααα) (C_{29} 5α(H),14β(H),17β(H)- и 5α(H),14α(H),17α(H)- steranes). ***АБ – alkylbenzenes.

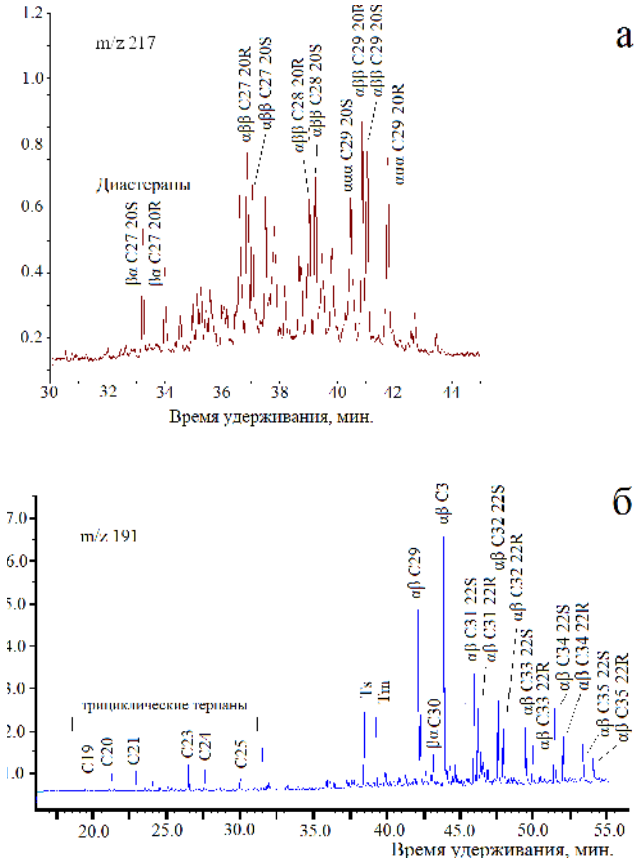


Рисунок 3. Типичное распределение стерановых (а) и терпановых (б) углеводородов на масс-хроматограммах алифатической фракции нефти вала Гамбурцева, построенное по ионам 217 и 191 соответственно.

Figure 3. Typical distribution of sterane (a) and terpane (b) hydrocarbons on mass chromatograms of the aliphatic fraction of oil from the Gamburtsev Shaft, plotted from 217 and 191 ions, respectively.

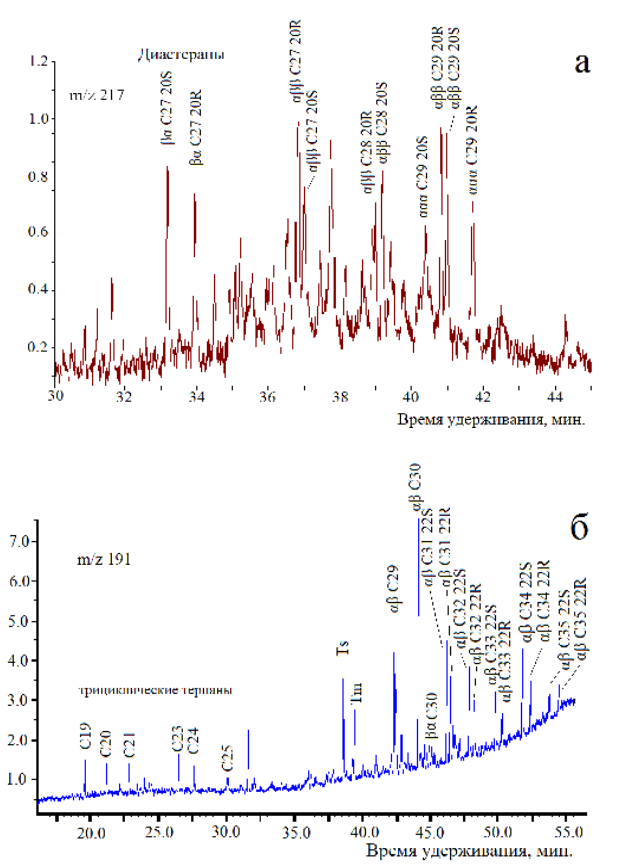


Рисунок 4. Типичное распределение стерановых (а) и терпановых (b) углеводородов на масс-хроматограммах алифатической фракции нефти вала Сорокина, построенное по ионам 217 и 191 соответственно.

Figure 4. Typical distribution of sterane (a) and terpane hydrocarbons in the mass chromatograms of the aliphatic fraction of oil from the Sorokin Shaft, plotted from 217 and 191 ions, respectively.

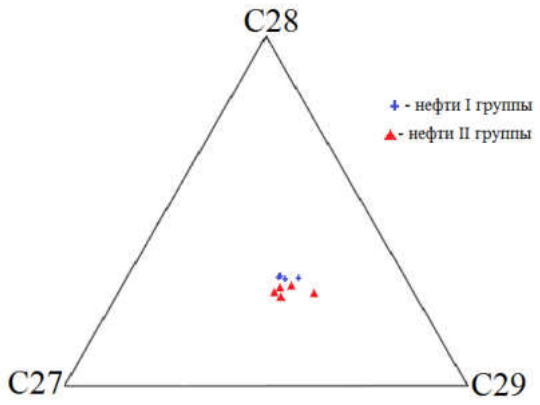


Рисунок 5. Диаграмма относительного распределения C_{27}–C_{29} изостеранов в нефтях.
Figure 5. Diagram of the relative distribution of C_{27}-C_{29} isosteranes in oils.

исследованиях, практически идентичны в данных трех пробах нефти (см. табл. 3). Значения метилфенантренового индекса MPI-1=1,5[(2-MP)+(3-MP)]/[P+(1-MP)+(9-MP)] равны 0,54–0,56. Отношение 4-MDBT/1-MDBT (метилдибензотиофены) изменяется от 2,68 до 2,72.

В табл. 3 представлены коэффициенты, предложенные в работе [9], отражающие соотношения алкилбензолов $2*C_{21}/(C_{20}+C_{22})$ и $2*C_{23}/(C_{22}+C_{24})$ и демонстрирующие доминирование в составе алкилбензолов этих двух углеводородов. Из рис. 6 и табл. 3 видно, что для всех нефтей характерно выраженное доминирование C_{21} и C_{23} алкилбензолов.

Состав исходного органического вещества и условия его осадконакопления. Распределение алкановых УВ в изученных нефтях I типа свидетельствует о том, что накопление исходного органического вещества (ОВ) происходило в морских условиях. $K_{нч}C_{15}$ и $K_{нч}C_{17}$ свидетельствуют о вкладе водорослевого ОВ в состав исходной биомассы. Значение коэффициента нечетности высокомолекулярных *н*-алканов $K_{нч}C_{29}$ (< 1) указывает на то, что источником нефтей являлось сапропелевое ОВ, формирование которого проходило в восстановительных условиях. Распределение αββ стеранов состава C_{27}–C_{29} характерно для исходного ОВ, накопление которого проходило в мелководно-морских обстановках.

Авторы [10, 11] считают, что преобладание среди нормальных алканов нечетных гомологов состава C_{15}–C_{19} (иногда C_{21}), сочетающееся с низкими концентрациями более высокомолекулярных *н*-алканов и низкими концентрациями изопреноидов, широко распространено в органическом веществе ордовикских нефтематеринских пород и продуцируемых ими нефтях. Такое распределение *н*-алканов и изопреноидов наблюдается для нефтей II типа. М. Фаулер [12] отмечал, что в теплых низкоширотных эпиконтинентальных морях ордовикского периода была широко распространена микроводоросль *Gloeocapsomorpha prisca* Zalessky, 1917 (*G. Prisca*). На рис. 5 видно, что нефти II типа имеют несколько иной состав исходного ОВ, чем нефти I типа, но характеризуются близкими условиями осадконакопления исходного ОВ, которое происходило в прибрежно-морских обстановках.

Морской источник исходного ОВ подтверждается и преобладанием *н*-АБ состава C_{21} (*н*-пентадецилбензола).

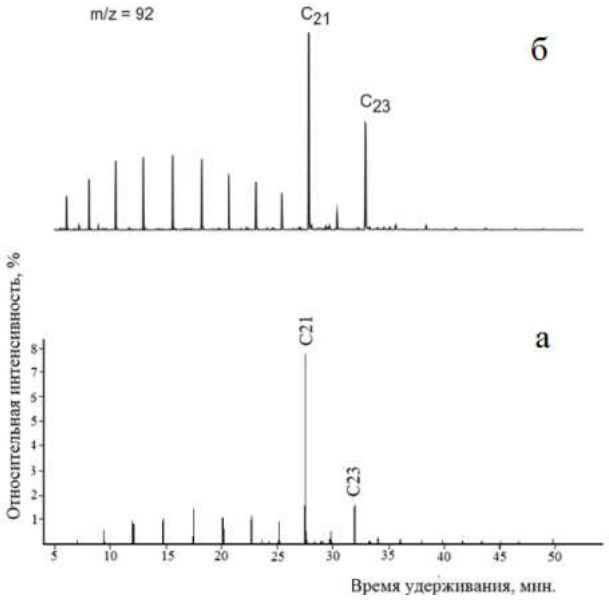


Рисунок 6. Масс-фрагментограмма ароматической фракции нефти по 92 иону (*н*-алкилбензолы): а) Хасырейского месторождения, б) Тобойского месторождения.
Figure 6. Mass-fragmentogram of the aromatic fraction of oil for the 92nd ion (n-alkylbenzenes): a) Khasyreyskoye field, b) Toboyskoye field.

Предполагается, что возможным источником C_{21} *н*-алкилбензола является генэкозагексаен – 3, 6, 9, 12, 15, 18 морских планктонных водорослей, содержащийся в виде либо полиена, либо жирной кислоты состава C_{22}:6n-3 [13, 14]. Доминирование *н*-АБ состава C_{21} наблюдается также в нефтях позднего девона [9, 15] и ОВ солей [16] Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции, в материнских отложениях и некоторых нефтях Гватемалы [17], нефтях Тишанского месторождения (Волгоградская область) [18], Талаканского месторождения (Иркутская область) [19] и в составе некоторых юрских нефтей Западной [20] и Восточной [21] Сибири. Кроме того, совсем недавно показано, что изотопный состав углерода алкилбензола состава C_{21} и алкилнафталина состава C_{21} закономерно отличается в нефтях из верхнего девона ТПНГП [22, 23].

Для оценки вклада водорослевых и бактериальных организмов используют соотношение стераны/гопаны [24]. Отношение суммы стерановых к сумме гопановых углеводородов для нефтей обоих типов варьирует незначительно и составляет 0,11–0,17, что свидетельствует о незначительной или умеренной бактериальной переработке исходного ОВ в раннем диагенезе.

Одним из показателей фациальных условий осадконакопления является величина отношения диастеранов к регулярным стеранам (диа/рег) [25, 26]. Для нефтей вала Гамбурцева значения отношения диа/рег (0,47–0,51) указывают на генерацию нефти в карбонатно-глинистых исходных нефтематеринских породах, что также подтверждается значениями отношения норгопана C_{29} к гопану C_{30} ($Г_{29}/Г_{30}$ – 0,78–0,80), используемого в качестве литологического индикатора исходных НМП [24]. Авторы [27] считают, что отношение C_{29}/C_{30} > 1 указывает на присутствие значительной доли карбонатной составляющей в исходных нефтематеринских породах. Анализируя значения

диа/рег и $Г_{29}/Г_{30}$, можно предположить, что нефти вала Сорокина и Сарембой-Леккейягинской зоны генерировались в породах с большей долей глинистой составляющей.

Значения отношения Pr/Ph (колеблется в районе единицы), коэффициента нечетности высокомолекулярных *н*-алканов $К_{нч}С_{29}$ (0,77–0,95), а также гомогопанового индекса $С_{35}/С_{31}+С_{35}$ указывают на существование восстановительных условий осадконакопления исходного ОВ в раннем диагенезе.

Определение степени созревания нефти. Для определения степени зрелости нефтей часто используют коэффициент нечетности CPI, соотношение между исходными биологическими стеранами (конфигурация ααα 20R) состава $С_{29}$ и новообразованными в результате катагенетических процессов изостеранами (αββ 20R+20S) (коэффициент $К_1$), отношение геостеранов – 5α(H)14β(H)17β(H) к биостеранам – 5α(H)14α(H)17α (коэффициент $К_2$), относительное содержание моретана (βα $С_{30}$), коэффициент 22S/(22S+22R) и отношение Ts/Tm, а также коэффициенты, рассчитанные по полиароматическим углеводородам: метилфенантреновый индекс (MPI-1) и отношение метилдибензотиофенов (4-/1-MDBT).

Нефти I и II типов почти не различаются по термической зрелости. Так, CPI практически равен единице, что характеризует нефти как зрелые. Значения соотношения Ts/Tm присущи зрелым нефтям. По мнению авторов [28], отношение Ts/Tm в главной зоне нефтеобразования составляет 1. Судя по значениям коэффициентов $К_1$ и $К_2$, катагенез ОВ, продуцирующего данные нефти, соответствует градации $МК_2$ [8]. При этом величина отношения 22S/(22S+22R) для гомогопанов $С_{31}$ достигла равновесной величины (0,6), а содержание моретанов, понижающееся при катагенезе, еще не снизилось до минимального уровня.

Значения метилфенантренового индекса, расчитанного для нефтей I типа, MPI-1 = 0,54–0,56. Это, согласно статье [29], позволяет соотнести зрелость нефтей с отражательной способностью витринита 0,69–0,71 %. Одним из показателей катагенеза является отношение 4-MDBT/1-MDBT. Для него установлена корреляционная связь со значением $Т_{max}$ в пиролизе Rock-Eval. Результаты, полученные с помощью соотношения 4-/1-MDBT, существенно не отличаются от данных по MPI-1. Перерасчет отношения 4-/1- MDBT на величину $Т_{max}$ позволил оценить зрелость нефти как эквивалентную величине $Т_{max}$ пород в интервале 436–437° С.

Заключение

Данные по составу углеводородов-биомаркеров из изученных нефтей нижнего палеозоя позволили охарактеризовать условия формирования состава нефтей нижнепалеозойского комплекса Арктической зоны Тимано-Печорского бассейна, а также провести их геохимическую типизацию.

По составу нормальных и изопреноидных алканов изученные нефти уверенно делят на две группы. Для первой характерно доминирование среди *н*-алканов гомолога $С_{17}$, а для второй – $С_{17}$ и $С_{19}$ при резком снижении содержания *н*-алканов $С_{20}$+. Углеводород состава $С_{17}$ характерен для органического вещества морских карбонатов, а доминирование $С_{17}$ и $С_{19}$ при резком снижении содержания *н*-алканов $С_{20}$+ является признаком конкретного ОВ морских карбонатов – водоросли *G. Prisca*. Генетические показатели, определяемые по распределению полициклических биомаркеров, например, соотношение αββ стеранов состава $С_{27}$:$С_{28}$:$С_{29}$, также свидетельствуют о том, что нефти I и II типов имеют несколько иной состав исходного ОВ, но характеризуются близкими условиями осадконакопления исходного ОВ, которое происходило в мелководно-морских обстановках. Показатели термической зрелости позволяют отнести изученные нефти к нефтям главной фазы нефтеобразования. Вероятно, что генерация нефтей произошла в породах, органическое вещество которых достигло градации катагенеза $МК_2$. Данные по полициклическим биомаркерам дают немного более низкую оценку зрелости, чем показатели по ароматическим (фенантрены и дибензотиофены) соединениям.

Главный итог – все изученные нефти сингенетичны вмещающему комплексу отложений, нефтематеринские породы с высокой степенью достоверности принадлежат ордовикско-нижнедевонскому карбонатному нефтегазоносному комплексу.

Литература

1. Прищепа, О.М. Новые представления о тектоническом и нефтегазогеологическом районировании Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции / О.М. Прищепа, В.И. Богацкий, В.Н. Макаревич, О.В. Чумакова, Н.И. Никонов [и др.] // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2011. – Т. 6, № 4. – URL: http://www.ngtp.ru/rub/4/40_2011.pdf (дата обращения 08 декабря 2020 г.).
2. Структура платформенного чехла Европейского Севера СССР / под ред. В.А. Дедеева. – Ленинград: Наука, 1982. – 200 с. – (АН СССР, Коми филиал, Ин-т геологии).
3. Жарков, В.А. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Издание второе. Серия Полярно-Уральская. Листы Q-41-I, II. Объяснительная записка / В.А. Жарков, Н.В. Налимов, Н.В. Романова, Л.Е. Патратий, Г.П. Губенок [и др.]. – Санкт-Петербург: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2000. – 70 с.
4. Запорожцева, И.В. Новые данные о глубинном строении Варандей-Адзьвинской структурной зоны / И.В. Запорожцева, Т.К. Щусь, З.В. Москалюк // Тектоника Европейского Севера СССР. – Сыктывкар, 1986. – С. 46 – 56. – (Тр. Ин-та геологии Коми филиала АН СССР; Вып. 55).
5. Методические рекомендации по применению Классификации запасов и ресурсов нефти и горючих газов (утверждены Распоряжением Министерства природных ресурсов России от 01.02.2016 № з-р). – 2016. – 32 с.
6. Валяева, О.В. Геохимическая характеристика нефтей вала Гамбурцева / О.В. Валяева, Д.А. Бушнев // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2020. – Т. 15, № 2. – URL: http://www.ngtp.ru/rub/2020/20_2020.html (дата обращения 08 декабря 2020 г.).

7. Бушнев, Д.А. Биомаркеры нефтей нижнего палеозоя северной части Тимано-Печорского бассейна / Д.А. Бушнев, О.В. Валяева, Н.С. Бурдельная // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. – 2018. – № 4 (280). – С. 45–48.
8. Peters, K.E. The Biomarker Guide II. Biomarkers and Isotopes in Petroleum Systems and Earth History. 2nd ed. Vol. 2 / K.E. Peters, C.C. Walters, J.M. Moldowan. – Cambridge: Cambridge University Press, 2005. – 1156 p.
9. Бушнев, Д.А. Геохимия нефтей позднего девона Тимано-Печорского бассейна / Д.А. Бушнев, Н.С. Бурдельная, О.В. Валяева, А.А. Деревесникова // Геология и геофизика. – 2017. – Т. 58, № 3–4. – С. 410–422.
10. Jacobson, S.P. Middle ordovician organic matter assamblages and their effect on ordovician-derived oils / S.P. Jacobson, J.R. Hatch, S.C. Teerman, R.A. Askin // The AAPG Bulletin. – 1988. – Vol. 72, No. 9. – P. 1090–1100.
11. Reed, J.D. Biochemical evolutionary significance of Ordovician oils and their sources / J.D. Reed, H.A. Illich, B. Horsfield // Org. Geochem. – 1986. – Vol. 10. – P. 347–358.
12. Fowler, M.G. The influence of Gloeocapsomorpha prisca on the Organic Geochemistry of Oils and Organic-Rich Rocks of Late Ordovician Age from Canada / M.G. Fowler // Early Organic Evolution: Implicatiom for Mineral and Energy Reservoirs, 1992. – P. 336–356.
13. Lee, R.F. Distribution of 21:6 hydrocarbon and its relationship to 22:6 fatty acid in algae / R.F. Lee and A.R. Loeblich // Phytochem. 1971. – Vol. 10, No. 3. – P. 593–602.
14. Sinninghe Damsté´, J.S. Newly discovered non-isoprenoid dialkyl diglycerol tetraether lipids in sediments / J.S. Sinninghe Damsté´, E.C. Hopmans, R.D. Pancost, S. Schouten, J.A.J. Geenevasen // J. Chem. Soc. Chem. Commun. – 2000. – No. 17. – P. 1683–1684.
15. Бушнев, Д.А. н-Алкилбензолы и 1-н алкилнафталины в ряде нефтей позднедевонского возраста Тимано-Печорской провинции / Д.А. Бушнев, О.В. Валяева // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. – 2015. – № 10. – С. 17–20.
16. Шанина, С.Н. Геохимия длинноцепочечных алкилбензолов, алкилтолуолов и 2-метил-2-(4,8,12-триметилтридецил)хроманов в породах нижнепермской соляной толщи Верхнепечорского бассейна / С.Н. Шанина, Н.С. Бурдельная, Д.А. Бушнев, О.В. Валяева, О.О. Игнатович // Геохимия. – 2021. – Т. 66, № 10. – С. 913–925.
17. Connan, J. The microbial input in carbonate-anhydrite facies of a sabka palaeoenvironment from Guatemala: a molecular approach / J. Connan, J. Bouroullec, D. Dessort and P. Albrecht // Org. Geochem. – 1986. – Vol. 10. – P. 29–50.
18. Остроухов, С.Б. К вопросу происхождения *н*-алкилбензола состава C_{21} в нефтях / С.Б. Остроухов // Химия нефти и газа: материалы VII Межд. конференции. – Томск: Изд-во Института оптики атмосферы СО РАН, 2009. – С. 189–190.
19. Иванова, И.К. Особенности распределения моноалкилбензолов состава $C_{12}H_{18}$–$C_{27}H_{48}$ в венд-кембрийских нефтях Сибирской платформы / И.К. Иванова, В.А. Каширцев // Геология и геофизика. – 2010. – Т. 51, № 11. – С. 1539–1544.
20. Головко, А.К. Геохимическая характеристика нефтей Западной Сибири по составу алкилбензолов / А.К. Головко, А.Э. Конторович, Г.С. Певнева // Геохимия. – 2000. – Т. 3. – С. 282–293.
21. Алексеев, А.Г. Алкилбензолы в континентальных нефтях Восточной Сибири / А.Г. Алексеев, И.К. Иванова, О.Н. Чалая, В.А. Каширцев // Наука и образование. – 2005. –Т. 4. – С. 48–52.
22. Бушнев, Д.А. Изотопный состав углерода нефтей нижнего палеозоя северной части Тимано-Печорского бассейна / Д.А. Бушнев, О.В. Валяева, Н.С. Бурдельная // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. – 2019. – № 7. – С. 3–4.
23. Бушнев, Д.А. Н-алкилбензол и 1-н алкилнафталин состава C_{21} в нефтях: изотопный эффект при циклизации/ароматизации? / Д.А. Бушнев, Н.С. Бурдельная, О.В. Валяева // Геохимия. – 2020. – Т. 65, № 1. – С. 59–63.
24. Peters, K.E. The biomarker guide: interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments / K.E. Peters, J.M. Moldowan. – New Jersey: Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1993. – 363 p.
25. Brassell S.C., Fu Jiamo, Eglinton G. Isomerisation, rearrangement and aromatisation of steroids in distinguishing early stages of diagenesis // Org. Geochem. – 1984. – Vol. 6. – P. 11–23.
26. Петров, Ал.А. Геохимическое значение стеранов. Научно-прикладные аспекты геохимии нефти и газа / Ал.А. Петров. – Москва: ИГИРГИ, 1991. – С. 21–30.
27. Clark, J.P. Geochemical Characterization of Evaporite and Carbonate Depositional Environments and Correlation of Associated Crude Oils in the Black Creek Basin, Alberta / J.P. Clark, R.P. Philp // Bulletin of Canadian Petroleum Geology. – 1989. – Vol. 37, No. 4. – P. 401–416.
28. Петров, Ал.А. Биометки и геохимические условия образования нефтей России / Ал.А. Петров // Геология нефти и газа. – 1994. – № 6. – С. 13–19.
29. Radke, M. Maturity parameters based on aromatic hydrocarbons: Influence of the organic matter type / M. Radke, D.H. Welte, H. Willsch // Org. Geochem. – 1986. – Vol. 10. – P. 51–63.
30. Radke, M. Application of aromatic compounds as maturity indicators in source rocks and crude oils / M. Radke // Mar. Petrol. Geol. – 1988. – Vol. 5. – P. 224–236.

References

1. Prishchepa, O.M. Novyye predstavleniya o tektonicheskom i neftegazogeologicheskom rayonirovanii Timano-Pechorskoy neftegazonosnoy provintsii [The Timan-Pechora oil-bearing province – new tectonical insight] / O.M. Prishchepa, V.I. Bogatskiy, V.N. Makarevich, O.V. Chumakova, N.I. Nikonov [et al.] // Petroleum Geology. Theoretical and Applied Studies. – 2011. Vol. 6, No. 4. – URL: http://www.ngtp.ru/rub/4/40_2011.pdf (accessed on 08 December 2020).
2. Struktura platformennogo chekhla Yevropeyskogo Severa SSSR [The structure of the platform cover of the European North of the USSR] / ed. by V.A. Dedeyev. – Leningrad: Nauka, 1982. – 200 p. (the USSR Academy of Sciences, Komi Branch, Institute of Geology).

3. Zharkov, V.A. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1:200 000. Izdaniye vtoroye. Seriya Polyarno-Uralskaya. Listy Q-41-I, II. Obyasnitelnaya zapiska [State geological map of the Russian Federation on a scale of 1:200 000. Second edition. Polar-Ural Series. Sheets Q-41-I, II.] / V.A. Zharkov, N.V. Nalimov, N.V. Romanova, L.Ye.Patratiy, G.P. Gubenok [et al.]. – St. Petersburg.: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI, 2000. – 70 p.
4. Zaporozhtseva, I.V. Novyie dannyie o glubinnom stroyenii Varandey-Adzvinskoy strukturnoy zony [New data on the deep structure of the Varandey-Adzvinskaya structural zone] / I.V. Zaporozhtseva, T.K. Shchus, Z.V. Moskalyuk // Tectonics of the European North of the USSR. – Syktyvkar, 1986. – P. 46–56. (Proceedings of the Institute of Geology, Komi Branch, the USSR Academy of Sciences; issue 55).
5. Metodicheskiye rekomendatsii po primeneniyu Klassifikatsii zapasov i resursov nefti i goryuchikh gazov (utverzhdeny Rasporyazheniyem Ministerstva prirodnykh resursov Rossii ot 01.02.2016 No. z-r) [Guidelines for the application of the Classification of reserves and resources of oil and combustible gases (approved by the Order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated 01.02.2016 No. z-r]. – 2016. – 32 p.
6. Valyayeva, O.V. Geokhimicheskaya kharakteristika nefti vala Gamburtseva [Geochemical characteristics of Gamburtsev shaft oils] / O.V Valyayeva, D.A. Boushnev // Petroleum Geology - Theoretical and Applied Studies. – 2020. – Vol. 15. No. 2. – URL: http://www.ngtp.ru/rub/2020/20_2020.html (accessed on 08 December 2020).
7. Boushnev, D.A. Biomarkery neftey nizhnego paleozoya severnoy chasti Timano-Pechorskogo basseyna [Biomarkers of Lower Paleozoic oils in the northern part of the Timan-Pechora basin] / D.A. Boushnev, O.V. Valyayeva, N.S.Burdelnaya // Vestnik of the Institute of Geology, Komi Science Centre, Ural Branch of the RAS. – 2018. – No. 4 (280). – P. 45–48.
8. Peters, K.E. The Biomarker Guide II. Biomarkers and Isotopes in Petroleum Systems and Earth History. 2nd ed. Vol. 2 / K.E. Peters, C.C. Walters, J.M. Moldowan – Cambridge: Cambridge University Press, 2005. 1156 p.
9. Boushnev, D.A. Geokhimiya neftey pozdnego devona Timano-Pechorskogo basseyna [Petroleum geochemistry of the Late Devonian of the Timan-Pechora basin] / D.A. Boushnev, N.S. Burdelnaya, O.V. Valyaeva, A.A. Derevesnikova // Geology and Geophysics. – 2017. Vol. 58, No. 3-4. – P. 410–422.
10. Jacobson, S.P. Middle ordovician organic matter assamblages and their effect on ordovician-derived oils / S.P. Jacobson, J.R. Hatch, S.C. Teerman, R.A. Askin // The AAPG Bulletin. – 1988. – Vol. 72. No. 9. – P. 1090–1100.
11. Reed, J.D. Biochemical evolutionary significance of Ordovician oils and their sources / J.D. Reed, H.A. Illich, B. Horsfield // Org. Geochem. – 1986. – Vol. 10. – P. 347–358.
12. Fowler, M.G. The influence of Gloeocapsomorpha prisca on the Organic Geochemistry of Oils and Organic-Rich Rocks of Late Ordovician Age from Canada / M.G. Fowler // Early Organic Evolution: Implicatiom for Mineral and Energy Reservoirs, 1992. – P. 336–356.
13. Lee, R.F. Distribution of 21:6 hydrocarbon and its relationship to 22:6 fatty acid in algae / R.F. Lee, A.R. Loeblich // Phytochem. 1971. – Vol. 10, No. 3. P. 593–602.
14. Sinninghe Damsté´, J.S. Newly discovered non-isoprenoid dialkyl diglycerol tetraether lipids in sediments / J.S. Sinninghe Damsté´, E.C. Hopmans, R.D. Pancost, S. Schouten, J.A.J. Geenevasen // J. Chem. Soc. Chem. Commun. – 2000. – No. 17. – P. 1683–1684.
15. Boushnev, D.A. n-Alkilbenzoly i 1-n alkilnaftaliny v ryade neftey pozdnedevonskogo vozrasta Timano-Pechorskoy provintsii [n-Alkylbenzens and 1-n alkylnaphthalenes in Upper Devonian oils of the Timan-Pechora basin] / D.A. Boushnev, Valyayeva O.V. // Vestnik of the Institute of Geology, Komi Science Centre, Ural Branch of the RAS. – 2015. – No. 10. – P. 17–20.
16. Shanina, S.N. Geokhimiya dlinnotsepochechnykh alkilbenzolov, alkiltoluolov i 2-metil-2-(4,8,12-trimetiltridetsil) khromanov v porodakh nizhnepermskoy solyanoy tolshchi Verkhnepechorskogo basseyna [Geochemistry of Alkylbenzenes, Alkyltoluenes, and 2-Methyl-2-(4,8,12-Trimethyltridecyl)chromans in the Lower Permian Salt Sequence of the Upper Pechora Salt Basin] / S.N. Shanina, N.S. Burdelnaya, D.A. Boushnev, O.V. Valyayeva, O.O. Ignatovich // Geochemistry. – 2021. – Vol. 66, No. 10. – P. 913–925.
17. Connan, J. The microbial input in carbonate-anhydrite facies of a sabka palaeoenvironment from Guatemala: a molecular approach / J. Connan, J. Bouroullec, D. Dessort, P. Albrecht // Org. Geochem. – 1986. – Vol. 10. – P. 29–50.
18. Ostroukhov, S.B. K voprosu proiskhozhdeniya n-alkilbenzola sostava C_{21} v neftyakh [On the origin of n-alkylbenzene of composition C_{21} in oils] / S.B. Ostroukhov // Chemistry of oil and gas: Proceedings of the VII Int. conference. – Tomsk: Publishing House of the Institute of Atmospheric Optics, Siberian Branch of the RAS, 2009. – P. 189–190.
19. Ivanova, I.K. Osobennosti raspredeleniya monoalkilbenzolov sostava C12H18–C27H48 v vend-kembriyskikh neftyakh Sibirskoy platformy [Distribution of monoalkylbenzenes C12H18–C27H48 in Vendian-Cambrian oils of the Siberian platform] / I.K. Ivanova, V.A. Kashirtsev // Geology and Geophysics. – 2010. – Vol. 51, No. 11. – P. 1539–1544.
20. Golovko, A.K. Geokhimicheskaya kharakteristika neftey Zapadnoy Sibiri po sostavu alkilbenzolov [Geochemical characterization of oils of the West Siberia by the composition of alkylbenzenes] / A.K. Golovko, A.E. Kontorovich, G.S. Pevneva // Geochemistry. – 2000. – Vol. 3. – P. 282–293.
21. Alekseyev, A.G. Alkilbenzoly v kontinentalnyh neftyah Vostochnoy Sibiri [Alkylbenzenes in continental oils of East Siberia] / A.G. Alekseyev, I.K. Ivanova, O.N. Chalaya, V.A. Kashirtsev // Education and science journal. – 2005. – Vol. 4. – P. 48–52.
22. Boushnev, D.A. Izotopnyj sostav ugleroda neftey nizhnego paleozoya severnoy chasti Timano-Pechorskogo basseyna [Carbon isotopic composition of Lower Paleozoic oils in the northern part of the Timan-Pechora basin] / D.A.

Boushnev, O.V. Valyayeva, N.S. Burdelnaya // Vestnik of the Institute of Geology, Komi Science Centre, Ural Branch of the RAS. – 2019. – No. 7. – P. 3–4.
23. Boushnev, D.A. N-alkilbenzol i 1-n alkilnaftalin sostava C_{21} v neftyakh: izotopnyy effekt pri tsiklizatsii/aromatizatsii? [C_{21} n-alkylbenzene and 1-n-alklylnaphthalene in oils: isotope effect during cyclization/aromatization?] / D.A. Boushnev, N.S. Burdelnaya, O.V. Valyayeva // Geochemistry. – 2020. Vol. 65, No. 1. – P. 59–63.
24. Peters, K.E. The biomarker guide: interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments / K.E. Peters, J.M. Moldowan. – New Jersey: Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1993. – 363 p.
25. Brassell, S.C. Isomerisation, rearrangement and aromatisation of steroids in distinguishing early stages of diagenesis / Fu Jiamo, G. Eglinton // Org. Geochem. – 1984. – Vol. 6. – P. 11–23.
26. Petrov, Al.A. Geokhimicheskoye znacheniye steranov. Nauchno-prikladnyye aspekty geokhimii nefti i gaza [Geochemical value of steranes. Scientific and applied aspects of oil and gas geochemistry] / Al.A. Petrov. – Moscow: Institute of Geology and Development of Fuel Resources, 1991. – P. 21–30.
27. Clark, J.P. Geochemical Characterization of Evaporite and Carbonate Depositional Environments and Correlation of Associated Crude Oils in the Black Creek Basin, Alberta / R. P. Philp, // Bulletin of Canadian Petroleum Geology. – 1989. – Vol. 37, No. 4. – P. 401–416.
28. Petrov, Al.A. Biometki i geokhimicheskiye usloviya obrazovaniya neftey Rossii [Biomarks and geochemical conditions of oils formation in Russia]. / Al.A. Petrov // Geology and Geophysics. – 1994. – No. 6. – P. 13–19.
29. Radke, M. Maturity parameters based on aromatic hydrocarbons: Influence of the organic matter type / M. Radke, D.H. Welte, H. Willsch // Org. Geochem. – 1986. – Vol. 10. – P. 51–63.
30. Radke, M. Application of aromatic compounds as maturity indicators in source rocks and crude oils / M. Radke // Mar. Petrol. Geol. – 1988. – Vol. 5. – P. 224–236.

Благодарность (госзадание)

Геохимические исследования выполнены в лаборатории органической геохимии ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар) на оборудовании ЦКП «Геонаука».
Авторы выражают благодарность рецензенту за ценные критические замечания и рекомендации, которые способствовали улучшению содержания статьи.

Информация об авторах:

Валяева Ольга Викторовна – кандидат геолого-минералогических наук; старший научный сотрудник Института геологии имени академика Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН; Scopus Author ID: 6504276543, https://orcid.org/0000-0003-3479-4673 (Российская Федерация, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54; e-mail: valyaeva@geo.komisc.ru, oval71@mail.ru).

Бушнев Дмитрий Алексеевич – доктор геолого-минералогических наук; главный научный сотрудник, заведующий лабораторией органической геохимии Института геологии имени академика Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН; Scopus Author ID: 6601908719, https://orcid.org/0000-0002-3860-944X (Российская Федерация, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54; e-mail: boushnev@geo.komisc.ru).

About the authors:

Olga V. Valyaeva – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher, Institute of Geology, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; Scopus Author ID: 6504276543, https://orcid.org/0000-0003-3479-4673 (54, Pervomayskaya Str., Syktyvkar, Komi Republic, 167982, Russian Federation; e-mail: valyaeva@geo.komisc.ru, oval71@mail.ru).

Dmitriy A. Boushnev – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Chief Researcher, Head of the Laboratory, Institute of Geology, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; Scopus Author ID: 6601908719, https://orcid.org/0000-0002-3860-944X (54, Pervomayskaya Str., Syktyvkar, Komi Republic, 167982, Russian Federation; e-mail: boushnev@geo.komisc.ru).

Для цитирования:

Валяева, О.В. Геохимическая характеристика нефтей из отложений нижнего палеозоя Варандей-Адзьвинской структурной зоны Печорской синеклизы / О.В. Валяева, Д.А. Бушнев // Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия "Науки о Земле". – 2022. – № 2 (54). – С. 30–40. УДК 553.982.2 (470.1). DOI 10.19110/1994-5655-2022-2-30-40

For citation:

Valyaeva, O.V. Geochemical characteristics of oils from the Lower Paleozoic deposits of the Varandei-Adzva structural zone of the Pechora syneclise / O.V. Valyaeva, D.A. Boushnev // Proceedings of the Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Earth Sciences Series. – 2022. – No. 2 (54). – P. 30–40. УДК 553.982.2 (470.1). DOI 10.19110/1994-5655-2022-2-30-40

Дата поступления рукописи: 12.01.2022
Прошла рецензирование: 15.01.2022
Принято решение о публикации: 04.04.2022
Received: 12.01.2022
Reviewed: 15.01.2022
Accepted: 04.04.2022

Калиевый полевой шпат рудных щелочных метасоматитов (Средний Тиман)

К.В. Куликова, О.В. Удоратина, Б.А. Макеев, А.С. Шуйский

Институт геологии имени академика Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

fopolina1@yandex.ru
taykey@yandex.ru
makboris@mail.ru
self88@yandex.ru

Аннотация

Калиевый полевой шпат (КПШ), наряду с альбитом, является одним из ведущих минералов редкометалльно-редкоземельных фенитов Косьюского рудного узла Среднего Тимана.

В исследованных калиевых полевых шпатах данные о незначительной примеси оксида натрия (0,19-0,38 мас.%) по результатам микрозондового анализа подтверждаются рентгеноструктурными исследованиями, которые также свидетельствуют о минимальной структурной примеси альбитовой составляющей.

Калиевый полевой шпат рудных фенитов по данным порошковой дифрактометрии представляет собой микроклин, установлено несколько его разновидностей: максимальный микроклин (Октябрьское рудное поле), низкий микроклин (Новобобровское и Верхне-Щугорское рудные поля), промежуточный микроклин (Нижне-Мезенское рудное поле).

КПШ фенитов образовались при действии щелочных растворов на кварцитовые песчаники в довольно широком интервале температур от 375° до 510° С. Самые низкие температуры (375° С) имеют наиболее упорядоченные максимальные микроклины Октябрьского рудного поля. Для низких микроклинов установлены температуры 420° С и 455° С соответственно для Новобобровского и Верхне-Щугорского месторождений. Наименее упорядоченный промежуточный микроклин Нижне-Мезенского рудного поля формировался в интервале 485-510° С.

Ключевые слова:

микроклин, фениты, температура кристаллизации, Средний Тиман

Potassium feldspar of ore alkaline metasomatites (Middle Timan)

K.V. Kulikova, O.V. Udoratina, B.A. Makeev, A.S. Shuisky

Institute of Geology named after academician N. P. Yuskin, Komi Science Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar

fopolina1@yandex.ru
taykey@yandex.ru
makboris@mail.ru
self88@yandex.ru

Abstract

Potassium feldspar (Kfeldspar), along with albite, is one of the leading minerals of alkaline ore (rare-metal-rare-earth) fenites of the Kosyu ore cluster of the Middle Timan.

In the studied potassium feldspars, the data on an insignificant admixture of sodium oxide (0.19-0.38 wt.%) according to the results of microprobe analysis are confirmed by X-ray diffraction studies, which also indicate a minimal structural admixture of the albite component in KF.

As determined by X-ray diffraction, potassium feldspar of ore fenites is a microcline. Several of its varieties have been established: the maximum microcline (Oktyabrskoe ore field), the low microcline (Novobobrovskoe and Verkhne-Shchugorskoe ore fields), and the intermediate microcline (Nizhne-Mezenskoe ore field).

Kfeldspars of fenites were formed under the action of alkaline solutions on quartzite sandstones in a fairly wide temperature range from 375° to 510°C. The lowest temperature (375°C) is the most ordered maximum microclines of the Oktyabrskoe ore field. For low microclines, temperatures of 420°C and 455°C have been determined for the Novobobrovskoe and Verkhne-Shchugorskoe fields, respectively. The least ordered intermediate microcline of the Nizhne-Mezenskoe ore field was formed in the range of 485-510°C.

Keywords:

microcline, fenites, crystallization temperature, Middle Timan

Введение

На Среднем Тимане в районе Четласского Камня комплексы пород, несущие редкометалльно-редкоземельные проявления, формируют Косьюский рудный узел [1–3]. В состав рудного узла включаются Косьюское, Мезенское (Мезенское и Нижнее Мезенское), Бобровское (Бобровское и Нижнее (Новое) Бобровское), Октябрьское рудные поля.

Рудные тела локализованы в кварцитопесчаниках светлинской свиты (Октябрьское, Новобобровское), визингской свиты (Косьюское и Нижне-Мезенское) четласской серии и метатерригенно-карбонатных отложениях (Верхне-Щугорское) павьюгской и ворыквинской свит быстринской серии.

Методы исследований

При проведении комплексных исследований рудных редкометалльно-редкоземельных образований Четласского Камня Среднего Тимана произведено опробование пород жильного комплекса и фенитов. В ЦКП «Геонаука» (г. Сыктывкар) исследовались состав и структура КПШ. Структурный контроль минеральной принадлежности проводился рентгеновским дифракционным анализом (дифрактометр Shimadzu XRD-6000 Cu-анод, ток – 30 mA, напряжение – 30 kV, фильтр Ni, углы сканирования 2θ от 2 до 60°, шаг сканирования 2θ – 0,05, скорость съемки – 1° / мин). Параметры элементарной ячейки минералов рассчитывались с помощью программы Unit Cell. Микрозондовые исследования проведены на спектральном электронном микроскопе Tescan Vega 3 LMH с энергодисперсионным детектором X-MAX 50 mm Oxford Instruments.

Принимались во внимание следующие рентгеноструктурные параметры КПШ. По дифракционному максимуму $2\theta(20\bar{1})$ и его величине d оценивалась структурная примесь альбитового минала [4]. По методике Кролла и Рибби, в которой используются данные по $\Delta 2\theta(130)$, рассчитывалась степень триклинности (Δt_1) [5]. Al-Si упорядоченность кристаллической решетки КПШ (t_1) рассматривалась по положению дифракционных максимумов (060) и ($\bar{2}04$), положения линий этих максимумов связаны с параметром t_1 рядом уравнений [6]. Интерпретация структурной группы КПШ приводится по работе [5]. Температура кристаллизации оценена по графику изменений равновесной упорядоченности КПШ (t_1) от температуры [7].

Обсуждение результатов

Рудовмещающими редкометалльно-редкоземельную минерализацию породами являются кварцитопесчаники, по которым развиваются калиевый полевой шпат, пироксен (эгирин), плагиоклаз (альбит), формируя наряду с натриевыми также и калиевые метасоматиты. Петрографические исследования в калиевом метасоматите показывают, что процесс щелочного метасоматоза происходил за счет растворения кварцевой матрицы кварцитопесчаников и замещения калиевым полевым шпатом, альбитом, эгирином всех первичных минералов кварцитопесчаников. Во всех рудных полях развита колумбит-монацитовая минерализация, на Октябрьском – колумбит-ксенотимовая. В южной части Четласского блока в пределах Верхне-Щугорского рудного поля калиевые и натриевые метасоматиты развиваются по субстрату карбонатных пород. Редкометалльно-редкоземельная минерализация представлена здесь пирохлором (Pb-, Sr-, U-), монацитом, Fe-Ti-Nb фазами.

Октябрьское рудное поле. Рудовмещающие жильный комплекс породы нижней части светлинской свиты развиты в междуречье рек Павьюги и Бобровой. Жильный комплекс имеет неоднородное строение. Центральная часть сложена альбититами, на их контактах с кварцитопесчаниками проявлена фенитизация в виде образования калишпатизированных, альбитизированных и эгиринизированных разностей [8]. Рудными минералами являются колумбит и ксенотим.

Исследовалась монофракция калиевого полевого шпата (проба ОМ1а-16) из метасоматизированного (альбитизированного, калишпатизированного и эгиринизированного) кварцитопесчаника. Калиевый полевой шпат ярко-розового цвета образует плотный, сливной тонкозернистый агрегат, развивающийся по матриксу кварцитопесчаников.

По данным микрозондового анализа, содержание оксида натрия в калиевом полевом шпате в основном незначительно и варьирует от 0.19 до 0.29 мас. %, что соответствует содержанию альбитового минала не более 0.02–0.03 % (табл. 1).

Результаты обработки данных порошковой дифрактометрии показали следующее. Положение отражения $(20\bar{1})$ и величина d = 4.23 свидетельствуют о незначительной примеси альбитового компонента в его составе [4]. Калиевый полевой шпат является триклинным, степень триклинности (Δt_1) равна 0.566–0.98, что следует из разобщенности пиков (130) и (-130) [6]. Используя методику Кролла и Риб-

Таблица 1

Химический состав калиевого полевого шпата

Table 1

Chemical composition of potassium feldspar

№ обр.	Т.н.	SiO_2	Al_2O_3	K_2O	Na_2O	FeO	Сумма
Октябрьское							
ОМ-1а-16	11	65.02	18.59	16.62	0.29	0.00	100.52
ОМ-1а-16	21	64.80	18.43	16.78	0.23	0.00	100.24
ОМ-1а-16	51	64.13	18.41	16.55	0.19	0.25	99.53
ОМ-1а-16	61	64.75	18.57	16.73	0.21	0.63	100.84
ОМ-1а-16	84	64.02	18.52	16.37	0.21	1.94	101.06
Новобобровское							
НВ1-16	11	64.17	18.23	16.61	0.33	0.00	99.34
НВ1-16	13	63.55	18.12	16.35	0.29	0.00	98.31
НВ1-16	22	65.83	18.39	16.26	0.38	0.00	100.86
НВ1-16	167	66.04	18.71	16.94	0.00	0.00	101.69
Нижне-Мезенское							
MEZ1-3	22	63.66	18.25	16.39	0.23	0.24	98.76
КМ4-2	5	63.13	18.08	17.42	0.00	0.00	98.63
КМ4-2	9	65.83	17.99	16.55	0.00	0.00	100.37
GB-MEZ1-1	11	63.42	18.19	16.43	0.26	0.6	99.60
GB-MEZ 1-1	23	64.44	18.33	16.49	0.28	0.43	99.98
Верхне-Щугорское							
SRK-56a		65.69	18.93	16.58	0.00	0.00	101.2

Таблица 2

Результаты рентгеновского исследования и температуры формирования щелочных полевых шпатов из фенетизированных кварцитопесчаников

Table 2

Results of X-Ray study and temperatures of formation of alkaline feldspars from fenetized quartzite sandstones

Номер образца	2θ($\bar{2}$01)	2θ(130)	2θ($\bar{1}$30)	2θ(060)	2θ($\bar{2}$04)	t_1o	t_1m	Dt_1, t_1o- t_1m	T°C
Октябрьское									
ОМ1а-16	20.99	23.19	23.98	41.81	50.54	1	0	0.98	375
ОМ6-16	21.0	23.54	24.00	41.92	50.55	0.81	0.25	0.5658	375
Новобобровское									
НБ-1-16	20.9	23.24	24.03	41.86	50.61	0.965	0.005	0.96	420
Нижне-Мезенское									
GB-MEZ 1-1	21.03	23.28	24.02	41.89	50.64	0.88	0.08	0.81	450
GB-MEZ 1-2	20.98	23.35	23.80	41.85	50.68	0.72	0.18	0.55	505
GB-MEZ 1-3	20.89	23.29	24.00	41.83	50.65	0.89	0.025	0.86	500
GB-MEZ 1-4	20.97	23.35	23.92	41.87	50.66	0.88	0.055	0.82	485
GB-MEZ 2	21.06	23.40	24.02	41.96	50.76	0.87	0.055	0.81	490
КМ 4-1	20.88	23.25	23.90	41.78	50.63	0.84	0.05	0.79	510
Верхне-Щугорское									
SRK 56-2	21.04	23.57	24.10	41.83	50.59	0.714	0.246	0.465	445

би [6], по положению дифракционных максимумов (060) и ($\bar{2}$04) была определена Al-Si упорядоченность (2t1=1), что соответствует максимальному микроклину [5]. Кристаллизация полевых шпатов происходит в достаточно широком интервале температуры и давления, которые влияют на их структурные особенности [7]. Для исследованного микроклина температура соответствует 375° С (табл. 2).

Новобобровское рудное поле. Рудовмещающие жильный комплекс породы светлинской свиты развиты в нижнем течении р. Бобровая. Жильный комплекс представлен кварц-гетит-гематитовыми жилами с оторочками калиевого полевого шпата и/или карбоната. Фенитизированные кварцитопесчаники представлены калишпатизированными, альбитизированными и эгиринизированными разностями [9]. В пределах рудного поля отмечена дайка ультраосновных пород [10–12]. Рудными минералами являются колумбит и монацит.

Исследован калиевый полевой шпат (проба НВ1-16) из калишпатизированного кварцитопесчаника, развитого в зальбандовой части кварцевой жилы мощностью 2 м. Калиевый полевой шпат имеет ярко-розовый цвет, наблюдается в разноразмерных оторочках кварцевых жил, а также пропитывает метапесчаники. По данным микрозондового анализа, содержание оксида натрия в калиевом полевом шпате находится на уровне 0.33–0.38 мас. % (см. табл. 1). В пересчете на альбитовый минал это составляет 0.03 %.

Рентгенографические параметры: положение дифракционного максимума 2θ ($\bar{2}$01) соответствует 20.90° КПШ, d=4,25, что указывает на минимальную структурную примесь альбитового минала [4]. Исследуемый полевой шпат является триклинным, это следует из расхождения пиков (130) и ($\bar{1}$30), имеющих соответствующие характеристики: 2θ(130) = 23.24, 2θ ($\bar{1}$30) = 24.03. Степень триклинности (Δt_1)=0.96. Al-Si упорядоченность кристаллической решетки КПШ (t_1) оценивалась по положению дифракционных максимумов (060) и ($\bar{2}$04); 2θ(060)=41.86, 2θ ($\bar{2}$04) =50.61 соответственно. Положения линий этих максимумов связаны с параметром t_1 рядом уравнений [6], при решении уравнений получены параметры Т-позиций: t_1o=0.965, t_1m=0.005, t_2o=t_2m=0.0171, соответствующие низкому микроклину [5]. Температура кристаллизации для изученного низкого микроклина равна 420° С.

Нижне-Мезенское рудное поле. Рудовмещающие комплексное редкометалльно-редкоземельное оруденение метатерригенные отложения визингской свиты четласской серии расположены в верховьях р. Мезени. Минерализация локализована в зонах катаклаза как вмещающих метаморфитов, так и кварц-полевошпатовых жил («Жила Большая»). Из магматических пород в пределах рудного поля отмечена дайка щелочных пикритов четласского комплекса. Рудная минерализация представлена монацитом, колумбитом.

Калиевый полевой шпат для исследований отобран из интенсивно катаклазированных калишпатизированных и ожелезненных кварцитопесчаников и обломков калиевого полевого шпата из зоны жилы, сложенной брекчией.

По данным микрозондового анализа, в калиевом полевом шпате содержится незначительное количество оксида натрия – 0.23–0.28 мас. %, что соответствует 0.02–0.03 минальным процентам альбита.

Рентгенографические исследования показали следующее. Положение отражения (20$\bar{1}$) соответствует 20.88–21.06, и величина d = 4.21–4.25, что указывает на наличие незначительной примеси альбитового компонента в его составе [4]. Калиевый полевой шпат является триклинным, степень триклинности (Δt_1) равна 0.55–0.86, что следует из расхождения пиков (130) и ($\bar{1}$30) [6]. Al-Si упорядоченность была рассчитана по положению дифракционных максимумов (060) и ($\bar{2}$04), параметр 2t1 варьирует в пределах 0.89–0.93, что соответствует промежуточному микроклину [5]. По графику изменений равновесной упорядоченности КПШ (t_1) от температуры были оценены температуры кристаллизации исследованных минералов [7], они составляют 450–510 ° С.

Верхне-Щугорское рудное поле. Расположено в верхнем течении р. Щугор (правый приток р. Выми). Щелочные метасоматиты развиты по метатерригенно-карбонатным отложениям быстринской серии в пределах Северной Залежи рудного поля. В метасоматитах наблюдается полосчатость, обусловленная чередованием калиево-полевошпатовых, альбит-эгириновых прослоев.

По результатам микрозондового анализа содержание оксида натрия в калиевом полевом шпате не обнаружено. Данные порошковой дифрактометрии показывают, что дифракционный максимум 2θ(20$\bar{1}$) соответствует 21.04° калиевого полевого шпата при параметре d=4.22, это говорит о незначительной структурной примеси альбитового минала [4]. Из расхождения пиков 2θ(130) = 23.20, 2θ($\bar{1}$30)= 24.03 следует, что изученный КПШ является триклинным, степень триклинности (Δt_1)=0.469. По положению дифракционных максимумов 2θ(060)=41.83, 2θ($\bar{2}$04)=50.59 оценивалась Al-Si упорядоченность кристаллической решетки КПШ (t_1), параметр $2t_1$=0.96, что соответствует низкому микроклину [5]. Температура кристаллизации равна 445° С.

Заключение

Исследован КПШ из щелочных рудных (редкометалльно-редкоземельных) метасоматитов Косьюского рудного узла Среднего Тимана, который, наряду с альбитом, является одним из ведущих минералов рудных фенитов.

В изученных калиевых полевых шпатах данные по незначительной примеси оксида натрия (0.19–0.38 мас. %) по результатам микрозондового анализа подтверждаются рентгено-структурными исследованиями, которые также свидетельствуют о минимальной структурной примеси альбитового компонента в КПШ.

Калиевый полевой шпат рудных фенитов рентгеноструктурно является микроклином, установлено несколько его разновидностей: максимальный микроклин (Октябрьское рудное поле), низкий микроклин (Новобобровское и Верхне-Щугорское рудные поля), промежуточный микроклин (Нижне-Мезенское рудное поле).

Калиевые полевые шпаты фенитов формировались при воздействии щелочных растворов на кварцитопесчаники в довольно широком интервале температур – от 375° до 510° С. Самыми низкотемпературными (375° С) являются наиболее упорядоченные максимальные микроклины Октябрьского рудного поля. Для низких микроклинов установлены температуры 420° и 455° С (для Новобобровского и Верхне-Щугорского полей соответственно). Наименее упорядоченный промежуточный микроклин Нижне-Мезенского рудного поля образовался в интервале 485–510° С.

Литература

1. Ивенсен, Ю.П. Магматизм Тимана и полуострова Канин / Ю.П. Ивенсен. – Москва-Ленинград: Наука, 1964. – 126 с.
2. Костюхин, М.Н. Байкальский магматизм Канино-Тиманского региона / М.Н. Костюхин, В.И. Степаненко. – Ленинград: Наука, 1987. – 232 с.
3. Тиманский кряж. Т. 2. Литология и стратиграфия, геофизическая характеристика земной коры, тектоника, минерально-сырьевые ресурсы / ред. Л.П. Шилов, А.М. Плякин, В.И. Алексеев. – Ухта: УГТУ, 2009. – 460 с.
4. Марфунин, А.С. Полевые шпаты – фазовые взаимоотношения, оптические свойства, геологическое распределение / А.С. Марфунин. – Москва: Изд-во Академии наук СССР, 1962. – 275 с. – (Труды ИГЕМ. Вып. 78).
5. Минералы: справ. – Москва: Наука, 1960. – Т.5: Каркасные силикаты. Вып.1: Силикаты с разорванными каркасами, полевые шпаты / гл. ред. Г.Б. Бокий, Б.Е. Боруцкий; отв. ред. Н.Н. Мозгова, М.Н. Соколова. – Москва. 2003. – 583 с.
6. Kroll, H. Determining (Al, Si) distribution and strain in alkali feldspars using lattice parameters and diffraction-peak positions: A review / H. Kroll, P. Ribbe // American Mineralogist. – 1987. – Vol. 72. – P. 491–506
7. Рентгенография основных типов породообразующих минералов (слоистые и каркасные силикаты) / под ред. В.А. Франк-Каменецкого. – Ленинград: Изд-во «Недра», 1983. – 359 с.
8. Удоратина, О.В. Октябрьское рудное поле (Средний Тиман): Ar-Ar данные / О.В. Удоратина, А.В. Травин, И.Н. Бурцев, К.В. Куликова, И.А. Губарев // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. – 2020. – № 17. – С. 534–538.
9. Удоратина, О.В. Возраст метапесчаников верхнедокембрийской четласской серии Среднего Тимана на основании U-Pb датирования детритных цирконов / О.В. Удоратина, И.Н. Бурцев, Н.Ю. Никулова, В.Б. Хубанов // Бюл. МОИП. Отд. геол. – 2017. – Вып. 5. – С. 15–32.
10. Udoratina, O.V. Geochemical characteristics of alkaline picrites of rare-metal-rare-earth ore fields (Middle Timan) / O.V. Udoratina, K.V. Kulikova, D.A. Varlamov, A.M. Shmakova // "Magmatism of the Earth and related strategicmetal deposits". Proc. XXXVI Int.Conf., Saint Petersburg State University, 23–26 May 2019. – Moscow: GEOKHI RAS, 2019. – S. 313–316.
11. Удоратина, О.В. Ультраосновные породы Новобобровского рудного поля (Средний Тиман): минералогия, петрография / О.В. Удоратина, А.М. Шмакова, Д.А. Варламов, А.С. Шуйский // Известия Коми научного центра УрО РАН. – 2021. – № 3 (49). – С. 14–21.
12. Удоратина, О.В. Новобобровское рудное поле (Четласский Камень, Средний Тиман): Ar-Ar данные / О.В. Удоратина, А.В. Травин, И.Н. Бурцев, К.В. Куликова // Геосферные исследования. – 2021. – № 2. – С. 21–28.

References

1. Ivensen, Yu.P. Magmatizm Timana i poluostrova Kanin [Magmatism of Timan and the Kanin Peninsula] / Yu.P. Ivensen. – Moscow-Leningrad: Nauka, 1964. – 126 p.
2. Kostyukhin, M.N. Baykalskiy magmatizm Kanino-Timanskogo regiona. [The Baikal magmatism of the Kanino-Timan region] / M.N. Kostyukhin, V.I. Stepanenko. – Leningrad: Nauka, 1987. – 232 p.
3. Timanskiy kryazh. T. 2. Litologiya i stratigrafiya, geofizicheskaya kharakteristika zemnoy kory, tektonika, mineralno-syryevye resursy [The Timan Ridge. Vol. 2. Lithology and stratigraphy, geophysical characteristics of the earth's crust, tectonics, mineral resources] / ed. by L.P. Shilov, A.M. Plyakin, V.I. Alekseyev. – Ukhta: Ukhta State Technical University, 2009. – 460 p.
4. Marfunin, A.S. Polevyye shpaty – fazovye vzaimootnosheniya, opticheskiye svoystva, geologicheskoye raspredeleniye [Feldspars – phase relationships, optical properties, geological distribution] / A.S. Marfunin. – Moscow:

Publishing house of the USSR Academy of Sciences, 1962. – 275 p. – (Proceedings of the Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the RAS, issue 78).
5. Mineraly: Spravochnik [Minerals: A Handbook]. – Moscow: Nauka, 1960. – Vol.5: Karkasnyye silikaty [Framework silicates]. Issue1: Silikaty s razorvannymi karkasami, polevyye shpaty [Silicates with broken frameworks, feldspars] / editor-in-chief G.B. Bokiy, B.Ye. Borutskiy, N.N. Mozgova, M.N. Sokolova. – Moscow. – 2003. – 583 p.
6. Kroll, H. Determining (Al, Si) distribution and strain in alkali feldspars using lattice parameters and diffraction-peak positions: A review / H. Kroll, P. Ribbe // American Mineralogist. – 1987. – Vol. 72. – P. 491-506
7. Rentgenografiya osnovnykh tipov porodoobrazuyushchikh mineralov (sloistye i karkasnye silikaty) [Radiography of the main types of rock-forming minerals (layered and framework silicates)] / ed. by V.A. Frank-Kamenetskij. – Leningrad: Publishing House «Nedra», 1983. – 359 p.
8. Udoratina, O.V. Oktyabrskoye rudnoye pole (Sredniy Timan): Ar-Ar dannye [Oktyabrskoye ore field (Middle Timan): Ar-Ar data] / O.V. Udoratina, A.V. Travin, I.N. Burtsev, K.V. Kulikova, I.A. Gubarev // Proceedings of the Fersman scientific session of the Geological Institute, Kola Science Center of the RAS. – 2020. – No. 17. – P. 534–538.
9. Udoratina, O.V. Vozrast metapeschanikov verkhnedokembriyskoy chetlasskoy serii Srednego Timana na osnovanii U-Pb datirovaniya detritnykh tsirkonov [Age of Upper Precambrian metasandstones of the Chetlas Group of the Middle Timan based on U-Pb dating of detrital zircons] / O.V. Udoratina, I.N. Burtsev, N.Yu. Nikulova, V.B. Khubanov // Bull. of Moscow Society of Naturalists. Department of Geology. – 2017. – Issue 5. – P. 15–32.
10. Udoratina, O.V. Geochemical characteristics of alkaline picrites of rare-metal-rare-earth ore fields (Middle Timan) / O.V. Udoratina, K.V. Kulikova, D.A. Varlamov, A.M. Shmakova // "Magmatism of the Earth and related strategic metal deposits". Proc. XXXVI Int. Conf., St. Petersburg State University, 23–26 May 2019. – Moscow: GEOKHI RAS, 2019. – P. 313–316.
11. Udoratina, O.V. Ultraosnovnyye porody Novobobrovskogo rudnogo polya (Sredniy Timan): mineralogiya, petrografiya [Ultrabasic rocks of the Novobobrovskoe ore field (Middle Timan): mineralogy, petrography] / O.V. Udoratina, A.M. Shmakova, D.A. Varlamov, A.S. Shuyskiy // Proceedings of the Komi Science Centre, Ural Branch of the RAS. – 2021. – No.2. – P. 14–21.
12. Udoratina, O.V. Novobobrovskoye rudnoye pole (Chetlasskiy Kamen, Sredniy Timan): Ar-Ar dannye [Novobobrovskoye ore field (Chetlassky Kamen, Middle Timan): Ar-Ar data] / O.V. Udoratina, A.V. Travin, I.N. Burtsev, K.V. Kulikova // Geospheric research. – 2021. – No. 2. – P. 21–28.

Благодарность (госзадание)

Исследования проводятся при поддержке гранта РФФИ и Республики Коми № 20-45-110010.

Информация об авторах:

Куликова Ксения Викторовна – кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории петрографии Института геологии имени академика Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Scopus Author ID 15729066100, https://orcid.org/ 0000-0003-1714-824X (Российская Федерация, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54, e-mail: fopolina1@yandex.ru).

Удоратина Оксана Владимировна – кандидат геолого-минералогических наук , ведущий научный сотрудник лаборатории петрографии Института геологии имени академика Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Scopus Author ID 6507890574, https://orcid.org/ 0000-0001-9956-6271 (Российская Федерация, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54, e-mail: taykey@yandex.ru).

Макеев Борис Александрович – научный сотрудник лаборатории петрографии Института геологии имени академика Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Scopus Author ID 26664800600, https://orcid.org/ 0000-0001-6001-8278 (Российская Федерация, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54, e-mail: makboris@mail.ru).

Шуйский Александр Сергеевич – младший научный сотрудник лаборатории петрографии Института геологии имени академика Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Scopus Author ID 57212406941, https://orcid.org/ 0000-0002-6928-9354 (Российская Федерация, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54, e-mail: self88@yandex.ru).

About the authors:

Ksenia V. Kulikova – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Petrography, Institute of Geology, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Scopus Author ID 15729066100, https://orcid.org/ 0000-0003-1714-824X (54, Pervomayskaya Str., Syktyvkar, Komi Republic, 167982, Russian Federation; e-mail: fopolina1@yandex.ru).

Oksana V. Udoratina – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Petrography, Institute of Geology, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,

Scopus Author ID 6507890574, https://orcid.org/ 0000-0001-9956-6271 (54, Pervomayskaya Str., Syktyvkar, Komi Republic, 167982, Russian Federation; e-mail: taykey@yandex.ru).

Boris A. Makeev – Research Associate, Laboratory of Petrography, Institute of Geology, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Scopus Author ID 26664800600 , https://orcid.org/ 0000-0001-6001-8278 (54, Pervomayskaya Str., Syktyvkar, Komi Republic, 167982, Russian Federation; e-mail: makboris@mail.ru).

Alexander S. Shuisky – Junior Researcher, Laboratory of Petrography, Institute of Geology, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Scopus Author ID 57212406941 , https://orcid.org/ 0000-0002-6928-9354 (54, Pervomayskaya Str., Syktyvkar, Komi Republic, 167982, Russian Federation; e-mail: self88@yandex.ru).

Для цитирования:

Куликова, К.В. Калиевый полевой шпат рудных щелочных метасоматитов (Средний Тиман) / К.В. Куликова, О.В. Удоратина, Б.А. Макеев, А.С. Шуйский // Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия "Науки о Земле". – 2022. – №2 (54). – С. 41-46. УДК 549.08 (234.83). DOI 10.19110/1994-5655-2022-2-41-46

For citation:

Kulikova, K.V. Potassium feldspar of ore alkaline metasomatites (Middle Timan) / K.V. Kulikova, O.V. Udoratina, B.A. Makeev, A.S. Shuisky // Proceedings of the Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Earth Sciences Series. – 2022. – No. 2 (54). – P. 41-46. УДК 549.08 (234.83). DOI 10.19110/1994-5655-2022-2-41-46

Дата поступления рукописи: 11.03.2022
Прошла рецензирование: 22.03.2022
Принято решение о публикации: 04.04.2022
Received: 11.03.2022
Reviewed: 22.03.2022
Accepted: 04.04.2022

Бадделеит и циркон из алмазосодержащих отложений (D_{2-3}*as*) на Южном Тимане

О.В. Гракова

Институт геологии имени академика Н.П. Юшкина
ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
г. Сыктывкар
ygrakov@yandex.ru

Аннотация

В среднедевонских терригенных отложениях на Южном Тимана установлены циркониевые минералы: бадделеит и циркон. Показано, что в отложения асыввожской свиты минералы поступали из разных источников. Бадделеит, помимо основного компонента ZrO_2, содержит следующие элементы-примеси: HfO_2, TiO_2 и FeO. Материнскими породами, в которых образовался бадделеит, возможно, являлись кимберлиты: показано их сходство с бадделеитами из кимберлитовых тел (по морфологии и форме кристаллов, химическому составу, соотношению элементов край/центр и Zr/Hf отношению). В результате транспортировки бадделеит, совместно с другими устойчивыми минералами, переносился и накапливался в отложениях асыввожской свиты. В исследуемых гравелитах асыввожской свиты было установлено два типа циркона: новообразованный циркон, обрастающий вокруг бадделеита и слабоокатанные трещиноватые коротокопризматические зерна. Первый тип циркона может быть образован при воздействии на породу флюидов, привносящих кремнезём, в результате чего происходило реакционное замещение бадделеита цирконом. Циркон второго типа характеризуется присутствием многочисленных элементов-примесей: HfO_2, FeO, Al_2O_3, P_2O_5, Y_2O_3, CaO, Sc_2O_3, Nd_2O_3. Он, вероятно, был образован в результате переотложения из подстилающих рифейских пород.

Ключевые слова:

среднедевонские отложения, Тиман, бадделеит, циркон

Baddeleyite and zircon from diamond-bearing deposits (D_{2-3}*as*) in the Southern Timan

O.V. Grakova

Institute of Geology named after academician N.P. Yuskin, Komi Science Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar
ygrakov@yandex.ru

Abstract

In the Middle Devonian deposits in the south of the Timan, zirconium minerals baddeleyite and zircon have been determined. It is shown that the deposits of the Asyvvozh Formation received minerals from different sources. Baddeleyite contains the following trace elements: HfO_2, TiO_2 and FeO. The source rocks in which baddeleyite was formed may have been kimberlites: their similarity with baddeleyites from kimberlite bodies is noted in morphology and shape of crystals, chemical composition, edge/center element ratio and Zr/Hf ratio. As a result of transportation, baddeleyite, together with other stable minerals, was transported and accumulated in the deposits of the Asyvvozh Formation. In the studied gravelstones of the Asyvvozh Formation, two types of zircon were found: newly formed zircon overgrowing around baddeleyite and weakly rounded fractured short prismatic grains. The first type of zircon could have been formed when the rock was exposed to silica-bearing fluids, which resulted in the reaction replacement of baddeleyite by zircon. Zircon of the second type is characterized by the presence of numerous impurity elements: HfO_2, FeO, Al_2O_3, P_2O_5, Y_2O_3, CaO, Sc_2O_3, Nd_2O_3. It probably formed as a result of redeposition from the underlying Riphean rocks.

Keywords:

Middle Devonian deposits, Timan, baddeleyite, zircon

Введение

Интерес геологов к среднедевонским терригенным отложениям асыввожской свиты, обнажающимся в карьере Асыввож на Южном Тимане, связан, прежде всего, с тем, что здесь в 1988 г. в ходе геолого-поисковых работ было обнаружено пять мелких (0,5 мм) обломков кристаллов алмазов. Находки алмазов приурочены к базальным и средним частям разреза свиты [1]. Результаты проведенных нами ранее литолого-минералогических исследований этих отложений приведены в ряде статей и обобщены в недавно вышедшей монографии [2]. В ходе экспедиционных исследований на Южном Тимане в 2021 г. получены новые данные по минералогии циркониевых минералов из пород асыввожской свиты, в том числе, впервые установлен моноклинный диоксид циркония – бадделеит.

Бадделеит – типичный минерал апатит-форстеритовых пород и магнетитовых руд, карбонатитов и доломит-флогопитовых пород. В качестве акцессорного минерала он встречается в кимберлитах, в брекчиях существенно кварцевого состава; в габброидах расслоенных базит-гипербазитовых массивов; в меланитовых щелочных сиенитах и альбититах; в щелочных и нефелиновых сиенитах, пегматитах нефелиновых сиенитов; в фенитах экзоконтактного ореола; на контактах щелочных интрузивов с карбонатными породами. Бадделеит устойчив в гипергенных условиях

и накапливается в россыпях совместно с рутилом, касситеритом, цирконом, ильменитом, корундом, шпинелью, турмалином [3].

Циркон, как известно, является одним из наиболее информативных минералов и при изучении осадочных толщ используется для палеореконструкций источников сноса, дальности переноса осадочного материала, установления возраста пород и других целей.

Полученные новые данные по морфологии и составу циркониевых минералов дают дополнительную информацию об условиях формирования среднедевонских терригенных отложений Южного Тимана и возможном составе источников сноса.

Методы исследования

Объектом нашего исследования являются бадделеит и циркон. Образец гравелита асыввожской свиты был помещен в эпоксидную шашку и изучен на электронном микроскопе. Микрозондовые исследования проводились на сканирующем электроном микроскопе TESCAN VEGA 3 LMH с энергодисперсионной приставкой X-MAX 50 mm2 Oxford instruments при ускоряющем напряжении 20 кВ, размер пучка 180 нм и области возбуждения до 5 мкм с использованием программного обеспечения Aztec (ЦКП «Геонаука» ИГ Коми НЦ УрО РАН, аналитик Е.М. Тропников). Калибровка производилась по кобальту (Co). В качестве дополнительных стандартов применялись 55 стандартов фирмы Micro-Analysis Consultants ltd.

Геологическая характеристика отложений

На юге Тимана среднедевонские отложения, в которых были установлены алмазы, находятся в северо-западной части возвышенности Джежимпарма и представлены асыввожской свитой ($D_{2-3}as$). Рассматриваемые породы залегают на песчаниках джежимской свиты верхнего рифея и перекрываются четвертичными отложениями (рис. 1). Асыввожская свита сложена разнозернистыми песчаниками с прослоями и линзами кварцевых гравелитов и глин [4]. Песчаники кварцевые светло-серого, дымчатого, розовато-кремового цветов. Встречаются также прослои коричневато-рыжего и темно-серого песчаников, что связано с ожелезнением и омарганцеванием пород. Присутствуют каолиновые глины светло-серого и черного цветов. Черная окраска отложений связана с наличием углефицированных остатков растений.

Нами было изучено обнажение, расположенное в 100 м на северо-запад от щебеночного карьера Асыввож (рис. 2 а). Общая мощность отложений асыввожской свиты, вскрытых в этом обнажении, составляет 5 м. Породы разбиты разнонаправленными трещинами. Слоистость в породах падает на восток под углом в 50°. В девонских песчаниках встречаются тонкие прослои и «жилы» песчанистого материала черного цвета, смятые в мелкие асимметричные складки (рис. 2 б, в). Вероятно, черные песчаники являются вторичными образованиями. Их происхождение, скорее всего, связано с просачиванием по ослабленным зонам растворов, обогащенных марганцем. Повышенное содержание марганца подтверждено данными приближен-

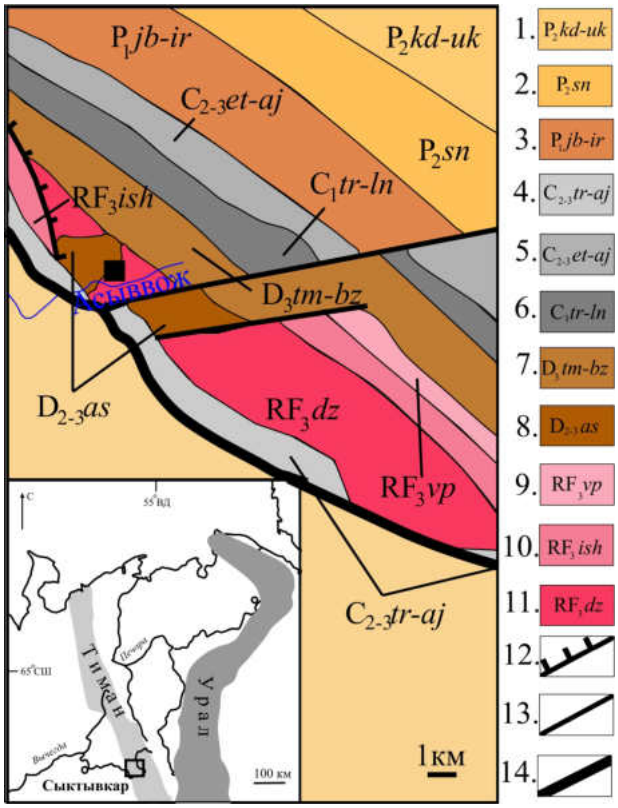


Рисунок 1. Схематическая геологическая карта возвышенности Джежимпарма (Южный Тиман) [5]: 1. Кирдовская, усть-куломская свиты нерасчлененные. Глины, песчаники, известняки. 2. Синдорская свита. Глины, алевролиты, песчаники, известняки. 3. Иренская, филипповская, анельская, тыбьюская, северомылвинская, южнобуркемская свиты объединенные. Известняки, доломиты, кремни, глины. 4. Терригенная толща, лунвильская, елмачская и кодачская свиты, буркемская, одесская и аювинская толщи объединенные. Доломиты, известняки, глины. 5. Елмачская, кодачская свиты, буркемская, одесская и аювинская толщи объединенные. Известняки, доломиты, глины, кремни. 6. Терригенная толща и лунвильская свита объединенные. В нижней части – песчаники, алевролиты, глины, глинистые горючие сланцы, бокситы, в верхней – доломиты, доломитизированные известняки с прожилками гипса и ангидрита. 7. Тиманская, саргаевская, семилукская, шараельская, сирачойская свиты и бияизъяельская толща объединенные. Известняки, доломиты, песчаники, глины. 8. Асыввожская свита. Песчаники кварцевые с прослоями и линзами гравелитов, алевролитов и глин. 9. Вапольская свита. Доломиты с прослоями аргиллитов и алевролитов. 10. Ышкемесская свита. Доломиты с прослоями алевролитов и аргеллитов. 11. Джежимская свита. Песчаники аркозовые, полевошпат-кварцевые и кварцитовидные, аргиллиты и глинистые сланцы. 12. Достоверные разломы. 13. Достоверные надвиги. 14. Главный Западно-Тиманский надвиг. Черным квадратом отмечен район исследований.

Figure 1. Schematic geological map of the Dzhezhimparma Upland (South Timan) [5]. 1. The Kirdovsk and Ust-Kulom formations are undivided. Clays, sandstones, limestones. 2. Sindor formation. Clays, siltstones, sandstones, limestones. 3. Irensk, Filippov, Anel, Tybyus, Severomylvin, Yuzhnoburkem formations combined. Limestones, dolomites, flints, clays. 4. Terrigenous strata, Lunvil, Elmachand Kodach formations, Burkem, Odessa and Ayuvin strata combined. Dolomites, limestones, clays. 5. Elmach, Kodach formations, Burkem, Odessa and Ayuvins strata combined. Limestones, dolomites, clays, flints. 6. The terrigenous strata and the Lunville Formation are combined. In the lower part there are sandstones, siltstones, clays, argillaceous oil shales, bauxites, in the upper part - dolomites, dolomitized limestones with gypsum and anhydrite veins. 7. Timan, Sargaev, Semiluks, Sharal, Sirachoi formations and Biyazyael strata combined. Limestones, dolomites, sandstones, clays. 8. Asyvvozh suite. Quartz sandstones with interlayers and lenses of gravelstones, siltstones and clays. 9. Vapol suite. Dolomites with interlayers of mudstones and siltstones. 10. Yshkemess Formation. Dolomites with interlayers of siltstones and argellites. 11. Dzhezhim Formation. Arkose sandstones, feldspar-quartz and quartzite, mudstones and shales. 12. Credible faults. 13. Reliable thrust faults. 14. Main West Timan thrust. The study area is marked with a black square.

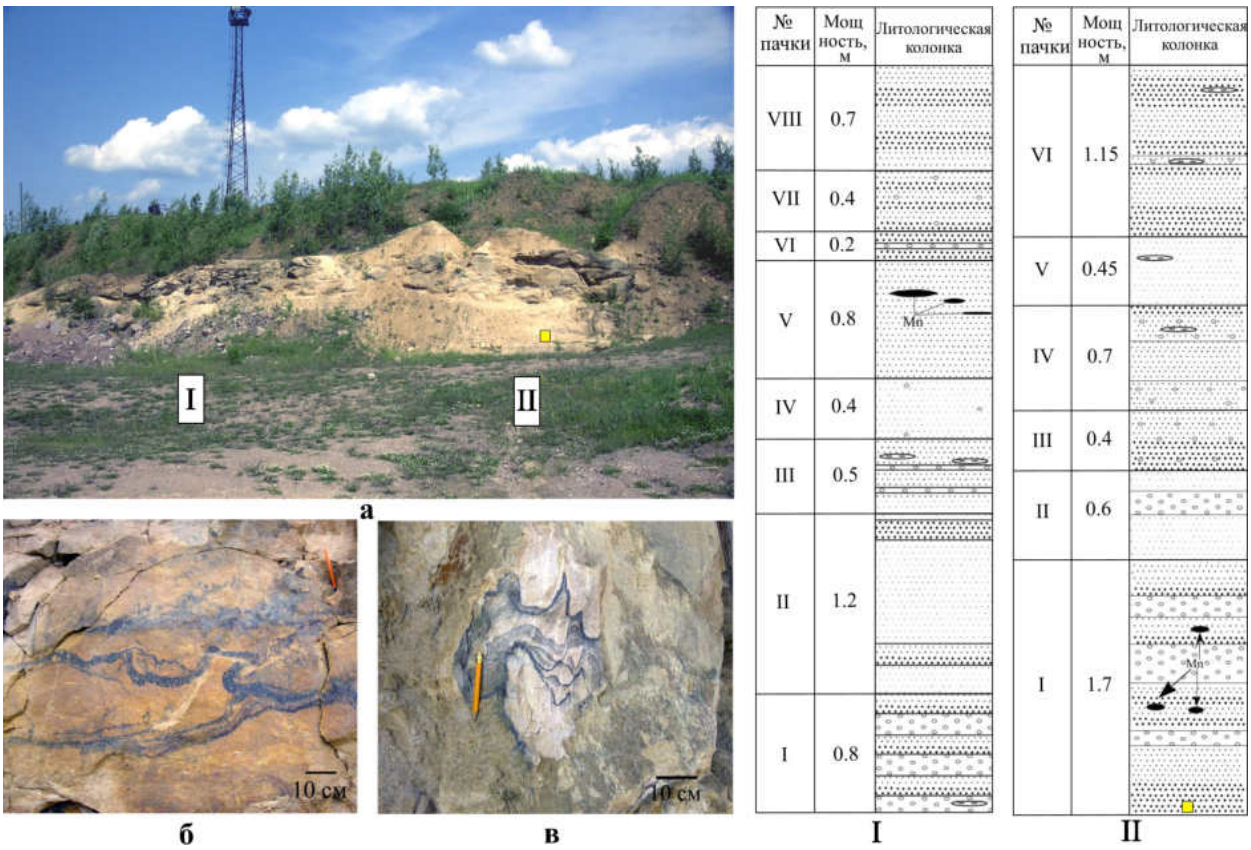


Рисунок 2. Коренные выходы асыввожской свиты: а – общий вид обнажения; б, в – детали обнажения: тонкие прослои в виде складок (б) и «жилы» (в) песчанистого материала черного цвета в песчаниках асыввожской свиты; I, II – литологическая колонка асыввожской свиты, описание приведено в тексте. Желтым квадратом выделено место отбора пробы, в которой найден бадделеит.

Figure 2. Bed rock of the Asyvvozh Formation: a – general view of the outcrop; b, c – outcrop details: thin interbeds in the form of shift fault (b) and "lode" (c) of black psammitic material in the sandstones of the Asyvvozh Formation; I, II – Formation log of the Asyvvozh Formation, description is given in the text. The yellow square marks the sampling material where baddeleyite was found.

но-количественного анализа [2]. Песчаники асыввожской свиты перекрываются четвертичными образованиями. Литологическая характеристика и взаимоотношения пород даются ниже на примере двух разрезов, отстоящих друг от друга на расстоянии 10 м.

В разрезе I снизу вверх выделяются восемь пачек (рис. 2 (I)). Пачка I: переслаивание песчаников розовато-кремового цвета крупно- и среднезернистого с гравелитом. Границы между прослоями песчаников и гравелитов четкие, волнистые. В нижней части пачки наблюдаются линзы глин размером от 5–6 до 18–20 см в длину и от 2–3 до 6–7 см в ширину. Видимая мощность – 0.8 м. Верхний контакт четкий, волнистый. Пачка II: переслаивание песчаников светло-серого цвета мелко-, средне- и крупнозернистых. Отмечается горизонтальная слоистость, выраженная коричневато-серым цветом, который имеют породы на границах между слоями. Общая мощность пачки – 1.2 м. Контакт нечеткий, волнистый. Пачка III: переслаивание песчаников светло-серого цвета мелко- и среднезернистых и гравелитов. Мощность гравелитовых слойков – 0.5–1 см. В песчанике отмечается горизонтальная слоистость, выраженная цветом от светло-серого до бурого. Встречаются небольшие (1×2 см) линзы глин. Общая мощность пачки – 0.5 м. Верхний контакт четкий, волнистый. Пачка IV: песчаник светло-серого цвета мелкозернистый с галькой. Наблюдается косая слоистость, выраженная изменением цвета песчаника от светло-серого до бурого. Мощность пачки – от 0.1 до 0.4 м, изменения связаны с выклиниванием слоя в левой части обнажения. Контакт с вышележащим слоем четкий, волнистый. Пачка V: переслаивание песчаника светло-серого цвета среднезернистого с тонкими слоями песчаника коричневого цвета среднезернистого. Встречаются линзы и конкреции размером от 5 до 20 см, сложенные песчаником черного цвета. Мощность пачки меняется от 0.6 до 0.8 м, что связано с выклиниванием нижележащего слоя в левой части обнажения. Верхний контакт нечеткий, волнистый. Пачка VI: переслаивание песчаников светло-серого цвета крупнозернистых с гравелитом. В песчанике отмечается горизонтальная слоистость, выраженная цветом от светло-серого до бурого. Мощность пачки – 0.2 м. Верхний контакт нечеткий, волнистый. Пачка VII: переслаивание песчаников серо-розового цвета средне- и крупнозернистых. Отмечается горизонтальная слоистость, подчеркнутая коричневой окраской тонких слоев песчаников. Мощность – 0.4 м. Верхний контакт нечеткий, волнистый. Пачка VIII: песчаник серо-розового цвета средне-, крупнозернистый, отдельные слои окрашены в коричнево-серый цвет. Наблюдается косая слоистость. Мощность слоя – 0.7 м.

В разрезе II снизу вверх выделяются шесть пачек (см. рис. 2 (II)). Пачка I: переслаивание песчаника светло-серого цвета крупно- и среднезернистого с гравелитом. В нижнем слое крупнозернистого песчаника наблюдаются конкре-

ции, сложенные гравелитом бурого цвета (здесь была отобрана проба, в которой найден бадделеит). Границы между слоями песчаников и гравелитов четкие, волнистые. Видимая мощность пачки – 1.6–1.7 м. Верхний контакт нечеткий, волнистый. Пачка II: переслаивание песчаника розовато-серого цвета мелкозернистого с гравелитом. В песчанике отмечается горизонтальная слоистость, выраженная изменением цвета песчаника от светло-серого до оранжево-коричневого. В гравелите присутствуют тонкие слои песчаника светло-коричневого цвета. Общая мощность – 0.6 м. Верхний контакт четкий, слабоволнистый. Пачка III: песчаник светло-серый крупно-, среднезернистый с включениями гравия и гальки. Наблюдается горизонтальная слоистость, выраженная в изменении цвета песчаника от светло-серого до темно–коричневого. Мощность – 0.4 м. Верхний контакт нечеткий, слабоволнистый. Пачка IV: переслаивание песчаника светло-коричневого цвета среднезернистого с песчаником светло-серого цвета крупнозернистым с гравием и линзами глин размером 2–3 см. В среднезернистом песчанике отмечается горизонтальная слоистость, которая выражается изменением цвета песчаника, от светло-коричневого до бурого. Мощность пачки – 0.7 м. Верхний контакт нечеткий, слабоволнистый. Пачка V: переслаивание песчаников светло-серого и коричневого цветов мелкозернистых. Наблюдается горизонтальная слоистость, которая выражена цветом. Общая мощность пачки – 0.45 м. Верхний контакт четкий, слабоволнистый. Пачка VI: переслаивание песчаника светло-коричневого и розовато-серого цветов крупно-, среднезернистого с гравием с гравелитом. В песчанике отмечается горизонтальная слоистость, выраженная цветом, присутствуют линзы глин размером 2×5 см. Мощность пачки – 1.15 м.

Сравнение литологических колонок (см. рис. 2) показало, что разрезы двух разных частей одного и того же обнажения из отложений асыввожской свиты плохо сопоставимы друг с другом, различаются крупностью материала, степенью сортированности, различным содержанием углистых компонентов. Это связано с выклиниванием отдельных слоев, проявлением косой слоистости, микротектоническим смещением отдельных слоев. Вероятно, отложения накапливались в аллювиальной обстановке, песчаники образовывались за счет материала под действием сильных течений, глинистый материал обязан своим происхождением мертвым руслам [6]. Можно предположить, что отложения асыввожской свиты – древний аллювий, накапливающийся за счет ветвящихся рек, хотя существует точка зрения, что они формировались в мелководной морской обстановке в условиях теплого климата [7].

Ранее нами в результате минералогического изучения тяжелой фракции шлихов в составе акцессориев асыввожской свиты установлены гранат, циркон, оксиды титана (рутил, ильменит, лейкоксен, анатаз, брукит, ильменорутил), минералы редких земель (монацит, ксенотим), тантало-ниобаты (танталит), корунд, турмалин, шпинель, ставролит, эпидот, амфибол, пироксен, пирит, гидрогетит, глауконит, лазулит, хромшпинелид, касситерит, сфалерит, магнетит, гидроокислы Fe, барит, кианит, апатит, уваровит, титанит, самородная медь, золото, алмазы [8, 9]. Основная масса тяжелой фракции представлена цирконом (40 %), турмалином (30 %) и минералами оксида титана (25 %).

Морфологические особенности и химический состав бадделеита и циркона

Исходя из того, что основная масса алмазов в россыпях сосредоточена в грубообломочных породах, нами были изучены циркониевые минералы из сцементированного кварцевого гравелита, выполняющего линзу в рыхлом крупнозернистом песчанике желтого цвета, залегающем в нижней части разреза II (рис. 3).

Бадделеит представлен удлиненными зернами, размером около 15 мкм (рис. 4 а), установлен в кварц-глинистом цементе гравелита. Количественный анализ минерала показал, что помимо ZrO_2 в нем содержаться изоморфные примеси HfO_2 (до 2.32 мас. %), TiO_2 (до 1 мас. %) и FeO (до 0.78 мас.%). В краевых частях кристалла присутствует SiO_2 (таблица, анализ 2), повышенное содержание которого может быть связано с наследованием из окружающего его кварца. Величина Zr/Hf в бадделеите составляет 39–46. Бадделеит обрастает цирконом, что хорошо видно на снимке в режиме BSE (рис. 4 а). Диагностика минерала, как циркона, подтверждается результатами микроанализа (таблица, анализ 3), хотя из-за малого размера этого минерала анализ не является вполне корректным: на него, несомненно, повлияли окружающие кварц и бадделеит.

Цирконы в гравелитах асыввожской свиты представлены зернами призматического габитуса, со сглаженными ребрами, размером до 100 мкм (рис.4 б, в) и их обломками. Минерал имеет зональное строение. В светлых зонах цирконов помимо основных компонентов постоянно присутствует HfO_2, также содержится FeO в количестве 1.34 мас.% (таблица, анализы 4, 6). Темно-серые участки циркона (таблица, анализ 5) содержат следующие элементы-примеси: HfO_2, FeO, Al_2O_3, P_2O_5, Y_2O_3, CaO, Sc_2O_3, Nd_2O_3. Zr/Hf отношение в цирконах этого типа составляет 49–62.

Обсуждение результатов

Бадделеит из гравелита асыввожской свиты представлен удлиненными зернами. С целью оценки возможных источников бадделеита нами была проведена сравнительная характеристика морфологических особенностей и химического состава этого минерала из гравелита асыввожской свиты с бадделеитами из разных типов пород. В кимберлитах Новоласпинской трубки (юго-восток Украинского щита) описаны удлиненно-призматические кристаллы бадделеита гомогенного строения [10]. Содержание ZrO_2 в минерале составляет 91.81 – 96.05 мас.%, TiO_2 – 1.16 – 4.75 мас.%, FeO – от 0.14 до 0.50 мас.%, причем центральные части кристалла содержат больше железа, чем краевые. Также в кристаллах бадделеита из кимберлитов установлено сравнительно высокое содержание HfO_2 – 1.82 – 2.56 мас.%, величина Zr/Hf составляет 33–42.

Бадделеит также встречен в кимберлитовых телах Сибири и Африки [11]. В кимберлитовых телах Сибири бадделеит найден в виде мелких зерен – 0.15–0.5 мм. В трубках Монастери и Мотае (ЮАР) этот минерал образуется на гра-

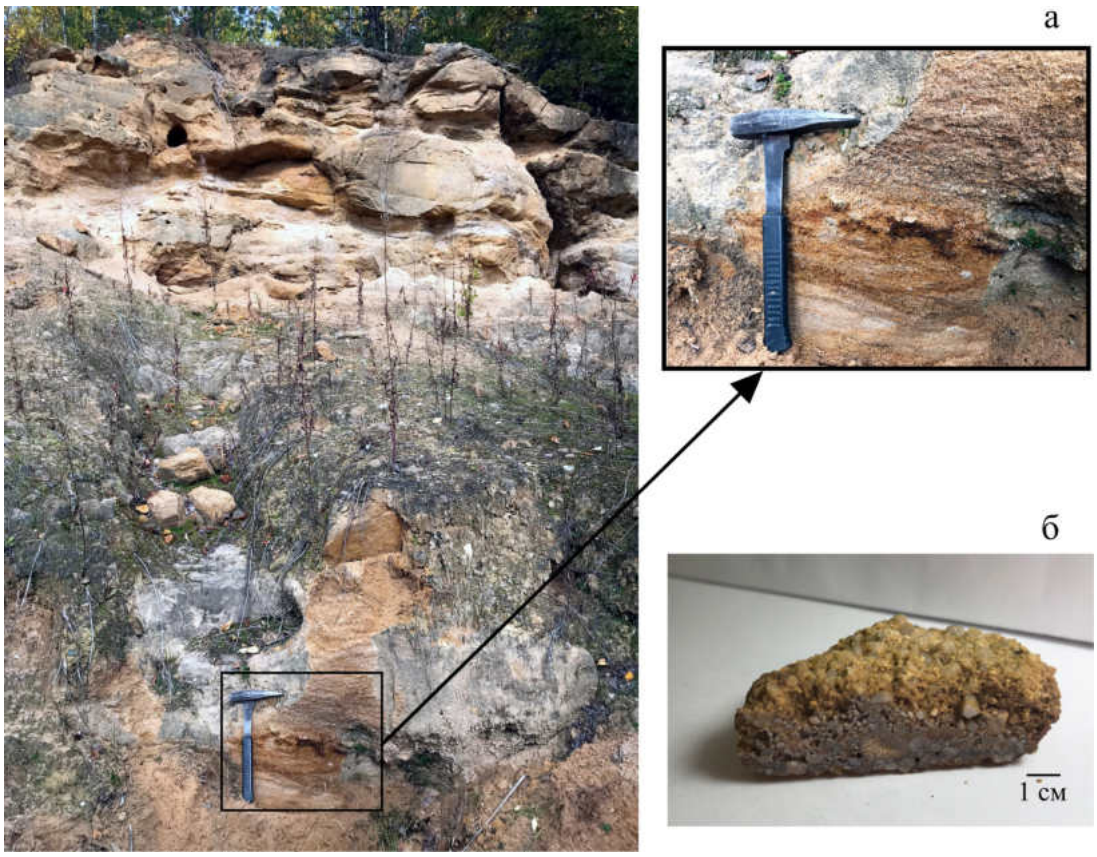


Рисунок 3. Общий вид обнажения асыввожской свиты, расположенного в 100 м на северо-запад от карьера Асыввож (переслаивающиеся песчаники, гравелиты и глины): а – место отбора образца, б – образец гравелита, в котором установлен бадделеит.
Figure 3. General view of the outcrop of the Asyvvozh Formation, located 100 m north-west of the Asyvvozh open-pit mine (interbedded sandstones, gravelites and clays): a – sampling site, b – gravelite sample, in which baddeleyite was found.

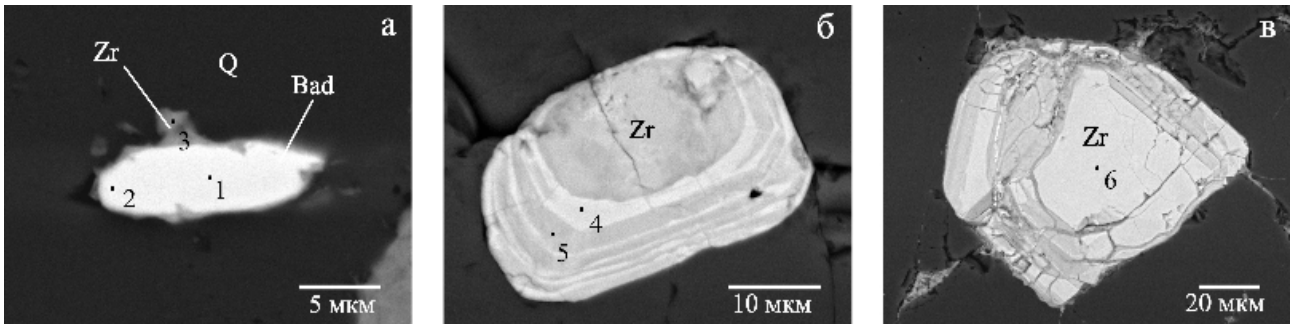


Рисунок 4. Циркониевые минералы в алмазсодержащих среднедевонских отложениях Южного Тимана: а – удлиненное окатанное зерно бадделеита; б, в – зональные призматические зерна циркона. Bad – бадделеит; Zr – циркон; Q – кварц. Изображения в обратно-отраженных электронах. Цифрами показаны места анализов в таблице.
Figure 4. Zirconium minerals in diamond-bearing Middle Devonian deposits of South Timan: a - elongated rounded baddeleyite grain; b, c – zoned prismatic zircon grains. Bad – baddeleyite; Zr – zircon; Q – quartz. Backscattered electron images. The numbers show the places of analyzes in the table.

ницах зерен циркона и ильменита и имеет следующий состав, %: ZrO_2 – 90.63–93.22; TiO_2 – 3.68–6.10; Al_2O_3 – 0.11–0.51; Cr2O3 – 0.11–0.18; FeO – 0.63–0.68; MnO – 0.05–0.18; MgO – 0.09–0.19; CaO – 0.09–0.65.

Длиннопризматические кристаллы бадделеита и их сростки установлены в интрузивных породах основного состава Башкирского мегантиклинория (Южный Урал) [12]. В пикритах он включен в кристаллы оливина, пироксена и биотита, а в габброидах – в пироксен и амфибол. Химический состав минерала, мас.%: ZrO_2 – 94.16–96.59; HfO_2 – 1.47 – 2.65; TiO_2 – 0.31 – 1.26; FeO – 0.91 – 1.66; SiO_2 – 0.53. Отмечается уменьшение содержания HfO_2 (2.12 и 1.58 мас. %), TiO_2 (0.5 и 0.31 мас. %) и FeO (1.33 и 1.21 мас. %) от центра зерен к краям [12].

В отложениях среднедевонской пижемской свиты рудопроявления Ичетъю на Среднем Тимане, имеющей схожие петрографический и минеральный составы с породами асыввожской свиты, был также установлен бадделеит. Образование бадделеита авторы связывают с преобразованием циркона под воздействием высокотемпературных (500–600°) щелочных флюидов. Химический состав бадделеита пижемской свиты, мас.%: ZrO_2 – 96.12–99.8; TiO_2 – 0.16–2.17; HfO_2 – 0.04–1.67 [13]. Здесь он встречен в виде микроагрегатов, приуроченных к кайме, пустотам и тре-

Химический состав циркониевых минералов из пород асыввожской свиты, мас. %

Chemical composition of zirconium minerals from the rocks of the Asyvvozh Formation, wt %

Элемент	1	2	3	4	5*	6
	Бадделеит		Циркон			
ZrO_2	95.33	89.43	31.6	63.55	53.78	64.92
HfO_2	2.09	2.32	–	1.28	1.04	1.04
SiO_2	–	8.48	50.6	30.81	22.21	31.98
TiO_2	1	0.7	–	–	–	–
FeO	0.78	0.62	0.8	–	1.34	0.35
Сумма	99.2	101.56	82.47	95.64	85.78	98.29
Zr/Hf	45.61	38.55		49.65	51.71	62.42
Формульные коэффициенты						
Zr	0.95	0.80	0.47	1.00	0.92	0.98
Hf	0.01	0.01	–	0.02	0.02	0.02
Si	–	0.15	1.5	0.98	0.77	0.98
Ti	0.01	0.01	–	–	–	–
Fe	0.02	0.02	0.04	–	0.04	0.03

Примечание. Номера анализов соответствуют точкам микроанализа на рис. 4. Коэффициенты в формуле рассчитаны по кислороду. * Приведен не весь анализ, в сумму анализа 5 включены Al_2O_3 1,05; P_2O_5 3,1; Y_2O_3 1,87; CaO 0,76; Sc_2O_3 0,13; Nd_2O_3 0,5.

Note. The analysis numbers correspond to the microanalysis points in Fig. 4. The coefficients in the formula are calculated for oxygen. * The sum of the analysis 5 includes Al_2O_3 1,05; P_2O_5 3,1; Y_2O_3 1,87; CaO 0,76; Sc_2O_3 0,13; Nd_2O_3 0,5.

щинам в цирконе, в отличие от бадделеита из гравелита асыввожской свиты, где он выделяется в виде отдельных кристаллов, на поверхности которых образуется циркон.

Сравнение бадделеитов из изученных нами пород и различных пород других районов показывает некоторое сходство «асыввожского» бадделеита с бадделеитами из кимберлитовых тел по морфологии и форме кристаллов, химическому составу, соотношению элементов край/центр и Zr/Hf отношению. Однако для решения вопроса о возможном источнике сноса этого минерала необходимо дополнительное исследование его морфологии и химических особенностей на более представительном материале.

Проведенные исследования дают основание считать, что, в отличие от бадделеита из пижемской свиты Среднего Тимана, бадделеит в отложениях асыввожской свиты является аллотигенным минералом. В гипергенных условиях происходит реакционное замещение бадделеита новообразованным цирконом, при воздействии на породу флюидов, привносящих кремнезем [14]. Процесс обогащения кремнеземом осадков проявляется и в регенерации зерен кварца и образовании кварцевого цемента в отложениях асыввожской свиты [11]. Присутствие глинистого материала также способствует проявлению процесса окремнения пород.

Циркон, установленный в гравелитах асыввожской свиты имеет зональное строение, сильно трещиноват, в его составе установлены элементы-примеси: HfO_2, FeO, Al_2O_3, P_2O_5, Y_2O_3, CaO, Sc_2O_3, Nd_2O_3. Значение Zr/Hf отношения – 49-62, что свойственно цирконам из магматических пород кислого состава [15]. Циркон из отложений асыввожской свиты, вероятнее всего, образовался в результате размыва сильно выветрелого субстрата (разрушенные трещиноватые зерна циркона), их источниками могли быть отложения нижележащей верхнерифейской джежимской свиты.

Заключение

В результате изучения бадделеита и циркона показано, что в отложения асыввожской свиты циркониевые минералы могли поступать из разных источников.

Бадделеит пока найден только в очень мелких единичных зернах. Минерал имеет аллотигенное происхождение. В результате транспортировки бадделеит, совместно с другими устойчивыми минералами, переносился и накапливался в отложениях асыввожской свиты. Затем на поверхности бадделеита возникает новообразованный циркон в результате воздействия флюидов, привносящих кремнезем. Первые анализы этого минерала и сравнение их состава с составом бадделеита из различных пород других районов не исключает их кимберлитовую природу, хотя имеющиеся данные недостаточны для корректного заключения. В дальнейшем планируется пополнить коллекцию этого минерала и провести дополнительные исследования с целью установления его изотопного возраста и оценки состава пород, которые послужили источником сноса бадделеита.

Цирконы, имеющие зональное строение и содержащие большое количество элементов-примесей, вероятно, попали в состав среднедевонских осадков в результате переотложения из подстилающих рифейских отложений. Ранее детритные цирконы из изучаемых отложений были продатированы U–Pb методом. Было установлено, что песчаники асыввожской свиты не содержат зерен циркона моложе среднего рифея [7].

Литература

1. Терешко, В.В. Перспективы алмазоносности девонских отложений Южного Тимана / В.В. Терешко, Г.Я. Казанцева, С.И. Кириллин // Геология девона северо-востока европейской части СССР: материалы совещ. – Сыктывкар, 1991. – С. 76–77.
2. Гракова, О.В. Алмазопроявления Среднего и Южного Тимана / О.В. Гракова. – Сыктывкар, 2021. – 144 с.
3. Здорик, Т.Б. Бадделеит / Т.Б. Здорик // Типоморфизм минералов: справочник. – Москва: Недра, 1989. – С. 62–68.
4. Гракова, О.В. Петрографический состав и литохимические особенности алмазсодержащих отложений асыввожской (D2-3as) свиты Южного Тимана / О.В. Гракова, Н.С. Уляшева // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. – 2015. – № 12 (252). – С. 16–23.
5. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Уральская – Лист P-40 – Североуральск. Объяснительная записка / под. ред. М.А. Шишкина. – Санкт-Петербург: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2005. – 332 с.
6. Селли, Р.Ч. Древние обстановки осадконакопления / Р.Ч. Селли. – Москва: Недра, 1989. – 294 с.
7. Никулова, Н.Ю. Источники сноса и U–Pb возраст детритовых цирконов из песчаников асыввожской свиты среднего девона, возвышенность Джежимпарма, Южный Тиман / Н.Ю. Никулова, В.Н. Филиппов, В.Б. Хубанов

// Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2020. – Т. 28, № 6. – С. 92–104.
8. Гракова, О.В. Акцессорный ильменорутил алмазсодержащих среднедевонских пород Южного Тимана / О.В. Гракова // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. – 2011. – № 10. – С. 11–13.
9. Гракова, О.В. Видовой состав, химические и типоморфные особенности акцессорных минералов девонских алмазсодержащих отложений Южного и Среднего Тимана / О.В. Гракова // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. – 2014. – № 3. – С. 3–8.
10. Цымбал, С.Н. Минералы циркония из кимберлитов Новоласпинских трубки и дайки (юго-восток Украинского щита) / С.Н. Цымбал, А.А. Кременецкий, В.Б. Соболев, Ю.С. Цымбал // Мінерал. Журн. – 2011. – № 1 (33). – С. 41–62.
11. Илупин, И.П. Кимберлиты / И.П. Илупин, В.И. Ваганов, Б.И. Прокопчук. – Москва: Недра, 1990. – 248 с.
12. Ковалев, С.Г. Первые данные о бадделеит-цирконовой минерализации в дифференцированных интрузиях Башкирского мегантиклинория / С.Г. Ковалев, В.Н. Пучков, С.С. Ковалев, С.И. Высоцкий // Записки Российского минералогического общества. – 2020. – Т. 149, № 4. – С. 135–144.
13. Скублов, С.Г. Уникальная находка преобразования циркона в бадделеит (рудопроявления Ичетъю, Средний Тиман) / С.Г. Скублов, А.О. Красоткина, А.Б. Макеев, О.Л. Галанкина, А.Е. Мельник // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2018. – № 1. – С. 27–35.
14. Harlov, D. Fluids and geochronometers: charting and dating mass transfer during metasomatism and metamorphism / D. Harlov // J. Indian Inst. Sci. – 2015. – Vol. 95. – P. 109–124.
15. Осовецкий, Б.М. Типохимизм шлиховых минералов: справочник / Б.М. Осовецкий. – Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2001. – 244 с.

References

1. Tereshko, V.V. Perspektivy almazonosnosti devonskih otlozhenij Yuzhnogo Timana [Prospects for the diamond content of the Devonian deposits of the South Timan] / V.V. Tereshko, G.Ya. Kazanceva, S.I. Kirillin // Devonian geology of the northeast of the European part of the USSR: Proceedings of the meeting. – Syktyvkar, 1991. – P. 76–77.
2. Grakova, O. V. Almazoprojavlenija Srednego i Juzhnogo Timana [Diamond occurrences of the Middle and Southern Timan] / O.V. Grakova. – Syktyvkar, 2021. – 144 p.
3. Zdorik, T. B. Baddeleit [Baddeleyite] / T.B. Zdorik // Typomorphism of minerals: a handbook. Moscow: Nedra, 1989. – P. 62–68.
4. Grakova, O. V. Petrograficheskij sostav i litohimicheskie osobennosti almazsoderzhashhih otlozhenij asyvvozhskoj (D2-3as) svity Juzhnogo Timana [Petrographic composition and lithochemical features of diamond-bearing deposits of the Asyvvozhskaya (D2-3as) suite of the South Timan] / O.V. Grakova, N. S. Uljasheva // Vestnik of the Institute of Geology, Komi Science Centre, Ural Branch of the RAS. – 2015. – No. 12 (252). – P. 16–23.
5. Gosudarstvennaja geologicheskaja karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1:1 000 000 (tretje pokolenie). Serija Uralskaja – List R-40 – Severouralsk. Objasnitelnaja zapiska [State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1 000 000 (third generation). The Ural series – Sheet R-40 – Severouralsk. Explanatory note] / ed. by M.A. Shishkin. – St. Petersburg: VSEGEI Cartographic Factory, 2005. – 332 p.
6. Selli, R.Ch. Drevnie obstanovki osadkonakopleniya [Ancient environments of sedimentation] / R.Ch Selli. – Moscow: Nedra, 1989. – 294 p.
7. Nikulova, N.Ju. Istochniki snosa i U–Pb vozrast detritovyh tsirkonov iz peschanikov asyvvozhskoj svity srednego devona, vozvyshennost Dzhezhimparma, Juzhnyj Timan [Sources of provenance and U–Pb age of detrital zircons from sandstones of the Asyvvozh Formation, Middle Devonian, Dzhzhimparma Rise, South Timan] / N.Ju. Nikulova, V.N. Filippov, V.B. Hubanov // Stratigraphy. Geological correlation. – 2020. – Vol. 28, No. 6. – P. 92–104.
8. Grakova, O.V. Aktsessornyj ilmenorutil almazsoderzhashchih srednedevonskih porod Juzhnogo Timana [Accessory ilmenorutil of diamond containing Middle Devonian rocks of South Timan] / O.V. Grakova // Vestnik of the Institute of Geology, Komi Science Centre, Ural Branch of the RAS. – 2011. – No. 10. – P. 11–13.
9. Grakova, O.V. Vidovoj sostav, himicheskie i tipomorfnye osobennosti aktsessornyh mineralov devonskih almazsoderzhashhih otlozhenij Juzhnogo i Srednego Timana [Species composition, chemical and typomorphic features of accessory minerals of the Devonian diamond-bearing deposits of the Southern and Middle Timan] / O.V. Grakova // Vestnik of the Institute of Geology, Komi Science Centre, Ural Branch of the RAS. – 2014. – No. 3. – P. 3–8.
10. Tsymbal, S. N. Mineraly tsirkonija iz kimberlitov Novolaspinskih trubki i dajki (jugo-vostok Ukrainskogo shchita) [Zirconium minerals from kimberlites of the Novolaspinsk pipe and dike (southeast of the Ukrainian Shield)] / S.N. Tsymbal, A.A. Kremenetskij, V.B. Sobolev, Ju.S. Tsymbal // Mineral. Journal. – 2011. – No. 1 (33). – P. 41–62.
11. Ilupin, I. P. Kimberlity [Kimberlites] / I.P. Ilupin, V.I.Vaganov, B.I. Prokopchuk. – Moscow: Nedra, 1990. – 248 p.
12. Kovalev, S.G. Pervye dannye o baddeleit-tsirkonovoj mineralizacii v differencirovannyh intruzijah Bashkirskogo megantiklinorija [First data on baddeleyite-zircon mineralization in differentiated intrusions of the Bashkir meganticlinorium] / S.G. Kovalev, V.N. Puchkov, S.S. Kovalev, S.I. Vysotskij // Notes of the Russian Mineralogical Society. – 2020. – Vol. 149, No. 4. P. 135-144.
13. Skublov, S. G. Unikalnaja nahodka preobrazovanija tsirkona v baddeleit (rudoprojavlenija Ichetju, Srednij Timan) [A unique find of zircon transformation into baddeleyite (Ichetyu ore occurrence, Middle Timan)] / S.G. Skublov, A.O. Krasotkina, A.B. Makeev, O.L. Galankina, A.E. Melnik // Preceedings of higher educational institutions. Geology and exploration. – 2018. – No. 1. – P. 27-35.

14. Harlov, D. Fluids and geochronometers: charting and dating mass transfer during metasomatism and metamorphism / D. Harlov // J. Indian Inst. Sci. – 2015. – Vol. 95. – P. 109-124.

15. Osovetskij, B.M. Tipohimizm shlihovyh mineralov: Spravochnik [Typochemistry of Placer Minerals: A Handbook] / B.M. Osovetskij. Perm: Publishing house of Perm University, 2001. – 244 p.

Благодарность (госзадание)

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН № 1021062211107-6-1.5.6.

Информация об авторах:

Гракова Оксана Васильевна – кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник Института геологии имени академика Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, https://orcid.org/0000- 0001–5917–9218 (Российская Федерация, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54; e-mail: ovgrakova@geo.komisc.ru).

About the authors:

Oksana V. Grakova – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Research Associate, Institute of Geology, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, https://orcid.org/0000–0001–5917–9218 (54, Pervomayskaya Str., Syktyvkar, Komi Republic, 167982, Russian Federation; e-mail: ovgrakova@geo.komisc.ru).

Для цитирования:

Гракова, О.В. Бадделеит и циркон из алмазосодержащих отложений (D_{2-3}*as*) на Южном Тимане / О.В. Гракова // Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия "Науки о Земле". – 2022. – № 2 (54). – С. 47–54. УДК 549:553.81.068.5:551.734.3 (234.83). DOI 10.19110/1994-5655-2022-2-47–54

For citation:

Grakova, O.V. Baddeleyite and zircon from diamond-bearing deposits (D_{2-3}*as*) in the Southern Timan / O.V. Grakova // Proceedings of the Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Earth Sciences Series. – 2022. – No.2 (54). – P. 47–54. УДК 549:553.81.068.5:551.734.3 (234.83). DOI 10.19110/1994-5655-2022-2-47–54

Дата поступления рукописи: 10.01.22
Прошла рецензирование: 15.04.22
Принято решение о публикации: 21.04.2022.
Received: 10.01.22
Reviewed: 15.04.22
Accepted: 21.04.2022.

Типоморфизм апатитов метаморфических пород Приполярного Урала (бассейн реки Кожим)

Ю.И. Пыстина

Институт геологии имени академика Н.П. Юшкина
ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
г. Сыктывкар

yuliya_pystina@mail.ru

Аннотация

Изучение апатитов из метаморфических образований Приполярного Урала показывает, что он может использоваться как индикатор условий метаморфизма пород. С целью получения дополнительных минералогических критериев для расчленения и корреляции докембрийских метаморфических толщ Приполярного Урала были изучены акцессорные апатиты. В статье приводятся результаты исследования акцессорного апатита из пород няртинского гнейсо-мигматитового комплекса, а также щокурьинской и пуйвинской свит. Полученные данные показали, что в качестве типоморфных признаков апатитов, связанных с метаморфизмом пород, могут использоваться морфологические особенности кристаллов, наличие, минеральный состав и количество твердых и газово-жидких включений, химический состав самого минерала (содержание стронция, качественный состав и содержание РЗЭ), спектроскопические и люминесцентные свойства. Некоторые типоморфные особенности апатитов связаны с процессами гранитизации (мелкие включения монацита по периферии зерен апатита). Этот факт может быть полезен при диагностике низкотемпературных диафторитов, в которых признаки гранитизации пород, как и признаки ранее проявленного высокотемпературного метаморфизма, часто «затушеваны» и визуально не распознаются.

Результаты исследований подтверждают ранее полученные данные о принадлежности метаморфических пород няртинского комплекса и щокурьинской свиты к одному структурному этажу.

Ключевые слова:

Приполярный Урал, докембрийские отложения, апатит, микрозондовые исследования

Typomorphism of apatites from metamorphic rocks of the Subpolar Urals (basin of the river Kozhim)

Yu.I. Pystina

Institute of Geology named after academician N. P. Yuskin, Komi Science Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar

yuliya_pystina@mail.ru

Abstract

The study of apatites from the metamorphic formations of the Subpolar Urals shows that this mineral can be used as an indicator of the conditions of rock metamorphism. According to the typomorphic features of apatites, one can judge not only the similarity or difference in the degree of metamorphism of the compared rock associations, but also solve the important problem of separating mono- and polymetamorphic formations, in particular. In order to obtain additional mineralogical criteria for subdivision and correlation of Precambrian metamorphic strata of the Subpolar Urals, a description of accessory apatite from metamorphic rocks of the Nyartin Complex, as well as the Shchokurya and Puiva suites, is given. It is shown that morphological features of crystals, the presence, mineral composition and amount of solid and gas-liquid inclusions, the chemical composition of the mineral itself (strontium content, qualitative composition and REE content), spectroscopic properties can be used as typomorphic features of apatites associated with rock metamorphism. Some typomorphic features of apatites can be associated with granitization processes (small inclusions of monazite along the periphery of apatite grains).

The results of the studies confirm the previously obtained data on the belonging of the metamorphic rocks of the Nyartin Complex and the Shchokurya suite to the same structural stage.

Keywords:

Subpolar Urals, Precambrian deposits, apatite, microprobe studies

Введение

Район развития докембрийских отложений на Приполярном Урале в пределах Ляпинского антиклинория является стратотипическим для всего Тимано-Североуральского региона, включающего Канино-Тиманскую гряду, Печорскую синеклизу, северную часть Урала и Пай-Хой.

По решению IV Уральского межведомственного стратиграфического совещания [1] в докембрийском разрезе этого района были выделены следующие стратиграфические подразделения (снизу вверх): няртинский метаморфический комплекс (PR_1), маньхобеинская и щокурьинская свиты (RF_1), пуйвинская свита, включающая базальную ошизскую толщу (RF_2), хобеинская и мороинская (санаизская) свиты (RF_3), саблегорская (RF_3–V_1) и лаптопайская (V_2) свиты.

При последующих геологосъемочных и картосоставительских работах, а также других региональных геологических исследованиях отмеченная выше последовательность в вертикальном разрезе докембрийских стратонов была подтверждена [2, 3 и др.], хотя вопрос о возрасте отдельных стратиграфических подразделений оставался и остается открытым.

Имеющиеся и полученные вновь данные по геологическому строению и возрасту стратифицированных образований докембрия Приполярного Урала дали нам основание для пересмотра ранее разработанных стратиграфических схем приполярноуральского докембрия [4, 5 и др.]. В частности, было установлено, что няртинский метаморфический комплекс, маньхобеинская и щокурьинская свиты относятся к одному структурному этажу – нижнедокембрийскому. При этом породная ассоциация, известная как маньхобеинская свита, не имеет самостоятельного стратиграфического значения и выделена в ранге свиты ошибочно на месте зон развития средне- и низкотемпературных диафторитов по породам няртинского комплекса. Щокурьинская свита отличается от няртинского комплекса преобладанием в разрезе карбонатных пород и может рассматриваться как самостоятельное структурно-вещественное подразделение. В последние годы на основе U-Pb датировок цирконов был корректно установлен раннепротерозойский возраст метаморфизма пород няртинского комплекса (включая отложения, выделяемые ранее в маньхобеинскую свиту) и щокурьинской свиты [6-8], что подтверждает принадлежность этих образований к нижнему докембрию.

Рифейский разрез на Приполярном Урале начинается с пуйвинской свиты, в основании которой залегает базальная ошизская толща, сложенная преимущественно кварцитопесчаниками. Это согласуется с представлениями М.В. Фишмана

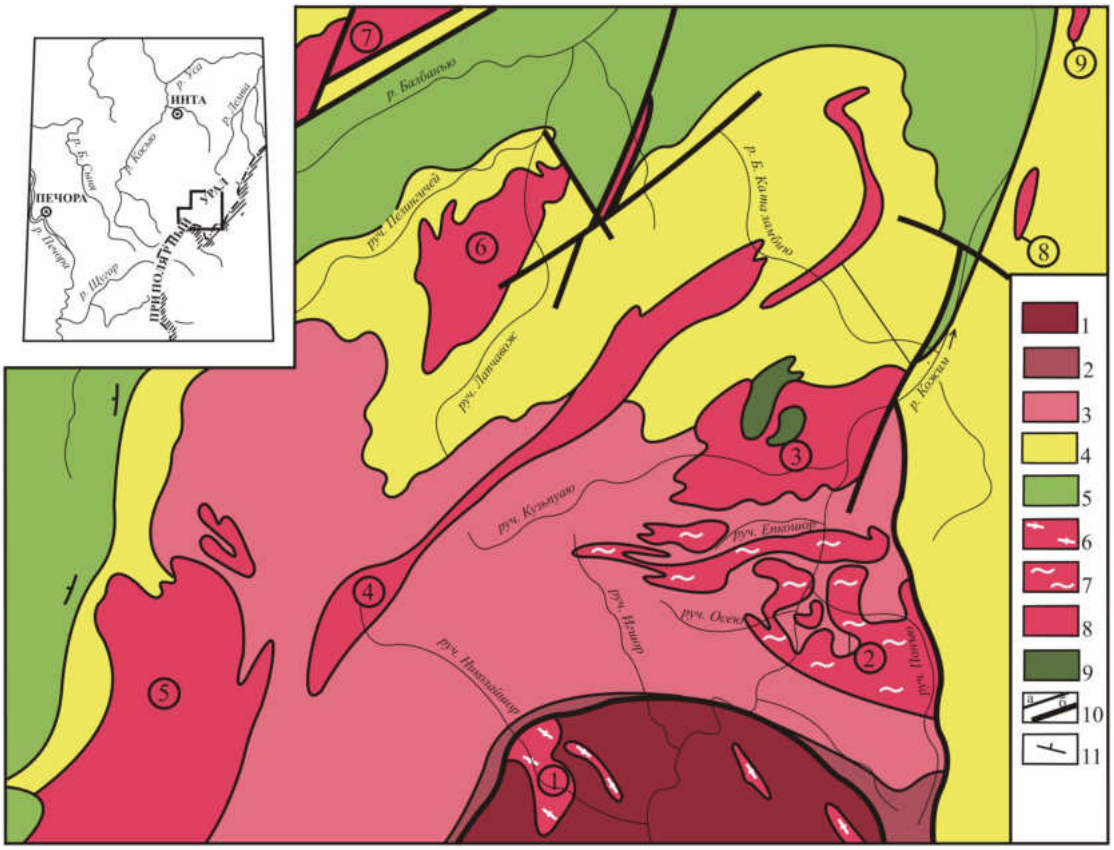


Рисунок 1. Схема геологического строения северной части Приполярного Урала [13]: 1 – няртинский гнейсовый комплекс (PR_1): биотитовые и двуслюдяные гнейсы с простоями амфиболитов; 2 – щокурьинская свита (PR_1): известковистые кристаллические сланцы, мраморы, кварциты, амфиболовые сланцы; 3 – пуйвинская свита (RF_3): слюдяно-кварцевые сланцы, зеленые ортосланцы, метапорфиры, кварциты; 4 – хобеинская (RF_3), мороинская (RF_3) и саблегорская (RF_3–V) свиты нерасчлененные: слюдяно-кварцевые сланцы, порфиры, порфириты, прослои мраморов и кварцитов; 5 – нижнепалеозойские терригенно-карбонатные отложения; 6-гранито-гнейсы Николайшорского массива (PR_1); 7 – граниты Кожимского массива (RF_3); 8 – граниты массивов сальнеро-маньхамбовского комплекса (V–$Є_1$); 9 – массивы габбро (RF_3–V_1); 10 – геологические границы: а – стратиграфические и магматические, б – тектонические; 11 – элементы залегания плоскостных структур.
Массивы (отмечены кружочками): 1 – Николайшорский; 2 – Кожимский; 3 – Кузьпуаюский; 4 – Хаталамба-Лапчинский; 5 – Народинский; 6 – Лапчавожский; 7 – Малдынырский; 8 – Яротский; 9 – Бадьяюский.

Figure 1. Scheme of the geological structure of the northern part of the Subpolar Urals [13]
1 – Nyartin gneiss complex (PR_1): biotite and two-mica gneisses with amphibolite interstices; 2 – Shchokurya suite (PR_1): calcareous crystalline schists, marbles, quartzites, amphibole schists; 3 – Puiva suite (RF_3): mica-quartz schists, green orthoschists, metaporphyries, quartzites; 4 –Khobeinskaya (RF_3), Moroinskaya (RF_3) and Sablegorskaya (RF_3–V) suites, undivided: mica-quartz schists, porphyries, porphyrites, interlayers of marbles and quartzites; 5 – Lower Paleozoic terregenous-carbonate deposits; 6– granite-gneisses of the Nikolaishorsky massif (PR_1); (7) granites of the Kozhimsky massif (RF_3); 8 – granites of the massifs of the Salnero-Mankhambovsky complex (V–$Є_1$); 9 – gabbro (RF_3-V_1); 10 - geological boundaries: a – stratigraphic and magmatic, b – tectonic; 11 – occurrence elements of planar structures. Massifs (numbers in circles): 1 – Nikolaishorsky; 2 – Kozhimsky; 3 – Kuzpuayusky; 4 – Khatalamba-Lapchinsky; 5 – Narodinsky; 6 - Lapchavozhsky; 7 – Maldynyrsky; 8 – Yarotsky; 9 – Badyayusky.

и Б.А. Голдина [9], а также В.Н. Пучкова [10], в стратиграфических схемах которых базальное положение в верхнедокембрийской части разреза рассматриваемого нами района занимает ошизская толща (свита). Уточненный на основании U-Pb датирования детритовых цирконов возраст пород пуйвинской свиты, включающей ошизскую толщу, позднерифейский [11, 12]. Авторский вариант схемы геологического строения района (составленный совместно с А.М. Пыстиным) приведен на рис. 1 [13].

При решении вопросов стратиграфии приполярноуральского докембрия, а также изучения процессов образования пород и их последующего метаморфического преобразования нами широко использовались акцессорные минералы. Особое внимание уделялось циркону как одному из наиболее информативных акцессорных минералов [14, 15]. В настоящей статье с целью получения дополнительных минералогических критериев для расчленения и корреляции метаморфических толщ приводится описание акцессорного апатита, который, как и циркон, широко распространен в метаморфических породах этого района. При этом для оценки возможного влияния метаморфизма на морфологию и состав апатита дается сравнительный анализ свойств этого минерала из пород, принадлежащих одному структурному этажу (няртинский комплекс и щокурьинская свита), а также к разным структурным этажам: няртинскому комплексу и щокурьинской свите, с одной стороны, и пуйвинской свите – с другой.

Объекты и методы исследования

Объектом исследований является акцессорный апатит из гнейсов няртинского комплекса, кристаллических сланцев щокурьинской и хлорит-мусковит-альбит-кварцевых сланцев пуйвинской свит. Степень метаморфизма пород няртинского комплекса и щокурьинской свиты отвечает уровню амфиболитовой фации умеренных давлений, пуйвинской свиты – зеленосланцевой фации умеренных давлений [16]. Породы няртинского комплекса частично претерпели средне- и низкотемпературный диафторез. Степень диафтореза пород щокурьинской свиты значительная.

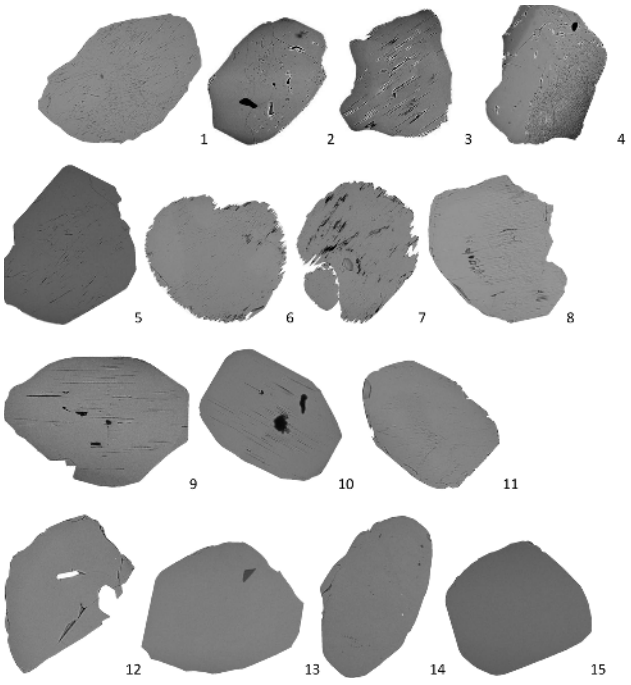


Рисунок 2. Апатиты из пород няртинского комплекса (1 – 4), щокурьинской (5 – 11) и пуйвинской (12 – 15) свит.
Figure 2. Apatites from the rocks of the Nyartin Complex (1–4), the Shokur'inskaya (5–11), and the Puiva suites (12–15).

Средний вес пробы составлял 2–3 кг. Выделение монофракций апатитов производилось из протолочных проб по стандартной методике: дробление, расситовка раздробленной пробы по крупности зерен, повторное дробление крупных фракций до 0.25 мм, отмучивание фракции меньше 0.25 мм, магнитная сепарация, отбор немагнитной фракции и дальнейшее выделение из нее тяжелой фракции. Апатиты из тяжелой немагнитной фракции отбирались вручную под бинокулярным микроскопом. Изучение морфологических особенностей апатита выполнялось с помощью поляризационного тринокулярного микроскопа ПОЛАМ-312 в проходящем свете. Микрозондовые исследования проводились на сканирующем электронном микроскопе TESCAN VEGA 3 LMH с энергодисперсионной приставкой X-MAX 50 mm2 Oxford instruments при ускоряющем напряжении 20 кВ, размер пучка – 180 нм и области возбуждения – до 5 мкм с использованием программного обеспечения Aztec (ЦКП «Геонаука» ИГ Коми НЦ УрО РАН, аналитики – А.С. Шуйский, Е.М. Тропников). Калибровка производилась по кобальту (Co). В качестве дополнительных стандартов применялись 55 стандартов фирмы Micro-Analysis Consultants ltd. Погрешность измерений: SiO_2 – до 0.07 %, CaO – до 0.2, F – до 0.22, P_2O_5 – до 0.23, Y_2O_3 – до 0.29, SrO – до 0.15, MnO – до 0.06, CeO – до 0.11, Al_2O_3 – до 0.10, TiO_2 – до 0.29 %.

Типоморфные особенности апатитов

Апатиты из гнейсов няртинского комплекса (рис. 2, 1–4) представлены как призматическими кристаллами с габитусными формами гексагональной призмы и дипирамиды, из граней обычно представлены призма {1010}, пинакоид {0001}, дипирамиды {1011}, {1121}, {2131}, {2021},так и зернами округлой или неправильной формы размерами 35–60 мкм. Поверхность граней обычно неровная, шероховатая. Минерал бесцветный, иногда имеет легкий коричневато-розоватый оттенок. Отмечаются также апатиты с сильным перламутровым блеском. Под микроскопом они обнаруживают тонкую параллельную трещиноватость (рис. 2, 3).

В прозрачных не перламутровых разновидностях апатитов внутреннее строение характеризуется наличием твердых, реже газово-жидких включений (рис. 3, 1).

Среди твердых включений отмечаются ильменит, рутил, титанит, гранат, ортит, циркон, кварц, эпидот, мусковит, альбит и монацит. Твердые включения в апатитах представлены теми же минералами (породообразующими и акцессорными), что и апатитсодержащие породы. Одновременно в одном кристалле могут встречаться ильменит, рутил, титанит и кварц, ортит, гранат и альбит, мусковит и торит, эпидот и кварц, циркон, кварц и монацит. Монацит

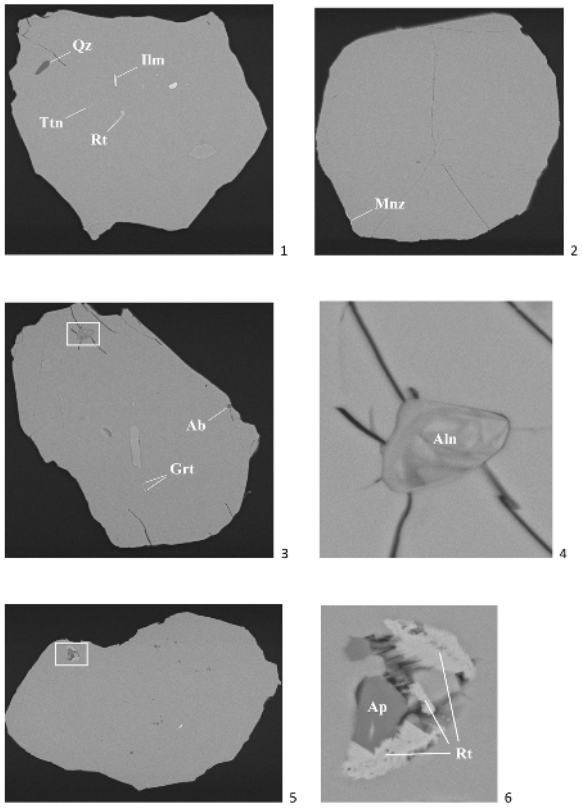


Рисунок 3. Включения в апатитах из пород: няртинского комплекса (1–2), щокурьинской свиты (3), щокурьинской свиты, фрагмент рис. 3,3 (4), пуйвинской свиты (5), пуйвинской свиты, фрагмент рис. 3,5 (6).
Figure 3. Inclusions in apatites from the rock: of the Nyartin Complex (1–2 of the Shchokurya suite (3), of the Shchokurya suite, fragment fig. 3.3 (4), of the Puiva suite (5), of the Puiva suite fragment fig. 3.5 (6).

во всех установленных случаях располагается в виде мелких зерен по краю кристалла апатита. В апатитах с перламутровым блеском включения редки или отсутствуют.

Проведенные микрозондовые исследования показали, что все апатиты в гнейсах няртинского комплекса принадлежат к фтор-апатиту. Среднее содержание F – 3.17 %, Sr – 0,41, Ca – 38.9 %, отношение Ca/P – 2.16 (таблица).

Содержание редких TR, к сожалению, по данным микрозондового анализа, достоверно выявить не удалось, однако отдельные редкоземельные элементы, такие как Y, присутствуют в достаточном количестве и вполне могут быть использованы для корреляции апатитов из разных стратиграфических подразделений. В апатитах из гнейсов няртинского комплекса среднее содержание Y – 0.36 %, Ce отмечен в одном зерне – 0.02 %.

Апатиты из кристаллических сланцев щокурьинской свиты (рис. 2,5-11) также представлены призматическими кристаллами с габитусными формами гексагональной призмы и дипирамиды, из граней обычно представлены призма {1010}, пинакоид {0001}, дипирамиды {1011}, {1121}, {2131}, и зернами бочоноковидной или неправильной формы размерами 40–60 мкм. Поверхность граней обычно неровная, шероховатая. Минерал бесцветный, иногда имеет легкий розоватый оттенок. Зерна с сильным перламутровым блеском и трещиноватой (сланцеватой) структурой (рис. 2, 7-10) преобладают над прозрачными не перламутровыми разновидностями минерала, включения в них практически отсутствуют. В прозрачных не перламутровых разновидностях апатитов присутствуют включения циркона, кварца, альбита, алланита, граната и монацита (рис. 3, 2-4). Одновременно в одном зерне апатита отмечены включения альбита, граната и алланита, кварца и монацита. Монацит во всех отмеченных случаях располагается в виде мелких зерен по краю кристалла апатита.

Микрозондовые исследования показали, что все апатиты в кристаллических сланцах щокурьинской свиты принадлежат к фтор-апатиту. Среднее содержание F – 3.43 %, Sr – 0.27, Ca – 39.2 %, отношение Ca/P – 2.15 (таблица). Среди редкоземельных элементов удалось установить только Y. Среднее содержание элемента – 0.21 % (таблица).

Апатиты из хлорит-мусковит-альбит-кварцевых сланцев пуйвинской свиты (рис. 2,12-15) представлены в основном таблитчатыми и призматическими кристаллами с габитусными формами гексагональной призмы и дипирамиды. Из граней обычно представлены призма {1010}, пинакоид {0001}, дипирамиды {1011}, {1121},и зернами неправильной формы. Размер минерала довольно сильно меняется – 30–80 мкм. Поверхность граней неровная, блестящая. Минерал бесцветный, иногда с коричневатым оттенком. Следует отметить, что в сланцах пуйвинской свиты не отмечены апатиты с перламутровым блеском, характерные для гнейсов няртинского комплекса и кристаллических сланцев шокурьинской свиты. Среди включений отмечаются твердые, реже газово-жидкие. Твердые включения представлены кальцитом, мусковитом, альбитом, цирконом, титанитом, кварцем. Одновременно встречаются включения мусковита и рутила (рис. 3,5-6), кальцита, альбита, мусковита и циркона, мусковита и кварца, кварца и циркона. Микрозондовые исследования показали, что все апатиты из пород пуйвинской свиты принадлежат к фтор-апатиту. Среднее содержание F – 3.46 %, Sr – 0.20, Ca – 38.89, P – 17.89 %, отношение Ca/P – 2.17 (таблица). Среди редкоземельных элементов удалось установить только Y – 0.60 % (таблица).

Обсуждение результатов

Результаты минералогических исследований показали сходство апатитов из пород няртинского комплекса и щокурьинской свиты как по морфологическим признакам, так и составу и отличию их от апатитов из пород пуйвинской свиты. Учитывая, что все апатиты отобраны из первично-осадочных пород кислого состава, эти различия, скорее всего, связаны не с различиями в составе пород, а с особенностями их метаморфизма. Из многолетнего опыта изучения апатитов следует, что кислый субстрат обуславливает повышенное содержание в минерале фтора [17, 18 и др.]. Нашими данными эта эмпирически установленная закономерность подтверждается: исследованные нами минералы из всех трех стратиграфических подразделений представлены фтор-апатитами.

Известно, что морфология кристаллов апатита определяется как внутренними факторами (типом и направленностью химических связей в структуре кристалла), так и внешними (составом расплава или раствора и обстановкой

Состав апатитов из метаморфических пород няртинского комплекса, щокурьинской и пуйвинской свит, мас.%

Composition of apatite from metamorphic rocks of Nyartin complex, Shchokurya and Puyva suites, wt.%

Номер пробы	Свита, комплекс	Название спектра	O	F	Si	P	Ca	Mn	Sr	Y	Ce	Сумма
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1157	PR_1nr	1_1 Ap	38.74	3.64	0.08	17.87	39.04	0	0	0	0	99.36
1157	PR_1nr	2_1 Ap	39.33	3.02	0.08	18.09	39.40	0	0	0.57	0	100.48
1157	PR_1nr	3_1 Ap	38.98	3.05	0.08	17.93	38.90	0	0.41	0.49	0	99.85
1157	PR_1nr	4_1 Ap	39.19	2.42	0.10	17.99	39.00	0	0.37	0.73	0	99.81
1157	PR_1nr	5_1 Ap	39.35	2.86	0.09	18.20	39.34	0	0.26	0	0	100.10
1157	PR_1nr	6_1 Ap	38.85	3.38	0.09	17.89	38.76	0	0.28	0.49	0	99.74
1157	PR_1nr	7_1 Ap	39.18	2.78	0.13	17.96	39.13	0	0.36	0.58	0	100.11
1157	PR_1nr	8_1 Ap	39.22	2.65	0.10	18.05	38.97	0	0.35	0.69	0	100.02
1157	PR_1nr	9_1 Ap	38.98	3.09	0.07	18.09	38.79	0	0.31	0	0	99.34
1157	PR_1nr	10_2 Ap	39.07	2.96	0	18.05	38.99	0	0.30	0.54	0	99.91
1157	PR_1nr	11_1 Ap	38.89	3.63	0.08	17.84	39.00	0	0.31	0.49	0	100.25
1157	PR_1nr	12_1 Ap	39.07	2.82	0	18.19	39.06	0	0	0	0	99.14
1157	PR_1nr	13_1 Ap	39.48	2.39	0.09	18.25	39.02	0	0.43	0.57	0	100.23
105	PR_1nr	1_1 Ap*	39.00	3.35	0	18.04	39.08	0	0.52	0	0	100.00
105	PR_1nr	2_1 Ap	38.38	3.28	0.08	17.64	38.10	0	0.51	0.80	0	98.78
105	PR_1nr	3_1 Ap*	38.90	3.26	0.11	17.86	38.69	0	0.56	0.59	0	99.98
105	PR_1nr	4_1 Ap*	39.00	3.29	0.08	18.05	38.77	0.1	0.38	0	0	99.87
105	PR_1nr	5_1 Ap*	39.32	2.74	0.09	18.11	38.99	0	0.59	0.58	0	100.42
105	PR_1nr	6_1 Ap*	38.93	3.06	0.09	18.05	38.70	0	0.37	0	0	99.20
105	PR_1nr	7_1 Ap*	38.97	3.23	0.08	17.91	38.74	0	0.43	0.77	0	100.12
105	PR_1nr	8_1 Ap*	39.05	3.08	0	18.11	39.08	0	0.40	0	0	99.72
105	PR_1nr	9_1 Ap*	38.81	3.61	0	17.96	38.86	0.11	0.37	0	0	99.73
105	PR_1nr	10_1 Ap*	38.84	3.22	0	17.97	38.55	0	0.53	0.56	0	99.67
105a	PR_1nr	1_1 Ap	38.63	3.59	0.11	17.75	38.44	0	0.46	0.60	0	99.58
105a	PR_1nr	2_1 Ap	39.15	3.20	0.14	18.00	38.70	0	0.60	0.56	0.23	100.4
105a	PR_1nr	3_1 Ap*	38.89	3.10	0	17.93	38.77	0.11	0.46	0.53	0	99.79
105a	PR_1nr	4_1 Ap	38.76	3.36	0.08	17.82	38.54	0	0.60	0.56	0	99.72
105a	PR_1nr	5_1 Ap	38.97	3.03	0.08	17.93	38.55	0.10	0.61	0.74	0	100.01
105a	PR_1nr	6_1 Ap	38.66	3.95	0.11	17.77	38.30	0	0.58	0.69	0	100.07
105a	PR_1nr	7_1 Ap*	38.85	3.32	0.10	17.86	38.59	0.12	0.55	0.52	0	99.90
105a	PR_1nr	8_1 Ap	39.17	3.14	0.09	18.12	39.00	0	0.51	0	0	100.03
105a	PR_1nr	9_1 Ap*	39.10	3.14	0.09	18.00	38.83	0	0.57	0.54	0	100.27
105a	PR_1nr	10_1 Ap*	38.49	4.13	0.09	17.75	38.75	0	0.44	0	0	99.46
1214	RF_1sk	1 Ap	38.98	3.16	0.07	18.15	38.95	0	0.45	0.45	0	99.76
1214	RF_1sk	2 Ap	38.98	4.82	0.09	18.18	38.84	0	0.39	0	0	101.30
1214	RF_1sk	3 Ap	39.04	4.31	0.05	18.20	38.92	0	0.41	0.17	0	100.93
1214	RF_1sk	4 Ap*	38.88	3.17	0.08	18.10	38.85	0	0.33	0.19	0	99.60
1214	RF_1sk	5 Ap*	39.13	3.16	0	18.21	39.11	0	0	0.31	0	99.91
1214	RF_1sk	6 Ap*	39.43	3.06	0.04	18.39	39.28	0	0.27	0	0	100.47
1214	RF_1sk	7 Ap	39.20	3.21	0.09	18.23	39.24	0	0.44	0.15	0	100.56
1214	RF_1sk	8 Ap*	39.31	3.17	0.04	18.28	39.34	0	0.51	0.35	0	100.65
1214	RF_1sk	9 Ap*	39.17	3.37	0	18.22	39.07	0	0	0	0	99.87
1214	RF_1sk	10 Ap	39.24	3.00	0.06	18.25	39.27	0	0.23	0.16	0	100.21
1214	RF_1sk	11 Ap*	39.08	4.05	0.01	18.12	39.27	0	0	0.28	0	100.53
1214	RF_1sk	12 Ap*	39.05	3.20	0.09	18.13	39.18	0	0	0.31	0	99.96
1214	RF_1sk	13 Ap	39.41	2.85	0	18.27	39.63	0	0.57	0.23	0	99.81
1214	RF_1sk	14 Ap*	39.00	3.56	0.07	18.12	39.06	0	0	0.41	0	99.81
1214	RF_1sk	15 Ap	39.11	3.35	0.05	18.16	39.25	0	0.41	0	0	100.33
27_1	RF_2pv	1_1 Ap	38.98	3.43	0.07	17.94	38.92	0	0	0.74	0	100.08
27_1	RF_2pv	2_1 Ap	38.71	4.00	0.09	17.80	38.56	0	0.32	0.63	0	100.11
27_1	RF_2pv	3_3 Ap	38.84	3.88	0.10	17.83	38.69	0	0.34	0.70	0	100.37
27_1	RF_2pv	4_1 Ap	38.83	3.26	0.11	17.85	38.75	0	0.26	0.55	0	99.61

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
27_1	RF_2pv	5_1 Ap	38.77	3.20	0	17.88	38.97	0	0	0.48	0	99.30
27_1	RF_2pv	6_1 Ap	38.89	3.30	0	17.85	39.24	0	0	0.67	0	99.95
27_1	RF_2pv	7_1 Ap	38.98	3.43	0.09	17.87	39.07	0	0.26	0.60	0	100.29
27_1	RF_2pv	8_1 Ap	39.13	4.00	0	18.03	39.18	0	0.25	0.58	0	101.16
27_1	RF_2pv	9_1 Ap	38.85	3.23	0.10	17.90	38.67	0	0.26	0.53	0	99.54
27_1	RF_2pv	10_1 Ap	38.93	3.31	0.09	17.96	38.86	0	0	0.47	0	99.62
27_1	RF_2pv	11_1 Ap	39.02	3.02	0	17.97	38.93	0	0.48	0.67	0	100.09

Примечание. * Отмечены зерна с перламутровым блеском.
Notes. * Grains with pearly sheen are marked.

его кристаллизации). Внутренние факторы определяют развитие у апатита только главных граней {1010}, {0001}, {1011}, {1120}. Внешние факторы приводят к ограниченному развитию главных граней, появлению граней {2021}, {1121}, {2131} и др. и существенно влияют на габитус кристаллов апатита [19]. Наличие в кристаллах апатитов из пород няртинского комплекса и щокурьинской свиты кроме обычных граней призмы {1010}, пинакоида {0001}, дипирамиды {1011}, {1121}, дополнительных граней {2131}, {2021}, которые не обнаружены в апатитах из пород пуйвинской свиты, очевидно, связано с более высоким метаморфизмом пород.

Различными условиями метаморфизма может быть объяснена пониженная концентрация иттрия в апатитах из пород няртинского комплекса и щокурьинской свиты в сравнении с апатитами из пород пуйвинской свиты. Влияние метаморфизма на распределение РЗЭ в апатитах отмечалось А.А. Краснобаевым и В.В. Холодновым [20]. Ими установлено, что в гранулитах тараташского комплекса преобладают апатиты с содержанием цериевых РЗЭ (La), а в метаморфитах ильменогорской свиты (амфиболитовая фация) – иттриевых РЗЭ (Y).

Заслуживает внимания различие в содержании стронция в апатитах из пород няртинского комплекса (повышенные содержания), с одной стороны, и пуйвинской свиты (пониженные содержания) – с другой. Это также может быть связано с различиями в степени метаморфизма (особенно давления), с учетом того, что стронций, имеющий более высокий атомный вес в сравнении с кальцием, увеличивает удельный вес апатита. Промежуточные значения содержаний стронция в апатитах из пород щокурьинской свиты, возможно, связаны с диафторезом пород (уменьшение стронция при диафторезе).

В литературе приведены факты возрастания содержания галогенов в гидроксилсодержащих минералах с увеличением степени метаморфизма пород [18]. По полученным нами данным, четкой зависимости между содержанием галогенов в апатитах и фациальной принадлежности вмещающих их пород не установлено, а количество галогена (фтора) в минерале варьирует в широких пределах (2,39–4,82 %). Это может быть связано с полихронным характером проявления процессов метаморфизма пород. Вопрос требует дополнительного изучения на более представительном материале.

Наличие в апатитах из пород няртинского комплекса и щокурьинской свиты включений монацита, которые располагаются в виде мелких зерен по краю кристалла, скорее всего, связано с гранитизацией. Подобная картина отмечается в апатитах из зон чарнокитизации гранулитов [21]. Этот факт объясняется инконгруэнтным растворением фтор-апатита в комплексных флюидах, что подтверждено в экспериментах по взаимодействию фтор-апатита с растворами H_2O-KCl, H_2O-HCl и H_2O-H_2SO_4 при температурах до 900° С и давлениях 500 и 1000 МПа [22-25, цитир. по 21].

Присутствие в породах няртинского комплекса и щокурьинской свиты двух разновидностей апатитов, очевидно, связано с полиметаморфизмом. При этом апатит с перламутровым отливом обязан своему появлению в породах процессам средне-низкотемпературного диафтореза. Такое предположение представляется наиболее предпочтительным, поскольку в сильно диафторированных породах щокурьинской свиты количество его значительно выше, чем в слабодиафторированных породах няртинского комплекса. В отдельных пробах из сланцев щокурьинской свиты такие апатиты составляют более 90 % от общего содержания этого минерала. Вероятно, с процессами диафтореза связано появление параллельной трещиноватости в зернах апатита с перламутровым оттенком, а также значительное уменьшение твердых и газово-жидких включений. Во всяком случае декрипитация водно-солевых включений в минералах, вплоть до полного их исчезновения в породах, претерпевших регрессивный метаморфизм, – явление широко распространенное [21].

Проведенное ранее изучение спектроскопических свойств апатитов из пород няртинского комплекса, щокурьинской и пуйвинской свит [14] показывает, что апатиты из кристаллических сланцев няртинского комплекса, так же как и из пород щокурьинской свиты, характеризуются аномально высокой яркостью свечения Mn^{2+},что, вероятно, связано с широким проявлением в породах процессов гранитизации, так как именно породам, генетически связанным с гранитоидами, присущи минералы с ведущей ролью люминогена Mn^{2+} [26]. Другие ЦЛ характеризуются низкой яркостью. В ЭПР спектрах этих апатитов выделены ПЦ Mn^{2+}, F центр, F^-- O^-- F^-. По интенсивности сигналов от всех ПЦ и характеру распределения отдельных ПЦ в спектрах изученные апатиты практически идентичны. В апатитах из хлорит-мусковит-альбит-кварцевых сланцев пуйвинской свиты доминируют ЦЛ Ce^{3+} и Mn^{2+}. В ЭПР спектрах выделяются ПЦ Mn^{2+}, F-центр, F^- - O^- - F^-. При этом интенсивность перечисленных ПЦ в разных пробах различна.

Заключение

Изучение апатитов из метаморфических образований Приполярного Урала показывает, что этот минерал может использоваться как индикатор условий метаморфизма пород. По типоморфным особенностям апатитов можно судить не только о сходстве или различии в степени метаморфизма сравниваемых породных ассоциаций, но и решать важную задачу по разделению моно- и полиметаморфических образований, в частности, отличия зеленосланцевых комплексов проградного метаморфизма от комплексов зеленосланцевых диафторитов. В качестве типоморфных признаков апатитов, связанных с метаморфизмом пород, могут использоваться морфологические особенности кристаллов, наличие, минеральный состав и количество твердых и газово-жидких включений, химический состав самого минерала (содержание стронция, качественный состав и содержание РЗЭ), спектроскопические свойства. Отметим также имеющиеся в литературе данные о возрастании содержания галогенов в гидроксилсодержащих минералах с увеличением степени метаморфизма пород – вопрос, который требует дополнительных исследований.

Некоторые типоморфные особенности апатитов связаны с процессами гранитизации (мелкие включения монацита по периферии зерен апатита). Этот факт может быть полезен при диагностике низкотемпературных диафторитов, в которых признаки гранитизации пород, как и признаки ранее проявленного высокотемпературного метаморфизма, часто «затушеваны» и визуально не распознаются.

Результаты исследований подтверждают представление о принадлежности метаморфических пород няртинского комплекса (включающего зону низкотемпературных диафторитов, выделяемых ранее как маньхобеинская свита) и щокурьинской свиты к одному структурному этажу.

Литература

1. Стратиграфические схемы Урала (докембрий, палеозой). – Екатеринбург, 1994.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000. Лист Q-40, 41 – Воркута. Объяснительная записка / Н.Г. Берлянд, В.М. Богомазов, Г.В. Важенин [и др.]. – Санкт-Петербург: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2001. – 342 с.
3. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Серия Северо-Уральская. Лист Q-41-XXV. Объяснительная записка / В.Н. Иванов, Т.Б. Жаркова, И.Ю. Курзанов [и др.] – Санкт-Петербург: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2001. – 210 с.
4. Пыстин, А.М. Базальные отложения верхнего докембрия в Тимано-Североуральском регионе / А.М. Пыстин, Ю.И. Пыстина // Литосфера. – 2014. – № 3. – С. 41–50.
5. Пыстин, А.М. Докембрий Приполярного Урала: хроностратиграфический аспект / А.М. Пыстин, Ю.И. Пыстина // Труды Карельского научного центра РАН, № 7. Серия Геология Докембрия. – 2019. – № 2. – С. 34–52.
6. Пыстина, Ю.И. Нижний докембрий в структуре палеозоид на Приполярном Урале / Ю.И. Пыстина, А.М. Пыстин, В.Б. Хубанов // Докл. РАН. – 2019. – Т. 486, № 5. – С. 572–576.
7. Пыстин, А.М. Геологическая позиция и возраст маньхобеинской свиты (RF_1?) на Приполярном Урале / А.М. Пыстин, Ю.И. Пыстина // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. – 2018. – № 9. – С. 3–9.
8. Пыстин, А.М. Геологическая позиция и возраст щокурьинской свиты на Приполярном Урале / А.М. Пыстин, Ю.И. Пыстина // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. – 2018. – № 10. – С. 3–9.
9. Фишман, М.В. Гранитоиды центральной части Приполярного Урала / М.В. Фишман, Б.А. Голдин. – Ленинград: Наука, 1963. – 105 с.
10. Пучков, В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении) / В.Н. Пучков – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. – 280 с.
11. Пыстин, А.М. Первые результаты U-Pb датирования детритовых цирконов из базальных отложений верхнего докембрия Приполярного Урала / А.М. Пыстин, Ю.И. Пыстина, В.Б. Хубанов // Докл. РАН. – 2019. –Т. 488, № 2. – С. 54–57.
12. Pystin, A.M. U-Pb dating of detrital zircons from basal Post Paleoproterozoic metasediments in the Subpolar and Polar Urals: Evidence for a Cryogenian, not Mesoproterozoic Age / A.M. Pystin, Yu.I. Pystina, N.S. Ulyasheva, O.V. Grakova // International Geology Review. – 2020. – Vol. 62, № 17. – P. 2189–2202.
13. Пыстина, Ю.И. Морфологические особенности цирконов из метаморфических пород и гранитоидов Тимано-Уральского региона / Ю.И. Пыстина, А.М. Пыстин // Вестник ВГУ. Серия: Геология. – 2018. – № 3. – С. 74–82.
14. Пыстина, Ю.И. Минералогическая стратиграфия метаморфических образований Приполярного Урала // Ю.И. Пыстина. – Екатеринбург: УрО РАН, 1997. – 124 с.
15. Пыстина, Ю.И. Цирконовая летопись уральского докембрия / Ю.И. Пыстина, А.М. Пыстин. – Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2002. –167 с.
16. Пыстин, А.М. Карта метаморфизма Приполярного и южной части Полярного Урала / А.М. Пыстин. – Сыктывкар, 1991. – 20 с. – (Серия препринтов «Научные доклады» Коми НЦ УрО АН СССР).
17. Бушляков, И.Н. Галогены в петрогенезисе и рудоносности гранитоидов / И.Н. Бушляков, В.В. Холоднов. – Москва: Наука, 1986. – 190 с.
18. Бушляков, И.Н. Галогены в эндогенном петрогенезисе: автореф. дис … д-ра геол.-мин. наук / И.Н. Бушляков. – Свердловск, 1989. – 46 с.
19. Путивцева, Н.В. Морфология апатита / Н.В. Путивцева // Изв. вузов, геол. и разведка. – 1985. – № 2. – С. 31–37.
20. Краснобаев, А.А. Редкоземельные элементы в апатитах и цирконах из гранитоидов и метаморфитов гнейсово-мигматитовых комплексов Урала и их петрологическая информативность / А.А. Краснобаев, В.В. Холоднов // Кристаллохимические особенности силикатных минералов Урала. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1981. – С. 14–40.
21. Сафонов, О.Г. Минеральные индикаторы реакций с участием солевых компонентов флюидов в глубокой литосфере / О.Г. Сафонов, В.Г. Бутвина, Е.В. Лиманов, С.А. Косова // Петрология. – 2019. – Т. 27, № 5. – С. 525–556.

22. Harlov, D.E. High-grade fluid metasomatism on both a local and regional scale: the Seward Peninsula, Alaska and the Val Strona di Omegna, Ivrea–Verbano Zone, northern Italy. Part I: Petrography and silicate mineral chemistry / D.E. Harlov, H.J. Förster // J. Petrol. – 2002. – V. 43 – P. 769–799.
23. Harlov, D.E. An experimental study of dissolution–reprecipitation in fluorapatite: fluid infiltration and the formation of monazite / D.E. Harlov, R. Wirth, H.J. Förster // Contrib. Mineral. Petrol. – 2005. – V. 150. – P. 268–286.
24. Harlov, D.E. The potential role of fluids during regional granulite-facies dehydration in the lower crust / D.E. Harlov // Geosci. Front. – 2012. – V. 3 – P. 813–27.
25. Harlov, D.E. Apatite: A fingerprint for metasomatic processes / D.E. Harlov // Elements. – 2015. – V. 11 – P. 171–176.
26. Носырев, И.В. Петрогенетические особенности гранитоидов Украинского щита по данным изучения циркона и других акцессорных минералов / И.В. Носырев, В.М. Робул, И.Б. Щербаков // Типоморфизм, синтез и использование цирконов. – Киев, 1989. – С. 111–119.

References

1. StrStratigraficheschkie shemy Urala (dokembrij, paleozoj) [Stratigraphic charts of the Urals (Precambrian, Paleozoic)]. – Yekaterinburg, 1994.
2. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1:1 000 000. List Q-40, 41–Vorkuta. Obyasnitelnaya zapiska [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:1 000 000. Sheet Q-40, 41 – Vorkuta. Explanatory note] / N.G. Berlyand, V.M. Bogomazov, G.V. Vazhenin [et al.]. – St. Petersburg: Cartographic factory VSEGEI, 2001. – 342 p.
3. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy federatsii. Masshtab 1:200 000. Seriya Severo-Uralskaya. List Q-41-XXV. Obyasnitelnaya zapiska [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:200 000. The North-Ural Series. Sheet Q-41-XXV. Explanatory note]. / V.N. Ivanov, T.B. Zharkova, I.Yu. Kurzanov [et al.]. – St. Petersburg: Cartographic Factory VSEGEI, 2001. – 210 p.
4. Pystin, A.M. Bazalnye otlozheniya verhnego dokembriya v Timano-Severouralskom regione [Basal deposits of the Upper Precambrian in the Timan-Northern Ural region] / A.M. Pystin, Yu.I. Pystina // Litosphere. – 2014. – No. 3. – P. 41–50.
5. Pystin, A.M. Dokembrio Pripolyarnogo Urala: khronostratigraficheskio aspect [Precambrian of the Subpolar Urals: chronostratigraphic aspect] / A.M. Pystin, Yu.I. Pystina // Proceedings of the Karelian Science Centre of the RAS, No. 7. Precambrian Geology Series. – 2019. – No. 2. – P. 34–52.
6. Pystina, Yu.I. Nizhniy dokembriy v strukture paleozoid pripolyarnogo Urala [The Lower Precambrian in the structure of paleozoids of the Subpolariar Urals] / Yu.I. Pystina, A.M. Pystin, V.B. Khubanov // Reports of the RAS. – 2019. – Vol. 486, No. 5. – P. 609–612.
7. Pystin, A.M. Geologicheskoye polozheniye i vozrast manhobeyuskoj svity (RF1?) na Pripolyarnom Urale [Geological position and age of the Mankhobei Formation (RF1?) in the Subpolar Urals] / A.M. Pystin, Yu.I. Pystina // Vestnik of the Institute of Geology, Komi Science Centre, Ural Branch of the RAS. – 2018. – No. 9. – P. 3–9.
8. Pystin, A.M. Geologicheskoye polozheniye i vozrast shchokurinskoy svity na Pripolyarnom Urale [Geological position and age of the Shchokurin Formation in the Subpolar Urals] / A.M. Pystin, Yu.I. Pystina // Vestnik of the Institute of Geology, Komi Science Centre, Ural Branch of the RAS. – 2018. – No. 10. – P. 3–9.
9. Fishman, M.V. Granitoidy tsentralnoy chasti Pripolyarnogo Urala [Granitoids of the central part of the Subpolar Urals] / M.V. Fishman, B.A. Goldin. – Leningrad: Nauka, 1963. – 105 p.
10. Puchkov, V.N. Geologiya Urala i Priuralya (aktualnye voprosy stratigrafii, tektoniki, geodinamiki i metallogenii) [Geology of the Urals and Cis-Urals (actual problems of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny)] / V.N. Puchkov. – Ufa: DesignPolygraphService, 2010. – 280 p.
11. Pystin, A.M. Pervyye rezultaty U-Pb datirovaniya detritovykh tsirkonov iz verkhnedokembriyskikh bazalnyh otlozheniy Pripolyarnogo Urala [First results of U-Pb dating of detrital zircons from the Upper Precambrian basal deposits of the Subpolar Urals] / A.M. Pystin, Yu.I. Pystina, V.B. Khubanov // Reports of the RAS. – 2019. – Vol. 488, No. 2. – P. 1031–1034.
12. Pystin, A.M. U-Pb dating of detrital zircons from basal Post Paleoproterozoic metasediments in the Subpolar and Polar Urals: Evidence for a Cryogenian, not Mesoproterozoic Age / A.M. Pystin, Yu.I. Pystina, N.S. Ulyasheva, O.V Grakova // International Geology Review. – 2020. – Vol. 62, No. 17. – P. 2189–2202.
13. Pystina, Yu.I. Morfologicheskiye osobennosti tsirkonov iz metamorficheskikh porod i granitoidov Timano-Uralskogo regiona [Morphological features of zircons from metamorphic rocks and granitoids of the Timan-Ural region] / Yu.I. Pystina, A.M. Pystin // Vestnik of VSU. Series: Geology. – 2018. – No. 3. – P. 74–82.
14. Pystina, Yu. I. Mineralogicheskaya stratigrafiya metamorficheskikh obrazovaniy Pripolyarnogo Urala [Mineralogical stratigraphy of metamorphic formations of the Subpolar Urals] / Yu.I. Pystina. – Yekaterinburg: Ural Branch of the RAS, 1997. – 124 p.
15. Pystina, Yu. I. Tsirkonovaya letopis Uralskogo dokembriya [Zircon chronicle of the Ural Precambrian] / Yu.I. Pystina, A.M. Pystin. – Yekaterinburg: Publishing house of the Ural Branch of the RAS, 2002. – 168 p.
16. Pystin, A. M. Karta metamorfizma Pripolyarnogo i yuzhnoy chasti Polyarnogo Urala [Map of metamorphism of the Subpolar and southern part of the Polar Urals] / A.M. Pystin. – Syktyvkar, 1991. – 20 p. – (A series of preprints "Scientific reports" of the Komi Science Centre, Ural Branch of the USSR Academy of Sciences).
17. Bushlyakov, I.N. Galogeny v petrogenezise i rudonosnosti granitoidov [Halogens in petrogenesis and ore content of granitoids] / I.N. Bushlyakov, V.V. Kholodnov. – Moscow: Nauka, 1986. – 190 p.
18. Bushlyakov, I.N. Galogeny v endogennom petrogeneze: avtoref. dis… d-ra geol.-min. nauk [Halogens in endogenous petrogenesis: abstract of a dissertation of a doctor of geological and mineralogical sciences] / I.N. Bushlyakov. – Sverdlovsk, 1989. – 46 p.

19. Putivtseva, N.V. Morfologiya apatita [Morphology of apatite] / N.V. Putivtseva // Proceedings of higher educational institutions, geol. and exploration. – 1985. – No.2. – P. 31–37.
20. Krasnobayev, A.A. Redkozemelnye elementy v apatitah i tsirkonah iz granitoidov i metamorfitov gneysovo-migmatitovykh kompleksov Urala i ih petrologicheskaya informativnost [Rare earth elements in apatites and zircons from granitoids and metamorphites of gneiss-migmatite complexes of the Urals and their petrological information content] / A.A. Krasnobayev, V.V. Kholodnov // Crystal chemical features of silicate minerals of the Urals. – Sverdlovsk: USC of the USSR Academy of Sciences, 1981. – P. 14–40.
21. Safonov, O.G. Mineralnyye indikatory reaktsii s prisutstviyem solevykh komponentov flyuidov v glubokoy litosfere [Mineral reaction indicators with the presence of salt components of fluids in the deep lithosphere] / O.G. Safonov, V.G. Butvina, Ye.V. Limanov, S.A. Kosova. – Petrology. – 2019. – Vol. 27, No. 5. – P. 525–556.
22. Harlov, D.E. High-grade fluid metasomatism on both a local and regional scale: the Seward Peninsula, Alaska and the Val Strona di Omegna, Ivrea–Verbano Zone, northern Italy. Part I: Petrography and silicate mineral chemistry / D.E. Harlov, H.J. Förster // J. Petrol. – 2002. – Vol. 43. – P. 769–799.
23. Harlov, D.E. An experimental study of dissolution–reprecipitation in fluorapatite: fluid infiltration and the formation of monazite / D.E. Harlov, R. Wirth, H.J. Förster // Contrib. Mineral. Petrol. – 2005. – Vol. 150. – P. 268–286.
24. Harlov, D.E. The potential role of fluids during regional granulite-facies dehydration in the lower crust / D.E. Harlov // Geosci. Front. – 2012. – Vol. 3. – P. 813–27.
25. Harlov, D.E. Apatite: A fingerprint for metasomatic processes / D.E. Harlov // Elements. – 2015. – Vol. 11. – P. 171–176.
26. Nosyrev, I.V. Petrogeneticheskie osobennosti granitoidov Ukrainskogo shchita po dannym izucheniya tsirkona i drugikh aktsessornykh mineralov [Petrogenetic features of granitoids of the Ukrainian shield based on the study of zircon and other accessory minerals] / I.V. Nosyrev, V.M. Robul, I.B. Shcherbakov // Typomorphism, synthesis and use of zircons. – Kiev, 1989. – P. 111–119.

Благодарность (госзадание)

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН № 1021062211107-6-1.5.6; FUUU-2022-0085.

Информация об авторах:

Пыстина Юлия Ивановна – доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Института геологии имени академика Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН; профессор Сыктывкарский Государственный Университет им. Питирима Сорокина (Российская Федерация, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54; Российская Федерация, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, Октябрьский пр-т, д. 55; e-mail: yuliya_pystina@mail.ru).

About the authors:

Yulia I. Pystina – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, Institute of Geology, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; Professor at Syktyvkar State University named after Pitirim Sorokin (54, Pervomayskaya Str., Syktyvkar, Komi Republic, 167982, Russian Federation; 55, Oktyabrsky Prosp., Syktyvkar, Komi Republic, 167982, Russian Federation; e-mail: yuliya_pystina@mail.ru).

Для цитирования:

Пыстина, Ю.И. Типоморфизм апатитов метаморфических пород Приполярного Урала (бассейна реки Кожим) / Ю.И. Пыстина // Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия "Науки о Земле". – 2022. – № 2 (54). – С. 55–63. УДК 549:553.81.068.5:551.734.3 (234.83). DOI 10.19110/1994-5655-2022-2-55–63

For citation:

Pystina, Yu.I. Typomorphism of apatites from metamorphic rocks of the Subpolar Urals (basin of the river Kozhim) / Yu.I. Pystina // Proceedings of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Earth Sciences Series. – 2022. – No. 2 (54). – pp. 55–63. УДК 549:553.81.068.5:551.734.3 (234.83). DOI 10.19110/1994-5655-2022-2-55–63

Дата поступления рукописи: 21.03.2022
Прошла рецензирование: 29.03.2022
Принято решение о публикации: 04.04.2022
Received: 21.03.2022
Reviewed: 29.03.2022
Accepted: 04.04.2022

Цирконий-гафниевый геотермометр для А-гранитов Приполярного Урала

Ю.В. Денисова

Институт геологии имени академика Н.П. Юшкина
ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
г. Сыктывкар
yulden777@yandex.ru

Аннотация

Взаимосвязь колебаний циркония и гафния в магматическом цирконе и граните позволила Л.Я. Арановичу и Н.С. Бортникову разработать геотермометр на базе этого маркерного соотношения. Изучение данных силикатного анализа для породы и микрозондового анализа для циркона из гранитов А- типов севера Приполярного Урала дало возможность определить температуры формирования породы изученных массивов. Согласно проведенным расчетам, граниты Кожимского массива сформировались при температурах от 799 до 914° С (в среднем 863° С), граниты Бадьяюского массива - от 763° до 928° С (в среднем 851° С), граниты Яротского массива - от 768° до 932° С и при средней температуре 851° С. Анализ распределения на геологической схеме полученных максимальных температур подтвердил принадлежность Бадьяюского и Яротского массивов к явно выраженным трещинным плутонам, Кожимского массива к условно трещинному плутону.

Ключевые слова:

циркон, гранит, геотермометр, Кожимский массив, Бадьяюский массив, Яротский массив, Приполярный Урал

Zirconium-hafnium geothermometer for A-granites of the Subpolar Urals

Yu.V. Denisova

Institute of Geology named after academician N. P. Yuskin, Komi Science Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar
yulden777@yandex.ru

Abstract

Studying the relationship of fluctuations of zirconium and hafnium in magmatic zircon and mineral-containing rock allowed L.Y. Aranovich and N.S. Bortnikov to develop a geothermometer based on this marker ratio. The study of silicate and microprobe analyses from granites of A-types in the north of the Subpolar Urals made it possible to determine the rock formation temperatures of the studied massifs. According to the calculations, the granites of the Kozhim massif were formed at temperatures from 799 to 914° C, the granites of the Badyayu massif - from 763° C to 928° C, the granites of the Yarot massif - from 768° C to 932° C. The analysis of the distribution of the obtained maximum temperatures on the geological scheme confirmed that the Badyayu and Yarot massifs belong to pronounced fractured plutons, while the Kozhim massif belongs to conditionally fractured plutons.

Keywords:

zircon, granite, geothermometer, the Kozhim massif, the Badyayu massif, the Yarot massif, the Subpolar Urals

Введение

Схожесть атомных и ионных радиусов Hf с Zr объясняет постоянное нахождение гафния в качестве изоморфной примеси в составе минералов циркония. В большинстве таких минералов содержание гафния обычно находится в пределах от 1 до 7 мас. % [1] (для цирконов А-гранитов Приполярного Урала содержание Hf колеблется от 1,0 до 1,6 мас. % [2]). Однако гафний может заместить цирконий в составе минерала не более чем на 20 % от общего содержания Zr. При нарушении соотношения Zr/Hf < 20 происходит распад минерала [3], что и объясняет отсутствие в природе минералов гафния. Этот элемент, подобно Zr, обладает повышенной устойчивостью при изменении давления, температуры, щелочности в расплаве. Склонность гафния к постепенному накоплению относительно циркония в процессе формирования породы позволяет использовать Zr-Hf отношение в качестве индикаторного [4, 5]. Анализ такого маркера дает возможность определить степень фракционирования и рудоперспективности гранитов, разделить цирконы на ранние и поздние генерации [6, 7]. Комплексное изучение этих цирконий-гафниевых отношений дает возможность определить термодиапазон для циркона и породы его содержащей.

Цель работы – выяснение температур формирования гранитов Кожимского, Бадьяюского и Яротского массивов с помощью Zr-Hf геотермометра.

Объект исследования

На сегодняшний момент наиболее признанной классификацией гранитоидов считается так называемая «алфавитная классификация» Б. Чаппелла и А. Вайта [8], согласно которой на основе выделения петрографических, геохимических и изотопных особенностей все граниты условно разделяются на четыре типа. Отличительной особенностью S - типа, образующегося в результате переплавления осадоч-

ного материала, является высокая глиноземистость. I - тип, формирующийся за счет преобразования магматогенных субстратов, представлен преимущественно породами известково-щелочного типа. M-гранитоиды, являющиеся производными мантийных расплавов, – это обычно кварцевые диориты и тоналиты. В противовес рассмотренным типам, имеющим орогенную природу, в четвертый тип выделяются граниты анорогенных областей (A-тип), выявленные в рифтовых зонах и стабильных блоках земной коры, характеризующиеся умеренной щелочностью и высокими значениями $Na_2O + K_2O$, FeO/Mg, Ga/Al.

Для Приполярного Урала характерно преобладание как по количеству интрузивных тел, так и суммарному объему массивов гранитов A-типа. Большинство таких массивов, к которым относятся Кожимский, Бадьяюский, Яротский и др., приурочено к Центрально-Уральскому поднятию (рис. 1). Кожимский массив расположен на берегах р. Кожим в бассейнах ручьев Понью, Осею и Епкошор, представляет собой группу гранитных тел, прорывающую отложения пуйвинской свиты среднего рифея. На северо-востоке от Кожимского массива лежат Яротский и Бадьяюский массивы. Первый массив пересекает долину р. Малая Ярота и прорывает верхнерифейские отложения мороинской свиты так же, как рядом лежащий Бадьяюский массив, который пересекает долины рек Малая и Большая Бадьяю в их верховьях. Рассмотренные массивы сложены розоватыми лейкократовыми гранитами, подвергавшимися процессам катаклаза [9–11].

Методика исследования

Изучение морфологии, химического состава, включений акцессорных минералов позволяет получить разнообразную информацию о петрогенезе той или иной породы, в том числе выявить температурный режим образования этой породы на момент кристаллизации акцессория. Наиболее часто в качестве минерала-геотермометра используется циркон. До последнего времени для определения температуры минерала и цирконсодержащей породы применялись такие методики, как эволюционный анализ Дж.П. Пюпена, термометрия насыщения Е.Б. Ватсона, титановая термометрия Е.Б. Ватсона [12, 13]. В 2018 г. Л.Я. Аранович и Н.С. Бортников разработали дополнительный геотермометр, который получил название «Zr-Hf геотермометр» [14]. Данный термометр не зависит ни от колебаний количества петрогенных элементов породы, ни от достоверности определения содержания TiO_2 в цирконе. Эта методика, основываясь на данных о содержаниях циркония и гафния в минерале и породе, позволяет рассчитать температуру образования для отдельного кристалла, тем самым подходить к определению температурного режима дифференцированно.

Анализ разнообразных экспериментальных данных позволил Л.Я. Арановичу и Н.С. Бортникову установить взаимосвязь между температурой образования магматического циркона и породы, его содержащей, и коэффициентом распределения циркония и гафния в минерале и породе:

$$T(K)=\frac{1531}{(\ln Kd+0.883)},\ K_d=\frac{(X^z_{Zr}\ X^m_{Hf})}{(X^m_{Zr}\ X^z_{Hf})},$$

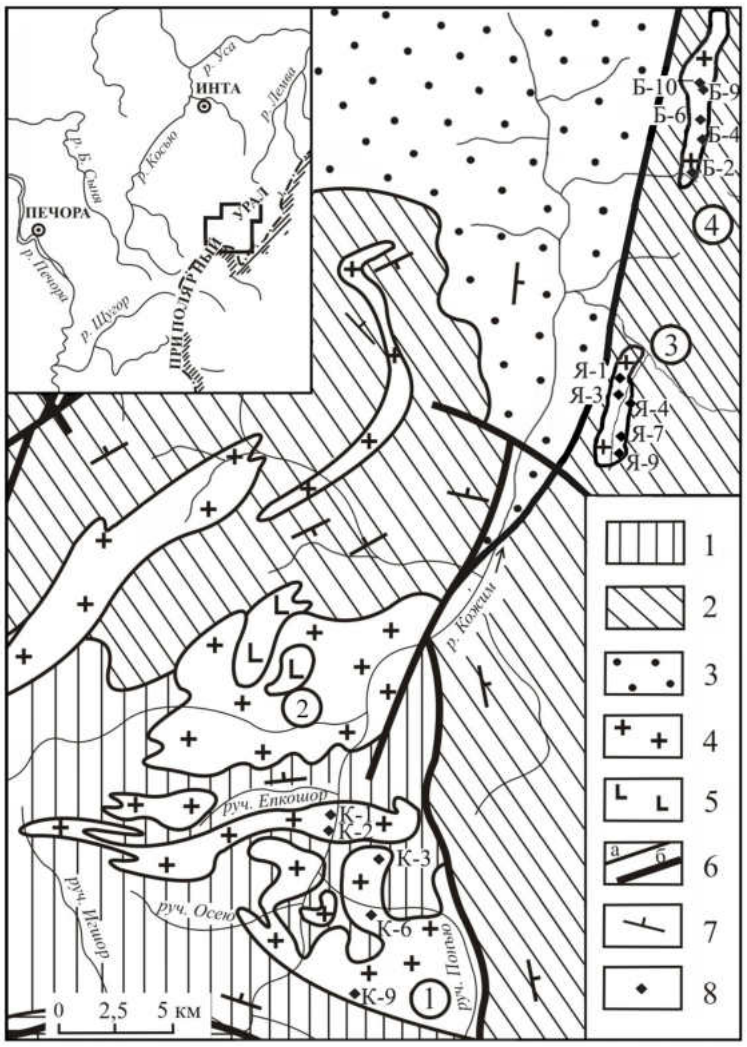


Рисунок 1. A–граниты севера Приполярного Урала (по [11] с дополнениями автора): 1 – слюдяно-кварцевые сланцы, зеленые ортосланцы, метапорфиры, кварциты; 2 –слюдяно-кварцевые сланцы, порфиры, порфириты, прослои мраморов и кварцитов; 3 – нижнепалеозойские терригенно-карбонатные отложения; 4 – граниты; 5 – габбро; 6 – геологические границы: а – стратиграфические и магматические, б – тектонические; 7 – элементы залегания плоскостных структур; 8 – точки отбора проб.

Массивы (цифры в кружочках): 1 – Кожимский; 2 – Кузьпуаюский; 3 – Яротский; 4 – Бадьяюский.

Figure 1. A- granites of the north of the Subpolar Urals (with additions by the author up to [11])

1 – mica-quartz shales, green orthoshists, metaporphyres, quartzites; 2 –mica-quartz shales, porphyrys, porphyrites, interlayers of marbles and quartzites; 3 – Lower Paleozoic terrigenous-carbonate deposits; 4 – granites; 5 – gabbro; 6 – geological boundaries: a – stratigraphic and igneous, b – tectonic; 7 – elements of the occurrence of planar structures; 8 – sampling points.

The massifs (numbers in circles): 1 – the Kozhim massif; 2 – the Kuzpuyu massif; 3– the Yarot massif; 4– the Badiayu massif.

где Kd – коэффициент распределения Zr и Hf между цирконом (z) и расплавом (m), T(K) – температура, Кельвин, X^m_{Zr}, X^m_{Hf} – содержание Zr и Hf в расплаве, мас. %, X^z_{Zr}, X^z_{Hf} – содержание Zr и Hf в цирконе, мас. %.

Цирконий-гафниевая термометрия для гранитов Приполярного Урала

Определение температуры формирования пород Кожимского, Бадьяюского и Яротского массивов проходило по пяти пробам, отобранным по всей площади массивов. Показатели были рассчитаны на основе данных ICP-MS анализа для гранита (Институт геологии и геохимии, г. Екатеринбург, аналитик Ю.Л. Ронкин) и микрозондового анализа для циркона (ЦКП «Геонаука» Института геологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, аналитик С.С. Шевчук) (табл. 1–3).

Для породы и циркона Кожимского гранитного массива были получены следующие сведения: проба К-1 – температуры находятся в пределе от 734 до 891 °С и в среднем составляют 814 °С, К-2 – от 823 до 874 °С и в среднем – 853 °С, К-4 – от 855 до 904 °С, в среднем – 880 °С, К-6 – от 852 до 914 °С и в среднем – 879 °С, проба К-9 – от 799 до 886 °С и в среднем – 827 °С. Полученные температуры показывают, что при образовании Кожимского массива материнский расплав был нагрет равномерно по всему объему, при этом его температура колебалась от 799 до 914 °С и в среднем составляла 863 °С. Согласно проведенным вычислениям, для гранита и циркона Бадьяюского массива отмечаются такие температурные диапазоны, как: проба Б-2 – от 790 до 903 °С и в среднем – 848 °С, Б-4 – от 763 до 881 °С и в среднем – 826 °С, Б-6 – от 834 до 928 °С и в среднем – 890 °С, Б-9 – от 821 до 908 °С и в среднем – 868 °С, Б-10 – от 785 до 899 °С и в среднем – 825 °С. Становление Бадьяюского гранитного массива, согласно геотермометру Арановича-Бортникова, происходило при температурах от 763 до 928 °С при средней температуре 851 °С. Для породы и циркона Яротского массива также характерны высокие температуры образования: проба Я-1 – от 813 до 904 °С и в среднем – 866 °С, Я-3 – от 798 до 889 °С и в среднем – 832 °С, Я-4 – от 831 до 933 °С и в среднем – 876 °С, Я-9 – от 768 до 914 °С и в среднем – 850 °С, Я-7 – от 838 до 932 °С и в среднем – 881 °С. Общий температурный диапазон для яротских гранитов имеет вид: от 768 до 932 °С и при средней температуре 851 °С.

Для гранитов Кожимского массива характерен больший разброс температур, что и сказывается на итоговой средней, которая оказывается чуть меньше средних температур для пород Бадьюского и Яротского массивов. Согласно гистограммам (рис. 2–4), 60 % полученных температур для Кожимского массива приходятся на интервал 850–900 °С, для пород Бадьяюского и Яротского массивов температуры сконцентрировались в интервалах 800–850 °С (36 и 36 % соответственно) и 850–900 °С (36 и 40 % соответственно). Общая температура расплавов, сформировавших Кожимский массив, была более высокая, чем расплавов, образовавших Бадьяюский и Яротский массивы.

Таблица 1

Zr- Hf - геотермометрия для гранитов Кожимского массива

Table 1

Zr- Hf- geothermometry for granites of the Kozhim massif

№ зерна	Проба	Содержание элемента в цирконе, мас. %		Содержание элемента в граните, мас. %		T, °C	№ зерна	Проба	Содержание элемента в цирконе, мас. %		Содержание элемента в граните, мас. %		T, °C
		$Zr_ц$	$Hf_ц$	$Zr_{гр}$	$Hf_{гр}$				$Zr_ц$	$Hf_ц$	$Zr_{гр}$	$Hf_{гр}$	
1	К-1	46,78	1,52	60,62	3,38	803	26	К-4	47,60	1,35	82,23	3,67	872
2		46,49	1,37	60,62	3,38	734	27		47,35	1,35	82,23	3,67	877
3		47,99	1,54	60,62	3,38	799	28		47,99	1,39	82,23	3,67	891
4		47,47	1,62	60,62	3,38	841	29		46,15	1,33	82,23	3,67	886
5		46,88	1,45	60,62	3,38	767	30		46,98	1,33	82,23	3,67	871
6		47,52	1,72	60,62	3,38	891	31	К-6	48,00	1,13	102,23	3,78	875
7		46,32	1,51	60,62	3,38	805	32		47,52	1,12	102,23	3,78	875
8		47,56	1,69	60,62	3,38	875	33		46,95	1,16	102,23	3,78	914
9		46,22	1,44	60,62	3,38	772	34		47,52	1,15	102,23	3,78	896
10		47,45	1,65	60,62	3,38	857	35		47,03	1,11	102,23	3,78	876
11	К-2	46,92	1,45	99,77	4,88	868	36		47,44	1,09	102,23	3,78	852
12		46,21	1,41	99,77	4,88	857	37		47,77	1,14	102,23	3,78	885
13		46,12	1,41	99,77	4,88	858	38		47,28	1,13	102,23	3,78	887
14		46,12	1,41	99,77	4,88	858	39		47,55	1,11	102,23	3,78	870
15		47,22	1,47	99,77	4,88	874	40		48,74	1,13	102,23	3,78	861
16		48,21	1,45	99,77	4,88	845	41	К-9	47,44	1,44	88,15	4,45	827
17		48,87	1,49	99,77	4,88	856	42		46,39	1,45	88,15	4,45	851
18		48,85	1,43	99,77	4,88	823	43		47,12	1,38	88,15	4,45	799
19		46,75	1,42	99,77	4,88	853	44		46,35	1,51	88,15	4,45	886
20		46,73	1,39	99,77	4,88	836	45		45,67	1,41	88,15	4,45	841
21	К-4	47,37	1,37	82,23	3,67	889	46		47,15	1,38	88,15	4,45	799
22		47,44	1,33	82,23	3,67	863	47		47,89	1,45	88,15	4,45	825
23		48,53	1,41	82,23	3,67	894	48		47,44	1,43	88,15	4,45	821
24		46,78	1,30	82,23	3,67	855	49		46,33	1,38	88,15	4,45	812
25		46,95	1,38	82,23	3,67	904	50		46,45	1,38	88,15	4,45	810

Таблица 2

Zr- Hf - геотермометрия для гранитов Бадьяюского массива

Table 2

Zr- Hf- geothermometry for granites of the Badiayu massif

№ зерна	Проба	Содержание элемента в цирконе, мас. %		Содержание элемента в граните, мас. %		T, °C	№ зерна	Проба	Содержание элемента в цирконе, мас. %		Содержание элемента в граните, мас. %		T, °C
		$Zr_ц$	$Hf_ц$	$Zr_{гр}$	$Hf_{гр}$				$Zr_ц$	$Hf_ц$	$Zr_{гр}$	$Hf_{гр}$	
1	Б-2	48,03	1,35	102,15	4,66	847	26	Б-6	48,23	1,28	98,55	4,12	872
2		47,06	1,38	102,15	4,66	871	27		47,25	1,31	98,55	4,12	910
3		46,15	1,37	102,15	4,66	893	28		47,52	1,29	98,55	4,12	891
4		47,28	1,33	102,15	4,66	847	29		46,81	1,28	98,55	4,12	898
5		47,40	1,43	102,15	4,66	903	30		46,73	1,32	98,55	4,12	928
6		46,78	1,29	102,15	4,66	830	31	Б-9	47,03	1,32	111,19	5,11	838
7		47,79	1,41	102,15	4,66	886	32		48,11	1,32	111,19	5,11	820
8		47,23	1,29	102,15	4,66	824	33		46,81	1,35	111,19	5,11	863
9		46,49	1,22	102,15	4,66	790	34		47,37	1,37	111,19	5,11	863
10		44,55	1,17	102,15	4,66	791	35		48,31	1,42	111,19	5,11	878
11	Б-4	46,31	1,22	109,12	4,92	802	36		48,88	1,43	111,19	5,11	873
12		47,32	1,34	109,12	4,92	864	37		46,30	1,29	111,19	5,11	833
13		47,37	1,37	109,12	4,92	880	38		48,13	1,45	111,19	5,11	902
14		47,78	1,33	109,12	4,92	846	39		48,03	1,46	111,19	5,11	908
15		47,91	1,37	109,12	4,92	870	40		47,03	1,41	111,19	5,11	895
16		48,01	1,32	109,12	4,92	838	41	Б-10	46,81	1,22	112,61	4,89	825
17		47,45	1,18	109,12	4,92	763	42		48,26	1,28	112,61	4,89	842
18		48,30	1,27	109,12	4,92	803	43		47,34	1,07	112,61	4,89	724
19		48,14	1,21	109,12	4,92	770	44		47,93	1,22	112,61	4,89	810
20		48,02	1,29	109,12	4,92	821	45		47,08	1,18	112,61	4,89	797
21	Б-6	46,81	1,22	98,55	4,12	856	46		48,01	1,21	112,61	4,89	798
22		46,46	1,27	98,55	4,12	897	47		48,13	1,22	112,61	4,89	804
23		46,81	1,30	98,55	4,12	912	48		48,29	1,25	112,61	4,89	820
24		48,52	1,23	98,55	4,12	834	49		48,11	1,33	112,61	4,89	874
25		47,83	1,32	98,55	4,12	906	50		47,47	1,35	112,61	4,89	899

Таблица 3

Zr- Hf - геотермометрия для гранитов Яротского массива

Table 3

Zr- Hf- geothermometry for granites of the Yarot massif

№ зерна	Проба	Содержание элемента в цирконе, мас. %		Содержание элемента в граните, мас. %		T, °C	№ зерна	Проба	Содержание элемента в цирконе, мас. %		Содержание элемента в граните, мас. %		T, °C
		$Zr_ц$	$Hf_ц$	$Zr_{гр}$	$Hf_{гр}$				$Zr_ц$	$Hf_ц$	$Zr_{гр}$	$Hf_{гр}$	
1	Я-1	47,56	1,35	92,87	4,37	830	26	Я-4	48,22	1,51	113,23	5,22	933
2		49,22	1,53	92,87	4,37	907	27		48,31	1,38	113,23	5,22	851
3		47,37	1,45	92,87	4,37	893	28		48,35	1,44	113,23	5,22	887
4		46,99	1,42	92,87	4,37	882	29		49,55	1,38	113,23	5,22	831
5		49,77	1,52	92,87	4,37	891	30		48,69	1,41	113,23	5,22	863
6		46,76	1,30	92,87	4,37	813	31	Я-7	47,41	1,31	99,13	4,39	857
7		47,27	1,44	92,87	4,37	889	32		46,81	1,39	99,13	4,39	920
8		47,15	1,37	92,87	4,37	848	33		46,95	1,39	99,13	4,39	918
9		48,43	1,42	92,87	4,37	856	34		47,37	1,33	99,13	4,39	870
10		46,33	1,35	92,87	4,37	851	35		47,52	1,33	99,13	4,39	868
11	Я-3	46,27	1,46	80,43	3,92	889	36		47,77	1,29	99,13	4,39	838
12		47,55	1,37	80,43	3,92	814	37		47,27	1,29	99,13	4,39	847
13		47,56	1,43	80,43	3,92	848	38		46,88	1,41	99,13	4,39	932
14		46,33	1,39	80,43	3,92	846	39		48,09	1,32	99,13	4,39	851
15		47,53	1,38	80,43	3,92	820	40		46,19	1,35	99,13	4,39	906
16		48,51	1,41	80,43	3,92	821	41	Я-9	47,37	1,34	110,15	4,97	861
17		48,02	1,39	80,43	3,92	817	42		48,06	1,31	110,15	4,97	831
18		47,28	1,37	80,43	3,92	818	43		47,78	1,37	110,15	4,97	872
19		47,13	1,33	80,43	3,92	798	44		48,34	1,39	110,15	4,97	875
20		46,15	1,39	80,43	3,92	849	45		48,76	1,37	110,15	4,97	855
21	Я-4	48,56	1,49	113,23	5,22	914	46		47,44	1,19	110,15	4,97	768
22		48,13	1,47	113,23	5,22	909	47		47,03	1,27	110,15	4,97	823
23		47,51	1,35	113,23	5,22	847	48		47,44	1,25	110,15	4,97	804
24		48,26	1,42	113,23	5,22	876	49		47,25	1,39	110,15	4,97	895
25		47,79	1,37	113,23	5,22	854	50		47,28	1,42	110,15	4,97	914

Это подтверждают ранее полученные температуры, определенные с помощью кристалло-эволюционного анализа [15].

Изучение распределения точек максимальных средних температур образования пород рассмотренных массивов позволяет выявить область наибольших температур (рис. 5). Для Кожимского массива определена область наибольшего диаметра, указывающая на образование массива за счет мощного потока расплавов. В случае Яротского массива область максимальных температур полностью повторяет контур рассмотренного массива. Подобное расположение характерно для интрузий трещинного типа, когда материнский расплав движется по системе трещин в земной коре [16]. Бадьяюский массив имеет подобное залегание пород, как в случае яротских гранитов, но выявленная область имеет точечный характер. Этот массив также, вероятно, является интрузией трещинного типа, но формирующие его расплавы двигались по вторичной системе трещин, основание которых приурочено к источнику, находящемуся в районе Яротского массива.

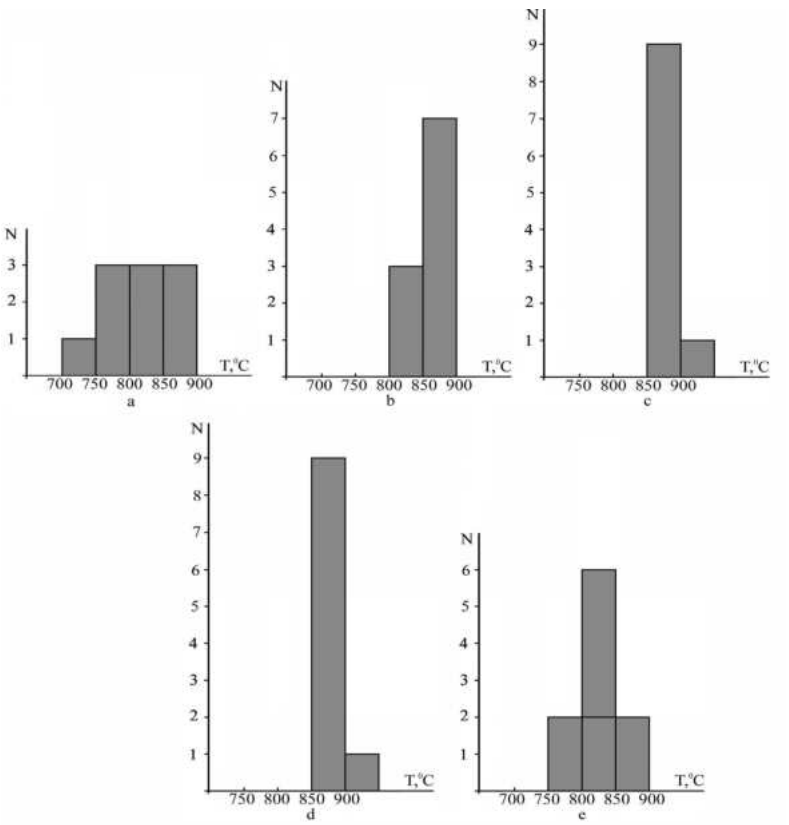


Рисунок 2. Температуры образования гранитов Кожимского массива, пробы: a) К-1; b) К-2; c) К-4; d) К-6; e) К-9.
Figure 2. Temperatures of granite formation of the Kozhim massif: a) sample K-1, b) sample K-2, c) sample K-4, d) sample K-6, e) sample K-9.

Заключение

Анализ содержаний циркония и гафния в граните и акцессорном цирконе для Кожимского, Бадьяюского и Яротского массивов позволил не только установить диапазоны температур формирования этих массивов, но и выявить способ продвижения материнского расплава сквозь вмещающие породы. Согласно геотермометру Арановича-Бортникова, температурный диапазон для пород Кожимского массива находится в пределах 799–914° С и в среднем составляет 863 °С. Для Бадьяюского массива термодиапазон, рассчитанный по количеству циркония и гафния, имеет вид: от 763 до 928° С при средней температуре 851° С. Формирование яротских гранитов происходило при подобных температурах: от 768 до 932 °С и при средней – 851° С.

Выявленная область максимальных температур подтверждает предположение Л.В. Махлаева, относившего Бадьяюский и Яротский массивы к явно выраженным трещинным плутонам [9]. Образование этих массивов произошло за счет прорывания расплавом пород мороинской свиты по линейной системе трещин. В случае Кожимского массива он может считаться трещинным плутоном. То же самое полагал Л.В. Махлаев, только при условии прорывания расплавом отложений пуйвинской свиты круговой системой трещин.

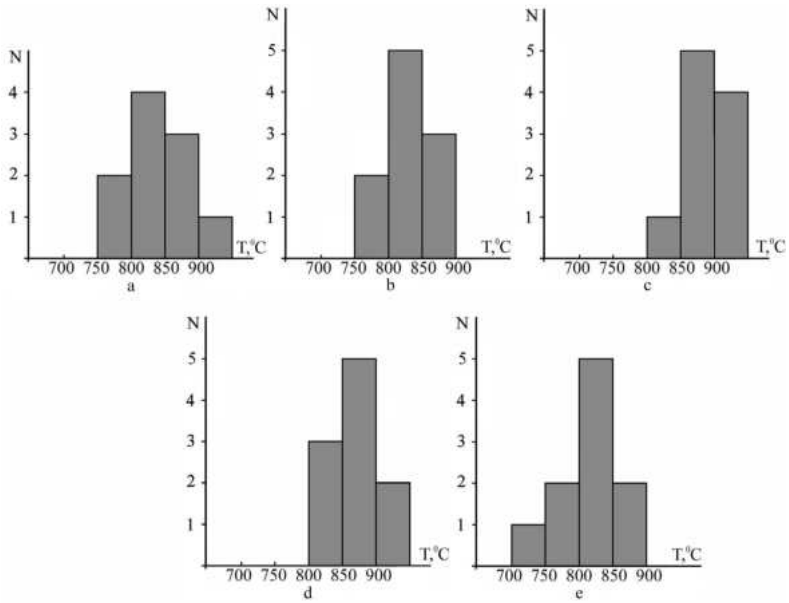


Рисунок 3. Температуры образования гранитов Бадьяюского массива, пробы: a) Б-2; b) Б-4; c) Б-6; d) Б-9; e) Б-10.
Figure 3. Temperatures of granite formation of the Badayu massif: a) sample B-2, b) sample B-4, c) sample B-6, d) sample B-9, e) sample B-10.

Литература

1. Путилин, Ю.М. Синтез минералов / Ю.М. Путилин, Ю.А. Белякова, В.П. Голенко. Т. 2. – Москва: Недра, 1987. – 256 с.

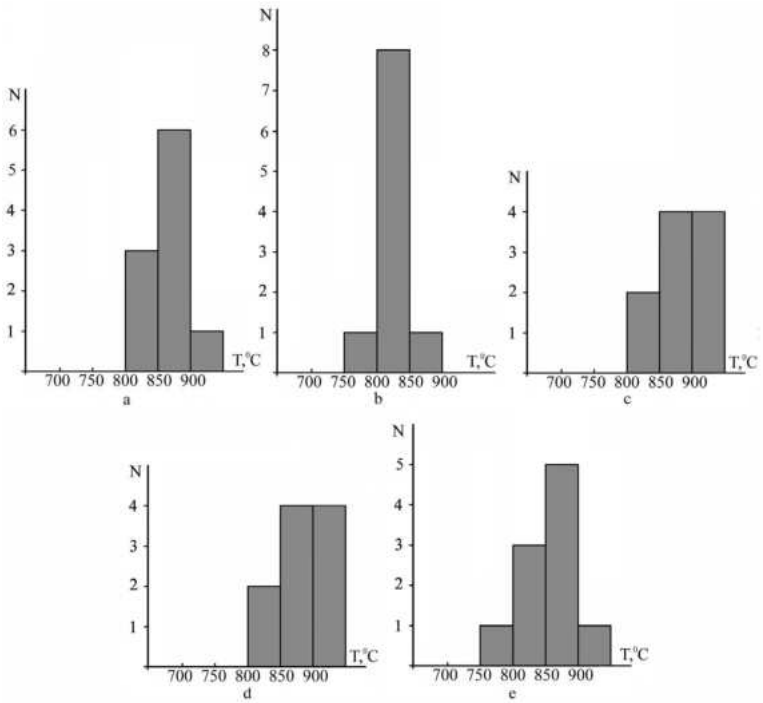


Рисунок 4. Температуры образования гранитов Яротского массива, пробы: a) Я-1; b) Я-3; c) Я-4; d) Я-7; e) Я-9.

Figure 4. Temperatures of granite formation of the Yarot massif: a) sample Ya-1, b) sample Ya -3, c) sample Ya -4, d) sample Ya -7, e) sample Ya -9.

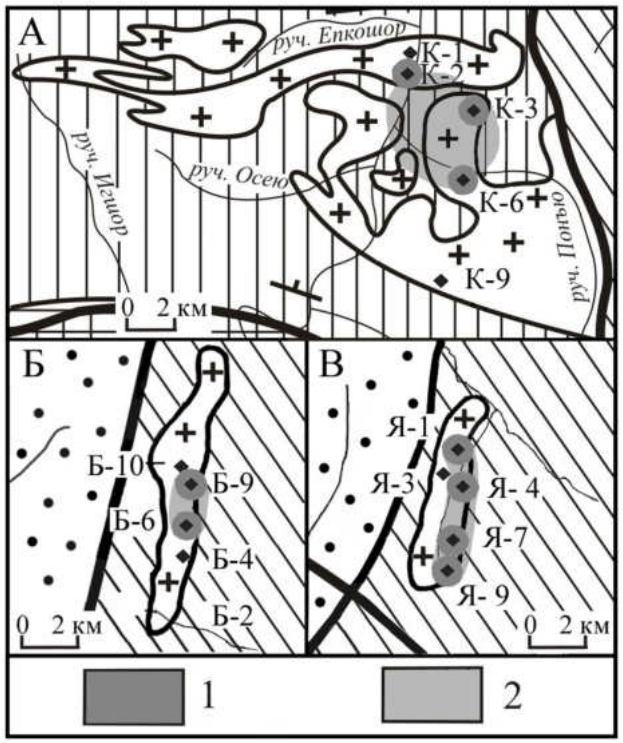


Рисунок 5. Изменение температурного режима образования породы в пределах Кожимского (А), Бадьяюского (Б) и Яротского (В) массивов. 1 – средняя температура образования гранита – от 850 до 900° С; 2 – область максимальных температур.

Figure 5. Changes in the temperature regime of rock formation within the Kozhimsky (A), Badiayu (Б) and Yarotsky (B) massifs. 1 – the average temperature of granite formation from 850 ° C to 900° C; 2 - the area of maximum temperatures..

2. Денисова, Ю.В. Типоморфические и типохимические особенности акцессорных цирконов гранитоидов Приполярного Урала / Ю.В. Денисова // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. – 2014. – № 5. – С. 9–16.
3. Шека, И.А. Химия гафния / И.А. Шека, К.Ф. Карлышева. – Киев: Наукова думка, 1973. – 456 с.
4. Багдасаров, Э.А. Индикаторное значение цирконий-гафниевого отношения цирконов / Э.А. Багдасаров // Типоморфизм, синтез и использование циркона. – Киев: Наукова думка, 1989, – С. 59–64.
5. Ляхович, В.В. «Цирконовый метод»: достоинства и недостатки. Статья II / В.В. Ляхович // Вестник Воронежского университета. Серия геология. – 2000. – Вып. 9. – С. 124–127.
6. Ляхович, В.В. Акцессорные минералы: их генезис, состав, классификация и индикаторные признаки / В.В. Ляхович. – Москва: Наука, 1968. – 276 с.
7. Денисова, Ю.В. Петрогенетическое значение ZrO_2/HfO_2 отношения в акцессорном цирконе гранитов Приполярного Урала / Ю.В. Денисова // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. – 2015. – № 2. – С. 23–31.
8. Chappel, B.W. Two contrasting granite types / B.W. Chappel, A.-J. R. Whitte // Pacif. Geol. – 1974. – V. 8. – P. 173–174.
9. Махлаев, Л.В. Гранитоиды севера Центрально-Уральского поднятия (Полярный и Приполярный Урал) / Л.В. Махлаев. – Екатеринбург: УрО РАН, 1996. – 189 с.
10. Фишман, М.В. Гранитоиды центральной части Приполярного Урала / М.В. Фишман, Б.А. Голдин. – Москва – Ленинград: АН СССР, 1963. – 105 с.
11. Пыстин, А.М. Метаморфизм и гранитообразование в протерозойско-раннепалеозойской истории формирования Приполярноуральского сегмента земной коры / А.М. Пыстин, Ю.И. Пыстина // Литосфера. – 2008. – № 11. – С. 25–38.
12. Денисова, Ю.В. Акцессорные геотермометры гранитов. / Ю.В. Денисова // Тенденции развития науки и образования. – 2020. – № 61. – Ч. 2. – С. 12–15. DOI: 10.18411/lj-05-2020-22.
13. Денисова, Ю.В. Термометрия насыщения циркона, апатита, монацита (Кожимский массив, Приполярный Урал) / Ю.В. Денисова // Известия Коми научного центра УрО РАН. – 2019. – № 3 (39). – С. 25–30. DOI: 10.19110/1994-5655-2019-3-47-52.
14. Аранович, Л.Я. Новый Zr - Hf геотермометр для магматических цирконов / Л.Я. Аранович, Н.С. Бортников // Петрология. Т. 26. – 2018. – № 2. – С. 109–115.
15. Денисова, Ю.В. Термометрия циркона из гранитоидов Приполярного Урала / Ю.В. Денисова // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. – 2016. – № 12. – С. 37–44.

16. Горшков, Г.П. Общая геология / Г.П. Горшков, А.Ф. Якушова. – Москва: Изд-во МГУ, 1973. – 592 с.

References

1. Putilin, Yu.M. Sintez mineralov [Synthesis of minerals] / Yu.M. Putilin, Yu.A. Belyakova, V.P. Golenko. Vol. 2. – Moscow: Nedra, 1987. – 256 p.
2. Denisova, Yu.V. Tipomorficheskie i tipohimicheskie osobennosti aktsessornyh tsirkonov granitoidov Pripolyarnogo Urala [Typomorphic and typochemical features of accessory zircons of granitoids of the Subpolar Urals] / Yu.V. Denisova // Vestnik of the Institute of Geology, Komi Science Centre, Ural Branch of the RAS. – 2014. – No. 5. – P. 9-16.
3. Sheka, I.A. Khimiya gafniya [Chemistry of hafnium] / I.A. Sheka, K.F. Karlysheva. – Kiev: Naukova dumka, 1973. – 456 p.
4. Bagdasarov, E.A. Indikatornoe znachenie tsirkonij- gafnievogo otnosheniya tsirkonov [Indicator value of zirconium-hafnium ratio of zircons] / E.A. Bagdasarov // Typomorphism, synthesis and use of zircon. Kiev: Naukova dumka, 1989. – P. 59-64.
5. Lyakhovich, V.V. «Tsirkonovyj metod»: dostoinstva I nedostatki. Statya II ["Zircon method": advantages and disadvantages. Article II] / V.V. Lyakhovich // Vestnik of Voronezh University. Geology series. – 2000. – Issue. 9. – P. 124-127.
6. Lyakhovich, V.V. Aktsessornye mineraly: ih genezis, sostav, klassifikatsiya i indikatornye priznaki [Accessory minerals: their genesis, composition, classification and indicator features] / V.V. Lyakhovich. – Moscow: Nauka, 1968. – 276 p.
7. Denisova, Yu.V. Petrogeneticheskoe znachenie ZrO2/HfO2 otnosheniya v aktsessornom tsirkone granitov Pripolyarnogo Urala [Petrogenetic significance of the ZrO2/HfO2 ratio in accessory zircon from granites of the Subpolar Urals] / Yu.V. Denisova // Vestnik of the Institute of Geology, Komi Science Centre, Ural Branch of the RAS. – 2015. – No. 2. – P. 23-31.
8. Chappel, B.W. Two contrasting granite types / B.W. Chappel, A.-J.R. Whitte // Pacif. Geol. – 1974. – Vol. 8. – P. 173-174.
9. Makhlaev, L.V. Granitoidy severa Centralno-Uralskogo podnyatiya (Polyarnyj i Pripolyarnyj Ural) [Granitoids of the north of the Central Ural uplift (Polar and Subpolar Urals)] / L.V. Makhlaev. – Yekaterinburg: Ural Branch of the RAS, 1996. – 189 p.
10. Fishman, M.V. Granitoidy centralnoj chasti Pripolyarnogo Urala [Granitoids of the central part of the Subpolar Urals] / M.V. Fishman, B.A.Goldin. – Moscow-Leningrad: the USSR Academy of Sciences, 1963. – 105 p.
11. Pystin, A.M. Metamorfizm i granitoobrazovanie v proterozojsko-rannepaleozojskoj istori formirovaniya Pripolyarnouralskogo segmenta zemnoj kory [Metamorphism and granite formation in the Proterozoic-Early Paleozoic history of the formation of the Subpolar Ural segment of the earth's crust] / A.M. Pystin, Yu.I.Pystina // Lithosphere. – 2008. – No. 11. – P. 25-38.
12. Denisova, Yu.V. Aktsessornye geotermometry granitov [Accessory geothermometers of granites] / Yu.V. Denisova // Trends in the development of science and education. – 2020 – No. 61. – Part 2. – P. 12-15. DOI: 10.18411/lj-05-2020-22.
13. Denisova, Yu.V. Termometriya nasyshcheniya tsirkona, apatita, monatsita (Kozhimskij massiv, Pripolyarnyj Ural) [Saturation thermometry of zircon, apatite, monazite (Kozhim massif, Subpolar Urals)] / Yu.V. Denisova // Proceedings of the Komi Science Centre, Ural Branch of the RAS. – 2019. – No. 3 (39). – P. 25-30. DOI 10.19110/1994-5655-2019-3-47-52.
14. Aranovich, L.Ya. Novyj Zr – Hf geotermometr dlya magmaticheskih tsirkonov [New Zr – Hf geothermometer for igneous zircons] / L.Ya. Aranovich, N.S. Bortnikov // Petrology. Vol. 26. – 2018. – No. 2. – P. 109-115.
15. Denisova, Yu.V. Termometriya tsirkona iz granitoidov Pripolyarnogo Urala [Thermometry of zircon from granitoids of the Subpolar Urals] / Yu.V. Denisova // Vestnik of the Institute of Geology, Komi Science Centre, Ural Branch of the RAS. – 2016. – No. 12. – P. 37-44.
16. Gorshkov, G.P. Obshchaya geologiya [General geology] / G.P. Gorshkov, A.F. Yakushova. – Moscow: Publishing house of Moscow State University, 1973. – 592 p.

Благодарность (госзадание)

Исследования проведены в рамках НИР ИГ Коми НЦ УрО РАН № 1021062211107-6-1.5.6; FUUU-2022-0085.
Геохимические исследования выполнены в лаборатории органической геохимии ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН на оборудовании ЦКП «Геонаука».
Автор выражает благодарность рецензенту за ценные критические замечания и рекомендации, которые способствовали улучшению содержания статьи.

Информация об авторах:

Денисова Юлия Вячеславовна – младший научный сотрудник Института геологии имени академика Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН; https://orcid.org/0000-0003-0832-1063 (Российская Федерация, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54; e-mail: yulden777@yandex.ru).

About the authors:

Yulia V. Denisova – Junior Researcher, Institute of Geology, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; https://orcid.org/0000-0003-0832-1063 (54 Pervomayskaya str., Syktyvkar, Komi Republic, 167982, Russian Federation; e-mail: yulden777@yandex.ru).

Для цитирования:

Денисова, Ю.В. Цирконий-гафниевый геотермометр для А-гранитов Приполярного Урала / Ю.В. Денисова // Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия "Науки о Земле". – 2022. – № 2 (54). – С. 64-71. УДК 550.4,551.2, 552.3. DOI 10.19110/1994-5655-2022-2-64-71

For citation:

Denisova, Yu.V. Zirconium-hafnium geothermometer for A-granites of the Subpolar Urals / Yu.V. Denisova // Proceedings of the Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Earth Sciences Series. – 2022. – № 2 (54). – P. 64-71. УДК 550.4,551.2,552.3. DOI 10.19110/1994-5655-2022-2-64-71

Дата поступления рукописи: 16.12.2021
Прошла рецензирование: 01.02.2022
Принято решение о публикации: 04.04.2022
Received: 16.12.2021
Reviewed: 01.02.2022
Accepted: 04.04.2022

Минерально-сырьевые ресурсы российского Севера

С.К. Кузнецов, И.Н. Бурцев, Н.Н. Тимонина, Д.С. Кузнецов

Институт геологии имени академика Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

kuznetsov@geo.komisc.ru
bin19661010@gmail.com
timoninanata@gmail.com

Аннотация

Представлены сведения о топливно-энергетических, металлических и неметаллических полезных ископаемых северных регионов Российской Федерации. Показано, что в этих регионах сосредоточены значительные запасы и ресурсы нефти, газа, угля, хромовых руд, меди, никеля, металлов платиновой группы, золота, алмазов, фосфатов. Осуществляется масштабная разработка многих месторождений, имеются значительные ресурсы, являющиеся основой для прироста запасов. Вместе с этим некоторые месторождения не вовлечены в эксплуатацию, что обусловлено рядом причин, в частности, труднодоступностью, недостаточно высоким качеством сырья, его низкой востребованностью. Попутные компоненты в комплексных рудах, прежде всего, редкие и редкоземельные металлы извлекаются в весьма незначительных объемах. Существует проблема слабой обеспеченности российских металлургических предприятий титановыми, хромовыми, марганцевыми рудами, глиноземом, которые в значительных объемах импортируются. В целях устойчивого экономического развития необходимо, наряду с дальнейшим наращиванием минерально-сырьевой базы, развитие технологий глубокой переработки сырья, увеличение его внутреннего потребления. Чрезвычайно важным является повышение роли добычи полезных ископаемых в социально-экономическом развитии северных регионов.

Ключевые слова:

минерально-сырьевые ресурсы, запасы, нефть, газ, уголь, титан, бокситы, золото, алмазы, добыча

Mineral resources of the Russian North

S.K. Kuznetsov, I.N. Burtsev, N.N. Timonina, D.S. Kuznetsov

Institute of Geology named after academician N. P. Yuskin, Komi Science Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar

kuznetsov@geo.komisc.ru
bin19661010@gmail.com
timoninanata@gmail.com

Abstract

Data on the hydrocarbons, metallic and non-metallic minerals of the northern regions of the Russian Federation are presented. It is shown that significant reserves and resources of oil, gas, coal, chromium ores, copper, nickel, platinum, gold, diamonds, phosphates are concentrated in these regions. Large-scale development of many deposits is carried out, there are significant resources that are the basis for the growth of mineral reserves. At the same time, some deposits are not involved in the development, due to inaccessibility and insufficient quality of raw materials. Associated components in complex ores, primarily rare and rare-earth metals, are extracted in very small volumes. Russian metallurgical enterprises are poorly provided with titanium, chromium, manganese ores, alumina. At the same time, most of the metals is imported from abroad.

In order to achieve sustainable economic growth, along with building up the mineral resource base, it is necessary to develop technologies for deep processing of raw materials, increase its domestic consumption, and develop such industries as engineering, electronics and optics. It is extremely important to increase the role of mining in the social and economic development of the northern regions.

Keywords:

mineral resources, reserves, oil, gas, coal, titanium, bauxites, gold, diamonds, mining

Введение

Северные регионы занимают значительную территорию Российской Федерации. К ним относятся: республика Карелия, Мурманская область, Архангельская область, Республика Коми, Ямало-Ненецкий и Ханты-Мансийский автономные округа, северные районы Красноярского края, Республика Саха (Якутия), Магаданская область, Чукотский автономный округ, Камчатский край. Социально-экономическое развитие северных регионов в большой степени связано с освоением минерально-сырьевых ресурсов. В XX в. в результате масштабных геологических исследований, охвативших всю территорию России, включая северные регионы европейской части, Сибири и Дальнего Востока, северные моря, архипелаги и острова, были составлены геологические, металлогенические карты, установлены основные закономерности геологического строения, открыты месторождения многих полезных ископаемых, началась их разработка. Разработка месторождений нефти, газа, угля, золота, алмазов

и других полезных ископаемых обусловила бурный рост численности и занятости населения, формирование новых крупных промышленных центров, развитие транспортной инфраструктуры.

В последние десятилетия произошли существенные изменения. В условиях рыночной экономики многие предприятия лишились государственной поддержки, произошло либо их закрытие, либо сокращение рабочих мест, начался отток населения, обострились проблемы горнопромышленных моногородов. Вместе с этим в ряде регионов, в частности, на Ямале и шельфе арктических морей, открыты новые крупные месторождения газа и нефти, ведется их освоение. Что касается вопросов социально-экономического развития северных регионов, то они являются острыми и широко обсуждаются [1–6 и др.]. Приняты важные правительственные постановления и указы Президента Российской Федерации, разработана специальная программа, предусматривающая реализацию целого ряда социально значимых проектов.

Минерально-сырьевым ресурсам северных регионов (в том числе арктических территорий) посвящено большое количество работ. В настоящее время в связи с весьма вероятным коренным переделом мировых сырьевых рынков полезные ископаемые, добыча и экспорт которых играют важную роль в российской экономике, приобретают особенно важное значение. Нами систематизированы имеющиеся данные о современном состоянии минерально-сырьевой базы северных регионов, показана их специализация.

Топливно-энергетические полезные ископаемые

На российском Севере сосредоточены значительные запасы нефти и газа, имеются запасы углей, в том числе высококачественных [7–9 и др.].

Запасы нефти оцениваются в 22,7 млрд т и составляют 72 % от общероссийских (табл. 1). Заметно выделяется Западно-Сибирская нефтегазоносная провинция, включающая Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа. Суммарные запасы нефти здесь составляют 16,1 млрд т (51,3 %). К крупнейшим месторождениям относятся

Таблица 1

Запасы и добыча топливно-энергетических полезных ископаемых в северных регионах Российской Федерации

Table 1

Reserves and production of fuel and energy minerals in the northern regions of the Russian Federation

Регион	Запасы	Доля в запасах РФ, %	Добыча	Доля в добыче РФ,%	Ресурсы
Нефть, млн т (ресурсы – млрд т))					
Ханты-Мансийский автономный округ	11700	37,3	210,2	44,1	10,9
Ямало-Ненецкий автономный округ	4400	14,0	35,5	7,5	7,3
Ненецкий автономный округ	1000	3,2	10,8	2,3	1,7
Республика Коми	800	2,5	12,8	2,7	1,1
Красноярский край	3500	11,2	20,2	4,2	8,7
Республика Саха (Якутия)	600	1,9	16,0	3,4	2,4
Печорское море	0	0	0	0	3,3
Баренцево море	500	1,6	3,3	0,7	0,8
Карское море	100	0,3	0	0	4,3
Море Лаптевых	100	0,3	0	0	1,5
Восточно-Сибирское море	0	0	0	0	1,7
Чукотское море	0	0	0	0	1,0
Всего	22700	72,3	308,8	64,9	44,7
Природный (свободный) газ, млрд куб. м (ресурсы – трлн куб м)					
Ханты-Мансийский АО	571	0,8	11,8	1,8	3,8
Ямало-Ненецкий АО	39334	55,4	529,7	81,5	28,4
Ненецкий АО	560	0,8	0,3	0,04	0,6
Республика Коми	234	0,3	2,0	0,3	1,1
Красноярский край	1919	2,7	6,5	0,9	26,5
Республика Саха (Якутия)	3105	4,4	6,9	1,1	10,9
Печорское море	0	0	0	0	3,1
Баренцево море	4878	6,9	0	0	25,2
Карское море	8323	11,7	23,7	3,6	46,8
Море Лаптевых	0	0	0	0	2,1
Восточно-Сибирское море	0	0	0	0	3,3
Чукотское море	0	0	0	0	2,0
Всего	58925	83,0	580,9	89,3	153,8
Уголь, млрд т (добыча - млн т)					
Республика Коми и Ненецкий АО (Печорский бассейн)	7,2	2,8	6,7	1,9	0,4
Республика Саха (Якутия)	14,2	5,4	18,0	4,9	44,1
Чукотский автономный округ	0,7	0,3	0,7	0,2	3,9
Камчатский край	0,3	0,1	0,02	0,01	0,8
Магаданская область	2,0	0,8	0,4	0,1	3,3
Красноярский край (Тунгусский и Таймырский бассейны)	4,7	1,8	1	0,3	2,9
Всего	28,8	11,2	26,8	7,4	55,4

Примечание. По состоянию на 01.01.2021 г [9]. Запасы нефти и газа категорий A+B1+C1+B2+C2, ресурсы - Д0+Д1+Д2, запасы углей категорий A+B+C1+C2, ресурсы - P1.

Note. Oil and gas reserves of category A+B1+B2+C1+C2 and resources D0+D1+D2, coal reserves A+B1+ C1 and resources P1 (at 01.01.2021).

Приразломное, Самотлорское, Приобское, Красноленинское, Федоровское, Русское, Восточно-Мессояхинское. Около 6 % запасов нефти – 1,8 млрд т – находятся в Республике Коми и Ненецком автономном округе в пределах Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции, где известны крупные Ярегское, Усинское, им. Требса, Харьягинское месторождения. В северных районах Красноярского края и Республике Саха, в выделяющейся здесь Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции, разведаны запасы нефти в количестве 4,1 млрд т. К наиболее крупным относится Ванкорское месторождение. На еще относительно слабо изученном шельфе Баренцева, Карского морей и моря Лаптевых запасы нефти оцениваются в 0,7 млрд т. На шельфе Баренцева моря выявлены Приразломное, Долгинское, Медунское месторождения.

Важно то, что в северных регионах имеется значительный потенциал наращивания запасов нефти. В Ханты-Мансийском и Ямало-Ненецком автономных округах сосредоточено 18,2 млрд т подготовленных, перспективных и прогнозных ресурсов нефти. В Красноярском крае и Республике Саха ресурсы нефти составляют 11,1 млрд т, в Республике Коми и Ненецком автономном округе – 2,8 млрд т. Потенциал акваторий северных морей, по результатам проведенных к настоящему времени работ, оценивается в 12,6 млрд т. Суммарно подготовленные, перспективные и прогнозируемые ресурсы нефти северных регионов составляют более 80 % от общероссийских.

По объемам добычи нефти доля северных регионов составляет 64,9 % от общероссийской добычи. Крупнейшими нефтедобывающими компаниями являются ПАО «НК "Роснефть"», ПАО «Лукойл», ПАО «Газпром нефть», ПАО «Сургутнефтегаз». В течение уже многих лет первое место по добыче нефти занимает Ханты-Мансийский автономный округ, в 2020 г. здесь добыто 210,2 млн т, что составляет 44 % в общероссийской добыче. Основными разрабатываемыми месторождениями являются Приобское, Самотлорское, Приразломное и Красноленинское. В значительных объемах нефть добывается также в Ямало-Ненецком округе – 35,5 млн т. Вклад других северных регионов в добычу нефти ниже, хотя можно отметить Красноярский край – 20,2 млн т, Республику Саха – 16, Республику Коми – 12,8, Ненецкий автономный округ – 10,8 млн т. Добыча нефти ведется также на шельфе Баренцева моря – 3,3 млн т. Транспортировка нефти и нефтепродуктов осуществляется ПАО «Транснефть» по системе магистральных нефтепроводов, в частности, «Уса–Ухта», «Ухта–Ярославль», «Сургут–Полоцк», «Восточная Сибирь–Тихий океан».

Наряду с запасами нефти (и конденсата) в северных регионах находятся весьма значительные запасы свободного газа, составляющие 58 924,8 млрд куб м. Это 83 % от общероссийских запасов. Основная их доля сосредоточена в Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции на территории Ямало-Ненецкого – 39 334,9 млрб куб м и Ханты-Мансийского – 571,2 млрд куб м автономных округов. Суммарно это 56,2 % российских запасов. К числу крупных и уникальных относятся Заполярное, Уренгойское, Ямбургское, Бованенковское месторождения. В Тимано-Печорской провинции в Республике Коми и Ненецком автономном округе запасы свободного газа составляют 794,2 млрд куб м, в Республике Саха и Красноярском крае – 5 023,8 млрд куб м. Наиболее крупным является Чаядинское месторождение в Республике Саха с запасами газа 1 234,1 млрд куб м. Значительные запасы газа выявлены на шельфе Баренцева и Карского морей – 13 200,7 млрд куб м. Запасы газа наиболее крупного Штокмановского месторождения составляют 3 939,4 млрд куб м. Наряду со свободным газом имеются большие запасы растворенного газа, более половины которых сосредоточены в Ханты-Мансийском округе.

Подготовленные, перспективные и прогнозируемые ресурсы свободного газа северных регионов составляют 153,9 трлн куб м (80,9 % от общероссийских). Наиболее перспективным в отношении наращивания запасов свободного газа является Ямало-Ненецкий автономный округ, где ресурсы свободного газа составляют 38,3 трлн куб м, северные районы Красноярского края и Республика Саха – 42,2 трлн куб м. Ресурсы свободного газа шельфа северных морей оцениваются в 82,5 трлн куб м. Большая их часть сосредоточена на шельфе Баренцева и Карского морей.

Добыча газа ведется ПАО «Газпром», ПАО «НОВАТЕК» и другими компаниями. В 2020 г. добыто 580,9 млрд куб м свободного газа, что составляет 89,3 % от общероссийской добычи. Основной объем газа добывается в Ямало-Ненецком автономном округе на месторождениях Уренгойском, Ямбургском, Бованенковском и других – 529,7 млрд куб м. Объемы добычи газа в Ханты-Мансийском АО составили – 11,8 млрд куб м, в Республике Коми и Ненецком АО – 2,3, в Республике Саха и Красноярском крае – 13,4, на шельфе Карского моря – 23,7 млрд куб м. Транспортировка газа, как и нефти, производится по магистральным газопроводам, объединенным в единую газотранспортную систему. Вместе с этим в Ямало-Ненецком АО налажено масштабное производство сжиженного природного газа, который поставляется потребителям специальным морским транспортом. Объемы поставок сжиженного газа ежегодно увеличиваются.

Запасы и ресурсы углей северных регионов занимают существенно иное положение в структуре российской минерально-сырьевой базы по сравнению с нефтью и газом. Запасы составляют 28,8 млрд т (11,2 % от общероссийских запасов). Из них около 14 млрд т сосредоточено в Республике Саха (Ленский и Яно-Омолонский, Южноякутский, Зырянский угольные бассейны). В Республике Коми и Ненецком АО (Печорский угольный бассейн) запасы углей составляют 7,2 млрд т. Прогнозные ресурсы углей оцениваются в 52 млрд т (11 % от общероссийских), из них в Республике Саха – 44,2 млрд т. Добыча углей ведется АО «СУЭК», АО «Воркутауголь», ООО «Эльгауголь», ООО «Северовосточная угольная компания» и другими компаниями. Объемы добычи углей в 2020 г. составили 26,8 млн т. (7,4 % от общероссийской добычи), из них в Республике Саха – 18 млн т, в Республике Коми и Ненецком АО – 6,7 млн т.

Металлические и неметаллические полезные ископаемые

Месторождения металлических и неметаллических полезных ископаемых разнообразны и связаны с проявлением магматических, метаморфических, гидротермальных и экзогенных процессов, по величине запасов некоторые месторождения относятся к крупным и уникальным [9–14 и др.].

В Мурманской области, Республике Карелия, Ямало-Ненецком автономном округе, Республике Саха имеются месторождения железных руд с суммарными запасами 10,8 млрд т. (табл. 2). Прогнозные ресурсы железных руд составляют около 4 млрд т. В основном они сосредоточены в Республике Саха. Подготавливается к освоению ряд крупных месторождений – Тарыннахское, Таежное и др. Однако в настоящее время эти работы приостановлены в связи с их удаленностью, неблагоприятной рыноч-

Таблица 2

Запасы и добыча металлических и неметаллических полезных ископаемых в северных регионах Российской Федерации

Table 2

Reserves and production of metallic and non-metallic minerals in the northern regions of the Russian Federation

Регион	Запасы	Доля в запасах РФ, %	Добыча	Доля в добыче РФ,%
1	2	3	4	5
Железные руды, млн т.				
Республика Карелия	1000	0,9	36,4	10,1
Мурманская область	2600	2,3	30,2	8,4
Республика Саха (Якутия)	7300	6,5	0	0
Всего	10810	9,7	66,6	18,5
Хромовые руды, млн т (добыча – тыс. т)				
Республика Карелия	28,2	54,4	0	0
Мурманская область	9,5	18,3	0	0
Ямало-Ненецкий автономный округ	6,2	12,0	336	55,3
Всего	43,9	84,7	336	55,3
Марганцевые руды, млн т				
Республика Коми	2	0,7	0	0
Алюминиевое сырье, млн т				
Архангельская область (бокситы)	250,9	18,3	0,5	10,6
Республика Коми (бокситы)	348,7	25,4	4,1	60,6
Мурманская область (нефелиновые руды)	3707,6	76,8	34,1	92,1
Всего: - Бокситы - Нефелиновые руды	 599,6 3707,6	 43,7 76,8	 4,6 34,1	 75,4 92,1
Медь, млн т (добыча –тыс. т)				
Мурманская область	2,0	2,0	16,3	1,4
Республика Карелия	0,1	0,1	0	0
Красноярский край	34,0	34,7	464,0	40,9
Республика Саха (Якутия)	0,3	0,3	0,1	0,009
Магаданская область	0,003	0,003	0,3	0,03
Камчатский край	0,01	0,01	0,7	0,06
Чукотский автономный округ	6,4	6,5	0	0
Всего	42,8	43,6	481,4	42,4
Титан, млн. т TiO_2 (добыча – тыс. т)				
Мурманская область	124,6	20,5	439 (3)	99,8
Республика Коми	291,5	48,0	1	0,2
Ханты-Мансийский автономный округ	0,3	0,05	0	0
Всего	416,4	68,2	3	100
Редкоземельные металлы, млн т TR_2O_3 (добыча – тыс. т)				
Мурманская область	16,3	51,3	2,6	100
Республика Коми	1,0	3,1	0	0
Республика Саха (Якутия)	8,5	26,7	0	0
Всего	25,8	81,1	2,6	100
Золото, т				
Мурманская область	33,8	0,2	0,1	0,02
Республика Карелия	44	0,3	0	0
Республика Коми	54,3	0,4	0	0
Ханты-Мансийский автономный округ	13,9	0,1	0	0
Ямало-Ненецкий автономный округ	16,9	0,1	0	0
Республика Саха (Якутия)	1796,8	11,7	51,7	12,1
Магаданская область	2059,7	13,4	72,3	16,9
Чукотский автономный округ	774,5	5,0	28,6	6,7
Камчатский край	200	1,3	6,9	1,6
Всего	4963,9	32,5	159,6	37,2
Серебро, тыс. т (добыча – т)				
Республика Карелия	0,2	0,2	0	0
Мурманская область	0,6	0,5	6,4	0,3
Архангельская область	1,2	1,0	0	0
Красноярский край (Октябрьское и Талнахское месторождения)	8,9	7,2	115,7	5,14

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5
Республика Саха (Якутия)	19,5	15,9	154,4	6,9
Магаданская область	11,1	9,0	599,4	26,6
Чукотский автономный округ	4,3	3,5	122,1	5,4
Камчатский край	0,7	0,6	11,8	0,5
Всего	46,5	37,9	1009,8	44,8
Металлы платиновой группы, т				
Республика Карелия	13,8	0,09	0	0
Мурманская область	587,4	3,7	0,4	0
Красноярский край	15196,8	95,6	147,7	99,1
Республика Саха	0,2	0,001	0,01	0,01
Камчатский край	12,1	0,08	0,03	0,02
Всего	15780,3	99,5	148,1	99,4
Алмазы, млн карат				
Архангельская область	215,3	20,4	6,9	17,2
Республика Саха (Якутия)	838,9	79,5	33,3	82,8
Всего	1054,2	99,9	40,2	100
Фосфаты, млн т P_2O_5				
Мурманская область	577,8	69,6	6,06	99,5
Республика Коми	0,02	0,002	0	0
Ямало-Ненецкий автономный округ	2,5	0,3	0	0
Республика Саха	85,6	10,3	0	0
Всего	665,9	80,2	6,06	99,5

Примечание. По состоянию на 01.01.2021 г [9]. Запасы категории $A+B+C_1+C_2$.
Note. Reserves of category A+B+C1+C2 at 01.01.2021.

ной конъюнктурой. Добыча железных руд производится в Республике Карелия (Костомукшское месторождение) – 36,4 млн т, и Мурманской области (Ковдорское, Кировогорское, Оленегорское, Комсомольское месторождения) – 30,2 млн т. Одним из крупнейших горнодобывающих и предприятий полного производственного цикла – от добычи руды до выпуска металлопродукции – является ПАО «Северсталь», в состав которого входит Череповецкий металлургический комбинат.

Наряду с железными рудами, в Мурманской области, Республике Карелия, Ямало-Ненецком автономном округе имеются месторождения хромовых руд. Их запасы оцениваются в 43,9 млн т, что составляет 85 % общероссийских запасов. Прогнозные ресурсы хромовых руд оцениваются в 117,4 млн. т. В основном они находятся в Республике Карелия, в частности, на Анганозерском месторождении. Наиболее вероятно открытие незначительных по масштабу месторождений с бедными рудами. Челябинским электрометаллургическим комбинатом разрабатывается месторождение Центральное в Ямало-Ненецком автономном округе. В 2020 г. добыто 336 тыс т руды (55,3 % общероссийской добычи). Руды перерабатываются с получением хромовых ферросплавов. Планируется увеличение объемов добычи.

Большое значение имеет алюминиевое сырье, прежде всего, бокситы. Запасы бокситов сосредоточены преимущественно в Архангельской области на Иксинском месторождении – 250,9 млн т и в Республике Коми на Вежаю-Ворыквинском и Верхнещугорском месторождениях – 348,7 млн т, что составляет 43,7 % общероссийских запасов. Прогнозные ресурсы бокситов невелики и сосредоточены преимущественно в Республике Коми (47,5 млн т). В 2020 г. АО «Боксит Тимана» на месторождениях Республики Коми добыто 4,1 млн т металлургических бокситов (60,6 % российской добычи). В Архангельской области ПАО «Северо-Онежский бокситовый рудник» добываются относительно низкокачественные неметаллургические бокситы. Наряду с бокситами большое промышленное значение имеют нефелиновые руды, также являющиеся сырьем для получения алюминия. В Мурманской области выделяется Хибинская группа апатит-нефелиновых месторождений с запасами 3 707,9 млн т.

На севере Красноярского края и в Мурманской области находятся крупные месторождения меди, никеля, кобальта. Запасы меди составляют 42,8 млн т (43,6 % общероссийских запасов). В основном они сосредоточены в Красноярском крае на медно-никелевых месторождениях Норильской группы: Талнахском, Октябрьском, Норильск 1 – 34 млн т. На этих же месторождениях находится большая часть запасов никеля и кобальта. В перспективе возможен прирост запасов меди, а также никеля и кобальта, в частности, за счет флангов и глубоких горизонтов известных месторождений. В 2020 г. ПАО «ГМК "Норильский никель"» на норильских месторождениях добыто 464 тыс т меди (40,9 % общероссийской добычи). Добыча никеля составила 266,9 тыс т (86,9 %), кобальта – 11,1 тыс т (83,5 %).

В Республике Коми, Мурманской области и Ханты-Мансийском автономном округе известны месторождения титана. Большая часть запасов титана (TiO_2) сосредоточена на Ярегском месторождении в Республике Коми – 291,5 млн т (48 % общероссийских запасов). Прогнозные ресурсы титана в Мурманской области оцениваются в 65 млн т, в Республике Коми – 59,7 млн т. Добыча титана ведется АО «Апатит» и ООО «Ловозерский ГОК» на комплексных апатит-нефелиновых и лопаритовых месторождениях Мурманской области в незначительных объемах. В связи с трудностями их переработки большая часть титансодержащих концентратов складируется. Лопаритовые руды поставляются на Соликамский магниевый завод для получения губчатого титана. Руды Ярегского месторождения, представляющие собой лейкоксеновые песчаники, характеризуются сложным составом, затрудняющим их промышленное использование. Представляет интерес подготавливаемое к освоению Пижемское месторождение, также находящееся в Республике Коми.

Особого внимания заслуживают редкие и редкоземельные металлы, использующиеся в высокотехнологичных отраслях промышленности. В основном эти металлы являются попутными компонентами в различных комплексных рудах. К числу основных относятся лопаритовые и апатит-нефелиновые месторождения Мурманской области – Лавозерское, Юкспорское, Коашвинское, Партомчоррское. Кроме того, месторождения редкоземельных металлов известны в Республике Саха – Томторское (кора выветривания карбонатитов) и апатит-карбонатное Селигдарское, в Республике Коми – упоминавшееся выше Ярегское месторождение лейкоксеновых песчаников. Суммарные запасы редких земель (лантан, церий, самарий, эрбий, тулий, иттрий и др.) составляют 25,8 млн т (81 % российских запасов). Прогнозные ресурсы редкоземельных металлов оцениваются в 0,8 млн т. Добыча редких земель осуществляется только на месторождениях Мурманской области ООО «Ловозерский ГОК» в незначительных объемах, в частности, на Ловозерском лопаритовом месторождении. Добыча товарных руд в 2020 г. составила лишь 2,6 тыс. т. Лопаритовые концентраты, содержащие редкоземельные металлы, перерабатываются на ОАО «Соликамский магниевый завод» с получением карбонатов неразделенных редких земель.

В северных регионах сосредоточены значительные запасы золота, серебра, металлов платиновой группы. Суммарные запасы золота составляют 4 963,9 т (32,5 % общероссийских запасов). Большая их часть находится в Магаданской области (2 059,7 т), Республике Саха (1 796,8 т), Чукотском автономном округе. Месторождения делятся на коренные золотосульфидные, золото-сульфидно-кварцевые, золото-мышьяково-сульфидные и россыпные. Наиболее крупными являются месторождения Наталкинское, Павлик, Песчанка, Нежданинское. Имеются значительные прогнозные ресурсы золота – 1 917,1 т, из них 1 248,4 в Республике Саха и Магаданской области. Добыча золота в 2020 г. составила 159,6 т (37,2 % российской добычи), в том числе в Магаданской области – 72,3 т. К числу основных горнодобывающих компаний относятся АО «Полиметалл», АО «Полюс Магадан», АО «Сусуманзолото», АО «Павлик» и др. Компаниями осуществляется переработка руд, получаемые золотосодержащие концентраты поставляются на аффинажные предприятия.

Суммарные запасы серебра оцениваются в 46,5 тыс. т (37,9 % общероссийских запасов). Они сосредоточены в основном в Красноярском крае на норильских медно-никелевых месторождениях Октябрьское, Талнахское, в Магаданской области (месторождение Дукат), Чукотском автономном округе (месторождение Песчанка), Республике Саха (месторождение Прогноз). Эти же регионы, особенно в Республике Саха, располагают весьма значительным ресурсным потенциалом серебра. В 2020 г. АО «Полиметалл», ПАО «ГМК "Норильский никель"» и другими компаниями добыта 1 009,8 т серебра (44,8 % российской добычи). Лидирующее положение по объемам добычи занимает месторождение Дукат – 393 т.

Почти все запасы металлов платиновой группы находятся в Красноярском крае на норильских медно-никелевых месторождениях – 15,2 тыс. т (95,6 % российских запасов). Кроме того, запасы платиноидов имеются в ряде других регионов, в частности в Мурманской области – 0,6 тыс. т. К основным металлам этой группы относятся палладий и платина. Осмий, иридий, рутений, родий содержатся в рудах в меньшем количестве и являются попутными. Возможен прирост запасов платиноидов в пределах разрабатываемых месторождений, а также за счет имеющихся прогнозных ресурсов в Мурманской области (157,3 т). Добыча платиноидов в 2020 г. составила 148,1 т (99,4 % российской добычи), в том числе на норильских месторождениях – 147,7 т. Добычные работы ведутся ПАО «ГМК "Норильский никель"», АО «Кольская ГМК».

В Республике Саха и Архангельской области сосредоточено 99,9 % российских запасов алмазов. В Республике Саха находятся основные месторождения – кимберлитовые трубки: Юбилейная, Удачная, Мир, Айхал, Ботуобинская и ряд других. Запасы алмазов оцениваются в 838,9 млн карат (79,6 % российских запасов). В Архангельской области расположены месторождения, представляющие собой также кимберлитовые трубки: Архангельская, им. Гриба, Ломоносова, Пионерская, им. Карпинского с запасами алмазов 222 млн карат. Большая часть прогнозных ресурсов алмазов локализована в Республике Саха на флангах и глубоких горизонтах уже разрабатывающихся месторождений и в россыпях. Добыча алмазов осуществляется в основном ПАО «Алроса», а также АО «АГД ДАЙМОНДС». В 2020 г. объемы добычи составили 40,2 млн карат. Интересно то, что на севере Красноярского края выявлены крупнейшие месторождения алмазов некимберлитового – импактного типа с запасами 267 984 млн карат, которые пока не осваиваются.

В Мурманской области, Республике Саха, Ямало-Ненецком автономном округе и Республике Коми выявлены месторождения фосфатов, использующихся в основном для производства сельскохозяйственных удобрений. Запасы фосфатов (P_2O_5) весьма значительные – 665,9 млн т (80 % российских запасов). Прогнозные ресурсы фосфатов, сосредоточенные в основном в Мурманской области и Республике Саха, оцениваются в 114,1 млн т. ПАО «ФосАгро», ПАО «Акрон», АО «МХК "ЕвроХим"» разрабатываются месторождения высококачественных апатитовых руд в Мурманской области: Кукисвумчоррское, Юкспорское, Коашвинское, Ковдорское и др. Добыча фосфатов составила 6,06 млн т (99,5 % российской добычи).

Кроме перечисленных выше полезных ископаемых, в северных регионах имеются подготовленные для разработки месторождения урана, марганцевых руд, свинца, цинка, вольфрама, молибдена, калийных солей и других видов сырья. Можно отметить Павловское свинцово-цинковое месторождение, находящееся в Архангельской области на архипелаге Новая Земля, Парнокское железо-марганцевое месторождение в Республике Коми, оловорудные месторождения Республики Саха и Чукотского автономного округа, Агылкинское вольфрамовое месторождение в Республике Саха, молибденовые месторождения Чукотского автономного округа и Республики Карелия, месторождения высококачественного жильного кварца и

горного хрусталя Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа.

Очевидно, возможно наращивание запасов и ресурсов различных полезных ископаемых. По имеющимся оценкам [15] нераскрытым можно считать до половины минерально-сырьевого потенциала сибирских и дальневосточных регионов.

Сырьевая специализация северных регионов

Разнообразие геологического строения северных регионов обусловливает их определенную сырьевую специализацию (табл. 3). Можно выделить регионы с преимущественно нефтегазовой специализацией – Ненецкий, Ямало-Ненецкий и Ханты-Мансийский автономные округа, с рудной специализацией – Республика Карелия (железные и хромовые руды), Мурманская область (фосфаты, редкие металлы и др.), Магаданская область (золото, серебро), Чукотский автономный округ (золото, молибден, уголь), Камчатский край (медь, никель, кобальт, золото и др.), со смешанной специализацией – Республика Коми (нефть, уголь, бокситы, титан), северные районы Красноярского края (нефть, уголь, медь, никель, кобальт, платиноиды и др.), Республика Саха (алмазы, олово, золото, серебро, редкоземельные металлы, нефть, уголь и др.).

Сырьевая специализация регионов, в свою очередь, обусловливает специфику действующих горнодобывающих и перерабатывающих предприятий и возможные направления дальнейшего промышленного развития. Добыча полезных ископаемых является важнейшим видом

Таблица 3

Сырьевая специализация северных регионов Российской Федерации

Table 3

Raw material specialization of the northern regions of the Russian Federation

Регионы	Важнейшие полезные ископаемые	Основные месторождения
1	2	3
Республика Карелия	Железные руды	Костомукшское, Корпангское
	Хромовые руды	Анганозерское
Мурманская область	Фосфаты	Коашвинское, Юкспорское, Партомчоррское, Ковдорское
	Алюминиевое сырье	Хибинская группа месторождений
	Железные руды	Ковдорское, Кировогорское, Оленегорское, Комсомольское
	Хромовые руды	Сопчеозерское
	Медь, никель, кобальт	Ждановское
	Титан	Ловозерское, Юго-Восточная Гремяха
	Редкоземельные металлы	Ловозерское
	Металлы платиновой группы	Федорова Тундра, Вуручайвенч
Архангельская область	Алмазы	Трубка Архангельская, Трубка им. Гриба, Трубка Пионерская
	Бокситы	Иксинское
	Свинец, цинк	Павловское
Ненецкий автономный округ	Нефть	Им. Требса, Харьягинское
	Газ	Лаявожское, Василковское, Коровинское
	Уголь	Печорский бассейн
Республика Коми	Нефть	Усинское, Ярегское
	Уголь	Печорский бассейн
	Газ	Вуктыльское, Западно-Соплесское
	Бокситы	Вежаю-Ворыквинское, Верхнещугорское, Светлинское
	Титан	Ярегское, Пижемское
Ямало-Ненецкий автономный округ	Нефть	Русское, Восточно-Мессояхинское, Северо-Комсомольское
	Газ	Бованенковское, Ямбургское, Уренгойское
	Хромовые руды	Центральное, Западное
Ханты-Мансийский автономный округ	Нефть	Приобское, Самотлорское, Приразломное
	Газ	Лянторское, Федоровское, Самотлорское
Красноярский край (северные районы)	Нефть	Ванкорское, Тагульское, Куюмбинское
	Газ	Ванкорское
	Уголь	Тунгусский, Таймырский бассейны
	Медь, никель, кобальт, металлы платиновой группы, золото, серебро	Октябрьское, Талнахское, Норильск 1
Республика Саха (Якутия)	Нефть	Среднеботуобинское. Чаяндинское
	Газ	Чаяндинское
	Уголь	Ленский, Южно-Якутский, Зырянский, Яно-Омолонский бассейны
	Алмазы	Трубка Удачная, Трубка Мир, Трубка Юбилейная
	Олово	Тирехтях, Депутатское, Одинокое
	Золото	Нежданинское,Большой Куранах
	Серебро	Прогноз, Нежданинское
	Уран	Курунг, Элькон
	Редкоземельные металлы	Томторское
	Фосфаты	Селигдарское
Магаданская область	Золото	Наталкинское, Павлик
	Серебро	Дукат, Лунное
	Уголь	Омсукчанский бассейн
Чукотский автономный округ	Золото	Майское, Купол
	Серебро	Песчанка
	Олово	Пыркакайский узел
	Уголь	Беринговский бассейн

Окончание табл. 3

1	2	3
Камчатский край	Медь, никель, кобальт	Шунгаское
	Золото, металлы платиновой группы	Аметистовое, Агинское, Кумчор, Левтыриныаям
	Уголь	Западно-Камчатский бассейн

экономической деятельности в Республике Коми, Ненецком, Ямало-Ненецком, Ханты-Мансийском автономных округах, Республике Саха, Магаданской области.

Представляют интерес некоторые особенности востребованности и использования полезных ископаемых, добывающихся на российских месторождениях, включая месторождения северных регионов [8]. В 2020 г. из добытых 505,6 млн т нефти 270 млн т переработано на отечественных предприятиях ПАО «НК Роснефть», ПАО «Лукойл», ПАО «Газпром», ПАО «Сургутнефтегаз». Примерно треть производимых нефтепродуктов (бензин, дизельное топливо, топочный мазут, авиационный керосин) поступает на внутренний рынок и полностью удовлетворяет существующий спрос. Вместе с этим на экспорт отправляется около половины сырой нефти – 239,2 млн т, и нефтепродуктов – 141,4 млн т. Основными потребителями российской нефти являются Китай, Нидерланды, Германия, Польша, Беларусь.

Что касается газа, то сухой энергетический газ сразу же поставляется потребителям для сжигания. Жирный газ, содержащий кроме метана этан-пропан-бутановые фракции, служит ценным сырьем для нефтехимической промышленности. Всего в 2020 г. на переработку отправлено 77,7 млрд куб м природного газа (добыто – 697,7 млрд куб м). Газ перерабатывается на предприятиях ПАО «Газпром», ПАО «Сибур Холдинг». Часть добытого природного газа направляется на заводы по получению сжиженного природного газа (СПГ) и в подземные газохранилища. Поставки свободного газа на внутренний рынок составили 464,4 млрд куб м. Значительный объем газа – 232,7 млрд куб м – поставляется за рубеж в Германию, Италию, Австрию Францию, Китай и другие страны.

Объемы добычи угля в 2020 г. составили 361,8 млн т. В результате обогащения произведено 106,8 млн т углей для коксования и 100,4 млн т энергетических углей. Внутреннее потребление углей составило 180 млн т (обеспечение электростанций, получение кокса, коммунально-бытовые нужды и др.). Оно постепенно сокращается в связи с все более нарастающим использованием природного энергетического газа. На экспорт поставлено 211 млн т. В основном экспортируется бурый уголь, в меньших объемах – коксующийся уголь, энергетический уголь, антрациты. Крупнейшими импортерами являются Китай, Южная Корея, Япония. Востребованность и, соответственно, объемы добычи углей Печорского бассейна в последние годы снижаются. При значительных запасах углей обостряется проблема обеспеченности ими действующих шахт. В более выгодном положении находится Южно-Якутский угольный бассейн. Здесь угли, в том числе высококачественные, добываются открытым способом и пользуются спросом, как на внутреннем, так и на зарубежных рынках (с доставкой железнодорожным транспортом в дальневосточные порты).

Хромовые руды, добыча которых производится в основном на месторождениях Ямало-Ненецкого АО, как уже отмечалось, являются дефицитными. Объемы их добычи значительно ниже потребностей металлургических предприятий. В 2020 г. при добыче 680 тыс т потребление российскими рудметаллургическими предприятиями составило 1,6 млн т и в основном обеспечивалось импортом из Казахстана и ЮАР – 349 тыс т. Товарные хромовые руды поступают на предприятия, производящие главным образом хромовые ферросплавы: Челябинский электрометаллургический комбинат, Серовский завод ферросплавов, Тихвинский ферросплавный завод. Кроме ферросплавов производятся металлический хром и хромовые соединения. Объемы производства феррохрома – 343 тыс т значительно превышают внутренние потребности. Осуществляются экспортные поставки феррохрома в Нидерланды, Словению, Китай, Японию, Южную Корею, составившие 228 тыс т.

Весьма дефицитными являются также марганцевые руды, промышленная добыча которых не ведется (хотя Парнокское месторождение в Республике Коми находится в распределенном фонде недр). В то же время их импорт, преимущественно из ЮАР, Казахстана и Габона, составляет 1 189 тыс т. Потребителями марганцевых руд являются АО «Челябинский электрометаллургический комбинат», АО «Саткинский чугуноплавильный завод» и ряд других предприятий. Производство марганцевых ферросплавов в 2020 г. составило 623 тыс т. Марганцевая ферросплавная продукция в основном реализуется на внутреннем рынке.

Бокситы, добывающиеся в Республике Коми и в других регионах (6,1 млн т в 2020 г.), полностью перерабатываются на Богословском и Уральском глиноземных заводах, входящих в состав ОК «Русал». Однако получаемый на российских предприятиях глинозем лишь на 40 % обеспечивает потребности алюминиевых заводов. В связи с этим глинозем в значительном количестве (4,7 млн т) импортируется из Украины, Австралии, Казахстана. На алюминиевых заводах ОК «Русал» (Красноярский, Братский, Саяногорский, Иркутский, Хакасский Новокузнецкий, Богучанский) и ПАО «РусГидро» произведено первичного алюминия 3,9 млн т. При этом внутреннее потребление первичного алюминия небольшое – 0,8 млн т (используется для строительства, в производстве тары и упаковок, электротехнике и др.). В основном он экспортируется в Турцию, Нидерланды, Японию, Корею, Италию.

Медные руды (добыча меди в 2020 г. составила 1 134,6 тыс т) и медные концентраты, в частности, норильских месторождений перерабатываются внутри страны на предприятиях ПАО «ГМК "Норильский никель"», АО «Русская медеплавильная компания» и др. Частично они импортируются из Казахстана. В 2020 г. импортировано 316,5 тыс т медных концентратов (вместе с этим осуществляется их экспорт – 298,3 тыс. т). Производство рафинированной меди составило 1 065 тыс т, а ее внутреннее потребление – 318 тыс. т. (кабельно-проводниковый прокат, трубы, листы,

прутки, проволока и др.). В значительно больших объемах (742,9 тыс т) медь экспортируется в Китай, Турцию, Египет, Германию, Нидерланды. Производство первичного никеля составило 172 тыс. т, экспорт – 135,5 тыс т (внутреннее потребление – 37,4 тыс т), первичного кобальта – 5,7 тыс т (внутреннее потребление – 0,1 тыс т).

Потребность российских металлургических предприятий, прежде всего, ПАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА», ОАО «Соликамский магниевый завод», ООО «Титановые инвестиции» в титановых концентратах составляет примерно 365 тыс т. Практически полностью она обеспечивается импортом ильменитовых и рутиловых концентратов (207,4 тыс т) из Украины, Вьетнама, Сенегала, Австралии, ЮАР и других стран. В 2020 г. произведено 65 тыс т пигментного диоксида титана, 30,6 тыс т губчатого титана, 25,5 тыс т других титановых продуктов, в основном использующихся российскими предприятиями. Вместе с этим в США, Нидерланды, Китай, Эстонию, Германию, Австрию в весьма значительных объемах экспортируются ферротитан - 19,5 тыс т, изделия из металлического титана - 12,2 тыс т, титановые слитки – 1,1 тыс т.

Редкоземельные руды, добывающиеся в Мурманской области, практически не перерабатываются в связи отсутствием предприятий по разделению различных металлов. ОАО «Соликамский магниевый завод» производится карбонат редкоземельных металлов, экспортирующийся в Эстонию. Потребности российской промышленности в редкоземельной продукции удовлетворяются за счет импорта из Китая и Эстонии. В 2020 г. импортировано 1,1 тыс т соединений, сплавов и лигатур, использующихся в металлургии и электронике, производстве катализаторов.

Практически все добываемое на российских месторождениях золото экспортируется коммерческими банками в Великобританию, Швейцарию, Казахстан и другие страны. Экспорт аффинированного золота в 2020 г. составил 320,2 т (производство – 339 т). Экспортируется около 70 % аффинированного серебра – 996 т. Сравнительно незначительное внутреннее потребление золота и серебра связано с формированием золотовалютных резервов, производством ювелирных и электротехнических изделий. Также почти в полном объеме экспортируются аффинированные на российских предприятиях металлы платиной группы (палладий, платина и др.). Основными их потребителями являются Великобритания, Япония, Германия. Алмазы, добыча которых производится преимущественно в Республике Саха и Архангельской области, в сыром виде экспортируются в Бельгию, ОАЭ, Индию. Весьма небольшое их количество поступает на внутренний рынок (на гранильные предприятия).

Фосфаты, представленные в основном апатитовыми рудами, значительные запасы которых сосредоточены в Мурманской области, перерабатываются на предприятиях ПАО «ФосАгро», ПАО «Акрон». АО «МХК “Еврохим”» с получением апатитовых концентратов и минеральных удобрений, внутренняя потребность в которых полностью обеспечивается. Вместе с этим в больших объемах осуществляется их экспорт в Литву, Бельгию, Норвегию, Беларусь, Бразилию, Китай, Индию, Украину, США и другие страны.

Имеющиеся данные свидетельствуют о довольно сложной структуре внутреннего потребления различных видов сырья, а также импортно-экспортных потоках как сырья, так и продуктов его переработки и конечных продуктов. Довольно высокой является экспортная составляющая.

Заключение

В северных регионах сосредоточены значительные запасы и ресурсы различных полезных ископаемых. Осуществляется масштабная разработка месторождений нефти и газа, меди, никеля, золота, металлов платиновой группы, алмазов. Добыча полезных ископаемых является важнейшим видом экономической деятельности.

Многие месторождения подготавливаются к разработке. К ним наряду с месторождениями нефти и газа относятся Павловское свинцово-цинковое месторождение в Архангельской области, Депутатское и Пыркакайское оловорудные месторождения, Томторское редкоземельное месторождение, свинцово-цинковое месторождение Прогноз в Республике Саха, Ярегское и Пижемское титановые месторождения в Республике Коми, золоторудные месторождения Курека и Песчанка в Чукотском АО, месторождения алмазов Трубка им. Ломоносова и Трубка Пионерская в Архангельской области и др. Выявлены значительные ресурсы, составляющие основу прироста запасов и открытия новых месторождений. Имеются подготовленные к разработке, но не разрабатывающиеся месторождения (находящиеся как в распределенном, так и нераспределенном фонде недр), а также месторождения, эксплуатация которых прекращена, несмотря на значительные запасы сырья. Невовлеченность этих месторождений в разработку обусловлена рядом причин: недостаточно высоким качеством сырья, его низкой востребованностью, ценовой конкуренцией, труднодоступностью.

Обращает на себя внимание проблема слабой обеспеченности российских металлургических предприятий собственными титановыми, хромовыми, марганцевыми рудами, бокситами и глиноземом, которые в значительных объемах закупаются за рубежом. В то же время внутреннее потребление продуктов металлургии небольшое. Основной объем металлов экспортируется и используется западными предприятиями для производства более дорогостоящих машин и различного оборудования, впоследствии нами закупающихся. Многие попутные компоненты в комплексных рудах, прежде всего, редкие и редкоземельные металлы, извлекаются в весьма незначительных объемах. Почти полностью экспортируются золото, серебро, алмазы, металлы платиновой группы.

В связи с неустойчивостью глобальной экономики и нарастающей борьбой за минерально-сырьевые ресурсы, в целях национальной безопасности и экономического роста, наряду с наращиванием минерально-сырьевой базы, необходимо реальное ранее декларировавшееся развитие технологий глубокой переработки сырья, увеличение его внутреннего потребления, развитие таких отраслей промышленности, как машино-, приборостроение, электроника, оптика, снижение импортных закупок. В частности,

остро встают проблемы восстановления авиационной промышленности, являющейся основным потребителем титана и алюминия, особого внимания заслуживает производство микроэлектронных изделий, в котором используются редкоземельные металлы. При наметившемся снижении роли доллара как мировой резервной валюты возникает ряд вопросов, касающихся пополнения золотого запаса страны.

На наш взгляд, целесообразно усиление государственного регулирования в области недропользования, придание планового характера освоению и использованию важнейших минерально-сырьевых ресурсов на долгосрочную перспективу. Желательно создание более благоприятных условий для потенциальных инвесторов, готовых вкладывать средства не только в проведение поисково-разведочных работ, но и во внедрение современных методов добычи. Государству как собственнику недр необходимо вернуться к решению проблемы хотя бы простого воспроизводства минерально-сырьевой базы. Стимулирующими факторами для развития воспроизводства минерально-сырьевой базы могут стать: повышение самостоятельности субъектов Федерации в вопросах лицензирования недр по ряду полезных ископаемых и при решении территориальных задач в области недропользования; гарантированное (законодательно утвержденное) направление части налога на добычу полезных ископаемых, поступающего в федеральный и республиканский бюджеты на проведение геологоразведочных работ.

Чрезвычайно важным является повышение роли добычи полезных ископаемых в социально-экономическом развитии северных регионов.

Литература

1. Север: проблемы периферийных территорий / отв. ред. В.Н. Лаженцев. – Сыктывкар, 2007. – 420 с.
2. Шеломенцев, А.Г. Формирование социально-экономической политики северных регионов России с учетом фактора освоения природных ресурсов / А.Г. Шеломенцев, С.В. Дорошенко, О.А Козлова, В.Н. Беляев, В.Э. Тоскунина [и др]. – Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2011. – 140 с.
3. Российская Арктика: современная парадигма развития / под ред. акад. А.И. Татаркина. – Санкт-Петербург: Нестор-История, 2014. – 844 с.
4. Пилясов, А.Н. Арктическая индустриализация в российском пространстве и во времени / А.Н. Пилясов // Север и рынок: формирование экономического порядка. – 2019. – № 3 (65). С. 18–30.
5. Лаженцев, В.Н. Арктика и Север в контексте пространственного развития России / В.Н. Лаженцев // Экономика региона. – 2021. – Т. 17, вып. 3. – С. 737–754.
6. Социально-экономическая динамика и перспективы развития Российской Арктики с учетом геополитических, макроэкономических, экологических и минерально-сырьевых факторов: монография /под научной редакцией Т.П. Скуфьиной, Е.А. Корчак. – Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2021. – 209 с.
7. Глумов, И.Ф. Нефтегазовый потенциал континентального шельфа России – перспективы развития и использования / И.Ф. Глумов, И.С. Грамберг, Я.П. Маловицкий // Отечественная геология. – 2002. – № 2. – С. 17–22.
8. Конторович, А.Э. Геология, ресурсы углеводородов шельфов арктических морей России и перспективы их освоения / А.Э. Конторович, М.И. Эпов, Л.М. Бурштейн и др. // Геология и геофизика. – 2010. – Т. 51, № 1. – С. 7–17.
9. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2020 году» / главные редакторы Е.И. Петров, Д.Д. Тетенькин. Министерство природных ресурсов и экологии РФ, Федеральное агентство по недропользованию. – Москва, 2021. – 569 с.
10. Юшкин, Н.П. Минеральные ресурсы Российской Арктики. В кн. Север как объект комплексных региональных исследований / Н.П. Юшкин, И.Н. Бурцев; отв. ред. В.Н. Лаженцев. – Сыктывкар, 2005. – С. 50–84.
11. Добрецов, Н.Л. Минеральные ресурсы Российской Арктики и их освоение в современных условиях / Н.Л. Добрецов, Н.П. Похиленко // Геология и геофизика. – 2010. – Т. 51, № 1. – С. 126-141.
12. Бортников, Н.С. Месторождения стратегических металлов Арктической зоны / Н.С. Бортников, К.В. Лобанов, А.В. Волков, А.Л. Галямов, И.В. Викентьев [и др.] // Геология рудных месторождений. – 2015. – Т. 57, № 6. – С. 479–500.
13. Минерально-сырьевая база твердых полезных ископаемых Арктической зоны России / гл. ред. Г.А. Машковцев. – Москва: ФГБУ ВИМС, 2018. – 196 с.
14. Волков, А.В. Минеральные богатства циркумполярного пояса / А.В. Волков, А.Л. Галямов, К.В. Лобанов // Арктика: Экология и экономика. – 2019. – № 1 (33). – С. 106–117.
15. Орлов, В.П. Минерально-сырьевая база и минерально-сырьевой комплекс в экономике северных и восточных регионов / В.П. Орлов // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2013. – № 5. – С. 2–5.

References

1. Sever: problemy periferijnyh territorij [The North: problems of peripheral territories] / Executive editor V.N. Lazhentsev. – Syktyvkar, 2007. – 420 p.
2. Shelomentsev, A.G. Formirovanie socialno-ekonomicheskoj politiki severnyh regionov Rossii s uchetom faktora osvoeniya prirodnyh resursov [Formation of the social and economic policy of the northern regions of Russia, taking into account the factor of development of natural resources] / A.G. Shelomentsev, S.V. Doroshenko, O.A. Kozlova, V.N. Belyaev, V.E. Toskunina, et al. – Yekaterinburg. – Institute of Economics, Ural Branch of the RAS, 2011. – 140 p.
3. Rossijskaya Arktika: sovremennaya paradigma razvitiya [Russian Arctic: the modern paradigm of development] / Ed. by acad. A.I. Tatarkin. St. Petersburg: Nestor-Istoriya, 2014. – 844 p.
4. Pilyasov, A.N. Arkticheskaya industrializaciya v rossijskom prostranstve i vo vremeni [Arctic industrialization

in Russia and with time] // North and the market: the formation of an economic order. – 2019. – No. 3 (65). P. 18-30.
5. Lazhentsev, V.N. Arktika i Sever v kontekste prostranstvennogo razvitiya Rossii [The Arctic and the North in the context of the spatial development of Russia] // Economics of the region. – 2021. – V. 17, issue 3. – P. 737-754.
6. Socialno-ekonomicheskaya dinamika i perspektivy razvitiya rossijskoj Arktiki s uchetom geopoliticheskih, makroekonomicheskih, ekologicheskih i mineralno-syrevyh faktorov: monografiya [Socio-economic dynamics and prospects for the development of the Russian Arctic, taking into account geopolitical, macroeconomic, environmental and mineral factors: monograph] / Ed. by T.P. Skufjina, E.A. Korchak. Apatity: Publishing house of the Kola Science Center of the RAS, 2021. – 209 p.
7. Glumov, I.F. Neftegazovyj potencial kontinentalnogo shelfa Rossii – perspektivy razvitiya i ispolzovaniya [Oil and gas potential of the continental shelf of Russia – prospects for development and use] / I.F. Glumov, I.S. Gramberg, Ya.P. Malovitsky // National Geology [Otechestvennaya geologia] – 2002. – No. 2. – P. 17-22.
8. Kontorovich, A.E. Geologiya, resursy uglevodorodov shelfov arkticheskih morej Rossii i perspektivy ih osvoeniya [Geology, hydrocarbon resources of the shelves of the Arctic seas of Russia and prospects for their development] / A.E. Kontorovich, M.I. Epov, L.M. Burshtein, et al. // Geology and geophysics. – 2010. V. 51, No. 1. – P. 7-17.
9. Gosudarstvennyj doklad «O sostoyanii i ispolzovanii mineralno-syrjevyh resursov Rossijskoj Federacii v 2020 godu» [State report "On the state and use of mineral resources of the Russian Federation in 2020"] / editors-in-chief E.I. Petrov, D.D.Tetenkin. Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation, Federal Agency for Subsoil Use. – Moscow, 2021. – 569 p.
10. Yushkin, N.P., Burtsev I.N. Mineralnye resursy Rossijskoj Arktiki. V kn. Sever kak objekt kompleksnyh regionalnyh issledovanij [Mineral resources of the Russian Arctic. In the book The North as an object of complex regional research] / N.P. Yushkin, I.N. Burtsev; executive editor V.N. Lazhentsev. – Syktyvkavr, 2005. – P. 50-84.
11. Dobretsov, N.L. Mineralnye resursy Rossijskoj Arktiki i ih osvoenie v sovremennyh usloviyah [Mineral resources of the Russian Arctic and their development in modern conditions] / N.L. Dobretsov, N.P. Pokhilenko // Geology and geophysics. – 2010. V. 51, No. 1. – P. 126-141.
12. Bortnikov, N. S. Mestorozhdeniya strategicheskih metallov Arkticheskoj zony [Deposits of strategic metals in the Arctic zone] / N.S. Bortnikov, K.V. Lobanov, A.V. Volkov, A.L. Galyamov, I.V. Vikentev, et al. // Geology of ore deposits. – 2015. – V. 57, No. 6. – P. 479-500.
13. Mineralno-syrjevaya baza tverdyh poleznyh iskopaemyh Arkticheskoj zony Rossii [Mineral resource base of solid minerals in the Arctic zone of Russia]. / Editor-in-chief G.A. Mashkovtsev. – Moscow: FSBI VIMS, 2018. – 196 p.
14. Volkov, A.V. Mineralnye bogatstva cirkumpolyarnogo poyasa [Mineral wealth of the circumpolar belt] / A.V. Volkov, A.L. Galyamov, K.V. Lobanov // The Arctic: Ecology and Economics. – 2019. – No. 1 (33). P. 106-117.
15. Orlov, V.P. Mineralno-syrjevaya baza i mineralno-syrjevoj kompleks v ekonomike severnyh i vostochnyh regionov [Mineral resource base and mineral resource complex in the economy of the northern and eastern regions] // Mineral Resources of Russia. Economics and Management. – 2013. – No. 5. – P. 2-5.

Благодарность (госзадание)

Работа выполнена в рамках государственного задания Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.

Информация об авторах:

Кузнецов Сергей Карпович – доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией минералогии Института геологии ФИЦ Коми научный центр УрО РАН; Scopus ID: 7202573567, ORCID: 0000-0003-4488-7486 (Российская Федерация, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54; e-mail: kuznetsov@geo.komisc.ru).

Бурцев Игорь Николаевич – кандидат геолого-минералогических наук, директор, заведующий лабораторией минерально-сырьевых ресурсов Института геологии ФИЦ Коми научный центр УрО РАН; WoS Researcher ID: E-4205-2014, Scopus ID: 6602415470, ORCID: 0000-0002-6868-6550 (Российская Федерация, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54; e-mail: bin19661010@gmail.com).

Тимонина Наталья Николаевна – кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией геологии нефтегазоносных бассейнов Института геологии ФИЦ Коми научный центр УрО РАН; WoS Researcher ID: J-2857-2018, Scopus ID: 56712015100, ORCID: 0000-0002-7236-9363 (Российская Федерация, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54; e-mail: timoninanata@gmail.com).

Кузнецов Дмитрий Сергеевич – младший научный сотрудник лаборатории минерально-сырьевых ресурсов Института геологии ФИЦ Коми научный центр УрО РАН (Российская Федерация, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54).

About the authors:

Sergey K. Kuznetsov – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Chief Researcher, Head of the Laboratory of Mineralogy, Institute of Geology, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; Scopus ID: 7202573567, ORCID: 0000-0003-4488-7486 (54, Pervomayskaya Str., Syktyvkar, Komi Republic, 167982, Russian Federation; e-mail: kuznetsov@geo.komisc.ru).

Igor N. Burtsev – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Director, Head of the Laboratory of Mineral Resources, Institute of Geology, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; WoS Researcher ID: E-4205-2014, Scopus ID: 6602415470, ORCID: 0000-0002-6868-6550 (54, Pervomayskaya Str., Syktyvkar, Komi Republic, 167982, Russian Federation; e-mail: bin19661010@gmail.com).

Natalia N. Timonina – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, Head of the Laboratory of Geology of Oil and Gas Bearing Basins, Institute of Geology, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; WoS Researcher ID: J-2857-2018, Scopus ID: 56712015100, ORCID: 0000-0002-7236-9363 (54, Pervomayskaya Str., Syktyvkar, Komi Republic, 167982, Russian Federation; e-mail: timoninanata@gmail.com).

Dmitriy S. Kuznetsov – Junior Researcher, Laboratory of Mineral Resources, Institute of Geology, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (54, Pervomayskaya Str., Syktyvkar, Komi Republic, 167982, Russian Federation).

Для цитирования:

Кузнецов, С.К. Минерально-сырьевые ресурсы российского Севера / С.К. Кузнецов, И.Н. Бурцев, Н.Н. Тимонина, Д.С. Кузнецов // Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия "Науки о Земле". – 2022. – № 2 (54). – С. 72-83. УДК 553 (470)+(985). DOI 10.19110/1994-5655-2022-2-72-83

For citation:

Kuznetsov, S.K. Mineral resources of the Russian North / S.K. Kuznetsov, I.N. Burtsev, N.N. Timonina, D.S. Kuznetsov // Proceedings of the Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Earth Sciences Series. – 2022. – No. 2 (54). – P. 72-83. УДК 553 (470)+(985). DOI 10.19110/1994-5655-2022-2-72-83

Дата поступления рукописи: 09.04.2022
Прошла рецензирование: 13.04.2022
Принято решение о публикации: 26.04.2022
Received: 09.04.2022
Reviewed: 13.04.2022
Accepted: 26.04.2022

Исторический очерк о соляных трубах (скважинах) Сереговского солеваренного завода (XVII–XIX века)

Т.П. Митюшева

Институт геологии имени академика Н.П. Юшкина
ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
г. Сыктывкар
mityusheva@geo.komisc.ru

Аннотация

В статье приведены особенности бурения и устройства соляных труб (скважин) для добычи рассолов на Сереговском солеваренном заводе – первом промышленном предприятии в Коми крае от основания до XX в. На основе историко-архивных исследований установлено, что трубы имели глубины 158–331 м и находились в эксплуатации от 20 до 200 и более лет. Процесс бурения в толще дислоцированных пермских пород и оборудования скважин обсадными деревянными трубками из сосны или лиственницы достигал 18 лет. Каждая из скважин многократно была «пересажена» – переоборудована. Обсадная конструкция первых соляных труб однотипна: матица, трубки литные и жерляные, в нижней части – открытый ствол. Бурение и обсадку первых старинных труб осуществляли трубные мастера солепромысла на основе инструкции по бурению скважин «Роспись как зачать делать новая труба на новом месте», датируемой XVI–XVII вв. Показаны первые определения химического состава подземных рассолов Серегово, которые использовались для солеварения. Минерализация пермских хлоридно-натриевых рассолов изменялась в пределах 15–140 г/л.

Ключевые слова:

скважина (труба), рассол, солепромысел, солеваренный завод, история соляного промысла, Серегово, Республика Коми

Historical essay on salt pipes (wells) of Seregovo saltworks (17th–19th centuries)

T.P. Mityusheva

Institute of Geology named after academician N. P. Yuskin, Komi Science Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar
mityusheva@geo.komisc.ru

Abstract

The article presents the features of drilling and construction of salt pipes (wells) for the extraction of brines at the Seregovo saltworks – the first industrial enterprise in the Komi Region during the 17th–19th centuries. On the basis of historical and archival research, it was established that the brine-lifting pipes had a depth of 158–331 m and were in operation from 20 to 200 or more years. The drilling of dislocated Permian rocks and the equipment of wells with casing pipes could last up to 18 years. Each of the production salt pipes was re-equipped many times. The design of the wooden (pine or larch) casing strings of the wells was of the same type. The drilling and casing of the first ancient pipes were carried out by pipe makers of the saltworks in accordance with the old Russian instructions for salt pipes drilling of the 16th–17th centuries. The article presents the first data on of the chemical composition of Seregovo underground brines. The mineralization of Permian sodium chloride brines, which were used for salt production, varied from 15 to 140 g/l.

Keywords:

well (pipe), brine, saline field, salt-works, history of salt industry, Seregovo, Komi Republic

Введение

«Соляные места» – выходы соленых вод на поверхность в виде естественных источников, родников – известны с XII–XV вв. Солеварни и усолья находились в северных областях Руси: Старой Руссе, Ростове Великом, Торжке, Чухломе, Вологде, Костроме, Соли-Галицкой, Переславле-Залесском, Балахне, Нерехте на Вычегде и Северной Двине, «за Волоком Печорским» и др. [1, 2]. Первоначально местное население соль варило из соленых вод родников или копаных колодцев. С XIV–XVI вв. подземные рассолы, содержащие большее количество минеральных солей и залегающие на глубине, стали добывать при помощи скважин, называвшихся рассольными (разсольными, рассолоподъемными) трубами. Остатки древних деревянных труб в местах старинной соледобычи частично уцелели и до сих пор сохранились в Соликамске, Тотьме, Усольских варницах на р. Вятке и др. [1]. В с. Серегово Республики Коми сохранились уникальные деревянные конструкции Сереговского солепромысла: несколько труб (скважин), водоподъемная башня над Никольской (Октябрьской) скважиной и амбар для хранения соли.

Начало солеварения из соленых вод источников на р. Выми (приток р. Вычегды) в районе Сереговой горы не известно. Полагаем, что не случайно в районе с. Серегово находятся археологические памятники: стоянки Ниремка I и Ниремка II эпохи неолита (начало V – середина III тысячелетия до н.э.), поселения Ниремка I и Ниремка V

ананьинской эпохи (VIII–III вв. до н.э.) и Ниремка I гляденовской культурной общности (III–II вв. до н.э. – V в. н.э.) [3]. Соленые источники, по преданиям, использовали и племена «Чудь», жившие здесь приблизительно в XII в., и затем вытеснившие их зыряне [4]. И.И. Лепехин пишет, что «открытие сих варниц принадлежит зырянам, которые с начала довольствовались выступающей на поверхность из земли солью» [5, с. 279].

Упоминания или краткие справки о состоянии Сереговского солеваренного завода приводятся в источниках XVI–XX вв. Благодаря геолого-геологическим исследованиям И.Е. Худяева в 1928 г. [4], известно местоположение некоторых рассолоподъемных скважин, им обобщены имевшиеся на тот период знания о геологии и истории солепромысла. Истории Сереговского солеваренного завода посвящены работы В.Г. Геймана [6], А.А. Цембера [7] и других исследователей. Детальное изучение архивных материалов по Сереговскому соляному промыслу проведено В.В. Политовым [8]. Показать особенности бурения и устройства соляных труб (скважин) за исторический период начиная с XVII в. стало возможным, благодаря в большей степени изучению материалов Национального архива Республики Коми, где сохранились копии «Описания разсольных труб» [9], а также издания «Архива гостей Панкратьевых XVII – начала XVIII» [10] и появившейся в последние годы возможности ознакомиться с оцифрованными опубликованными работами по соляным промыслам России.

Факты и сведения

Исторические документы свидетельствуют, что выварка соли на р. Выми и начало создания Сереговского соляного промысла (в бывшем Яренском уезде Вологодского края) относится к концу XVI в. Аника (Оникей) Строганов, занимаясь соляным промыслом на Вычегде[1] и Каме[2] и пушной торговлей через Усть-Вымь [11], не мог не проявить интерес к соленым ключам и на Выми. В 1582 г. право на землю «по Выми реке» было даровано Строгановым: «Царь и великий князь Иван Васильевич всея Руси Офоньку Строганова пожаловал на дикое место дал льготы на 15 лет: от лета 7090 до лета 7104-го. А в те урочные лета Выми реке расчистить и на тех диких местах росольные места искать и ему на том месте трубы росольные и варницы ставить и пашни распахивать и лес розчищать» [7, 8, 13, 14]. В 1582–1584 гг. промышленник Афанасий (Офонасий) Владимирович Строганов (племянник Аники) дополнительно прикупил у местных жителей участки по р. Выми под Сереговой горой: «…А те земли все смежные и на тех купленных порожних землях дед ево Офонасий Строганов построил соляную трубу и варницу поставил» [7, 13].

Важность информации данных источников в том, что в Серегово установлен факт строительства варниц, подземный рассол для которых добывали с помощью скважины. Здесь и ранее местные жители в примитивных варницах выпаривали соль и могли использовать природные соляные воды ключей или колодцев, а Строгановы первыми сделали здесь сложное в техническом плане сооружение – соляную трубу. Информации о местонахождении и ее конструкции нет. Опыт проходки труб имелся, поскольку солепромыслы Строгановых уже существовали в Тотьме, Вычегодском и Камском Усольях, и подземные рассолы там добывали из скважин различной глубины. В качестве доказательства умения бурить скважины мастерами солепромыслов может служить старинная инструкция «Роспись как зачать делать новая труба на новом месте», которая была обнаружена в Тотьме предположительно в XVI–XVII вв. [15, 16]. Эта рукопись, по Д.И. Прозоровскому [15], «первое древнерусское инженерное наставление по глубинному бурению скважин представляет собой оригинальное и технически грамотное руководство по ручному бурению и документации скважин».

С XVII в. начинается новый этап развития рассолопромысла. В 1637 г. земли в Сереговском усолье Еренского уезда Княжпогостской трети были куплены гостем, крупным торговцем Данилом Григорьевичем Панкратьевым, который «многие годы искал соляного рассолу и многие свои пожитки в том издержал» [17]. По купчей 145-го года крестьяне «…продали Московскому Гостиные сотни Данилу Григорьеву сыну Панкратьеву на Выми на Серегове под горою водчину свою опчую площадь варничные и дворовые и амбарные места от ручья до ручья, да на тех местах две соляные трубы окроме крестьянских чужих пожен, что против варниц. А те де варнишные и дворовые и амбарные места и соляные трубы никому не проданы и ни в чем ни у кого не заложены ни в приданые ни по душе нигде не отданы и ни в каких крепостях не написаны, а за те места и за соляные трубы взяли у него Данила двадцать три рубли» [17, 18]. Этот документ свидетельствует о существовании действующего солепромысла со всеми сопутствующими сооружениями: трубами, варницами и амбарами для хранения соли. За период с 1586 по 1637 г. в Серегово появилось две скважины, которые не могли быть сделаны крестьянами; либо речь идет о копаных колодцах, названных трубами, либо смеем предположить, что скважины были сделаны Строгановыми.

Постоянное производство на соляном варничном промысле и возникновение Сереговского солеваренного завода связывают с именем Д.Г. Панкратьева [4, 8, 14]. В 1638 г. Данило Панкратьев «построил он первую варницу во 146 году, а две варницы учал строить во 128 году» [18]. Промысел активно развивался, в 1652–1653 гг. у Панкратьевых имелось уже пять варниц, и их обеспечивала рассолом одна рассолоподъемная труба [8]. Из «Копия Столбца 1656 года января 20 дня …» [19] узнаем, что при владельце солепромысла дьяке Даниле Панкратьеве в Сереговском

[1] В XVI в. семейство Строгановых начало солеварение на р. Вычегде (Соли Вычегодской). Аника (Аникей, Оника) в Соли Вычегодской завел первый солеваренный завод в 1515 г. [11, с. 19], а в 1517 г. получил грамоту: «Лета 7025 повеле князь великий Василей Оникею (Анике) сыну Федорову Строганова с братьею Вычегодским Усольем владети по жаловалной и на князя великого соли варити» [12].

[2] В 1558 г. грамота на земли по р. Каме: «Лета 7066 пожаловал князь великий Григорья да Максима детей Аникиевых Строганова вотчиною на отхожие земли Великие Перми на сто верст по обе стороны Камы-реки и велел им горотки строити, варницы ставити, соль варити, слободы копити на государя» [12].

усолье была произведена посадка[3] соляной трубы Богдана старая. Местоположение этой скважины в с. Серегово известно и приведено на рисунке.

Глубина соляной трубы Богдана составляла 94 сажени[4] 10 вершков сверх матицы[5], т.е. около 178 м. Конструкция следующая: внутри матицы (о которой не приведены сведения) находились две литные[6] трубки ≈ 5,8 м в длину каждая, их ширина 26 см, толщина стенок – 7 см; ниже до огнески[7] были трубки жерляные[8] – 23 штуки длиной от 3,9 до 7,2 м, толщина верхних – 9 см, а нижних – 5 см, устье самых нижних трубок – 23 см; в самой глубокой части скважины «ниже огнески» оставался открытый ствол – 16,5 м.

Интересно, что каждая соляная труба имела свое имя, и это лишний раз доказывает ее высокую значимость. В документе приведено наименование трубы Богдана старая, и мы можем предположить, что под словом «старая» подразумевается ранее уже существовавшая. Поскольку трубы были деревянными, то время от времени требовался их ремонт – пересадка. И в этом случае описание в [19] может идти о переоборудовании старой трубы, действовавшей со времен владения промыслом Строгановыми.

Проследить историю Сереговского соляного промысла за 30 лет начиная с 1673 г. и проводимых в этот период буровых работ помогает «Записная книга приказчика Ивана Андреевича Шергина», которая хранится в Российском государственном архиве древних актов [21] и опубликована в 2001 г. «Архив гостей Панкратьевых XVII – начала XVIII в.» [10]. В письме от 10.01.1674 г. [Там же, с. 36] гостю Ивану-Даниловичу Панкратьеву от управляющего заводом И.А. Шергина изложена очень важная для нас информация о бурении скважины: «182-го году января 10 во всех в 5-ти варницах соль варят. А в трубе, государь, глуботы всее с верхние губы[9] до дна 67 сажень 1 аршин 12 вершков, а в том числе 4 сажени буравного уского жерла, ресцами не разрезывано. И трубное, государь, дело делают днем и ночью непрестанно. Луда[10], государь, такова же, а росол к тебе, государю, послали. Позволь, государь, покушать».

Рисунок. Местоположение старинных скважин в районе Сереговского солепромысла (с использованием данных [4]).
Figure. Location of ancient wells in the area of the Seregovo saltworks (using data [4]).

В это время бурится новая труба – под именем Луговая, глубина ее на это время около 128 м. Полученный из скважины рассол периодически отправлялся хозяину промысла И.Д. Панкратьеву, и именно он решал, остановить ли бурение трубы, достаточно ли крепкий рассол, можно ли выварить из него соль в необходимом количестве. Сам процесс бурения скважины осуществлялся круглосуточно и был очень длителен. Чтобы пробурить скважину глубиной в 200–300 м при двухсменной работе по 5–7 чел. в каждую смену, в зависимости от сложности горно-геологических условий, затрачивалось 6–8 лет [16, 20, 22]. Глубина буровых скважин в Серегове была больше, чем в других центрах солеварения. Например, в Леденге рассол добывали из труб глубиной до 140–150 м [16], а у Соли Камской – с глубины в 30–50 саженей (до 100 м) [20, 22]. Но рассол промыслов Пермской губернии имел большую соленость-крепость – до 27 %. Стоимость соляной трубы была очень высока, в XVII в. оценивалась (в зависимости от глубины скважины и качества рассола) в 800–1200 руб. [16]. Всей работой при проходке скважины руководил трубный мастер, определявший не только место заложения скважины на местности, но и применение различных бурильных устройств и инструментов в зависимости от пород грунта, обсадку трубками.

Бурение скважин всегда сопряжено с большими сложностями, были часты аварии. Например, в сообщении от 19 февраля 1676 г.: «На Луговой трубе большой 17-й бурав подломился … в завороте в трубе остался. И прежними многими снастьми добыть не могли и сковали крюк отворотной… бурав вызнели … господь помог, добыли бурав. А добывали государь, после подлому неделю, и за помощию божиею работают впредь» [10, с. 87].

Примерно в этот же период времени гость Евстафий (Астафий, Остафий) Иванович Филатьев пытался органи-

[3] Установка в скважине обсадных и водоподъемных деревянных трубок.

[4] Трубная и казенная сажени имеют разную длину. По [15, 16], длина трубной сажени равна 42 вершка (42*4,5 см = 189 см), против 48 вершков казенной сажени. В конце XVII в. употреблялась трубная сажень на 2 вершка длиннее, чем в начале века – 198 см.

[5] Матица (матишна) – первая труба, главная часть рассолоподъемной трубы «матишное дерево шести сажен или пяти…и то дерево вытесать и выскоблить» [15, 16]. Матица могла изготовляться из цельных сосновых или лиственничных бревен или могла быть составной «из 10-12 брусьев, весьма плотно соединенных между собой и укрепленных железными оковами», она «загоняется в грунт для того, чтобы при начале разработки трубы, сыпучие породы и плавучие земли не препятствовали углублению, так и по устройству ее не засыпали бы прочими трубными частями, поставленными ниже» [20, с. 26].

[6] Литные (обсадные) трубки предохраняют от осыпания пород ствола скважины и просачивания грунтовых пресных и слабосоленых вод, которые могут разбавлять рассолы.

[7] Огнеска – точное обозначение этого термина не выяснено, предполагаем, что речь идет о нижним крае обсадных труб. Этот термин встречается и в трудах [15, 16].

[8] Жерляные трубки – также обсадные трубки, но меньшего диаметра.

[9] Губа – верхнее устье матицы, возвышающееся над поверхностью земли.

[10] Луда – здесь, горная порода. По данным [20] – сланцеватая глина.

зовать свой промысел в Серегово. Между ним и Панкратьевыми шли земельные споры (до открытых вооруженных столкновений) [10]. Работники Филатьева бурили три трубы на новых местах: на Изчоре (Исчое), Нижной и Заречной (за р. Вымью напротив предприятия Панкратьева). В 1678 г. по выписи из переписных книг [Там же, с. 283]: «блиско Сереговой горы гостя Остафья Филатьева две трубы соляных, стоят тому шесть лет, да за рекою Вымью пустая соляная труба», и «на обчей неделеной земли гостей Ивана Панкратьева и Остафья Филатьева на Исчем поле завел насильством соляную трубу для завладения». Точное местоположение этих труб в настоящее время установить невозможно, эти скважины так и не смогли ввести в работу. В процессе бурения труб Филатьева наблюдались серьезные проблемы. И. А. Шергин пишет, что у соседа Филатьева «в Нижной трубе огнели[11] три отсадные трубки 20 сажень, а ниж не пошли, потому что де нижной ход весь засыпало, и они сколько учистят, столько и пущают. В Зарешной трубе жидкая грязь пловет да из боков каменье одинцы небольшие валятся» [Там же, с. 60].

Благодаря знанию особенностей геологического строения данного района в настоящее время можно говорить, что бурение этих скважин было обречено на неудачу. Во-первых, местоположение скважин выбрано неверно – рассолы там залегали на больших, относительно других территорий, глубинах. Во-вторых, трубные мастера, нанятые Филатьевым, вероятно, не имели большого опыта в бурении (например, в двух трубах Нижной и Заречной встречен песок-плывун, и с чисткой скважин не смогли справиться) и поэтому переманивали мастеров Панкратьева. Осознавая это, Филатьев оставил замысел добычи рассолов из своих труб в Серегово: «Завод свой сосед накрепко осматривал, только говорят, что пути в деле их нет» [Там же, с. 115].

Согласно «Выписи из переписной книги Яренского…» в 1678 г. «под горою Сереговой горы соляной промысел гостя Ивана Панкратьева, соляная труба, а к той трубе шесть варниц соляных, да две трубы вновь делают да варницу ставят» [Там же, с. 281]. Знаменательным событием 1683 г. было завершение бурения и обсадка новой Луговой трубы, она «была посажена» 21 сентября [23]. Общая глубина ее составила 83 сажени 13 вершков с полу-вершком сверху матицы – около 158 м. Существовавшая к этому времени старая Богдана труба была большей глубины на 4,5 м. Соль из Луговой трубы начали варить 1 октября, и с октября по май в четырех варницах из этого рассола сварено по 10 994 пуда в месяц (180 081 кг). В целом, в 1683 г. около 2 700 т соли засыпали в амбары Панкратьева.

Конструкция трубы Луговой [23] подобна ранее пробуренной трубе Богдана. Известно, что матица длиной 6,6 м стоит на луде (породе). Внутрь ее опущены три литные трубки общей длиной 15,8 м (толщина верхних – 45 см, нижней – 41 см, внутреннее жерло – 27 см, толщина стенок литных трубок – 9 см). Ниже располагались 20 жерляных трубок общей длиной 124,7 м (длина трубок – от 2 до 8 м, толщина – 4,5 см). Длина «уского жерла» (открытый ствол без обсадки) ниже посадки жерляных трубок – 17,7 м. В описании большое внимание уделено самой нижней трубке подвойной, ее длина всего 2 м, нижний конец заострен «на завостренном конце зарезан заплечек в глубь … и сшита баранья мохнатая сырая кожа рукавом, а баран заколот был в то время, а один конец у кожи сшит широко сколько кожи стало, а другой столь широко сколь тому у трубки завостренной конец и вдет тот рукав на трубку широким концом, а уской конец сволочен на конец с трубки на туго и спущен в заплечек кожею к трубке, а шерстью вверх и прибит кожаной конец к заплечку ремнем накрепко с 4 ряда, ряд подле ряда и прибиван тот ремень к трубкам изредка гвоздем луженым колодочным, чтобы ремень стал подлицо с концом трубочным и сшит был суконной рукав с мерой один конец четверти с три аршином, а другой … также заостренной трубочной конец, а в длину покороче овчиннова рукава и вдет тот суконной рукав широким концом на овчину, а уской конец взволочен на конец трубки, но туго и прибиван заворачивая сукно к исподу трубочной губы таким же луженым гвоздем, а тот рукав вдет для того чтобы во время посадки с трубы не сняло овчинного рукава и тем обитым концом воткнуто в трубу в притонное место тем подобием(?) как сбоку гвоздем» [Там же, Л. 1 об.–2]. Жерляные и литные трубки соединялись подлицо, в составах на верхние трубочные концы надеты медные веки длиною 18 см. Трубки законопачены лыком, затем осыпаны ржаной мукой и залиты на муку смоленым горячим варом. Всю обсадную колонну в течение двух дней задавливали в скважину «трубки гнели в трубу многия люди руками забечевы… без ворота и без вскошь», «догнели плотно и скрепили их к матице четырьмя клины, на верх трубок положен на вставку груз бревенных обрубков». Затем «около тех осадных трубок сыпано в матицу толченая и сеяная печенная глина, чтоб та глина легла внизу на овчиный рукав впредь для крепости от пресной воды, а сыпана та осыпь по многие дни по ушату и по два за день, а пошло той осыпи ушатов с 20» [Там же, Л. 3 об–4]. «Язык» этого документа очень близок «Росписи…» [15, 16], что доказывает связь Тотемского и Сереговского промыслов, имевших общие традиции.

За период владения Сереговским заводом семейством Панкратьевых, с 1637 г. на протяжении более 109 лет, промысел пережил как расцвет, так упадок. В 90-е гг. XVII в. производство соли достигло максимальных объемов – до 310 тыс. пудов, а число варниц – до 13 на две трубы: Богдана старая и Луговая. При этом И.А. Шергин в своих донесениях периодически отмечал, что работают только две–пять варниц «промысел государи малолюден, других варниц собрать людей не могут», «других, государь, варниц заварить мало дров», «трубное дело стоит за безлюдством» [10]. Это происходило, как видим, в связи с отсутствием дров и денег на найм работников, из-за стычек с конкурентами – людьми Филатьева и монахами Соловецкого монастыря.

В 1746 г. треть промысла была продана вологодским купцам Рыбниковым за 12 200 руб. с двумя действительными соляными трубами (Богдана и Луговой), еще одна не действовала и семью варницами [24]. А в 1769 г. и весь завод [8, 10] стал принадлежать вологодским купцам 1-й гильдии Максиму и Федору Рыбниковым, которым они вла-

[11] Придавило.

дели до 1820 г. Завод на тот момент описан как «был весьма в несостоянии».

Именно в начале хозяйствования заводом купцами Рыбниковыми исследователь Иван Лепехин 30 июля 1771 г. в составе Оренбурского отряда Академии наук посетил Сереговские соляные варницы, и кратко описал их состояние [5, с. 278–280]: «Всех варниц девять, из коих в восьми варницах варят соль беспрестанно, а девятая стоит в запасе. Варницы довольствуются двумя трубами, из коих первая называется Богдана, в которой глубины 93 сажени и 10 вершков, и которой росол имеет 11 лотов[12]. Другая труба называется Мусовать, глубиною в 83 сажени и 10 вершков, и содержит 9 лотов в рассоле». Он отмечает, что заводосодержателям углублены трубы, в год выварилось 150 тыс. пудов соли (2 457 т). Интересно, что Лепехин привел названия двух действующих труб: Богдана и Мусовать. Однако он ничего не пишет о Луговой трубе, которая уже сделана была Панкратьевым. Возможно, труба Мусовать и есть Луговая, так как по глубине эти скважины примерно равны. В более поздних исторических документах труба Мусовать нигде более не значится.

Для получения более крепких рассолов проведены чистки и углубление скважин, глубина труб Богдана и Мусовать (при трубной сажени в XVIII в. 44 вершка = 198 см) составляла около 185 и 165 м соответственно. Полученный из них рассол имел достаточно высокую концентрацию соли – около 140,8 и 115,2 г[13] соответственно. И это первые данные о крепости Сереговских рассолов, из которых осуществлялось выпаривание соли.

Однако содержание солей в подземных рассолах скважин со временем уменьшалось, поскольку обсадные трубы разрушались и рассолы разбавлялись грунтовыми водами. Необходимо было проведение ремонтных работ на круглосуточно работающих скважинах, их остановку, что естественно, влекло за собой уменьшение количества полученной соли. Но владельцы солепромысла вынуждены были проводить чистки и переоборудования скважин. Рыбниковыми в 1797 г. Луговая труба была вновь пересажена [25]. О сложности и трудоемкости этого процесса свидетельствует, что: «старые обсадные трубки подняты в 6 дней», затем производили чистку и новую обсадку скважины трубками. Глубина отремонтированной вновь Луговой трубы составила 83 сажени 2 аршина 2 вершка, т.е. осталась прежней ≈ 158 м. Конструкция обсадной колонны в целом повторяет старую, с небольшими изменениями. В дополнении указано [Там же], что «на всех ставах схваты железные, лукошка медные, а трубки лиственничные и все обшиты прядями обварены пеком», в трубу затем «осыпи сыпано мелкой толченой печины 7 ушатов, крупкой железины и дресвы 3 ушата».

В 1820 г. опять произошла смена хозяев, Сереговского завода, он продан братьям Витушенниковым за 300 тыс. руб. [26]. В «Горном журнале…» [27] было кратко охарактеризовано состояние действующих солеваренных заводов России, в том числе и Сереговского: «С 1820 года владельцы сего завода начали расчистку и углубление одной старой, повредившейся трубы и проходку одной трубы вновь. Первая доведена до глубины 89 саженей; причем оказалось прежней выработки 86 ½ саженей. Рассол добротою хотя и не возвысился; но как на дне трубы находится твердый глинистый камень синего цвета, весьма солоноватый, то владельцы предположили, продолжить углубление трубы далее. Новой трубы[14] пройдено на 37 ½ саженей. Горную породу составлял с поверхности слой глины синего цвета, продолжавшийся до 8 саженей; отсюда начался глинистый камень разного цвета, нередко весьма твердый». Отмечалось, что глубина скважин, подобна трубам Тотемского завода и доходила до 90 саженей; рассол «добротою» был в 6 % и более, соли вываривается ежегодно более 200 тыс. пудов.

Для Северного края Сереговский завод был значим, и граф А. Кейзерлинг, возвращаясь из экспедиции на Печору в конце сентября 1843 г., посетил Серегово и описал геологический разрез и работу завода. Он отмечал, что в 1842 г. на заводе работало 10 варниц, получавших рассол из трех скважин, и было выработано 250, 320 тыс. пудов соли (более 4 тыс. т) [4].

Для расширения производства соли купцы Витушенниковы провели бурение новой Богородской трубы: «С соизволения правительства …начата разрабатываться новая Богородская труба, которая углублена разными инструментами 30 июля 1852 г. до глубины 94 сажени 2 аршина 11 вершков (188 м) и посажена трубами из лиственичного дерева 1–2 августа 1852 г.» [28]. Как видим, процесс бурения сильно затянулся, как и ввод скважины в эксплуатацию, который длился более трех лет под руководством заводского трубного мастера Александра Буткина. Первоначально получив рассол малой крепости из Богородской трубы, по распоряжению хозяев завода трубки из скважины опять были вытащены и на скважинах продолжено бурение. Труба «…до сего была обсажена два раза, но по слабости разсола на действие не была пущена а потому в оба раза трубки выняты обратно, и наконец по проходке оной на 103 сажени 4 четверти в недра Земли произведена садка трубками 28 и 29 мая сего 1854 года» [29]. Крепость рассола из скважины глубиной 204 м достигла 7° (около 75 г NaCl на литр рассола), что было высоким показателем.

Очередная пересадка Луговой трубы произведена в 1854 г., затем – и Богдановской трубы (о новой ее конструкции данных нет). Для ремонта и остановки работы скважины было необходимо получить разрешение казенной палаты: «По указу Вологодской казенной палаты от 7 августа 1854 года … Луговой трубе … дозволено остановить для расчистки старых трубок, и посадки новыми, которая действительно остановлена ранее 28 числа июля, а с сего числа начаты трубки вытаскивать и оныя все вытащены окончательно 31-го июля…всех числом 24 трубки а мерою 75 саж. 3 вершка – с 2 числа августа начали расчищать инструментами – расчистку кончили 9-го числа сентября

[12] Содержание соли в рассолах определялось как процентное – по весу или называлось градусами, или лотами. Лот (loth) – старорусская мера измерения массы, равная трем золотникам, или 12,797 г.

[13] Данные завышены. В Серегово максимальные значения на больших глубинах составляли около 100 мг/л.

[14] Новой (Климентовской или Богородской) трубы.

и сегодня 10-20 числа садили новые трубки …» [30]. Глубина скважины стала больше – 168 м, обсажено трубками – 149 м и «для капежу разсола» оставлено открытого ствола – 19,8 м. Работа под руководством трубного мастера Александра Буткина была сделана большая, весь процесс пересадки труб занял около месяца. Но в результате крепость рассола составила всего 3 ½° Боме (33 г Na/Cl на 1 л рассола). Полученное солесодержание было низким, и поэтому для выпаривания соли требовалось большое количество рассола, которое концентрировали в ларях, расположенных около варниц. За сутки из трубы извлекали рассол на 1 и ¾ вари.

В 1859 г. Сереговский завод перешел к новому собственнику – акционерному обществу Беломорской компании, состоящей из петербургских купцов, которые сразу начали перестройку завода. В описи Сереговского солеваренного завода за 1862 год: «Главнейшее производство завода состоит из поваренной соли, вываривaемой из рассола, получаемого из труб в недрах земли углубленных на 85 и более сажен прямым центром». Завод тогда имел четыре рассолоподьемные трубы: Богдановскую, Климентовскую, Луговую, Богородскую. Над каждой трубой были теплые избы «в которых помещаются машины для поднятия рассола из труб, машины действуют людьми» [31].

Н. Барбот-де Марни, путешествовавший в 1864 г. по Северным губерниям с целью исследования пермской системы и сопровождаемый К.А. Скальковским, совершил экскурсию в район Сереговского солеваренного завода и изучил горные породы, в том числе из новой проводившейся буровой скважины. Н. Барбот-де Марни [32] отмечал, что «разсольные труб в Серегове пять; пятая при нас еще проводилась. Они заложены по прямой линии правого берега реки. Богородская труба, начатая уже после посещения этой местности графом Кейзерлингом (1843), самая глубокая (104 сажени) и самая богатая по содержанию соли в разсоле (6 ½–7 %), но зато дает разсола лишь 150 ведер в час, между тем как старые трубы дают до 400 ведер, по крепости менее 4 %. Новая скважина при нас (5 июля) углублена до 44 сажень. Образцы пород из новой трубы состоят из белого без окаменелостей известняка… Штейгер[15], проводивший Богородскую скважину и знакомый с горными породами, объявил нам, что скважина эта во всю длину свою показала только один известняк, так что едва ли справедливо показание графа Кейзерлинга, которому сообщили, что сереговские трубы заложены в соленосной глине. Трубы эти заложены по всей вероятности в вертикальных пластах белого известняка, оттого-то они и проходили по всей длине своей одну и ту же породу. Все скважины не самотеки – вода не достигает в них сажени две до дневной поверхности. Температура разсола во всех скважинах – 6 ½° R (у графа Кейзерлинга температура эта показана в 4° R); из него отделяется запах сернистого водорода; в нем менее сернокислых солей магнезии и натра чем в разсолах Леденгска и Тотьмы, а потому сереговская соль весьма уважается» [32, с. 36–37].

Описания завода дополняются К. Скальковским [33] «всего 9 варниц, 7 действующих, строится десятая, все они черные… Варя продолжается два дня, вываривается соли в одну варю от 180 до 210 пуд, причем на 9–10 пуд соли дров 1 мерка или 16 кубических аршин. …Выварка соли производится при сильном кипении и возвышении температуры, отчего соль получается мелко-кристаллическая. Вкус ее превосходный, но цвет несколько серый, вероятно от ничтожной примеси угля… Всего вываривается в месяц около 18 000 пуд, в год около 220 000 пудов соли» [Там же, с. 92–94].

Высокая ценность опубликованной работы К. Скальковского определяется тем, что он привел первый анализ содержания солей в рассолах (таблица).

Бурение Никольской скважины продолжалось до конца 1872 г., глубина при сдаче скважины управляющему заводом была 167 саженей 4 вершка (≈ 331 м). По техническим причинам буровые работы часто останавливались («в новой трубе сломались железные шесты, часть коих с инструментом долото остались в трубе» и т.п.). Окончательно бурение остановили, поскольку «на дне скважины засели два долота, которые не удалось вынуть». Затем предпринимались попытки углубить ее, но многочисленные аварии привели к тому, что в 1876 г. ее глубина уменьшилась до 163 саженей [34, Л. 10 об]. Процессом бурения на начальном

[15] Штейгер – горный мастер.

Таблица

Содержание солей (на 100 частей рассола) в Сереговском рассоле (разложения К. Кнауса) [33]

Table

Salt content (per 100 parts of brine) of the Seregovo brine (analysis by K. Knaus) [33]

Состав	Трубы				Среднее содержание
	Богородская	Луговая	Богдановская	Климковская *	
Хлористый натрий (NaCl)	5.299	3.045	3.073	2.809	3.355
Глинозема и окиси железа (Al_2O_3+Fe_2O_3)	0.006	0.004	0.011	0.007	0.006
Сернокислой извести ($CaSO_4$)	0.369	0.197	0.231	0.272	0.224
Хлористого кальция ($CaCl_2$)	0.524	0.342	0.495	0.302	0.390
Хлористого магния ($MgCl_2$)	0.557	0.342	0.219	0.313	0.356
Воды (H_2O)	93.244	96.070	96.297	95.669	95.669
Итого	100	100	100	100	100
	6.76	3.9	4.02	3.7	4.59

Примечание. * Климентовская, ошибка в наименовании трубы.
Note. * Klimentovskaya, error in the name of the tube.

этапе (до 40 саженей) руководили управляющий Сереговским солеваренным и химическим заводами Вюртембергский подданный опытный химик Карл Борислович Кнаус и трубный мастер Александр Буткин. Подмастерьями при сооружении трубы были его сыновья: Павел и Николай. Затем «Беломорской компанией» в Серегово были направлены иностранные трубные мастера: Г. Паули (до 1872 г.), в 1872 – 1876 гг. – Фон Альберти, в 1873 г. – буровой мастер Касип (Касин?). После их отъезда длительное время не могли найти мастеров, которые бы смогли опустить в скважину водоподъемные трубки. Обсуждалась возможность пригласить трубных мастеров из Тотьмы или Соликамска, но таковых не нашлось [Там же, Л. 18]. И только в 1879 –1881 гг. Никольскую трубу вновь расчистили, глубина ее при этом стала 320,5 м, крепость рассола – 8–9° Бомэ [35]. В январе 1881 г. полностью оборудовали скважину, опустили трубки: две литные длиной 16,5 м и 34 трубки общей длиной 234 м. Оборудовал скважину водоподъемными трубками, вероятно, Павел Буткин, которого в 1863 г. «Г. Кнаус отправлял в Петербург…был там при бурении артезианского колодца для воды при экспедиции заготовления Государственных бумаг… и который по возвращении… был в Серегово мастером при бурении начатой Г. Кнаусом трубы» [36].

Действовали в 1867–1873 гг. и другие рассолоподъемные трубы, над каждой трубой построены теплые избы, в которых помещаются машины для поднятия рассола, управляемые людьми. Величина содержания солей в рассолах: в Богородской трубе 6,25–6,5° извлекается в сутки на ½ вари, в Луговой – 4–4,25° в сутки на 1 ¼ вари, в Климентовской – 4° в сутки на ¼ вари; в Богдановской трубе происходит снижение крепости от 4 до 1,5°, в сутки получали рассол на ½ вари [37, 38]. Предпринимались попытки «реанимации» – чистки Богдановской скважины в 1876 г. в связи с тем, что вследствие долгой эксплуатации крепость рассола упала до 1,5 °Боме. Но результат не был достигнут, и после ввода Никольской трубы перестали эксплуатировать Богдановскую и Климентовскую трубы. «В 1884 г. углублялась Богородская скважина, имевшая до этого времени глубину 222 м, но ниже новых рассольных горизонтов не достигли и быстро попали в весьма плотную темную породу, вследствие чего бурение было прекращено. Крепость рассола в ней достигала 7° и выкачивалось его около 1,600 л/час» [4].

В 1885 г. завод перепродается архангельскому купцу первой гильдии Афанасию Васильевичу Булычёву. При оценке Сереговского солеваренного завода от 1887 г. [39, 40] значатся: «Никольская и Луговая трубы со зданиями с конным приводом для поднятия рассола, бездействующие Богородская, Богдановская и Климентовская рассольные трубы со зданиями, 10 варниц, 4 соленых амбара, а также амбар для сверления трубок. Никольская солеподъемная труба составляет основу существования всего завода». Деревянная изба над скважиной Никольская имела размеры: «длина 3 сажени 2 четверти, ширина 3 сажени, вышина 6 саженей 2 аршина» [39].

Большим шагом в совершенствовании солеварения в Серегово стало то, что в 1888 г. рассол из Никольской скважины стал добываться при помощи паровой машины на пять лошадиных сил. Глубина скважины в 1892 г. составляла 154 сажени 27 вершков [41], около 306 м. Вероятно, в период 1892–1898 гг. была проведена чистка Никольской скважины, поскольку в 1895 г. глубина ее стала составлять 317 м, крепость по аэрометру Бишова – 9° [42]. В это время также еще действовала и Луговая труба глубиной 206 м, Богородская труба уже числится как бездействующая, а Богдановская и Климентовская – упразднены.

Заключение

Таким образом, в районе с. Серегово за период существования солепромысла было пробурено в XVI–XIX вв. не менее 10 труб. Известно, что трубы Богдановская и Луговая находились в эксплуатации более 200 лет, Богородская – всего 24 года; труба Никольская действовала с 1881 г. Для получения качественного рассола и бесперебойной работы сользавода на скважинах многократно производились ремонт и «пересадка» обсадных деревянных трубок. Конструкцию обсадной колонны при этом практически не меняли.

До наших дней сохранились Никольская (в будущем переименована в Октябрьскую) скважина, хлоридно-натриевые рассолы которой использовались с 1929 г. также и курортом «Серегово». Сооружение – старинная труба с водоподъемной башней – является одним из объектов историко-культурного наследия Российской Федерации «Сереговский солеваренный завод» – памятник истории, градостроительства и архитектуры [43].

В настоящее время не имеем информации о бурении и устройстве других имевшихся здесь труб: Климентовской (действовала в XIX в.), Успенской, Крюковской. В Серегово сохранились остатки старой самоизливающейся скважины на берегу р. Выми, так называемый источник «Ключик», но ее истинное наименование пока не удалось выяснить. К началу XX в. добычу природных подземных рассолов для последующего получения пищевой соли путем вываривания осуществляли на двух трубах Никольской и Луговой. Содержание соли в основном источнике рассолов – Никольской трубе – было 9° (96 г NaCl в 1 л рассола).

По сравнению с другими центрами соледобычи, на Сереговском солепромысле было пробурено совсем немного скважин. Но если другие солеваренные заводы Вологодской губернии в связи с истощением рассолов прекратили существование, то Сереговский солеваренный завод проработал на базе высокоминерализованных подземных рассолов до 50-х гг. XX в.

Очень важно подчеркнуть, что большинство труб в Серегово были пробурены и обсажены трубками мастерами, продолжавшими традиции старых русских трубных мастеров и, вероятно, руководствовавшимися «Росписью как зачать делать новая труба на новом месте». Благодаря сохранившимся документам XIX в., мы узнаем о династии трубных мастеров Буткиных, служивших на Сереговом соляном промысле. Большой заслугой трубных мастеров Сереговского завода был правильный выбор местоположения соляных труб. Геологическое строение данной территории очень сложное. Рассолы в районе Сереговской диапировой

структуры распространены по периферии купола в крутозалегающих терригенно-сульфатно-карбонатных пермских водоносных комплексах. И благодаря тому, что соляные трубы располагались по линии, отходящей от р. Вымь, и каждая последующая скважина находилась ближе к соляному куполу и, следовательно, вскрывала подземные рассолы более древние, имеющие большую минерализацию.

Литература

1. Хабаков, А.В. Очерки по истории геолого-разведочных знаний в России / А.В. Хабаков. – Москва: Изд-во Московского общества испытателей природы, 1950. – Ч. 1. – 212 с.
2. Широкова, В.А. Соляные промыслы России / В.А. Широкова // Вопросы истории, естествознания и техники. 2005. – № 3. – URL: https://dhoz.ru/ история-деревни/ соляные-промыслы-россии-от-древних-вр. (дата обращения 12.03.2019).
3. Археологические памятники Республики Коми / отв. ред. Э.А. Савельева. – Москва: ДиК, 1997. – 758 с.
4. Худяев, И.Е. Отчет о геологических и гидрогеологических исследованиях в районе Сереговского солеваренного завода летом 1928 г. / И.Е. Худяев. – Труды Главн. геол.–разв. упр. ВСНХ СССР, вып. 31. – Москва–Ленинград: Инст. гидрогеологии, 1931. – 53 с.
5. Лепехин, И.И. Дневные записки путешествия Ивана Лепехина по разным провинциям Российского государства. Продолжение / И.И. Лепехин. – Санкт-Петербург: Имп. Акад. Наук, 1814. Т. III. – 404 с.
6. Гейман, В.Г. Соляной промысел гостя И. Д. Панкратьева в Яренском уезде в XVII в. / В.Г. Гейман // Летоп. занятий Археогр. комис., XXXV. – Ленинград, 1929. – С. 14–38.
7. Цембер, А.А. К истории основания Сереговского солеваренного завода / А.А. Цембер // Записки Общества изучения Коми края. Вып. 2. – Устьсысольск, 1929. – С. 48–50.
8. Политов, В.В. Промышленность Коми края в XVIII в. / В.В. Политов. – Сыктывкар, 2005. – 120 с. – (Научное наследие / Институт языка, литературы и истории Коми НЦ УрО РАН; вып. 1).
9. ГУРК «Национальный архив Республики Коми» (далее – ГУРК НАРК). Ф. 165 (Сереговский солеваренный завод). Оп. 1. Д. 70. 14 Л.
10. Архив гостей Панкратьевых XVII – начала XVIII в. / Составитель Л.А. Тимошина. Т. 1. – Москва: Эдиториал УРСС, 2001. – 392 с.; Т. 2. – Москва–Санкт-Петербург: Альянс-Архео, 2007. – 512 с.
11. Введенский, А.А. Дом Строгановых в XVI-XVII веках / А.А. Введенский. – Москва: Изд-во социал.-эконом. лит-ры, 1962. – 308 с.
12. Вычегодско-Вымская (Мисаило-Евтихиевская) летопись // Историко-филологический сборник Коми филиала АН СССР. – Сыктывкар, 1958. – Выпуск 4. – С. 257-271.
13. ГУРК НАРК. Ф. 963. Оп. 1. Д. 6. Л. 84-84 об.
14. Жеребцов, И.Л. Историческая хроника. Республика Коми с древних времен / И.Л. Жеребцов, М.В. Таскаев, М.Б. Рогачев, Б.Р. Колегов. – Сыктывкар: Коми кн. изд–во, 2002. – 344 с.
15. Прозоровский, Д.И. Старинное описание солеваренного снаряда / Д.И. Прозоровский // Изв. Археол. о-ва. т. VI, отд. I. – 1868. – Вып. 3. – С. 233–255.
16. Колесников, П.А. Первое инженерное наставление по глубинному бурению скважин / П.А. Колесников // Проблемы историографии и источниковедения истории Европейского Севера: Межвуз. сб. научн. тр. – Вологда, 1992. – С. 189–191.
17. ГУРК НАРК. Ф. 963. Оп. 1. Д. 6. Л. 80 об.
18. ГУРК НАРК. Ф. 963. Оп. 1. Д. 6. Л. 82.
19. ГУРК НАРК. Ф. 165. Оп. 1. Д. 70. Л. 4об–5.
20. Новоусольские и Ленвенские соляные промыслы // Горный журнал. Кн.1. – 1856. – С. 1–70.
21. Российский государственный архив древних актов. Ф. 181. Рукописное собрание Библиотеки МГАМИД. Оп. 1. Д. 1166.
22. Устюгов, Н.В. Солеваренная промышленность Соли Камской в XVII веке / Н.В. Устюгов. – Москва: АН СССР. 1957. – 347 с.
23. ГУРК НАРК. Ф. 165. Оп. 1. Д. 70. Л. 1–4.
24. ГУРК НАРК. Ф. 1. Оп. 1. Д. 1. Л. 2.
25. ГУРК НАРК. Ф. 165. Оп. 1. Д.70. Л. 5 об–6.
26. ГУРК НАРК. Ф. 165. Оп.1. Д. 1. Л. 63–65.
27. Описание труб на казеном Леденгском солеваренном заводе, устроенных для добычи соли (продолжение) // Горный журнал или собрание сведений о горном и соляном деле. – Санкт-Петербург, 1826. – № 2. – С. 93–110.
28. ГУРК НАРК. Ф. 165. Оп. 1. Д. 70. Л. 7–10.
29. ГУРК НАРК. Ф. 165. Оп. 1. Д. 70. Л. 11–12 об.
30. ГУРК НАРК. Ф. 165. Оп. 1. Д. 70. Л. 13–14 об.
31. ГУРК НАРК. Ф. 165. Оп. 1. Д. 117. Л. 3.
32. Барбот-де-Марни, Н. Геогностическое путешествие в северныя губернии Европейской России / Н. Барбот-де-Марни // Зап. Императорского С.-Пб. минералог. общ. сер. 2. – ч. III. – Санкт-Петербург: Типограф. Императорской Академии наук, 1868. – С. 204–283.
33. Скальковский, К. Современное положение солеварения в Северных губерниях и будущность их по отношению к горной промышленности / К. Скальковский // Горн. журн. – 1865. – ч. II. – С. 75–97.
34. ГУРК НАРК. Ф. 165. Оп. 1. Д. 39.
35. ГУРК НАРК. Ф. 165. Оп. 1. Д. 355. Л. 9–15.
36. ГУРК НАРК. Ф. 165. Оп. 1. Д. 39. Л. 12 об–13.
37. ГУРК НАРК. Ф. 165. Оп. 1. Д. 283. Л. 2.
38. ГУРК НАРК. Ф.165. Оп.1. Д. 267. Л. 2.
39. ГУРК НАРК. Ф. 165. Оп. 1. Д. 1. Л. 144–148 об.
40. ГУРК НАРК. Ф. 165. Оп. 1. Д. 424. Л. 2.
41. ГУРК НАРК. Ф. 165. Оп. 1. Д. 498. Л. 2.
42. ГУРК НАРК. Ф. 165. Оп. 1. Д. 518. Л. 2.
43. Официальный сайт Минкультуры России. Сведения из Единого государственного реестра объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации. – URL: https://opendata.mkrf.ru/opendata/7705851331-egrkn. (дата обращения 2.02.2022).

References

1. Khabakov, A.V. Ocherki po istorii geologo-razvedochnyx znanij v Rossii [Essays on the history of geological exploration knowledge in Russia] / A.V. Khabakov. – Moscow: Publishing House of Moscow Society of Naturalists, 1950. – Part 1. – 212 p.
2. Shirokova, V.A. Solyanye promysly Rossii [Salt-works of Russia] / V. A. Shirokova // Issues of history, natural science and technology. 2005. – No.3. – URL: https://dhoz.ru/istoriya-derevni/solyanye-promysly-rossii-ot-drevnix-vr. (accessed on 12.03.2019).
3. Arheologicheskie pamyatniki Respubliki Komi [Archaeological memorials of the Komi Republic] / executive editor E.A. Saveleva. – Moscow: DiK, 1997. – 758 p.
4. Khudyaev I.E. Otchet o geologicheskih i gidrogeologicheskih issledovaniyah v rajone Seregovskogo solevarennogo zavoda letom 1928 g. [Report on geological and hydrogeological explorations during the summer of 1928 in the region of Seregovo salt-works] / I.E. Khudyaev. – Proceedings of the Main Geological and Exploration Directorate of the Supreme Council of National Economy of the USSR, issue 31. – Moscow-Leningrad: Inst. of Hydrogeology, 1931. – 53 p.
5. Lepekhin, I.I. Dnevnye zapiski puteshestviya Ivana Lepekhina po raznym provinciyam Rossijskogo gosudarstva. Prodolzhenie [Daily Notes of Ivan Lepekhin's Journey through Different Provinces of the Russian State] / I.I. Lepekhin. – St. Peterburg: Imperial Academy of Sciences, 1814. Vol. III. – 404 p.
6. Gejman, V.G. Solyanoj promysel gostya I.D. Pankratieva v Yarenskom uezde v XVII v. [Saltworks of noble man I.D. Pankratiev in the Yarensky district in the 17th century] / V.G. Gejman // Chronicles of the studies of the Archaeographic Commission, XXXV. – Leningrad, 1929. – P. 14–38.
7. Tsember, A.A. K istorii osnovaniya Seregovskogo solevarennogo zavoda [On the history of the founding of the Seregovo salt-work] / A.A. Tsember // Notes of the Society for the Study of the Komi Territory. Issue 2. – Ust-Sysolsk, 1929. – P. 48–50.
8. Politov, V.V. Promyshlennost Komi kraya v XVIII v. [Industry of the Komi region in the 18th century] / V.V. Politov. – Syktyvkar, 2005. – 120 p. (Scientific Heritage / Institute of Language, Literature and History of the Komi SC UrB RAS; issue 1).
9. GURK "Natsionalnyj arhiv Respubliki Komi" [State Institution of the Komi Republic "National Archive of the Komi Republic" (hereinafter – SIKR NAKR)]. Coll. 165 (Seregovo saltworks). Inv. 1. File 70. P. 14.
10. Arkhiv gostej Pankratievykh XVII – nachala XVIII v. [Archive of noble people of the Pankratievs of the 17th – early 18th centuries]/ Compiled by L.A. Timoshina. Vol. 1. – Moscow: Editorial URSS, 2001. – 392 p.; Vol. 2. – Moscow–St. Peterburg: Alyans-Arkheo, 2007. – 512 p.
11. Vvedenskij, A.A. Dom Stroganovykh v XVI-XVII vekax [The Stroganovs' House in the 16th-17th centuries]/ A.A. Vvedenskij. – Moscow: Publishing house of socio-economic literature, 1962. – 308 p.
12. Vychegodsko-Vymskaya (Misailo-Evtikhievskaya) letopis [Vychegodsko-Vymskaya (Misailo-Evtikhievskaya) chronicle] // Historical and philological collection of the Komi branch of the USSR Academy of Sciences. – Syktyvkar, 1958. – Issue 4. – P. 257-271.
13. GURK NAKR. Coll. 963. Inv. 1. File 6. P. 84-84 rev.
14. Zherebtszov, I.L. Istoricheskaya khronika. Respublika Komi s drevnikh vremen [Historical chronicle. Komi Republic since ancient times] / I.L. Zherebczov, M.V. Taskaev, M.B. Rogachev, B.R. Kolegov. – Syktyvkar: Komi knizhnoe izdatelstvo, 2002. – 344 p.
15. Prozorovskij, D.I. Starinnoe opisanie solevarennogo snaryada [An ancient description of a salt-making tool] / D.I. Prozorovskij // Proceedings of the Archaeological Society. Vol. VI, section I. – 1868. – Issue 3. – P. 233–255.
16. Kolesnikov, P.A. Pervoe inzhenernoe nastavlenie po glubinnomu bureniyu skvazhin [The first engineering manual for deep well drilling] / P.A. Kolesnikov // Problems of historiography and source study of the history of the European North: interuniversity collection of scientific papers. – Vologda, 1992. – P. 189–191.
17. SIKR NAKR. Coll. 963. Inv. 1. File 6. P. 80 rev.
18. SIKR NAKR. Coll. 963. Inv. 1. File 6. P. 82.
19. SIKR NAKR. Coll. 165. Inv. 1. File 70. P. 4 rev. –5.
20. Novousolskie i Lenvenskie solyanye promysly [Novousolsk and Lenvensk Saltworks] // Gornyj zhurnal. Book 1. 1856. – P. 1–70.
21. Russian State Archive of Ancient Acts. Coll. 181. Manuscript collection of the Library of Moscow Main Archive of the Ministry of Foreign Affairs. Inv. 1. File. 1166.
22. Ustyugov, N.V. Solevarennaya promyshlennost Soli Kamskoj v XVII veke [Salt industry of Sol Kamskaya in the 17th century] / N.V. Ustyugov. – Moscow: the USSR Academy of Sciences. 1957. – 347 p.
23. SIKR NAKR. Coll. 165. Inv. 1. File 70. P. 1–4.
24. SIKR NAKR. Coll. 1. Inv. 1. File 1. P. 2.
25. SIKR NAKR. Coll. 165. Inv. 1. File 70. P. 5 rev.–6.
26. SIKR NAKR. Coll. 165. Inv.1. File 1. P. 63–65.
27. Opisanie trub na kazenom Ledengskom solevarennom zavode, ustroennyh dlya dobychi soli (prodolzhenie) [Description of wells at the state-owned Ledengsky saltwork intended for salt extraction (continued) // Gornyj zhurnal or collection of information about mining and salt business. – St. Petersburg, 1826. – No. 2. – P. 93–110.
28. SIKR NAKR. Coll. 165. Inv. 1. File 70. P. 7–10.
29. SIKR NAKR. Coll. 165. Inv. 1. File 70. P. 11–12 rev.
30. SIKR NAKR. Coll. 165. Inv. 1. File 70. P. 13–14 rev.
31. SIKR NAKR. Coll. 165. Inv. 1. File 117. P. 3.
32. Barbot-de-Marni, N. Geognosticheskoe puteshestvie v severnyya gubernii Evropejskoj Rossii [Geognostic journey to the northern provinces of European Russia] / N. Barbot-de-Marni // Notes of the Imperial St. Petersburg mineralogical society. Series 2. – Part III. – St. Petersburg: Printing house of the Imperial Academy of Sciences, 1868. – P. 204–283.
33. Skalkovskij, K. Sovremennoe polozhenie solevareniya v Severnyh guberniyah i budushhnost ih po otnosheniyu k gornoj promyshlennosti [The current situation of salt

production in the Northern provinces and their future in relation to the mining industry] / K. Skalkovskij // Gornyj zhurnal. Vol. II, 1865. – P. 75–97.
34. SIKR NAKR. Coll. 165. Inv. 1. File 39.
35. SIKR NAKR. Coll. 165. Inv. 1. File 355. P. 9–15.
36. SIKR NAKR. Coll. 165. Inv. 1. File 39. P. 12 rev.–13.
37. SIKR NAKR. Coll. 165. Inv. 1. File 283. P. 2.
38. SIKR NAKR. Coll.165. Inv.1. File 267. P. 2.
39. SIKR NAKR. Coll. 165. Inv. 1. File 1. P. 144–148 rev.
40. SIKR NAKR. Coll. 165. Inv. 1. File 424. P. 2.
41. SIKR NAKR. Coll. 165. Inv. 1. File 498. P. 2.
42. SIKR NAKR. Coll. 165. Inv. 1. File 518. P. 2.
43. Oficialnyj sajt Minkultury Rossii. Svedeniya iz Edinogo gosudarstvennogo reestra objektov kulturnogo naslediya (pamyatnikov istorii i kultury) narodov Rossijskoj Federacii [Official site of the Ministry of Culture of Russia. Information from the Unified State Register of Cultural Heritage Objects (monuments of history and culture) of the peoples of the Russian Federation.] URL: https://opendata.mkrf.ru/opendata/7705851331-egrkn. (accessed on 2.02.2022).

Благодарность (госзадание)

Статья подготовлена в рамках выполнения темы НИР «Развитие минерально-сырьевого комплекса Тимано-Североуральско-Баренцевоморского региона на основе эффективного прогноза, геологического моделирования, геолого-экономической оценки ресурсного потенциала и новых технологий переработки полезных ископаемых», ГР в системе ЕГИСУ НИОКТР – 1021051101666-2-1.5.1.

Информация об авторах:

Митюшева Татьяна Павловна – доцент, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института геологии имени академика Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН; Scopus Author ID: 55078202200, https://orcid.org/0000-0002-2973-4855 (Российская Федерация, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54; e-mail: mityusheva@geo.komisc.ru).

About the authors:

Tatiana P. Mityusheva – Associate Professor, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher, Institute of Geology, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; Scopus Author ID: 55078202200, https://orcid.org/0000-0002-2973-4855 (54, Pervomayskaya Str., Syktyvkar, Komi Republic, 167982, Russian Federation; mityusheva@geo.komisc.ru).

Для цитирования:

Митюшева, Т.П. Исторический очерк о соляных трубах (скважинах) Сереговского солеваренного завода (XVII-XIX века) / Т.П. Митюшева // Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия "Науки о Земле". – 2022. – № 2 (54). – С. 84-93. УДК 553.776:622.24 (470.1). DOI 10.19110/1994-5655-2022-2-84-93

For citation:

Mityusheva, T.P. Historical essay on salt pipes (wells) of Seregovo saltworks (17th–19th centuries) / T.P. Mityusheva // Proceedings of the Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Earth Sciences Series. – 2022. – No. 2 (54). – pp. 84-93. УДК 553.776:622.24 (470.1). DOI 10.19110/1994-5655-2022-2-84-93

Дата поступления рукописи: 26.04.2022
Прошла рецензирование: 28.04.2022
Принято решение о публикации:26.04.2022
Received: 26.04.2022
Reviewed: 28.04.2022
Accepted: 26.04.2022

Многосекционный вибрационный насос как элемент гидравлической системы, влияющий на реологические свойства добываемой продукции

М.Д. Гаджиев, А.В. Стрекалов

Тюменский индустриальный университет,
г. Тюмень

gadzhievmd@tyuiu.ru
strekalovav@tyuiu.ru

Аннотация

Скважинная добыча углеводородов является сложным технологическим процессом. Выбор механизированного способа добычи нефти в различных условиях эксплуатации является основой их последующей эффективной работы, результатом которой должна быть экономическая целесообразность. Эксплуатация скважин традиционными способами добычи в осложненных (жестких термобарических) условиях сопровождается множеством проблем, которые приводят к сокращению срока службы глубинно-насосного оборудования. Применение альтернативных (новых) способов добычи нефти позволило бы решить такие проблемы. К альтернативным способам добычи можно отнести вибрационный насос.

В предыдущих работах была рассмотрена установка вибрационного насоса (объемного и динамического) действия, которая состоит из последовательно соединенных секций. В этой же статье представлена характеристика гидравлической системы, которую можно описать в виде нелинейного уравнения, через узловой анализ структуры «пласт-скважина-насос-устье». Рассмотрено влияние вибрационного воздействия насоса и образования кавитационных процессов на вязкость жидкости. Сделан вывод, что представленный насос может привести к трансформации структурно-реологических свойств жидкости, уменьшая ее вязкость.

Ключевые слова:

Вибрационный насос, вязкость жидкости, кавитация, кавитационный процесс, вибрационное воздействие, дисперсные системы, реологические свойства жидкости, гидравлическая система

Multisectional vibration pump as an element of the hydraulic system that affects the rheological properties of the extracted product

M.D. Gadzhiev, A.V. Strekalov

Industrial University of Tyumen,
Tyumen

gadzhievmd@tyuiu.ru
strekalovav@tyuiu.ru

Abstract

Downhole production of hydrocarbons is a complex technological process. The choice of a mechanized method of oil production in various operating conditions is the basis for their subsequent effective work, the result of which should be economic feasibility. The operation of wells by traditional methods of production in complicated (hard thermo-baric) conditions is accompanied by many problems that lead to a reduction in the service life of downhole pumping equipment. The use of alternative (new) methods of oil production would solve such problems. An alternative extraction method is a vibratory pump.

In previous works, the installation of a vibration pump (volumetric and dynamic) was considered, which consists of series-connected sections. The same article presents a characteristic of a hydraulic system, which can be described as a non-linear equation, through a nodal analysis of the "reservoir-well-pump-mouth" structure. The influence of the vibration effect of the pump and the formation of receipt processes on the viscosity of the liquid is considered. It is concluded that the presented pump can lead to the transformation of the structural and rheological properties of the liquid, reducing its viscosity.

Keywords:

Vibration pump, liquid viscosity, cavitation, cavitation process, vibration effect, dispersed systems, fluid rheology, hydraulic system

Введение

На сегодняшний день в структуре запасов углеводородов наблюдается динамика увеличения доли трудноизвлекаемых запасов нефти, которая связана с различными факторами. Доля мировых запасов высоковязких нефтей составляет 810 млрд.т. [1]. Во многих странах данные запасы рассматривают в качестве основного базового сырья. За последние 10 лет технологии, позволяющие извлекать высоковязкие нефти, начали интенсивно развиваться.

Как уже говорилось в статьях [2, 3], вибрационный насос оказывает положительное воздействие на вязкость добываемой нефти, меняя реологические свойства. Принцип работы вибрационного насоса основан на изменении

давления воздуха и жидкости во внутренней камере за счет возвратно-поступательных движений штока. Принципиальная схема насоса представлена на рис. 1 а. При пропускании переменного электрического тока по виткам катушки электропривода насоса создается магнитное поле, направление линий которого меняется с периодичностью 50 раз в секунду, благодаря чему якорь насоса начинает то притягиваться к сердечнику катушки, то отталкиваться от него, совершая возвратно-поступательные движения (вибрации). Движения якоря через шток передаются диафрагме, которая также начинает совершать осевые перемещения, тем самым перекачивая жидкость в насосно-компрессорные трубы (НКТ) за счет периодического изменения давления.

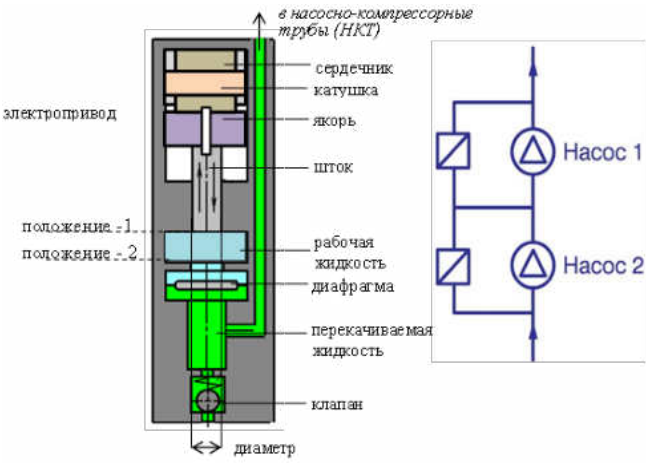


Рисунок 1. Схема вибрационного насоса: а – устройство вибрационного насоса, б – последовательное соединение двух вибрационных насосов.
Figure 1. Scheme of a vibration pump: a - vibration pump device, b - serial connection of two vibration pumps.

При последовательном соединении нескольких вибрационных насосов можно получить многосекционный насос, как представлено на рис. 1 б. Многосекционный вибрационный насос отличается тем, что каждая секция представлена отдельным модулем и выполнена, как вибрационный насос смешанного типа (динамического/ объемного), и подключаемая последовательно.

Рассмотрим многосекционный вибрационный насос как часть гидравлической системы.

Расчет гидравлической характеристики

Распределение расходов и давлений в моделях гидравлической системы при установившемся движении несжимаемой жидкости описывается:

- линейными соотношениями, аналогичными законам Кирхгофа для электрических схем;

- нелинейными уравнениями связи между перепадами давления на концах звеньев и расходами в них, которые называются замыкающими соотношениями или полными гидравлическими характеристиками звеньев.

Структура «пласт-скважина-насос-устье»

Рассмотрим гидравлическую систему на рис. 2 со структурой «пласт-скважина-насос-устье», состоящую из т-узлов и n-звеньев, в которой перемещается углеводородная смесь.

На рис. 2 а показана схема добычи углеводородов. Справа на рис. 2 б гидравлическая система представлена четырьмя звеньями (n=4, звенья – 0, 1, 2, 3) и пятью узлами (m=5, узлы – 0, 1, 2, 3, 4).

Закон гидравлического воздействия, связывающий перепад давления p_i' на концах звена n и установившийся расход q_i, задан для каждого звена $i \in [j_{ia}, j_{ib}]$ (где j_{ia} и j_{ib} – начальный и конечный узлы) и представлен в виде (1):

$$p_i' = f_i(q_i). \quad (1)$$

Выражение $f_i(q_i)$ зависит от гидравлического сопротивления [4], производительности насосов и других параметров системы и описывает взаимосвязь перепада давления от расхода только в связи с внутренними техническими параметрами объекта – звена i, но не от геометрического положения звена в пространстве, иначе говоря, не зависит от гидростатического перепада между узлами j_{ia} и j_{ib}, так как гидростатический перепад давления не зависит от величины расхода q^i.

На рис. 3 представлены зависимости перепада давлений

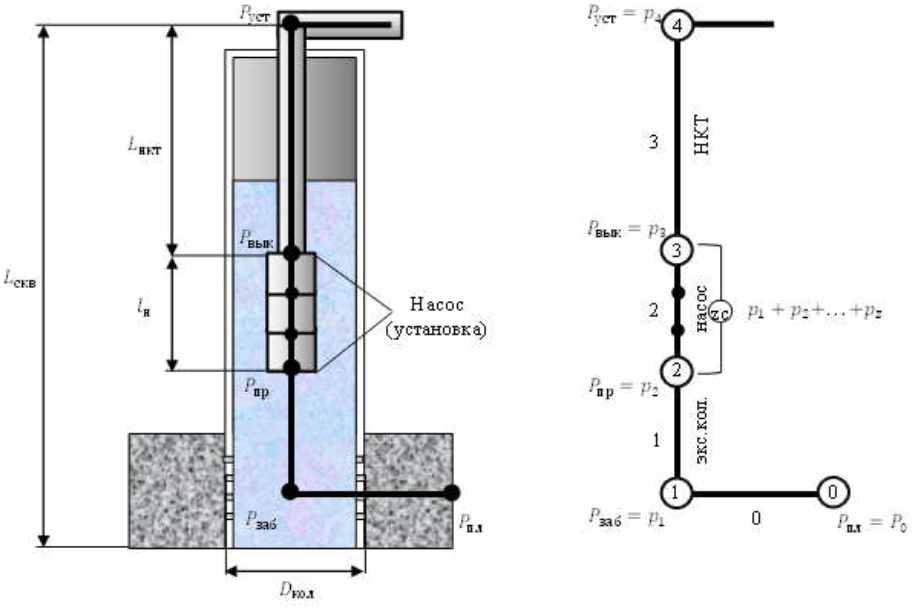


Рисунок 2. Схема механизированной добычи углеводородов многосекционным вибрационным насосом: а) – принципиальная схема механизированной добычи; б – схема гидравлической системы, представленная в виде узлов и звеньев; $P_{пл}$, $P_{заб}$, $P_{уст}$ – пластовое, забойное и устьевое давление соответственно, $P_{пр}$, $P_{вых}$ – давление на приеме и выкиде насоса соответственно, $L_{скв}$ – глубина скважины, $L_{нкт}$,$l_н$ – длина НКТ и насоса.
Figure 2. Scheme of mechanized production of hydrocarbons by a multi-sectional vibration pump: a) - schematic diagram of the mechanized production; b – diagram of the hydraulic system, presented in the form of nodes and links; $P_{пл}$, $P_{заб}$, $P_{уст}$ – reservoir, bottomhole and wellhead pressure, respectively; $P_{пр}$, $P_{вых}$ – pressure at the intake and discharge of the pump, respectively; $L_{скв}$ – well depth, $L_{нкт}$,$l_н$ – tubing and pump length.

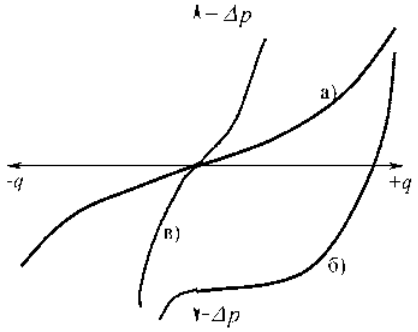


Рисунок 3. Некоторые формы функций f(q) для различных объектов технических гидросистем (ТГС): а – объект «труба»; б – объект «насос», электропитание включено; в – объекте «насос», электропитание выключено.
Figure 3. Some forms of functions f(q) for various objects of technical hydraulic systems (THS): a – «pipe» object; b – «pump» object, power supply is on; c –«pump» object, power is off.

и расхода жидкости для различных объектов технических гидросистем.

Гидравлическую характеристику структуры можно представить в виде нелинейного уравнения (2):

$$P_0-\Delta p_{0-1}-\Delta p_{1-2}-\Delta p_{2-3}-\Delta p_{3-4}-\Delta z\rho g=p_c=p_4. \quad (2)$$

где Δp_{2-3} – перепад давления, создаваемый вибрационным насосом, состоящим из определенного количества секций вибрационного насоса – z, которых должно быть достаточно, чтобы поднять углеводородную смесь до устья скважины.

$$\Delta p_{2-3}=\sum_z \Delta p_{\text{сек}}=f_{\text{н}}(q). \quad (3)$$

Подставим (3) в выражение (2):

$$P_0-\Delta p_{0-1}-\Delta p_{1-2}-\sum_z \Delta p_{\text{сек}}-\Delta p_{3-4}-\Delta z\rho g=p_c=p_4. \quad (4)$$

Иначе говоря, перепад давления, создаваемый вибрационным насосом в выражении (4), можно сравнить с установкой электроцентробежного насоса (УЭЦН), который состоит из множества секций. Чем больше секций, тем больше перепад давления, создаваемый насосом. Методика определения необходимого количества ступеней вибрационного насоса аналогична подбору ступеней для УЭЦН.

Скоростной напор

На эффективность насоса влияет скоростной напор. Данный параметр, согласно закону Бернули, создает дополнительное давление (за счет большого количества хода диафрагмы) и рассчитывается по формуле (5):

$$dp=\alpha\frac{v^2}{2g}, \quad (5)$$

где α – коэффициент распределения скоростей от 0,8 до 1,5, который учитывает неравномерности распределения скоростей по сечению на удельную кинетическую энергию потока, вычисленного по средней скорости, v – скорость течения жидкости, выражаемая в виде (6):

$$v=\frac{Q}{S_{\text{шт}}}=\frac{4Q}{\pi d^2}=\frac{4(360\pi d^2 l_{\text{пл}} n_{\text{кол}})}{\pi d^2}=$$

$$=1440 l_{\text{пл}} n_{\text{кол}}. \quad (6)$$

Из формулы (6) видно, что скорость жидкости прямо пропорциональна количеству колебаний установки ($n_{\text{кол}}$=3000 колебаний в минуту при частоте 50 Гц). Исходя из этого, добавим параметр скоростного напора в выражение (2).

$$P_0-\Delta p_{0-1}-\Delta p_{1-2}-\left(\sum_z \Delta p_{\text{сек}}+\alpha\frac{v^2}{2g}\right)-$$

$$-\Delta p_{3-4}-\Delta z\rho g=p_c=p_4, \quad (7)$$

Вибрационный насос является насосом объемного действия. Однако учитывая тот факт, что его эксплуатация может осуществляться при высоких частотах (как и с УЭЦН), то насос можно отнести и к насосам динамического действия.

Потери давления на преодоление гидравлического сопротивления

Учтем в выражении (7) давление на преодоление трения – $\Delta P_{\text{тр}}$ для трубы круглого сечения. Параметр будет зависеть от длины трубопровода – L, скорости потока жидкости в системе – v и внутреннего диаметра – d.

$$\Delta P_{\text{тр}}\approx\lambda\frac{Lv^2\rho}{2d}, \quad (8)$$

где λ – коэффициент гидравлических сопротивлений (гидравлического трения) потока жидкости, оказывающий противодавление со стороны трубопроводной системы. Вычисляется по формуле Колбрука-Уайта [5], представляющей собой соотношение между коэффициентом трения – λ, числом Рейнольдса – Re, шероховатостью трубы – Δ.

$$\lambda=\frac{1}{\left[21g\left(\frac{2.51}{Re\sqrt{\lambda}}+\frac{\Delta}{3.7}\right)\right]^2}. \quad (9)$$

Потери давления могут быть по длине трубопровода, которые вызваны силами вязкого трения – $\Delta P_{\text{тр}}$, а также местными гидравлическими сопротивлениями $\Delta P_{\text{мс}}$, которые вызваны изменением формы или размера проходного сечения трубопровода.

Ниже на рис. 4 представлены различные зависимости для трубы круглого сечения.

Подставим $\Delta P_{\text{тр}}$ и $\Delta P_{\text{мсв}}$ в выражение (7):

$$P_0-\Delta p_{0-1}-\Delta p_{1-2}-\left(\sum_z \Delta p_{\text{сек}}+\alpha\frac{v^2}{2g}\right)-$$

$$-\Delta p_{3-4}-\Delta z\rho g-\Delta P_{\text{тр}}-\Delta P_{\text{мс}}=p_c=p_4. \quad (10)$$

Представленное нелинейное уравнение связи между перепадами давления и расходами описывает полную гидравлическую характеристику звеньев и позволяет согласовать гидравлические показатели технической гидросистемы и гидросистемы продуктивных пластов. Для решения задач, связанных, например, с согласованием работы скважинного оборудования, наземной сети сбора и/или ППД и гидросистем продуктивного пласта, требуется уже решение системы уравнений.

Воздействие вибрационного насоса на вязкость нефти

Рассмотрим такой важный параметр, как вязкость жидкости. Данный параметр очень важен при расчете гидросистем. Для работы с жидкостями с повышенной вязкостью к оборудованию предоставляются особые требования, так как на подъем такой продукции тратится больше энергии.

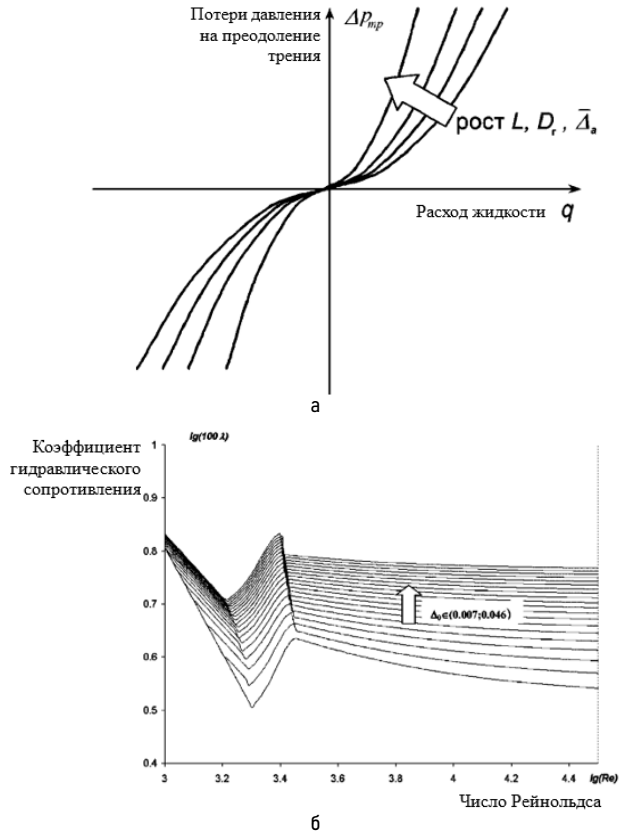


Рисунок 4. Различные зависимости параметров, описывающих потери давления на преодоление гидравлического сопротивления для трубы круглого сечения: а – типовая зависимость $\Delta p_{тр}=f(q)$, б – расчетная зависимость коэффициента сопротивления $\lambda(Re, \bar{\Delta})$ для неравномерно-зернистой шероховатости. L – длина трубопровода, D – диаметр трубопровода, $\bar{\Delta}$ – шероховатость трубы.

Figure 4. Different dependences of parameters describing pressure losses to overcome hydraulic resistance for a round pipe: a – typical dependence $\Delta p_{тр}=f(q)$, b – calculated dependence of the drag coefficient $\lambda(Re, \bar{\Delta})$) for uneven-grained roughness. L – pipeline length, D – pipeline diameter, $\bar{\Delta}$ – pipe roughness.

Реологические свойства дисперсных систем

Нефть можно представить в виде модели дисперсионной системы, которая характеризуется коллоидно-химическими и структурно-механическими свойствами. Причинами образования дисперсной фазы служат межмолекулярные соединения.

Свойства, геометрия и структура частиц дисперсионной фазы нефтяной дисперсионной системы напрямую зависят от содержания структурообразующих компонентов, таких как смолы, асфальтены и парафины [6]. Данные среды имеют структурно-механические свойства. Структурно-механическую прочность можно описать понятием сложная структурная единица, введенным З.И. Сюняевым [7]. Сложная структурная единица имеет преимущественно сферическую форму и представляет собой две области:

- внутренняя область (ядра), которая образована высокомолекулярными алифатическими и полиареновыми углеводородами, смолисто-асфальтеновыми компонентами,
- сольватная оболочка.

В своих работах [8, 9] А.Н. Ратов сделал предположение, что принципом структурообразования в высоковязких нефтях служат межмолекулярные взаимодействия высокомолекулярных фрагментов смолисто-асфальтеновых компонентов. Взаимодействие осуществляется сильным парамагнетизмом полиароматических структур.

Рассмотрим агрегативную устойчивость нефтяных дисперсных систем.

Суспензии, в частности парафина в нефти, характеризуются такими параметрами, как кинетическая и агрегативная устойчивость, или способность суспензии сохранять степень дисперсности взвешенных в жидкой фазе частиц во времени.

Алифатические углеводороды образовывают цепные молекулы (большой длины), связь между которыми осуществляется за счет дисперсионных сил Ван-Дер-Ваальса между метиленовыми группами или концевыми метильными группами. В растворах молекулы существуют как в виде прямолинейных цепей, и имея сетку зацеплений, но в данном случае кристаллическая структура будет многообразной.

Из вышеперечисленного можно сделать вывод, что высоковязкие нефти имеют в составе сложные молекулы. Любой вид физического влияния на нефтяную дисперсную среду может привести к трансформации структурно-реологических свойств [10].

Вибрационное воздействие снижает механическое сопротивление, увеличивает массообмен и теплообмен, ускоряет процесс химических реакций, позволяет добиться снижения показателя вязкости за счет уменьшения агрегирующей связи высокомолекулярных соединений и приводит к уменьшению мицеллярных частиц.

При течении жидкости в ламинарном режиме слои жидкости имеют разные скорости течения. Отношение разности движения двух слоев характеризуется скоростью сдвига. Другими словами, градиент скорости сдвига характеризует изменение скорости в направлении, перпендикулярном течению.

Для ньютоновской жидкости имеется зависимость между касательным напряжением (τ), вызываемым жидкостью, и градиентом скорости сдвига ($d\gamma/dt$) или градиента скорости (du/dh), как показано на рис. 5.

Скорость подвижного тела - u - равна (dx/dt), а градиент скорости можно представить в виде:

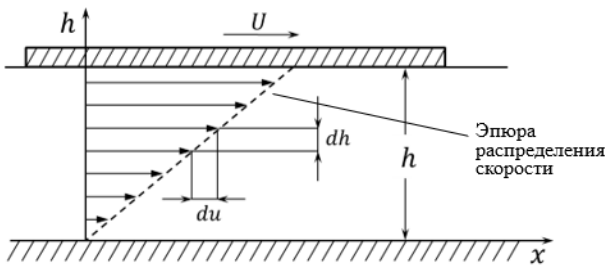


Рисунок 5. Схема Куэтта (схема течения жидкости). U – скорость движения пластины, h – расстояние между подвижной пластиной и неподвижной поверхностью, dh – расстояние между слоями жидкости, du – разность скоростей между слоями жидкости

Figure 5. Couette scheme (liquid flow diagram). U – plate speed, h – distance between moving plate and fixed surface, dh – distance between the liquid layers, du – velocity difference between fluid layers.

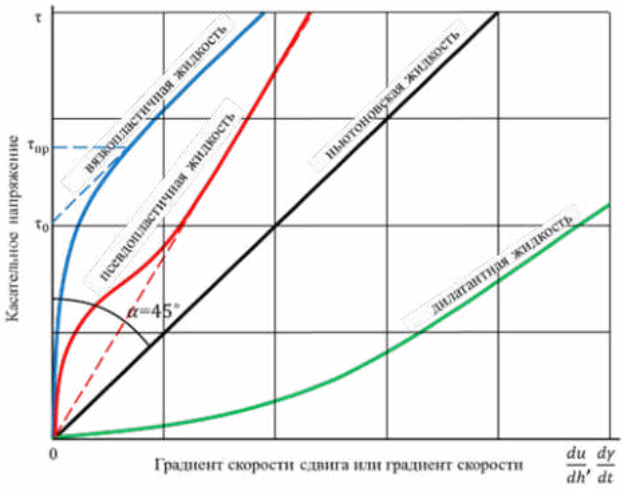


Рисунок 6. Реологические линии.
Figure 6. Rheological lines.

$$\frac{du}{dh} = \frac{d}{dh}\left(\frac{dx}{dt}\right) = \frac{d}{dt}\left(\frac{dx}{dh}\right), \quad (11)$$

где отношение (dx/dh) описывает сдвиг слоев жидкости или деформацию γ.

Подставив ее в (11), получим (12):

$$\frac{du}{dh} = \frac{d\gamma}{dt}. \quad (12)$$

Нагрузки, вызывающие деформацию, при которой начинается течение жидкости, обуславливают напряжение сдвига. Отношение напряжения сдвига к скорости сдвига характеризует вязкость жидкости.

Для ньютоновских жидкостей выражение будет выглядеть так (13):

$$\tau = \mu\frac{du}{dh} = \mu\frac{d\gamma}{dt}, \quad (13)$$

где μ – коэффициент пропорциональности, или вязкость, которая не зависит от градиента скорости или сдвига.

Зависимость касательного напряжения в функции градиента скорости или сдвига течения жидкости называют реологическими линиями. И.Т. Мищенко в своей работе [5] представил их в виде графика (рис. 6).

Универсальную формулу для расчета скоростей сдвига реологической линии можно описать уравнением (14):

$$\tau = \mu_{ж}\left(\frac{d\gamma}{dt}\right)^{n}, \quad (14)$$

где n – индекс течения (для ньютоновских жидкостей n = 1), K – показатель вязкости, или характеристика консистентности.

Зависимость вязкости (μ) от скорости сдвига (du/dh) связывают с процессом разрушения структуры при повышении скорости и ее восстановления при снижении (du/dh).

Влияние кавитационного процесса на вязкость

В установке многосекционного вибрационного насоса наблюдается процесс кавитации. Данный процесс прослеживается образованием и последующим схлопыванием в жидкости пузырьков газа. На интенсивность и развитие кавитации оказывают влияние множество факторов, таких как внешнее давление и температура, вязкость и поверхностное натяжение, содержание воздуха и других газов в потоке жидкости, а также масштабные эффекты. Как правило, данное явление негативно сказывается на процессы добычи углеводородного сырья, так как способствует эрозийным процессам системы. Однако при правильном проектировании рабочих областей насоса (через которые происходит движение жидкости) и подборе необходимого металла для его изготовления можно добиться положительного эффекта для снижения вязкости добываемой продукции за счет локального роста температуры на микроуровне.

Кавитация нашла свое место во всех отраслях промышленности, для которых необходимо ускорение химических реакций, очистка, дегазация жидкости, эмульгирование и др.

Рассмотрим теоретические основы процесса кавитации.

Есть предположение, что процесс кавитации возникает при условиях, когда давление на некоторых участках потока жидкости снижается до давления насыщенных паров. Если перекачиваемая жидкость содержит большое количество растворенных в ней газов, уменьшение давления приводит к выделению этих газов и образованию газовых полостей (каверн), давление в которых выше давления насыщенных паров [11]. В тех случаях, когда жидкость содержит микроскопическое количество пузырьков, кавитация может возникать при давлениях, превышающих давление насыщенного пара. Образовавшийся из ядра кавитации пузырек растет до конечных размеров, после чего схлопывается. Предполагается, что весь процесс жизни пузырька занимает нескольких миллисекунд.

Исходя из закона Бернули, энергия жидкости без трения вдоль ее направления постоянна и представляется выражением (15):

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 = const \quad , \quad (15)$$

где P_1, v_1 и P_2, v_1 – давление и скорость текущей жидкости при переходе из участка трубы с большим диаметром (большей площадью поперечного сечения) в участок с меньшим диаметром, ρ – плотность жидкости.

Согласно данному выражению, можно сделать вывод, что при увеличении скорости движения частиц жидкости в трубе ($v_1<v_2$) давление потока понижается ($P_1>P_2$) пропорционально квадрату скорости жидкости и, наоборот (рис. 7). При рассмотрении жидкости, текущей по трубе, согласно уравнению неразрывности, в местах сужения трубы скорость жидкости возрастает и, следовательно, возможен процесс кавитации (рис. 8).

В работах [11, 12] авторы сформулировали классификацию кавитационных процессов, которая включает в себя:

- механический метод;
- акустический, или ультразвуковой метод;
- электрический метод;
- теплофизический метод;
- физический метод;

Создание вибрационным насосом кавитационных процессов относится к механическому методу, так как данный метод способствует высокоскоростному движению тел, при котором кавитационная зона образуется за движущим телом, а также представляет собой создание пониженного давления в жидкости в процессе хода диафрагмы или поршня вверх, при этом кавитация происходит во всем

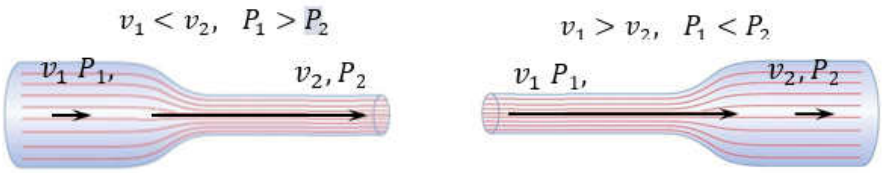


Рисунок 7. Схема потока жидкости в трубе разного диаметра.
Figure 7. Scheme of fluid flow in a pipe of different diameters.

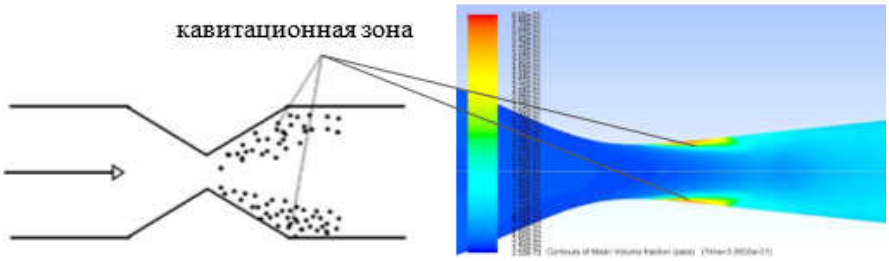


Рисунок 8. Схема образования процесса гидродинамической кавитации в трубе разного диаметра.
Figure 8. Scheme of the formation of the process of hydrodynamic cavitation in a pipe of different diameters.

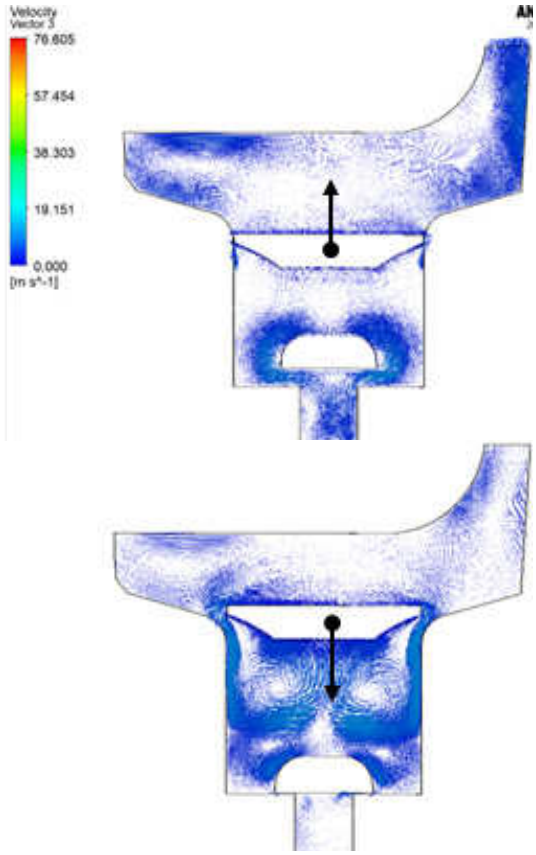


Рисунок 9. Эпюра распределения скоростей потока жидкости в вибрационном насосе.
Figure 9. Plot of the distribution of fluid flow rates in a vibration pump.

объеме жидкости. В качестве примера можно рассмотреть эпюру распределения скоростей в вибрационном насосе, предназначенном для перекачивания технической воды (рис. 9).

Резюмируя вышеперечисленное, можно сказать, что процесс кавитации способствует механохимической активации, выраженной в том, что в зоне схлопывания пузырьков газа происходит резкое увеличение температуры и возникает перепад давления. Посредством механохимической активации могут изменяться физико-химические характеристики жидкости, к которым относится вязкость.

Вывод

1. Представлено нелинейное уравнение гидравлической характеристики структуры «пласт-скважина-насос-устье», где перепад давления вибрационного насоса можно представить суммой перепадов давлений, создаваемых секциями вибрационных насосов – $\Delta p_{2\text{-}3} = \sum_z \Delta p_{сек} = f_н(q)$.
2. В физических растворах при инфра- и ультразвуковом воздействии разрушаются их мицеллярные связи, а также слабые химические связи высокомолекулярных соединений АСПО, которые существенно увеличивают вязкость перекачиваемой нефти. Таким образом, виброзвуковое воздействие описываемого насоса положительным образом будет влиять на снижение вязкости в жидкостях, не насыщенных газом.
3. Кавитационные процессы, создаваемые вибрационным насосом, приводят к локальному росту температуры на микроуровне и разрушают связи длинномолекулярных соединений, уменьшая вязкость жидкости.

Литература

1. Башкирцева, Н.Ю. Высоковязкие нефти и природные нефти / Н.Ю. Башкирцева // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17, № 19. – С. 296–299.
2. Гаджиев, М.Д. Оптимизация механизированной добычи на малодебитном фонде нефтегазовых месторождений / М.Д. Гаджиев, А.В. Стрекалов // Естественные и технические науки. – 2022. – № 2 (165). – DOI 10.25633/ETN.2022.02.08.
3. Гаджиев, М.Д. Исследование работы двух вибрационных насосов при последовательном соединении / М.Д. Гаджиев, Д.Е. Васьков, К.Е. Мацюк, А.В. Стрекалов // Вестник Евразийской науки. – 2022. – № 2. – URL: https://esj.today/PDF/23NZVN222.pdf.
4. Стрекалов, А.В. Математические модели гидравлических систем для управления системами поддержания пластового давления / А.В. Стрекалов. – Тюмень: ОАО «Тюменский дом печати», 2007. – 661 с.
5. Мищенко, И.Т. Скважинная добыча нефти: учебное пособие для вузов / И.Т. Мищенко. – Москва: М71 ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2003. – 816 с. – ISBN 5-7246-0234-2.
6. Ануфриев, Р.В. Влияние ультразвуковой обработки на структурно-механические свойства и состав нефтяных дисперсных систем: дис. ... к.х.н.: нефтехимия / Р.В. Ануфриев. – Томск, 2017. – 170 с.

7. Сюняев, З.И. Нефтяные дисперсные системы / З.И. Сюняев, Р.З. Сюняев, Р.З. Сафиева. – Москва: Химия, 1990. – 226 с.
8. Ратов, А.Н. Особенности структурообразования в высоковязких парафинистых нефтях / А.Н. Ратов [и др.] // Химия и технология топлив и масел. – 1995. – № 1. – С. 22-24.
9. Ратов, А.Н. Физико-химическая природа структурообразования в высоковязких нефтях и природных битумах и их реологические различия / А.Н. Ратов // Нефтехимия. – 1996. – Т. 36, № 3. – С. 195–208.
10. Урьев, Н.Б. Физико-химические основы технологии дисперсных систем и материалов / Н.Б. Урьев. – Москва: Химия, 1988. – 256 с.
11. Терентьева, В.Б. Применение механохимической активации тяжелых нефтяных остатков для повышения глубины переработки нефти: дис. к.х.н.: нефтехимия / В.Б. Терентьева. – Москва, 2020. – 170 с.
12. Кравченко, О.В. Физико-химические преобразования углеводородных соединений с использованием новых кавитационных устройств / О.В. Кравченко // Авиационно-космическая техника и технология. – 2007. – № 1 (37). – С. 65.

References

1. Bashkirtseva, N.Yu. Vysokovyazkie nefti i prirodnye nefti [High-viscosity oils and natural oils] / N.Yu. Bashkirtseva // Vestnik of the Kazan Technological University. – 2014. – Vol. 17, No. 19. – P. 296–299.
2. Gadzhiev, M.D. Optimizatsiya mekhanizirovannoj dobychi na malodebitnom fonde neftegazovyh mestorozhdenij [Optimization of artificial lift in the marginal fund of oil and gas fields] / M.D. Gadzhiev, A.V. Strekalov // Natural and technical sciences – 2022. – No. 2 (165) – DOI 10.25633 / ETN.2022.02.08.
3. Gadzhiev, M.D. Issledovanie raboty dvuh vibratsionnyh nasosov pri posledovatelnom soedinenii [Study of the operation of two vibration pumps in series connection] / M.D. Gadzhiev, D.E. Vaskov, K.E. Matsyuk, A.V. Strekalov // Bulletin of Eurasian Science. – 2022. – No.2. – URL: https://esj.today/PDF/23NZVN222.pdf.
4. Strekalov, A.V. Matematicheskie modeli gidravlicheskih sistem dlya upravleniya sistemami podderzhaniya plastovogo davleniya [Mathematical models of hydraulic systems to control reservoir pressure maintenance systems] / A.V. Strekalov. – Tyumen: OJSC "Tyumen Printing House", 2007. – 661 p.
5. Mishchenko, I.T. Skvazhinnaya dobycha nefti: Uchebnoe posobie dlya vuzov [Borehole oil production: Textbook for universities]. I.T. Mishchenko. – Moscow: M71 Federal State Unitary Enterprise Publishing House "Oil and Gas" of Russian State University of Oil and Gas named after I.M. Gubkin, 2003. – 816 p. – ISBN 5-7246-0234-2.
6. Anufriev, R.V. Vliyanie ultrazvukovoj obrabotki na strukturno-mekhanicheskie svojstva i sostav neftyanyh dispersnyh sistem: dis. na soiskanie uchennoj stepeni kandidata himicheskih nauk: neftekhimiya [Influence of ultrasonic treatment on the structural-mechanical properties and composition of petroleum dispersed systems: dis. for the degree of candidate of chemical sciences: petrochemistry] / Roman Viktorovich Anufriev. – Tomsk, 2017. – 170 p.
7. Sunyaev, Z.I. Neftyanye dispersnye sistemy [Oil disperse systems] / Z.I. Sunyaev, R.Z. Sunyaev, R.Z. Safieva. – Moscow: Chemistry, 1990. – 226 p.
8. Ratov, A.N. Osobennosti strukturoobrazovaniya v vysokovyazkih parafinistyh neftyah [Peculiarities of structure formation in high-viscosity paraffinic oils] / A.N. Ratov [et al.] // Chemistry and technology of fuels and oils. – 1995. – No. 1. – P. 22-24.
9. Ratov, A.N. Fiziko-himicheskaya priroda strukturoobrazovaniya v vysokovyazkih neftyah i prirodnyh bitumah i ih reologicheskie razlichiya [Physical and chemical nature of structure formation in high-viscosity oils and natural bitumens and their rheological differences] / A.N. Ratov // Petrochemistry. – 1996. – Vol. 36, No. 3. - P. 195-208.
10. Uriev, N.B. Fiziko-himicheskie osnovy tekhnologii dispersnyh sistem i materialov [Physico-chemical foundations of the technology of dispersed systems and materials] / N.B. Uriev. - Moscow: Chemistry, 1988. – 256 p.
11. Terentyeva, V.B. Primenenie mehanohimicheskoj aktivatsii tyazhelyh neftyanyh ostatkov dlya povysheniya glubiny pererabotki nefti: dis. na soiskanie uchennoj stepeni kandidata himicheskih nauk: neftekhimiya [Application of mechanochemical activation of heavy oil residues to increase the depth of oil refining: dis. for the degree of candidate of chemical sciences: petrochemistry] / Vera Borisovna Terentyeva. – Moscow, 2020. – 170 p.
12. Kravchenko, O.V. Fiziko-himicheskie preobrazovaniya uglevodorodnyh soedinenij s ispolzovaniem novyh kavitacionnyh ustrojstv [Physical and chemical transformations of hydrocarbon compounds using new cavitation devices] / O.V. Kravchenko // Aerospace Engineering and Technology. – 2007. – No. 1 (37). – p. 65.

Благодарность (госзадание)

Статья отражает результаты диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений».

Информация об авторах:

Гаджиев Магомедрашид Джалалидинович – ассистент Центра проектного обучения Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тюменский индустриальный университет» (Российская Федерация, 625000, г. Тюмень, ул. Володасркого, д. 38, e-mail: gadzhievmd@tyuiu.ru). SPIN-код: 4933-2496.

Стрекалов Александр Владимирович – профессор, доцент, д.г.-м.н. Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тюменский индустриальный университет» (Российская Федерация, 625000, Тюмень, ул.Володасркого, 38; e-mail: strekalovav@tyuiu.ru).

About the authors:

Magomedrashid D. Gadzhiev – post-graduate student, Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "Industrial University of Tyumen" (38, Volodarsky Str., Tyumen, 625000, Russian Federation; e-mail: gadzhievmd@tyuiu.ru). SPIN-code: 4933-2496.

Aleksandr V. Strekalov – Professor, Doctor of Science, Associate Professor, Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "Industrial University of Tyumen" (38, Volodarsky Str., Tyumen, 625000, Russian Federation; e-mail: strekalovav@tyuiu.ru).

Для цитирования:

Гаджиев, М.Д. Многосекционный вибрационный насос как элемент гидравлической системы, влияющий на реологические свойства добываемой продукции / М.Д. Гаджиев, А.В. Стрекалов // Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия "Науки о Земле". – 2022. – № 2 (54). – С.94-101. УДК 622.2. DOI 10.19110/1994-5655-2022-2-94-101

For citation:

Gadzhiev, M.D. Multisectional vibration pump as an element of the hydraulic system that affects the rheological properties of the extracted product / M.D. Gadzhiev, A.V. Strekalov // Proceedings of the Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Earth Sciences Series. – 2022. – No. 2 (54). – pp.94-101. УДК 622.2. DOI 10.19110/1994-5655-2022-2-94-101

Дата поступления рукописи: 26.04.2022
Прошла рецензирование: 30.04.2022
Принято решение о публикации: 26.04.2022
Received: 26.04.2022
Reviewed: 30.04.2022
Accepted: 26.04.2022

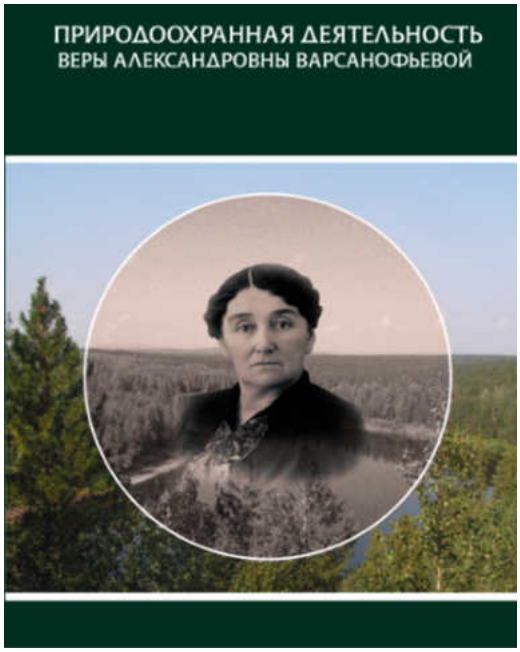
РЕЦЕНЗИИ

Вера Варсанофьева: вклад в природоохранную деятельность. Рецензия на книгу [1]

В.И. Оноприенко

Институт исследований научно-технического потенциала и истории науки им. Г.М. Доброва НАН Украины, Киев, Украина

valonopr@gmail.com



Книга "Природоохранная деятельность Веры Александровны Варсанофьевой" представляет собой научный сборник, приуроченный к 130-летию со дня рождения выдающегося отечественного геолога, первой в СССР женщины – доктора геолого-минералогических наук Веры Александровны Варсанофьевой. Издание освещает малоизвестные страницы природоохранной деятельности В.А. Варсанофьевой. На протяжении многих лет Вера Александровна неутомимо пропагандировала необходимость охраны живой природы, выступала с докладами, лекциями, статьями. В 1950-е гг. она сыграла выдающуюся роль в восстановлении системы советских заповедников, разрушенных реформой 1951 г., и сохранении Печоро-Илычского государственного заповедника. Роль, которая во многом остается неизвестной до настоящего времени. В сборник вошли не опубликованные ранее или малоизвестные тексты В.А. Варсанофьевой, посвященные охране природы и заповедному делу; документы ее организационной деятельности в этом направлении; личные письма, в которых она рассказывала друзьям и коллегам о своих начинаниях в данной области.

Авторами подготовлен научный сборник, отражающий ее участие в работе по охране природы в СССР, в сохранении Всероссийского общества охраны природы, в борьбе за сохранение и восстановление советских заповедников.

В книгу включены личные письма В.А. Варсанофьевой, тексты ее публичных выступлений, ранее не опубликованные или опубликованные небольшими тиражами статьи по вопросам охраны природы, экспертные заключения, коллективные письма, которые она подписала и в создании которых принимала участие, материалы различных конференций, инициатором и организатором (одним из организаторов) которых она выступила.

Оригиналы публикуемых в сборнике документов и фотографий (за исключением ранее опубликованных статей) хранятся в личных фондах В.А. Варсанофьевой в Российском государственном архиве экономики в Москве (Ф. 3), Научном архиве ФИЦ Коми научного центра УрО РАН в Сыктывкаре (Ф. 10), а также в Государственном архиве Российской Федерации, Архиве РАН, Библиотеке Московского общества испытателей природы, в фонде Комиссии по заповедникам Российского государственного архива экономики.

Документы представляют собой рукописные подлинники, содержащие редакторскую правку; машинописные копии, также содержащие правку; машинописные подлинники и заверенные машинописные копии; присутствует ряд документов, изданных типографским способом. Документы публикуются с необходимыми смысловыми и археографическими комментариями. В тексте сохранено оригинальное написание географических названий.

Опубликованные материалы и документы характеризуют отношение Веры Александровны Варсанофьевой к

[1] **Природоохранная деятельность Веры Александровны Варсанофьевой / авторы-составители А.А. Бровина, О.А. Валькова. – Сыктывкар: ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2021. – 216 с.: с ил.**

Vera Varsanofyeva: contribution to environmental protection. Book review [1]

V.I. Onoprienko

Institute for Scientific and Technological Potential and Science History Studies named after G.M. Dobrov of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine

valonopr@gmail.com

[1] **Prirodoohrannaya deyatelnost Very Aleksandrovny Varsanofievoj [Environmental protection activity of Vera Aleksandrovna Varsanofyeva] / Compiled by A.A. Brovina, O.A. Valkova. – Syktyvkar: Federal Research Centre Komi Science Centre, Ural Branch of the RAS, 2021. – 216 p.: with illustrations.**

живой природе и ее роль в восстановлении системы советских заповедников, разрушенных реформой 1951 г., а также в сохранении Печоро-Илычского государственного заповедника. Безусловно, создание национального парка «Югыд ва» – лучшая память о Вере Варсанофьевой, неукротимо ведшей борьбу за идею заповедования столь любимого ею сурового и необыкновенно богатого природой Печорского края в суровые сталинские времена.

Блок документальных материалов сборника открывается разделом «Реформы и реорганизации в природоохранной сфере (начало 1950-х гг.)» и первым номером в нем стоит Постановление Совета Министров СССР № 3192 «О заповедниках» Москва, от 29 августа 1951 г., подписанное И.В. Сталиным, с весьма характерным запугивающим и обвинительно-репрессивным стилем обращения. К нему неявно примешивается более демагогический по характеру стиль его партийного преемника Н.С. Хрущева. Выступать против таких документов было вовсе не безопасно и можно было вызвать мощную репрессивную реакцию. Поэтому и была избрана далеко не популярная форма обращения от имени научных обществ, причем не от первых лиц научного сообщества, часто обремененных административными обязанностями и вписанных в государственную вертикаль и потому в тоталитарном государстве не имевшими права иметь собственное мнение.

Вера Александровна Варсанофьева – харизматическая личность, она известна многим. Сама квалифицированный историк геологии, она тоже становилась объектом нескольких поколений историков науки и объектом благодарным. В рецензируемой книге обоснован новый подход к анализу ее наследия, установлены новые рамки исследования ее вклада в науку. Природоохранная деятельность до сих пор не прошла процесс научной институционализации, но именно она выражает специфику Варсанофьевой как исследователя. Это была сквозная линия ее генезиса. Она рано осознала и приняла как жизненный выбор работу в суровом северном краю, работу полевого геолога, много требующую от мужчин и вдвойне тяжкую для женщины. Наградой была необыкновенная красота и чистота природы.

Полевые работы в геологии – это всегда выезд в другой мир, с другим жизненным укладом, что позволяет обновить и разнообразить свои мироощущения. Вера Александровна полюбила быт, нравы, ценности малых народов Приуралья. И эта любовь была взаимной. Она всегда стремилась к тому, чтобы людей объединяли не просто функциональные связи, а чтобы это были люди одного общего дела, это всегда повышает эффективность труда.

Большое значение для Варсанофьевой имело то, что она рано нашла свое призвание, и раскрылся ее талант в преподавательской деятельности. Она была профессором, как говорят, от Бога. Результаты ее профессорства весьма впечатляющие. Эта деятельность прекратилась внезапно из-за частых советских реформ системы образования. Но кипучая натура Веры Александровны нашла себя в работе научных обществ и здесь в полной мере соединилась с природоохранной деятельностью. Она вполне владела советской риторикой и использовала этот дар на пользу охраны природы.

Существует фото ее последней экспедиции на Печору, где она в лодке, закутанная в шаль, гребет вместе с моим однокурсником по геолфаку Московского государственного университета Вадимом Черновым, представителем пятого поколения геологов Черновых, впоследствии профессором МГУ. Я льщу себя надеждой, что, пусть таким опосредованным путем, и я приобщился к этой замечательной личности.

Текст рецензии представлен в авторской редакции.

ЮБИЛЕИ

ЯКОВ ЭЛЬЕВИЧ ЮДОВИЧ (к 85-летию со дня рождения)

6 марта 2022 г. исполнилось 85 лет главному научному сотруднику лаборатории литологии и геохимии осадочных формаций, доктору геолого-минералогических наук, заслуженному работнику Республики Коми, заслуженному деятелю науки Российской Федерации Якову Эльевичу Юдовичу.

Яков Эльевич родился в г. Москве. В 1959 г. с отличием окончил геологический факультет Московского государственного университета по специальности «Геохимия». С 1959 по 1964 г. работал инженером-химиком, геологом, старшим геологом в Якутском и Северо-Западном геологических управлениях. В 1965–1966 гг. учился в аспирантуре Всесоюзного научно-исследовательского геологического института (ВСЕГЕИ). В 1967 г. во ВСЕГЕИ защитил кандидатскую диссертацию на тему «Геохимия угольных пластов и угольных включений в Приякутском районе Ленского угленосного бассейна». С 1967 г. работает в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН (пройдя путь от младшего до главного научного сотрудника). В 1984 г. в Институте геохимии и аналитической химии АН СССР (ГЕОХИ) защитил докторскую диссертацию на тему «Региональная геохимия осадочных пород».

Яков Эльевич Юдович – крупный ученый-геохимик, широко известный в стране и за рубежом своими исследованиями в области геохимии осадочных пород, автор более 400 опубликованных научных трудов, в том числе более 90 монографий, учебных пособий и других отдельных изданий. Его труды по ряду направлений геохимии являются пионерскими, некоторые вошли составной частью в учебники для вузов и получили широкую известность.

Я.Э. Юдович – лидер в области геохимии металлоносных черных сланцев. Его фундаментальные монографии в этой области содержат всесторонний анализ генетических проблем и указывают перспективные направления прогноза рудных месторождений в черносланцевых толщах. Я.Э. Юдович – основоположник геохимии породообразующих компонентов осадочных пород – литохимии, в рамках которой он разработал оригинальную химическую классификацию осадочных пород, методы диагностики вулканогенной и элювиально-гидролизатной примеси в породах и реконструкции субстрата метаморфитов. Эти работы получили высокую оценку научной общественности.

Я.Э. Юдович – один из мировых лидеров в области геохимии ископаемых углей. Серия книг (а также ряд крупных англоязычных статей) Я.Э. Юдовича по неорганическому веществу углей (включая их минералогию и геохимию), а также по экологической геохимии углей представляет собою первое и не имеющее аналога в отечественной и мировой геохимической литературе систематическое изложение всего комплекса проблем, касающихся содержания, распределения, минерального и химического состава неорганического вещества углей, в том числе присутствующих в углях токсичных и ценных элементов-примесей.

Я.Э. Юдович является наиболее авторитетным специалистом российской науки в области геохимии углей, посвятившим изучению этой проблемы около 45 лет своей научной деятельности. Благодаря серии публикаций в международных журналах, его труды стали известны и всей мировой научной общественности, о чем можно судить по весьма высокому уровню цитирования работ Я.Э. Юдовича по экологической геохимии мышьяка, ртути, селена, хлора, а также по оценке средних (кларковых) содержаний элементов примесей как в углях, так и в металлоносных черных сланцах. Им созданы базы данных по минералам – индикаторам и геохимическим индикаторам литогенеза, обобщающие огромный массив данных в области генетической минералогии и литологической геохимии. Он был организатором и руководителем Всероссийских школ по литохимии, совещаний по геохимии черных сланцев, по минеральным и геохимическим индикаторам литогенеза, читал курс лекций по геохимии на кафедре геологии Сыктывкарского госуниверситета, неоднократно выступал с лекциями по геохимии в различных городах России и за границей, активно пропагандируя достижения российской науки.

Яков Эльевич Юдович принимает активное участие в общественной жизни. Несколько лет подряд он избирался народным депутатом Верховного Совета Коми Республики

(1991–1995). За успешную научную и общественную работу награжден Почетными грамотами Президиума Верховного Совета Коми АССР и Президиума АН СССР, медалью «Ветеран труда». Ему присвоены звания «Заслуженный работник Республики Коми» (1997), «Заслуженный деятель науки Российской Федерации» (2003) и «Почетный деятель науки Республики Коми» (2012). За цикл работ по геохимии и геохимической экологии ископаемых углей Я.Э. Юдович удостоен премий имени А.П. Виноградова (2011) и Л.Д. Шевякова (2015). В 2018 г. награжден орденом Дружбы.

Коллеги и друзья от всей души поздравляют Якова Эльевича со знаменательной датой – 85-летним юбилеем! Желают крепкого здоровья, неиссякаемой жизненной энергии и оптимизма, плодотворной научной деятельности, успехов в реализации новых идей и проектов!

Коллектив Института геологии
имени академика Н.П. Юшкина
ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

Борис Алексеевич Голдин (1931–2021)

А путь и далек, и долог,
И нельзя повернуть назад...
Держись, геолог! Крепись, геолог!
Ты ветру и солнцу брат!

С. Гребенников,
Н. Добронравов

29 декабря 2021 г. исполнилось бы 90 лет со дня рождения замечательного ученого, наставника и Учителя – Бориса Алексеевича Голдина. Мы, его ученики и коллеги, сотрудники лаборатории керамического материаловедения, которую он создал, лаборатории ультрадисперсных систем Института химии всегда будем помнить о неподдельном интересе и активном участии Бориса Алексеевича в разработках перспективных материалов, новых эффективных технологий обогащения природного минерального сырья Республики Коми. Борис Алексеевич считал, что природа создала множество химических соединений, минералов, которые после дополнительной обработки могут быть основой материалов будущего – перспективных жаростойких керамических и композиционных материалов. Этот подход и был положен в основу развития нового направления материаловедения для Коми научного центра.

В молодые годы его увлечениями были музыка и спорт. Борис Алексеевич участвовал и в музыкальном ансамбле, и в заводском джазе как аккордеонист, регулярно посещал концерты симфонического оркестра. Увлекаясь хоккеем, он и его друзья старались не пропускать тренировки известных хоккеистов из команды мастеров, таких как «Крылья советов», приезжавших в послевоенное время в г. Пермь. Впоследствии многие ребята из юношеской хоккейной команды, участником которой был и сам Борис Алексеевич, стали крупными специалистами институтов и предприятий военно-промышленного комплекса.

Школьные военные годы в г. Перми, ряды комсомола, отличная учеба в Военно-механическом техникуме, успешное окончание технического факультета Пермского госуниверситета – и горный инженер Борис Алексеевич Голдин направляется в г. Сыктывкар, в филиал Академии наук СССР.

И начались полевые сезоны. «А вот и горы Приполярного Урала», – Б.А. Голдин любил ходить в маршруты на 25–30 км – быстро и далеко, легко и увлеченно. И обязательно находил дайку мелкокристаллических гранитов или занимался анализом всего спектра вулканитов. В течение многих лет Борис Алексеевич занимался изучением магматических формаций, в основном вулканогенных, и связанной с ними минерагении в разных районах севера Урала. Как специалист по петрологии магнитов, их формационному анализу и рудообразованию, он был лидером слаженной творческой группы, защитившей фундаментальный отчет «Магматические комплексы южной части Печорского Урала и их рудоносность». Борис Алексеевич впервые установил северо-западный уральский платино-золото-кобальт-медь-никеленосный рудный пояс, выделил новую перспективную для Урала Патокско-Саблинскую (Западно-Приполярно-Уральскую) платиноносную провинцию.

Исследовательский труд был для Б.А. Голдина главным содержанием его жизни. В 1964 г. он защитил кандидатскую диссертацию на тему «Интрузивные комплексы центральной части Ляпинского антиклинория (Приполярный Урал)». В 33-летнем возрасте получить звание кандидата наук по тем временам было большим личным достижением. Систематические исследования вулканитов позволили в 1974 г. защитить докторскую диссертацию на тему «Петрогенетическая эволюция рифейско-раннепалеозойского вулканизма севера Урала».

Важным этапом научных исследований Бориса Алексеевича был период детального геологического и технологического изучения кислых вулканитов, а в дальнейшем – бокситов, фарфоровых камней, ярегского лейкоксена и многих природных материалов для производства огнеупорных изделий конструкционной и броневой керамической защиты и других видов керамики.

С первых дней работы в Сыктывкарском государственном университете Борис Алексеевич инициировал работу по теме «Влияние внешних факторов на структуру и свойства кристаллов (минералов)». Под его руководством были исследованы закономерности роста кристаллов, дефекты в природных и выращенных кристаллах, изучение их структуры и свойств методами рентгеновской дифрактометрии, оптической и рамановской спектроскопии, микрозондовым методом. Решалась задача подготовки специалистов для строящегося в Сыктывкаре завода «Орбита», где был спроектирован участок по производству конструкционной керамики. Будучи проректором по научной работе

Сыктывкарского государственного университета, Б.А. Голдин занимался успешной научной и преподавательской деятельностью.

Для успешного развития в Республике Коми направления по производству конструкционной керамики в Коми научном центре была создана лаборатория физики и химии твердого тела под руководством доктора геолого-минералогических наук Бориса Алексеевича Голдина. Он всегда уделял особое внимание исследованию возможностей промышленного использования богатой минеральной сырьевой базы Республики Коми. На основе именно таких исследований изучены все основные виды минерального сырья РК, имеющие промышленно значимые месторождения: титановый лейкоксен Яреги, каолиниты Пузлы, бокситы Среднего Тимана, марганцевые родохрозиты и фарфоровые камни Приполярья, разнообразные глины.

Сотрудники приступили к разработке новых рецептур создания бронеударной керамики, керамической запорной арматуры, труб из композиционных материалов. Глубокое детальное изучение оксикарбидов и сложных оксидов титана позволило Борису Алексеевичу с сотрудниками лаборатории разработать технологии получения новых керамических материалов для твердотельной электроники и техники связи: СВЧ-диэлектриков, объемных и пленочных резисторов, ионисторов, пьезо- и сегнетоэлектриков, обладающих малыми массогабаритными характеристиками; электронных устройств, экономящих драгоценные металлы и повышающих надежность электронной техники.

Созданная в лаборатории керамического материаловедения при активном участии Б.А. Голдина высокоэффективная и экологически чистая технология по переработке лейкоксенового концентрата Ярегского месторождения для получения тугоплавких материалов на основе карбосилицидов титана, карбидов титана и кремния, наноламинатных композитов обеспечит комплексное использование ценных компонентов одного из самых перспективных месторождений Республики Коми. Научная интуиция Бориса Алексеевича проявилась и в том, что лейкоксеновый концентрат Ярегского месторождения как по химическому составу, так и по морфологическому строению идеально подходит для синтеза карбосилицида титана методом вакуумного карботермического восстановления. За цикл работ «Создание научных основ перспективных технологий обогащения минерального сырья Республики Коми и получения наукоемкой товарной продукции – порошков, керамики и композитов на его основе» Борис Алексеевич со своими учениками удостоены Государственной премии Республики Коми.

Борис Алексеевич был замечательным человеком, чутким наставником, проявлял готовность к общественной и научно-организационной деятельности. С ним было легко общаться и работать. Находясь на должности заместителя председателя Президиума Коми научного центра, он продолжал заниматься научной работой, воспитанием и обучением молодых ученых, активно поддерживал научные инновации.

Заслуги Б.А. Голдина отмечены юбилейной медалью «За доблестный труд» и орденом «Знак почета», Почетными грамотами Президиума Верховного Совета Коми АССР, Академии наук СССР и Российской Академии наук.

Он прошел славный путь от техника-конструктора до профессора и доктора наук. Нам посчастливилось учиться у него терпению, доброжелательности, трудолюбию, ответственности за свои дела, азартности в научных исследованиях, любви к музыке и спорту.

И мы, ученики и коллеги Б.А. Голдина, всегда будем помнить и чувствовать твердую надежную руку большого и талантливого руководителя, а также мягкого, доброго человека, каким был Борис Алексеевич.

Коллективы Института геологии
имени академика Н.П. Юшкина
и Института химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ И ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ

Журнал публикует научно-аналитические обзоры (объем до 1,5 печ.л.), оригинальные статьи (до 1,0 печ.л.) и краткие сообщения (до 0,3 печ.л.) теоретического и экспериментального характера по проблемам естественных, технических, общественных и гуманитарных наук. Статьи должны отражать результаты законченных и выполненных исследований. Изложение материала должно быть ясным и логически выдержанным. К публикации также принимаются комментарии к ранее опубликованным работам, информация о научных конференциях, рецензии на книги, хроника событий научной жизни.

Направляя статью в журнал, автор(-ы) соглашае(-ю)тся с **Положением о публикационной этике журнала** (http://www.izvestia.komisc.ru/docs/Ethics.htm). Решение о публикации принимается редакционной коллегией журнала после рецензирования, учитывая новизну, научную значимость и актуальность представленных материалов. Статьи, отклоненные редакционной коллегией, повторно не рассматриваются. При несоблюдении вышеперечисленных правил редколлегия оставляет за собой право отказать в публикации статьи.

Общие требования к оформлению рукописей

Авторская статья принимается к рассмотрению в электронном варианте в редакторе WinWord под Windows. Математические статьи могут подаваться в редакторе TEX. Электронная и бумажная версии статьи должны быть идентичны. Электронный вариант рукописи может быть прислан по электронной почте на адрес редакционной коллегии: **journal@frc.komisc.ru.** Текст должен быть набран на компьютере (шрифт Times New Roman, кегль 14) в одну колонку через 1,5 интервала на странице форматом А4. По всей статье шрифт должен быть одинаковым. Поля страниц оригинала должны быть не менее: левое – 25 мм, верхнее – 20 мм, правое – 10 мм, нижнее – 25 мм. Количество иллюстраций (таблицы, рисунки, фото) в статье не должно превышать 5 – 7 шт., количество иллюстраций в кратких сообщениях – 2 – 3 шт.

Первая страница рукописи оформляется следующим образом: в начале статьи указывается индекс Универсальной десятичной классификации (УДК); затем прописными буквами печатается название статьи, которое должно быть максимально кратким (информативным) и не содержать сокращений; далее следуют инициалы и фамилии авторов. Отдельной строкой дается название учреждения и города (для иностранных авторов – также страны). Ниже печатается электронный адрес для переписки.

Через один полуторный интервал следует аннотация на русском и английском языках, в которой отражаются: актуальность, цель и объект исследования, методы, результаты и их значимость. Необходимо, чтобы аннотации как на русском языке, так и на английском (Abstract) имели одинаковое количество знаков с пробелами, но не более 2500 знаков с пробелами.

После аннотации через полуторный интервал приводятся ключевые слова (не более 8 - 10). Далее идут инициалы и фамилии авторов, название статьи, аннотация и ключевые слова на английском языке.

Статья должна быть структурирована в формате IMRAD (Introduction, Methods, Results and Discussion):

- **введение** (проблема и ее актуальность, состояние ее изученности, цель (задача исследования, объект) (Introduction),
- **методы и материалы** (Data and Methods),
- полученные **результаты** и их новизна (Results),
- **заключение** и **список литературы** (Conclusions or Discussion and Implication).

Во **введении** должны быть обоснованы цель, существо и новизна рассматриваемой задачи.

В разделе «**Методы и материалы**» должны быть четко и кратко описаны методы и объекты исследования.

Единицы измерения следует приводить по Международной системе единиц (СИ). Подробно описываются только оригинальные **методы исследования**, в других случаях указывают только суть метода и дают обязательно ссылку на источник заимствования, а в случае модификации – указывают, в чем конкретно она заключается. Необходимо перечислить использованные **материалы** с указанием их количества и характеристик.

При первом упоминании терминов, неоднократно используемых в статье (однако не в заголовке статьи и не в аннотации), необходимо давать их полное наименование и общепринятое сокращение в скобках, в последующем применяя только сокращение. Сокращение проводить по ключевым буквам слов в русском написании. Все используемые, включая общепринятые, аббревиатуры должны быть расшифрованы при первом упоминании. Все названия видов флоры и фауны при первом упоминании в тексте обязательно даются на латыни с указанием авторов.

В разделе «**Обсуждение результатов**» полученные данные приводят либо в табличной форме, либо на рисунках, без дублирования одной формы другой и краткого описания результатов с обсуждением в сопоставлении с данными литературы.

В **заключении** делаются выводы, оцениваются новизна полученных результатов, их научная и практическая значимость.

Таблицы должны быть составлены в соответствии с принятым стандартом, без включения в них легко вычисляемых величин. Все результаты измерений должны быть обработаны и оценены с применением методов вариационной статистики. Таблицы нумеруются по мере упоминания в статье, каждой дается тематический заголовок (на русском и англий-

ском языках), и размещаются на отдельной странице. Таблицы призваны иллюстрировать текстовый материал, поэтому описывать их содержание в тексте не следует. Ширина таблицы должна быть либо 90 мм (на одну колонку), либо 185 мм (на две колонки). Текст в таблице набирается шрифтом Times New Roman, кегль 9 – 10, через два интервала. Сокращение слов в шапке таблиц не допускается. Пустые графы в таблицах не допускаются. Они должны быть заменены условными знаками, которые объясняются в примечании. Единицы измерения даются через запятую, а не в скобках: масса, г. Если таблица в статье одна, то ее порядковый номер не ставится, и слово «Таблица» не пишется.

Рисунки представляются пригодными для непосредственного воспроизведения, пояснения к ним выносятся в подрисуночные подписи (за исключением кратких цифровых или буквенных обозначений), отдельные фрагменты обозначаются арабскими цифрами или буквами русского алфавита, которые расшифровываются в подрисуночных подписях. Они прилагаются отдельно. Каждый рисунок должен сопровождаться подписью на русском и английском языках. Ширина рисунков должна быть либо 90 мм, либо 185 мм, высота – не более 240 мм. Шрифт буквенных и цифровых обозначений на рисунках – Times New Roman, кегль – 9 – 10. На рисунках следует использовать разные типы штриховок с размером шага, допускающим уменьшение, а не оттеночные заливки серого и черного цветов. Каждый рисунок должен быть выполнен на отдельной странице. На обратной стороне рисунка простым карандашом или ручкой указывается фамилия первого автора статьи и номер рисунка.

Карты должны быть выполнены на географической основе ГУГК (контурные или бланковые). Транскрипции географических названий должны быть сверены с последней редакцией Государственного каталога географических наименований Росреестра.

Математические символы, которые набираются прямым, а не курсивным шрифтом, типа log, lim, max, min, sin, tg, Ri, Im, числа Релея (Re), Россби (Ro), Кибеля (Ki) и другие, а также химические символы, отмечаются снизу квадратной скобкой. Необходимо также дать расшифровку всех используемых в статье параметров, включая подстрочные и надстрочные индексы, а также всех аббревиатур (условные сокращения слов). Следует соблюдать единообразие терминов. Нумерация формул (только тех, на которые есть ссылка в тексте) дается в круглых скобках с правой стороны арабскими цифрами.

В тексте цитированную литературу необходимо приводить только цифрами в квадратных скобках. Список литературы должен быть представлен на отдельной странице и составлен в порядке упоминания источников в тексте в соответствии с примером (см. ниже). Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

После списка литературы размещается References – Пристатейный список литературы в транслите (на латинице), далее в квадратных скобках – перевод названия статьи и журнала на английский язык. References повторяет в полном объеме, с той же нумерацией список литературы на русском языке, не зависимо от того, имеются ли в нем иностранные источники. Если в списке есть ссылки на иностранные публикации, они полностью повторяются как в списке литературы, так и в References.

В References не допускается сокращение названия города, наименований при обозначении издательства или ссылок на архивы. Например:

1. М.: ИМЭМО РАН, в References это будет Moscow: Inst. of World Economy and International Relations, RAS;
2. СПб.: ЦГА СПб. в References – St. Petersburg: Central State Archive of St. Petersburg;
3. М.: МАЭ РАН, в References – Moscow: Museum of Archaeology and Ethnography, RAS.

Список литературы и References оформляются в соответствии с требованием национального стандарта ГОСТ Р 7.0.100-2018 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления» (введен в действие 1 июля 2019 г.). Например:

Литература

1. Иванов, И.И. Название статьи / И.И. Иванов // Название журнала. – 2005. – Т. 41. – № 4. – С. 18 – 26.
2. Петров, П.П. Название книги / П.П. Петров. – Москва: Наука, 2007. – Общее число страниц в книге (например, 180 с.) или конкретная страница (например, С. 75).
3. Казаков, К.К. Название диссертации: дис. ... канд. биол. наук: специальность .. .. .. / Казаков Константин Константинович; Место защиты. – Москва: Издательство при наличии. – 2002. – 164 с.

References

1. Ivanov, I.I. Nazvanie stat'i [Article title] / I.I. Ivanov // Nazvanie zhurnala [Journal title]. – 2005. – Vol. 41. – № 4. – P. 18 – 26.
2. Petrov, P.P. Nazvanie knigi [Book title] / P.P. Petrov. – Moscow: Nauka, 2007. Общее число страниц в книге (например, 180 p.) или конкретная страница (например, P. 75).
3. Kazakov, K.K. Nazvanie dissertatsii [Dissertation title]: dis. ... kand. biol. nauk: special'nost' .. .. .. / Kazakov Kon-stantin Konstantinovich; Mesto zashity. – Moscow: Izdatel'stvo pri nalichii. – 2002. – 164 p.

При оформлении **электронных ресурсов** в конце добавляется точная ссылка на интернет-ресурс и дата обращения к нему.

1. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики (Росстат) [Электронный ресурс]. URL: https://www.gks.ru/ (дата обращения: 10.09.2019)

2. Роспатент и Минобрнауки России сокращают сроки рассмотрения патентных заявок для участников государственных программ [Электронный ресурс] // Официальный интернет-сайтом Федеральной службы по интеллектуальной собственности (Роспатент). URL: https://rupto.ru/ru/newsrospatminobrnauki. (дата обращения: 13.11.2018).

Также необходимо предоставить информацию об авторах на русском и английском языках: фамилия, имя, отчество, ученая степень, должность, место работы (полное название организации, точный адрес), Scopus ID, e-mail, ссылка на orcid, дата рецензирования.

Требования к электронной версии статьи

При подготовке материалов для журнала с использованием компьютера рекомендуются следующие программы и форматы файлов.

Текстовые редакторы: Microsoft Word for Windows. Текст статьи набирается с соблюдением следующих правил:

- набирать текст без принудительных переносов;
- разрядки слов не допускаются;
- уравнения, схемы, таблицы, рисунки и ссылки на литературу нумеруются **в порядке их упоминания в тексте**; нумеровать следует лишь те формулы и уравнения, на которые даются ссылки в тексте;
- в числовых значениях **десятичные разряды отделяются запятой**;
- вставка символов **Symbol.**

Графические материалы: растровые рисунки должны сохраняться только в формате TIFF с разрешением 300 dpi (точек на дюйм) для фотографий и не менее 600 dpi для остальных рисунков (черно-белый). Использование других форматов нежелательно.

Векторные рисунки (не диаграммы) должны предоставляться в формате программы, в которой они созданы: CorelDraw, Adobe Illustrator. Если использованная программа не является распространенной, необходимо сохранить файлы рисунков в формате Enhanced Windows Metafile (EMF) или Windows Metafile (WMF).

Диаграммы: рекомендуется использовать Microsoft Excel, Origin для Windows (до версии 6.0).

Не рекомендуется пользоваться при работе программой Microsoft Graph и программами Paint из Windows 95, Microsoft Draw.

Все статьи проходят рецензирование и в случае необходимости возвращаются авторам на доработку. Возможно повторное и параллельное рецензирование. Редакционная коллегия оставляет за собой право редактирования статьи. Статьи публикуются в порядке очередности, но при этом учитывается их тематика и актуальность. Редакционная коллегия сохраняет первоначальную дату поступления статьи, а следовательно, и очередность публикации, при условии возвращения ее в редакционную коллегию не позднее, чем через 1 месяц. Корректуру принятой в печать статьи редакционная коллегия иногородним авторам рассылает по e-mail. Автор в течение 5 – 7 дней должен вернуть ее в редакционную коллегию или передать правку по указанному телефону или электронному адресу (e-mail) редакционной коллегии. В случае отклонения материала рукописи, приложения и диски не возвращаются.

Рукописи статей **только простым письмом** направлять по адресу:
Ответственному секретарю редакционной коллегии
журнала «Известия Коми НЦ УрО РАН»
Андрею Яковлевичу Полле
167982, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 24,
Президиум Коми НЦ УрО РАН, каб. 209
Тел.: +7 (8212) 24-17-46
E-mail: journal@frc.komisc.ru

RULES FOR AUTHORS AND REQUIREMENTS FOR THE DESIGN OF MATERIALS

The journal publishes scientific and analytical reviews (up to 1.5 printer's sheets), original papers (up to 1.0 printer's sheets) and short reports (up to 0.3 printer's sheets) of a theoretical and experimental nature on the problems of natural, technical, social and humanitarian sciences. Papers should reflect the results of completed studies. The presentation of the material should be clear and logically sustained. Comments on previously published works, information about scientific conferences, book reviews, chronicle of scientific life events are also accepted for publication.

By submitting a paper to the journal, the author(s) agrees with the **Regulations on Publication Ethics of the journal** (http://www.izvestia.komisc.ru/docs/Ethics.htm). The decision on publication is made by the editorial board of the journal after reviewing, taking into account the novelty, scientific significance and relevance of the submitted materials. Papers rejected by the editorial board are not reviewed again. In case of non-compliance with the above rules, the editorial board reserves the right to refuse publication of the paper.

General requirements for the design of manuscripts

The author's paper is accepted for consideration in an electronic version in the WinWord for Windows. Mathematical papers can be submitted in the TEX editor. The electronic and paper versions of the paper should be identical. The electronic version of the manuscript can be sent by e-mail to the address of the editorial board: journal@frc.komisc.ru. The text must be typed on a computer (Times New Roman font, size 14) in one column at 1.5 interval on an A4 page. Throughout the paper, the font should be the same. The margins of pages of the original should be at least: left – 25 mm, top – 20 mm, right - 10 mm, bottom – 25 mm. The number of illustrations (tables, figures, photos) in the paper should not exceed 5-7 pcs., the number of illustrations in short messages – 2-3 pcs.

The first page of the manuscript is designed as follows: the Universal Decimal Classification Index (UDC) is indicated at the beginning of the paper; then the title of the paper is printed in capital letters, which should be as brief as possible (informative) and not contain abbreviations; then the initials and surnames of the authors follow. At a separate line the name of the institution and the city (for foreign authors - also the country) is given. The email address for correspondence is printed below. At 1.5 interval, an abstract in Russian and English (120-150 words) is given, which reflects: relevance, purpose and object of research, methods, results and their significance.

After the abstract, keywords are given at 1.5 interval (no more than 8-10). Next are the initials and surnames of the authors, the title of the paper, the abstract and keywords in English.

The paper should be structured in the IMRAD format (Introduction, Methods, Results and Discussion):

- **Introduction** (the problem and its relevance, the state of its study, the purpose (research objective, the object),
- **Methods and Materials** (Data and Methods),
- **Results** (the results obtained and their novelty),
- **Conclusion and References** (Conclusions or Discussion and Implication).

The purpose, essence and novelty of the problem under consideration should be substantiated in the **Introduction**.

The section "**Methods and materials**" should clearly and briefly describe the methods and objects of research.

Units of measurement should be given according to the International System of Units (SI). Only the original **research methods** are described in detail, in other cases you indicate only the essence of the method and necessarily give a link to the source of borrowing, and in the case of modification, you indicate what exactly it is. It is necessary to list the **materials** used, indicating their quantity and characteristics.

At the first mention of terms repeatedly used in the paper (but not in the title of the paper and not in the abstract), it is necessary to give their full name and generally accepted abbreviation in parentheses, subsequently using only the abbreviation. The abbreviation should be carried out by the key letters of words in Russian spelling. All abbreviations used, including common ones, should be deciphered at the first mention. All names of flora and fauna species at the first mention in the text must be given in Latin with the indication of the authors.

In the section "**Results and discussion**", the data obtained are presented either in tabular form or in figures, without duplication of one form with another one and a brief description of the results with discussion in comparison with the literature data.

In **Conclusion**, conclusions are drawn, the novelty of the results obtained, their scientific and practical significance are evaluated.

Tables should be compiled in accordance with an accepted standard, without including easily calculated values in them. All measurement results should be processed and evaluated using methods of variation statistics. Tables are numbered as they are mentioned in the paper, each is given a thematic title (in Russian and English), and placed on a separate page. The tables are intended to illustrate textual material, so it is not necessary to describe their content in the text. The width of the table should be either 90 mm (for one column) or 185 mm (for two columns). The text in the table is typed in Times New Roman font, size 9–10, in two intervals. Abbreviations of words in the header of tables are not allowed. Empty columns are

not allowed in tables. They should be replaced by conventional signs, which are explained in the note. Units of measurement are given using commas, and not in brackets: mass, g. If there is one table in the paper, then its ordinal number is not put, and the word "Table" is not written.

The figures appear to be suitable for direct reproduction, explanations to them are made in captions (with the exception of short numeric or alphabetic designations), individual fragments are indicated by Arabic numerals or letters of the Russian alphabet, which are deciphered in captions. They are attached separately. Each figure should be accompanied by a caption in Russian and English. The width of the figure should be either 90 mm or 185 mm, height – no more than 240 mm. The font of alphabetic and numeric designations in the figures is Times New Roman, size – 9-10. In the figures, you should use different types of hatching with a step size that allows for reduction, and not tint fills of gray and black colors. Each figure should be made on a separate page. On the reverse side of the figure, the surname of the first author of the paper and the number of the figure are indicated with a simple pencil or pen.

Maps should be made on the geographical basis of the GUGK (contour or blank). Transcriptions of geographical names should be checked with the latest edition of the State Catalog of Geographical Names of the Federal Register.

Mathematical symbols that are typed in a straight, not italic font, such as log, lim, max, min, sin, tg, Ri, Im, Rayleigh (Re), Rossby (Ro), Kibel (Ki) and others, as well as chemical symbols, are marked with a square bracket at the bottom. It is also necessary to give a transcript of all parameters used in the paper, including subscript and superscript indexes, as well as all abbreviations (conditional abbreviations of words). The uniformity of terms should be observed. The numbering of formulas (only those referred to in the text) is given in parentheses on the right side in Arabic numerals.

In the text, the cited literature should be given only in numbers in square brackets. The list of references should be presented on a separate page and compiled in the order in which sources are mentioned in the text in accordance with the example (see below). References to unpublished works are not allowed.

After the list of Literature References is placed – the list of references in transliteration (in Latin), then in square brackets – the translation of the title of the paper and the journal into English. References repeats in full, with the same numbering, the list of Literature in Russian, regardless of whether there are foreign sources in it. If there are references to foreign publications in the list, they are completely repeated both in Literature and in References.

The list of References should not include abbreviations of the name of the city, the names of publishing houses or links to archives. For example:

1. М.: ИМЭМО РАН in References it will be - Moscow: Inst. of World Economy and International Relations, RAS;
2. СПб.: ЦГА СПб. in References – St. Petersburg: Central State Archive of St. Petersburg;
3. М.: МАЭ РАН, in References - Moscow: Museum of Archeology and Ethnography, RAS.

Literature and References are drawn up in accordance with the requirement of the national standard GOST R 7.0.100-2018 "Bibliographic record. Bibliographic description. General requirements and rules of compilation" (entered into force on July 1, 2019). For example:

Литература

1. Иванов, И.И. Название статьи / И.И. Иванов // Название журнала. – 2005. – Т. 41. – № 4. – С. 18 – 26.
2. Петров, П.П. Название книги / П.П. Петров. – Москва: Наука, 2007. – Общее число страниц в книге (например, 180 с.) или конкретная страница (например, С. 75).
3. Казаков, К.К. Название диссертации: дис. ... канд. биол. наук: специальность .. .. .. / Казаков Константин Кон¬стантинович; Место защиты. – Москва: Издательство при наличии. – 2002. – 164 с.

References

1. Ivanov, I.I. Nazvanie stat'i [Paper title] / I.I. Ivanov // Nazvanie zhurnala [Journal title]. – 2005. – Vol. 41. – № 4. – P. 18 – 26.
2. Petrov, P.P. Nazvanie knigi [Book title] / P.P. Petrov. – Moscow: Nauka, 2007. Total number of pages in the book (for example, 180 pages) or a specific page (for example, P. 75).
3. Kazakov, K.K. Nazvanie dissertatsii [Dissertation title]: diss. ... Cand. Sci. (Biology): speciality .. .. .. / Kazakov Konstantin Konstantinovich; Place of defense. – Moscow: Publishing house if available. – 2002. – 164 p.

When registering **electronic resources**, an exact link to the Internet resource and the date of access to it are added at the end.

1. Official website of the Federal State Statistics Service (Rosstat) [Electronic resource]. URL: https://www.gks.ru / (accessed: 10.09.2019)
2. Rospatent and the Ministry of Education and Science of the Russian Federation reduce the terms of consideration of patent applications for participants of state programs [Electronic resource] // Official website of the Federal Service for Intellectual Property (Rospatent). URL: https://rupto.ru/ru/newsrospatminobrnauki. (accessed: 13.11.2018).

It is also necessary to provide information about the authors in Russian and English: surname, first name, patronymic, academic degree, position, place of work (full name of the organization, exact address), Scopus ID, e-mail, link to orcid, date of review.

Requirements for the electronic version of the paper

When preparing materials for the journal using a computer, the following programs and file formats are recommended.

Text editors: Microsoft Word for Windows. The text of the paper is typed in compliance with the following rules:

· typing text without forced hyphenation;

· word splitting is not allowed;

· equations, diagrams, tables, figures and references to literature are numbered **in the order they are mentioned in the text**; only those formulas and equations that are referenced in the text should be numbered;

· in numeric values, **decimal places are separated by a comma**;

· **Symbol** (inserting symbols).

Graphic materials: raster pictures should be saved only in TIFF format with a resolution of 300 dpi (dots per inch) for photos and at least 600 dpi for other images (black and white). The use of other formats is undesirable.

Vector pictures (not diagrams) should be provided in the format of the program in which they were created: CorelDRAW, Adobe Illustrator. If the program used is not common, it is necessary to save files of the pictures in the Enhanced Windows Metafile (EMF) or Windows Metafile (WMF) format.

Diagrams: It is recommended to use Microsoft Excel, Origin for Windows (up to version 6.0).

It is not recommended to use Microsoft Graph and Paint programs from Windows 95, Microsoft Draw when working.

All papers are reviewed and, if necessary, returned to the authors for revision. Repeated and parallel review is possible. The Editorial Board reserves the right to edit the paper. Papers are published in order of priority, but their subject matter and relevance are taken into account. The Editorial Board retains the initial date of receipt of the paper, and consequently, the order of publication, provided that it is returned to the editorial board no later than 1 month later. The Editorial Board sends the proofreading of the paper accepted for publication to nonresident authors by e-mail. The author must return it to the editorial board within 5-7 days or send the edit to the specified phone number or e-mail address (e-mail) of the Editorial Board. In case of rejection of the manuscript material, applications and disks are not returned.

Manuscripts of papers should be sent **only by a simple letter** to:

Andrey Ya. Polle
Executive Secretary of the Editorial Board
of the journal «Proc.of the Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS»,
Presidium of the Komi Science Centre, Ural Branch, RAS,
24, Kommunisticheskaya str., room 209
Syktyvkar 167982
Russia
Phone: +7 (8212) 24-17-46
E-mail: journal@frc.komisc.ru

Научный журнал

ИЗВЕСТИЯ
Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук
Серия «Науки о Земле»

№ 2 (54)

Номер подготовили:

Ответственный редактор серии – д.г.-м.н. А.М. Пыстин
Ответственный секретарь серии – д.г.-м.н. Н.С. Бурдельная
Редактор – О.А. Гросу
Компьютерное макетирование – Е.Н. Старцева
Корректура английского перевода – М.Е. Хлыбова

Лицензия № 0047 от 10.01.1999.
Подписано в печать 25.05.2022. Дата выхода в свет 20.06.2022.
Усл.-печ.л. 15. Уч.-изд.л. 14,25. Тираж 300. Заказ № 16.
Формат бумаги 60x84 1/8.
Свободная цена.

Подготовлено к изданию и отпечатано в редакционно-издательском отделе ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
167982, ГСП-2, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 24.

Адрес учредителя, издателя: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр «Коми научный центр УрО РАН».
167982, ГСП-2, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 24.