

Научный журнал

Основан в 2010 г.
Выходит 6 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

№6 (46)

Серия «НАУКИ О ЗЕМЛЕ»

2020

Главный редактор:

академик *А.М. Асхабов*

Зам. главного редактора — чл.-корр. РАН *В.Н. Лажнецов*

Ответственный секретарь — к.х.н. *А.Я. Полле*

Редакционная коллегия серии «Науки о Земле»:

д.г.-м.н. *А.М. Пыстин* (ответственный редактор),
к.г.-м.н. *Е.В. Антропова* (ответственный секретарь),
д.г.-м.н. *В.Л. Андреичев*, д.г.-м.н. *Л.Н. Андреичева*, д.г.-м.н. *А.И. Антошкина*,
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. Лажнецов*,
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. Прищепина*,
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. Удоротин*, д.г.-м.н. *Т.Г. Шумилова*,
д.г.-м.н. *В.В. Щипцов*, prof. *E.Ciftic* (Стамбул, Турция), prof. *P. Mannik* (Таллинн, Эстония)

Редакционный совет:

акад. *В.В. Алексеев*, чл.-корр. РАН *В.Н. Анфилогов*, д.и.н. *Е.Т. Артемов*,
чл.-корр. РАН *А.А. Барях*, д.м.н. *Е.Р. Бойко*, акад. *В.И. Бердышев*,
акад. *В.Н. Большаков*, д.э.н. *Н.М. Большаков*, проф. *Т.М. Бречко*, д.б.н. *М.В. Гецен*,
акад. *А.Д. Гвишиани*, д.б.н. *С.В. Дёгтева*, д.и.н. *А.Е. Загребин*,
д.э.н. *В.А. Ильин*, акад. *В.А. Коротеев*, чл.-корр. РАН *С.В. Кривовичев*,
д.и.н. *Е.Ф. Кринко*, чл.-корр. РАН *А.В. Кучин*, чл.-корр. РАН *Ю.Б. Марин*,
акад. *В.П. Матвеев*, д.и.н. *В.И. Меньковский*, акад. *Г.А. Месяц*,
д.и.н. *П.Ю. Павлов*, чл.-корр. РАН *Е.В. Пименов*, к.г.-м.н. *А.М. Плякин*,
чл.-корр. РАН *В.Н. Пучков*, чл.-корр. РАН *И.М. Роцевская*, акад. *М.П. Роцевский*,
д.х.н. *С.А. Рубцова*, д.и.н. *Э.А. Савельева*, к.и.н. *А.В. Самарин*, чл.-корр. РАН *А.Ф. Титов*,
д.филол.н. *Г.В. Федюнева*, акад. *В.Н. Чарушин*, д.т.н. *Ю.Я. Чукреев*,
д.б.н. *Е.В. Шамрикова*, акад. *В.С. Шацкий*, д.б.н. *Д.Н. Шамаков*, д.т.н. *Н.Д. Цхадая*

Адрес редакции:

167982, Республика Коми, Сыктывкар, ул.Коммунистическая, 24
Коми научный центр УрО РАН, каб. 317.
Тел. (8212) 24-47-79, факс (8212)24-22-64
E-mail: journal@frc.komisc.ru
www.izvestia.komisc.ru

Подписной индекс в каталоге «Почта России» 52047

Журнал включен в перечень
рецензируемых научных изданий ВАК

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.

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр «Коми научный центр УрО РАН», 2020

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

№6(46)

«EARTH SCIENCES» series

2020

Editor-in-chief:

academician *A.M. Askhabov*

Deputy editor-in-chief — RAS corresp. member *V.N. Lazhentsev*

Executive Secretary — Cand. Sci. (Chemistry) *A.Ya. Polle*

Editorial Board «Earth Sciences»:

Dr. Sci. (Geol.&Mineral.) *A.M. Pystin* (executive editor of the series),
Cand. Sci. (Geol.&Mineral.) *E.V. Antropova* (Executive Secretary),
Dr. Sci. (Geol.&Mineral.) *V.L. Andreichev*, Dr. Sci. (Geol.&Mineral.) *L.N. Andreicheva*,
Dr. Sci. (Geol.&Mineral.) *A.I. Antoshkina*, 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 Council:

acad. *V.V. Alekseev*, RAS corresp. member *V.N. Anfilogov*, Dr. Sci. (Hist.) *E.T. Artemov*,
RAS corresp. member *A.A. Baryakh*, Dr. Sci. (Med.) *E.R. Bojko*, acad. *V.I. Berdyshev*, acad. *V.N. Bolshakov*,
Dr. Sci. (Econ.) *N.M. Bolshakov*, Prof. *T.M. Brechko*, Dr. Sci. (Biol.) *M.V. Getsen*, acad. *A.D. Gvishiani*,
Dr. Sci. (Biol.) *S.V. Degteva*, Dr. Sci. (Hist.) *A.E. Zagrebin*, Dr. Sci. (Econ.) *V.A. Ilyin*, acad. *V.A. Koroteev*,
RAS corresp. member *S.V. Krivovichev*, Dr. Sci. (Hist.) *E.F. Krinko*, RAS corresp. member *A.V. Kuchin*,
RAS corresp. member *Yu.B. Marin*, acad. *V.P. Matveenko*, Dr. Sci. (Hist.) *V.I. Men'kovsky*,
acad. *G.A. Mesyats*, Dr. Sci. (Hist.) *P.Yu. Pavlov*, RAS corresp. member *E.V. Pimenov*,
Cand. Sci. (Geol.&Mineral.) *A.M. Plyakin*, 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*, Cand. Sci. (Hist.) *A.V. Samarin*,
RAS corresp. member *A.F. Titov*, Dr. Sci. (Philol.) *G.V. Fedyuneva*,
acad. *V.N. Charushin*, Dr. Sci. (Tech.) *Yu.Ya. Chukreev*, Dr. Sci. (Biol.) *E.V. Shamrikova*, acad. *V.S. Shatsky*,
Dr. Sci. (Biol.) *D.N. Shmakov*, Dr. Sci. (Tech.) *N.D. Tskhadaya*

Editorial Office:

Office 317, Komi Science Centre,
Ural Branch, RAS
24, Kommunisticheskaya st., Syktyvkar 167982, Komi Republic
Tel. +78212 244779 Fax +78212 242264
E-mail: journal@frc.komisc.ru
www.izvestia.komisc.ru

The "Russian Post" catalogue subscription index 52047

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

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

© Federal State Budgetary Institution of Science Federal Research Centre
"Komi Science Centre, Ural Branch, RAS", 2020

СОДЕРЖАНИЕ

А.И. Антошкина, Е.В. Антропова, А.М. Асхабов, П.А. Безносков, Т.М. Безносова, Н.С. Бурдельная, И.Н. Бурцев, Д.А. Бушнев, Я.А. Вевель, Т.А. Вовчина, Ю.В. Голубева, О.В. Гракова, Д.А. Груздев, Л.И. Ефанова, А.В. Журавлев, Н.С. Инкина, И.С. Котик, О.С. Котик, О.Б. Котова, Д.С. Кузнецов, С.К. Кузнецов, Д.В. Кузьмин, К.В. Куликова, И.В. Кряжева, Т.П. Майорова, Д.О. Машин, Т.П. Митюшева, Н.Ю. Никулова, А.Н. Плотницын, И.Л. Потапов, А.М. Пыстин, В.А. Салдин, Н.Н. Тимонина, О.В. Удоратина, Н.С. Уляшева, Р.И. Шайбеков, А.М. Шмакова, Д.А. Шушков. Комплексные исследования Арктики: ключевые вопросы геологии и минерагении субарктической области европейского Северо-Востока.....	5–20
А.М. Асхабов. О кватаронах и их необычных свойствах.....	21–27
В.И. Силаев, А.В. Кокин, А.Ф. Хазов, Д.В. Киселева, В.Н. Филиппов, С.Н. Шанина. Золотой самородок «Казаненко».....	28–39
А.М. Шмакова, К.В. Куликова. Петрография и минералогия позднедевонских долеритов центральной и юго-восточной части полуострова Канин.....	40–48
И.Л. Потапов, А.М. Пыстин. Структурная эволюция пород париквасьшорской свиты харьбейского метаморфического комплекса (Полярный Урал).....	49–60
Н.Ю. Никулова, И.Н. Бурцев, В.Н. Филиппов, В.Б. Хубанов. Возраст песчаников проскуринской толщи (северный Урал) по результатам U-Pb датирования детритных цирконов.....	61–74
Т.М. Безносова, В.А. Матвеев, Л.Л. Шамсутдинова. Новые данные по стратиграфии и обновленная схема корреляции верхнего ордовика и силура Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции и севера Урала.....	75–89
С.В. Лыцоров, Л.А. Селькова. Разрез юрских отложений «Лойно» (Вятско-Камская котловина).....	90–95
О.С. Котик, В.А. Салдин, О.В. Валяева. Органическое вещество верхнеюрских отложений Ижемского сланценосного района Тимано-Печорского бассейна.....	96–107
Р.А. Жангабылов. Первые результаты применения шахтного метода разработки нефтяных месторождений на Яреге: эксплуатация подземных скважин.....	108–112

C O N T E N T S

A.I.Antoshkina, E.V.Antropova, A.M.Askhabov, P.A.Beznosov, T.M.Beznosova, N.S.Burdelnaya, I.N.Burtsev, D.A.Bushnev, Ya.A.Vevel', T.A.Vovchina, Yu.V.Golubeva, O.V.Grakova, D.A.Gruzdev, L.I.Efanova, A.V.Zhuravlev, N.S.Inkina, I.S.Kotik, O.S.Kotik, O.B.Kotova, D.S.Kuznetsov, S.K.Kuznetsov, D.V.Kuzmin, K.V.Kulikova, I.V.Kryazheva, T.P.Maiorova, D.O.Mashin, T.P.Mityusheva, N.Yu.Nikulova, A.N.Plotitsyn, I.L.Potapov, A.M.Pystin, V.A.Saldin, N.N.Timonina, O.V.Udoratina, N.S.Ulyasheva, R.I.Shaibekov, A.M.Shmakova, D.A.Shushkov. A comprehensive study of the Arctic: key issues of geology and minerageny of the subarctic region of the European Northeast.....	5–20
A.M.Askhabov. About quatarons and their unusual properties	21–27
V.I.Silaev, A.V.Kokin, A.F.Khazov, D.V.Kiseleva, V.N.Filippov, S.N.Shanina. Golden nugget “Kazanenko”	28–39
A.M.Shmakova, K.V.Kulikova. Petrography and mineralogy of the Late Devonian dolerites of the central and south-eastern Kanin Peninsula.....	40–48
I.L.Potapov, A.M.Pystin. Structural evolution of rocks of the Parikvas’ shor suite of the Kharbey metamorphic complex (Polar Urals)	49–60
N.Yu.Nikulova, I.N.Burtsev, V.N.Filippov, V.B.Khubanov. Age of sandstones of the Proskurinsky strata (Northern Urals) according to U-Pb dating of detrital zircons.....	61–74
T.M.Beznosova, V.A.Matveev, L.L.Shamsutdinova. New data on stratigraphy and an updated correlation scheme of the Upper Ordovician and Silurian of the Timan-Pechora oil and gas province and the North of the Urals.....	75–89
S.V.Lyyurov, L.A.Selkova. Section of the “Loino” Jurassic deposits (Vyatka-Kama basin)	90–95
O.S.Kotik, V.A.Saldin, O.V.Valyaeva. Organic matter of the Upper Jurassic deposits of the Izhma shale-bearing region of the Timan-Pechora basin.....	96–107
R.A.Zhangabylov. The first results of the application of the mine method for oil fields development in Yarega: underground wells exploitation.....	108–112

Серия «НАУКИ О ЗЕМЛЕ»

УДК 55:553.04(470.1-922)

DOI 10.19110/1994-5655-2020-6-5-20

**А.И. АНТОШКИНА, Е.В. АНТРОПОВА, А.М. АСХАБОВ,
П.А. БЕЗНОСОВ, Т.М. БЕЗНОСОВА,
Н.С. БУРДЕЛЬНАЯ, И.Н. БУРЦЕВ, Д.А. БУШНЕВ,
Я.А. ВЕВЕЛЬ, Т.А. ВОВЧИНА, Ю.В. ГОЛУБЕВА,
О.В. ГРАКОВА, Д.А. ГРУЗДЕВ, Л.И. ЕФАНОВА,
А.В. ЖУРАВЛЕВ, Н.С. ИНКИНА, И.С. КОТИК,
О.С. КОТИК, О.Б. КОТОВА, Д.С. КУЗНЕЦОВ,
С.К. КУЗНЕЦОВ, Д.В. КУЗЬМИН, К.В. КУЛИКОВА,
И.В. КРЯЖЕВА, Т.П. МАЙОРОВА, Д.О. МАШИН,
Т.П. МИТЮШЕВА, Н.Ю. НИКУЛОВА, А.Н. ПЛОТИЦЫН,
И.Л. ПОТАПОВ, А.М. ПЫСТИН, В.А. САЛДИН,
Н.Н. ТИМОНИНА, О.В. УДОРАТИНА, Н.С. УЛЯШЕВА,
Р.И. ШАЙБЕКОВ, А.М. ШМАКОВА, Д.А. ШУШКОВ**

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АРКТИКИ: КЛЮЧЕВЫЕ ВОПРОСЫ ГЕОЛОГИИ И МИНЕРАГЕНИИ СУБАРКТИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА

*Институт геологии
им. академика Н.П. Юшкина
ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
г. Сыктывкар
Institute@geo.komisc.ru*

**A.I.ANTOSHKINA, E.V.ANTROPOVA, A.M.ASKHABOV,
P.A.BEZNOSOV, T.M.BEZNOSOVA, N.S.BURDELNAYA,
I.N.BURTSEV, D.A.BUSHNEV, YA.A.VEVEL',
T.A.VOVCHINA, YU.V.GOLUBEVA, O.V.GRAKOVA,
D.A.GRUZDEV, L.I.EFANOVA, A.V.ZHURAVLEV,
N.S.INKINA, I.S.KOTIK, O.S.KOTIK, O.B.KOTOVA,
D.S.KUZNETSOV, S.K.KUZNETSOV, D.V.KUZMIN,
K.V.KULIKOVA, I.V.KRYAZHEVA, T.P.MAIOROVA,
D.O.MASHIN, T.P.MITYUSHEVA, N.YU.NIKULOVA,
A.N.PLOTITSYN, I.L.POTAPOV, A.M.PYSTIN,
V.A.SALDIN, N.N.TIMONINA, O.V.UDORATINA,
N.S.ULYASHEVA, R.I.SHAIBEKOV, A.M.SHMAKOVA,
D.A.SHUSHKOV**

A COMPREHENSIVE STUDY OF THE ARCTIC: KEY ISSUES OF GEOLOGY AND MINERAGENY OF THE SUBARCTIC REGION OF THE EUROPEAN NORTHEAST

*N.P. Yushkin Institute of Geology, Federal
Research Centre Komi Science Centre,
Ural Branch, RAS, Syktyvkar*

Аннотация

В статье приведены новые результаты геохронологических, структурных, петрографических, стратиграфических, палеонтологических исследований, проведенных на территории Тимана, Урала, Пай-Хоя. Полученные данные позволили уточнить возраст и условия образования докембрийских отложений, обосновать связь с плюмами протерозойских и палеозойских основных и щелочных магматитов, выделить интерфациальные корреляционные уровни и обосновать изменения в региональной и местных стратиграфических схемах, выяснить закономерности размещения полезных ископаемых, дать оценку перспективам развития промышленного потенциала и транспортной инфраструктуры арктических территорий.

Ключевые слова:

Арктика, Тиман, Урал, Пай-Хой, геология, петрография, минерагения, стратиграфия, палеонтология, экономика

Abstract

Age constrains of forming conditions of the Upper PreCambrian deposits of the Timan, Kanin Peninsula, Northern Urals, and Pay-Khoy are determined on the basis of new geochronological data and structural studies. It is discovered that the Parikvas'shor Formation is the youngest straton of the Kharbey Complex. The structural-textual, material and petrochemical characteristics of the volcanogenic and sedimentary Late Riphean associations of the Ochetyvis Fm. and Upper Vendian – Early Cambrian Enganape Fm. of the Polar Urals are compared. The late PreCambrian magmatic associations of the northwestern Pay-Khoy are assigned to the volcanic arc supra-subduction conditions. The data obtained indicate the need to re-evaluate the Pre-Cambrian stratigraphic schemes of the region.

New data on the composition, formation conditions, and age of the Proterozoic and Palaeozoic basic and alkaline magmatites and veins were obtained for the Middle and Northern Timan. It is proved that the rocks of the Upper Riphean metadolerite association, Upper Riphean-Vendian alkaline ultrabasic Chetlas Complex, Late Devonian basalts and dolerites of the Kanin-Timan Complex, and Early Permian high-potassium alkaline magmatic manifestations belong to the plum formations.

In the Palaeozoic of the Pay-Khoy and North Urals region, the event-stratigraphic approach allowed us to identify the interfacial correlation levels and substantiate changes in local and regional stratigraphic schemes.

Various biotopes of the Devonian Delta have been reconstructed in the North Timan, including one of the oldest forests on the planet. The remains of a tetrapod, an exceptionally primitive and miniature

genus of the oldest land vertebrates, were also found there.

Specific features of vegetation and micro-teriofauna development in the Late Glacial and Holocene periods in the Circumpolar Urals are revealed.

The mineral resource base and prospects of its development in the Vorkuta reference zone of the Arctic and adjacent territories are characterized. The issues of ensuring the raw material base of coal mining, the development of coal-chemical processing plants, and the development of coalbed methane reserves are considered.

The prospects of the territory in relation to the search for oil and gas deposits, as well as unconventional sources of hydrocarbons – gas hydrates – are shown. Exploration and development of depos-

its of chrome ores, barite, gold, fluorite, vein quartz, fresh and mineral underground waters have real potential. The development of deposits, construction mineral raw materials and the creation of a new economic sub-sector on their basis – the Arctic housing construction – has a great socio-economic effect. Based on a comprehensive analysis of the mineral resource base, assessment of the prospects for the development of industrial potential and transport infrastructure, the Pan-Arctic functions of the Vorkuta reference zone are specified.

Keywords:

Arctic, Timan, Urals, Pay-Khoy, geology, petrography, minerageny, stratigraphy, palaeontology, economy

Введение

Среди вопросов, от решения которых во многом зависит существенное продвижение в познании геологического строения и истории геологического развития, современного состояния и перспектив наращивания минерально-сырьевой базы субарктической области европейского Северо-Востока и которые были в центре внимания геологов ФИЦ «Коми НЦ УрО РАН» в последние годы, выделим следующие, как наиболее актуальные на сегодняшний день: уточнение глубинного строения Печорской плиты; корректная оценка возрастных рубежей докембрийских образований и особенно нижней возрастной границы рифейских отложений Тимано-Канинской гряды, севера Урала и Пай-Хоя, а также временного интервала формирования коллизионного орогена Протоуралид-Тиманид и времени заложения Палеоуральского океана; идентификация и изучение магматических комплексов, связанных с плюмовыми процессами; выявление и изучение важнейших биогеологических событий в фанерозойской истории региона, в особенности имеющих высокий корреляционный потенциал; установление закономерностей размещения полезных ископаемых; изучение состояния и структуры минерально-сырьевой базы угледобычи, нефтегазодобывающей промышленности, черной и цветной металлургии, высокотехнологичных отраслей, добычи и использования пресных и минеральных подземных вод; обоснование новых направлений поисков, оценки, вовлечения в промышленное освоение ресурсов стратегического и экономически важного минерального сырья; прогноз новых районов и зон нефтенакпления, добычи и переработки трудноизвлекаемых запасов углеводородного сырья; выделение минерально-сырьевых центров, районов нового промышленного освоения, создания и развития транспортной магистральной инфраструктуры, согласованных с планами развития сети особо охраняемых природных территорий и встроенных в генеральные планы социально-экономического развития территорий.

Ниже приводятся результаты исследований, которые вносят заметный вклад в решение перечисленных выше вопросов.

Региональная геология

1. В структурах Уралид и Тиманид установлены фрагменты нижнедокембрийского основания. Однако их точная возрастная привязка и стратиграфическая последовательность, слагающих эти фрагменты (метаморфические комплексы) толщ, остается неясной. Одним из наиболее крупных фрагментов нижнего докембрия не только в складчатых структурах европейского Северо-Востока, но и в пределах всего Тимано-Уральского региона является харбейский метаморфический комплекс Полярного Урала, слагающий одноименный тектонический блок, обнажающийся на площади более 2000 кв. км.

Взаимное расположение в разрезе свит, выделяемых в составе комплекса, является предметом давних и острых дискуссий. Узловым в решении этой проблемы является вопрос о стратиграфической позиции париквасьшорской свиты, которая занимает центральную часть Харбейского блока. При этом одни исследователи считают, что эта свита – наиболее древняя в составе харбейского комплекса и слагает архейско-нижнепротерозойский Париквасьшорский выступ [1], другие придерживаются альтернативного представления о синклинальном залегании париквасьшорской свиты, подстилаемой нижнепротерозойскими гнейсами и амфиболитами, известными как лаптаюганская и ханмейхойская свиты [2, 3].

В результате изучения макро- и микроструктур было установлено, что начиная с этапа формирования изоклинальных складок (первый этап деформации для пород париквасьшорской свиты и второй – для пород ханмейхойской и лаптаюганской свит), структуры всех трех стратонов развивались совместно. Установленные геологические взаимоотношения, различия в уровне метаморфизма пород и характере складчатости приводят к выводу,

что париквасьшорская свита является наиболее молодым стратонем харбейского комплекса, слагающим Париквасьшорскую синклиналь. Судя по данным о возрасте метаморфогенного циркона из гнейсов париквасьшорской свиты (1 896 млн лет), весь разрез харбейского комплекса относится к нижнедокембрийским образованиям. Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что в составе рассматриваемого комплекса существенно метабазитовые породные ассоциации вверх по разрезу сменяются переслаивающимися амфиболитами и парагнейсами и далее высокоглиноземистыми кристаллическими сланцами и кварцитами. Установленная последовательность метаморфических толщ, слагающих харбейский комплекс, и имеющиеся данные об их возрастных ограничениях, выводят на новый уровень решение вопросов расчленения и корреляции разрозненных фрагментов нижнедокембрийского основания в структурах Уралид и Тиманид.

2. Возрастной интервал тимано-североуральского верхнего докембрия традиционно сопоставляется с рифеем в стратотипическом разрезе Башкирского антиклинория Южного Урала [4–6]. Здесь также, как и в стратотипе, выделяются нижне-, средне-, верхнерифейские и вендские отложения.

В последнее десятилетие работами многих геологов и, прежде всего, сотрудников ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН показано, что в разрезе тимано-североуральского докембрия, в отличие от более южных районов Урала, отсутствуют отложения нижнего и существенной части или всего разреза среднего рифея. Современное состояние вопроса недавно рассмотрено в статье [7]. Тем не менее, проблема нижней возрастной границы рифейских отложений рассматриваемого региона, связанная с решением вопроса о времени заложения позднедокембрийской (тиманской) пассивной окраины, а также слабо разработанные вопросы реконструкции палеогеодинамических обстановок формирования рифейских толщ, остаются весьма актуальными.

В последние годы на основании анализа структурно-текстурных, вещественных и петрохимических характеристик вулканогенно-осадочных позднерифейских образований очетывисской и верхневендско-раннекембрийской энганепэйской свит Полярного Урала, установлено, что терригенная часть очетывисской свиты является фациальным аналогом нижней (вендской) части энганепэйской свиты, а следовательно, существует широтная и временная дифференциация развития территории – тектоническая стабилизация и морское осадконакопление началось в северных районах Полярного Урала, со временем захватывая более южные области. Полуторакилометровый непрерывный разрез энганепэйской свиты отражает постепенную смену тектонического режима, климатических условий, источников поступления обломочного материала и повышение седиментационной зрелости осадка [8].

Получены новые данные по петрографии, минералогии, геохимии и геохронологии верхнедокембрийских вулканогенных и вулканогенно-оса-

дочных образований Амдерминского поднятия северо-западного Пай-Хоя: карбонатной амдерминской свиты и вулканогенно-осадочных морозовской и сокольнинской свит [9, 10]. Установлено следующее: 1) позднедокембрийские магматические образования северо-западного Пай-Хоя формировались в островодужной надсубдукционной обстановке и обстановке задугового спрединга; фактические данные свидетельствуют о существовании двух пространственно разобщенных палеодуг: породы морозовской свиты представляют собой фрагменты позднерифейской Морозовской палеоостровной дуги и области задугового спрединга, а вулканы сокольнинской свиты являются реликтами более молодой Сокольнинской палеоостровной дуги рифейско-вендского возраста; 2) низкотитанистые базальтоиды морозовской и сокольнинской свит образовались из сходных по составу верхнемантийных источников с примесью субдукционной компоненты; высокотитанистые базальты морозовской свиты сформировались из более глубинного мантийного источника с примесью рециклированной компоненты; 3) фракционная кристаллизация являлась основным механизмом эволюции расплавов, из которых были сформированы магматические породы морозовской и сокольнинской свит основного состава; 4) получены первые результаты U-Pb датирования магматических и детритовых цирконов, которые приводят к заключению, что отложения сокольнинской свиты могли накапливаться не раньше конца позднего рифея, а амдерминская свита является наиболее молодой толщей (позднерифейско-вендской) в докембрийском разрезе Амдерминского поднятия.

Установленные возрастные ограничения и условия формирования верхнего докембрия Тимана, п-ова Канин, севера Урала и Пай-Хоя свидетельствуют о необходимости переоценки используемых в настоящее время схем стратиграфии этих районов и должны учитываться при проведении региональных геологических исследований, геолого-съёмочных и поисковых работах.

3. Исследованиям в области плюм-тектоники и вопросам связи магматизма с плюмами должно внимание в нашем регионе стало уделяться только в последнее десятилетие. В рифейско-фанерозойской истории Урала в настоящее время с разной степенью обоснованности выделяется более 10 плюмовых эпизодов [11]. На европейском Северо-Востоке и особенно в его Канино-Тиманской части связь многих магматических комплексов с плюмами и суперплюмами представляется весьма вероятной. К плюмовым образованиям могут относиться породы верхнерифейского метадолеритового комплекса, верхнерифейско-вендские щелочно-ультраосновные породы четласского комплекса, позднедевонские базальты и долериты канино-тиманского комплекса и раннепермские проявления высококалийного щелочного магматизма. В последнее время новые данные о составе, условиях образования и возрасте протерозойских и палеозойских основных и щелочных магматитов и жильных образований, связанных с щелочно-ульт-

раосновными породами, получены для Среднего Тимана [12, 13 и др.]. Новыми материалами пополнилась коллекция по базитовому магматизму труднодоступной части Тимано-Канинской гряды – п-ову Канин [14]. К настоящему времени изучены породы гипабиссальной фации даек долеритов и эффузивной фации покровов базальтов канино-тиманского комплекса, распространенных в центральной части (реки Горелая, Тальбей, Падлей, Менсейяха, Мурсеяха) и на юго-востоке полуострова (побережье Чешской губы, бассейн р. Б. Ойва, р. Немазямаяха). В результате исследований минерального состава пород установлено, что долериты центра и юго-востока полуострова отличаются между собой по глубине кристаллизации пород и скорости остывания расплава. Помимо этого установлена зональность в телах дайковой серии, которая выражается в изменении химического состава пироксенов в зависимости от их расположения в теле. При общем сходстве, базальты и долериты имеют некоторые различия минерального и химического составов, что, вероятно, связано с эволюцией девонского магматического очага и процессами магматической дифференциации.

4. В результате комплексных исследований осадочных последовательностей палеозоя севера Урала, Приуралья и Пай-Хоя выделены интерфациальные корреляционные уровни, отвечающие следам глобальных геологических событий. Уровни охарактеризованы изменениями в составе отложений, комплексов органических остатков, а также вариациями изотопного состава углерода и кислорода карбонатов. Наибольшим корреляционным потенциалом обладают геологические события, связанные с крупными гляциоэвстатическими колебаниями уровня моря, которые отражаются на особенностях осадконакопления, изотопном составе морской воды, а также распределении и эволюции биоты. Благодаря своей природе, следы таких событий являются надежными интерфациальными корреляционными уровнями с высокой степенью изохронности, превосходящей изохронность границ биостратиграфических подразделений.

В нижнем палеозое Североуральского региона событийно-стратиграфический подход позволил обособить изменения в региональной стратиграфической схеме силура. Выделен новый войвывский горизонт в нижнем силуре [15]; выявлен стратиграфический перерыв в конце лудлова [16]. На Тимане и Приполярном Урале в разнофациальных разрезах уточнена характеристика границы среднего и верхнего девона, проведение которой в регионе уже три десятилетия является дискуссионным [17, 18].

Результатом мультидисциплинарных исследований геологических событий палеозоя Пай-Хоя стало создание обновленной стратиграфической схемы силурийско-каменноугольного интервала, в которой для интерфациальной корреляции использованы следы глобальных и региональных событий [19].

Региональные изотопно-стратиграфические исследования в верхнедевонско-каменноугольном

интервале позволили идентифицировать в разрезах Тимано-Печорского бассейна ряд изотопных аномалий по карбонатному углероду, обеспечивающих региональную и глобальную корреляцию [20–22].

Использование событийно-стратиграфических корреляционных уровней различной природы позволяет компенсировать недостатки биостратиграфического метода, обусловленные жестким экологическим контролем распределения организмов, и, как следствие, фациальным контролем распределения органических остатков.

Основываясь на известных палеонтологических находках и разработанной нами модели осадконакопления нижнепермских терригенных отложений двух крупных тектонических структур Пай-Хоя Коротайхинской (юго-запад) и Карской (северо-восток) впадин, предложена схема корреляции подугленосных отложений и сделан вывод о принадлежности отложений Карской впадины не к Предуральскому краевому прогибу, а к Западно-Уральской мегазоне.

Выявлены особенности развития растительности и микротириофауны в позднеледниковье и голоцене на Приполярном Урале на территории национального парка «Югыд ва». Тундроподобные позднеледниковые растительные ассоциации и сообщества грызунов, существовавшие в разные интервалы позднеледниковья, поэтапно трансформировались в голоценовые лесные экосистемы. В пребореале еще существовали сообщества тундрового облика, а повсеместное распространение лесов произошло в бореальном периоде голоцена [23].

На Северном Тимане реконструированы разнообразные биотопы девонской дельты, в том числе одни из древнейших на планете лесов, произраставших на ее берегах. Появление здесь древнейших лесов создало уникальные условия, которые способствовали возникновению первых на планете наземных позвоночных животных. Здесь в девоне обитал древнейший тетрапод, которого предвительно можно считать представителем сестринской группы по отношению ко всем остальным четвероногим животным, а также сделать вывод о том, что процесс приспособления позвоночных животных к жизни на суше и их экологическая диверсификация начались намного раньше, чем считалось до недавнего времени [24, 25]. Установление обширной девонской дельты и реконструкции биотопов, как и первые результаты исследований нового, исключительно примитивного и миниатюрного рода древнейших наземных позвоночных, являются новыми, абсолютно уникальными и чрезвычайно ценными результатами мирового уровня.

Минерально-сырьевые ресурсы, минерагения

1. Изученность и освоенность минерально-сырьевой базы субарктической области европейского Северо-Востока остается низкой.

Наибольшее экономическое значение в Печорском угольном бассейне по-прежнему остается за месторождениями высококачественного коксующегося угля. Государственным балансом учитываются запасы Паэмбойского, Хальмерьюского, Верх-

несырьягинского, Нижнесырьягинского, Воркутского, Воргашорского, Юньягинского, Усинского, Сейдинского месторождений, разрабатываются Воркутское, Воргашорское месторождения (шахты Заполярная, Воркутинская, Воргашорская, Комсомольская). Открытым способом дорабатываются запасы Юньягинского месторождения (разрез Юньягинский).

Ресурсы углей Воркутинского района Республики Коми и Ненецкого автономного округа категории $P_1+P_2+P_3$ составляют 175.7 млрд т, из них коксующихся – 20.8 млрд т, запасы категории $A+B+C_1$ – 5.2 млрд т, из них коксующихся – 2.9 млрд т. При этом ресурсы углей в Ненецком автономном округе несколько выше, чем в Воркутинском районе, однако это преимущественно энергетические угли, большая часть из которых сосредоточена на Верхнероговском месторождении (угли бурые и переходные от бурых к длиннопламенным каменным).

Значительные ресурсы коксующихся углей локализованы на Янгарейском и Нямдинском месторождениях. В результате геологоразведочных работ, проведенных АО Северо-Западное ПГО на Силловской площади, установлены зольные и высокозольные (14.4–47.8 %, преобладают 23.8–36.3 %), низкосернистые (0.14–0.67 %, преобладают значения 0.21–0.39 %), высококалорийные (30.12–32.93 МДж/кг) угли, относящиеся к дефицитным маркам Ж, КЖ, К.

В то же время, исходя из современных реалий мирового рынка, требуется дополнительная переоценка кондиций, так как значительная часть запасов, подготовленных для промышленного освоения, заключена в тонких пластах, и при переоценке по новым кондициям во многих случаях будет переведена в забалансовые.

Для создания надежной сырьевой базы в Воркутском районе необходимо, помимо доизучения флангов и глубоких горизонтов действующих шахт, провести поиски и оценку новых полей в Хальмерьюском и Коротаихинском районах, выполнить переоценку южного блока шахты «Воргашорская», оценить возможность отработки запасов шахты №33 самостоятельно или через шахту «Заполярная» (100 млн т) и возможность доработки запасов шахты «Северная» со стороны шахты «Комсомольская». Это позволит продлить срок работы действующего угледобывающего предприятия более, чем на 25 лет. Кроме того, необходимо расширить проведение поисково-оценочных работ в Коротаихинском угленосном районе, в частности, на Силловской площади и Янгарейском месторождении. Перспективным является освоение открытым способом участков Юньягинского, Верхнесырьягинского, Нижнесырьягинского, Сейдинского и других месторождений.

Остается актуальной проблема поиска новых направлений использования угля и развитие углехимии, что отмечается на протяжении уже многих лет [26 и др.]. На основе углей Печорского бассейна могут быть получены, в частности, синтетическое жидкое топливо, синтез-газ, различные смолы, фенолы, парафины, воски, бездымные, обеззоленные и активированные угли, компоненты для производства электродных изделий для метал-

лургии и другие продукты. Для этих целей эффективно использование углей марок Б, Б–Д, Д, ДГ, Г, ГЖО, Ж.

В качестве одного из самых перспективных направлений в углепереработке выбрано получение обеззоленных углей (так называемых гиперуглей). Принципиальные возможности получения обеззоленного топлива рассматривались в работах [27, 28 и др.]. Изучено химическое строение горючей массы углей Печорского бассейна разных стадий метаморфизма, установлено «наследование» гиперуглем химических особенностей исходного угля, а также закономерные отличия состава угля и получаемого из него беззольного экстракта.

В связи с этим важной задачей представляется изучение возможности освоения крупного Сейдинского месторождения каменного угля. Значительное увеличение сырьевой базы возможно за счет вовлечения в добычу и переработку каменных углей печорской серии, а расширение – за счет добычи бурых углей (Верхнероговское, Неченское, Шарью-Заостренское месторождения, Берганты-мыльская площадь).

Актуальна проблема каптирования и утилизации шахтного метана, как и самостоятельная его добыча. Прогнозные ресурсы метана в угольных пластах Печорского бассейна составляют 1 942 млрд м³, в том числе 600 млрд м³ – сосредоточено в Воркутском углепромышленном районе [29 и др.]. Ресурсный потенциал позволяет организовать добычу газа в объеме 1.0–1.5 млрд м³/год. В настоящее время дегазационными установками извлекается только 200 млн м³/год, а утилизируется 120–150 млн м³/год.

Районами с промышленной нефтегазонасностью, где ведется добыча УВ сырья и активно проводятся геологоразведочные работы, являются Усинский, Интинский Республики Коми и территория Ненецкого автономного округа. Приоритетными направлениями в этих районах определено дальнейшее изучение северной части Ижма-Печорской впадины, Малоземельско-Колгуевской моноклинали, Коротаихинской и Косью-Роговской впадин, совместно с грядой Чернышева, Денисовской впадины, севера Хорейверской впадины.

Наряду с активно осваиваемыми нефтегазонасными районами, также перспективны в отношении поисков залежей нефти и газа Воркутинский район и территории, тяготеющие к нему. В этот ареал входят территории Коротаихинского, Воркутского и Кочмесского нефтегазонасных районов. К глубокому бурению подготовлены Сырьягинская, Верхнесырьягинская и Верхнесырьягинская–II структуры. В Воркутском районе на территории Ненецкого автономного округа находится Падимейское нефтяное месторождение, установлены Ярвожская и Западно-Ярвожская локальные структуры. Предварительно оцененные (прогнозируемые) ресурсы нефти категории D_2 составляют около 50 млн т, свободного газа – 160 млрд м³. Перспективы поисков промышленных месторождений нефти и газа связаны, главным образом, с зонами развития органогенных построек позднедевонского

возраста и со структурами их облекания, со средне-визейско-нижнепермскими отложениями внутреннего борта Косью-Роговской впадины, с зонами развития в них органогенных построек различного типа.

Крайнее истощение сырьевой базы, связанное как со значительной степенью выработки запасов (до 80 %) на эксплуатируемых месторождениях, так и с отсутствием фонда новых месторождений газа, подготовленных к разработке, вызывает интерес к изучению в числе нетрадиционных источников углеводородного сырья газогидратов.

О возможности газогидратообразования в рассматриваемом регионе указывалось неоднократно в работах А.И.Галкина, Е.С.Баркана, С.П.Никитина, Н.Н.Тимониной и других исследователей. Проведенными в ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН исследованиями установлены условия формирования и характер распространения зон возможного образования газовых гидратов. Максимальной глубины зоны возможного гидратообразования достигают в Кортаихинской впадине (1500 м), также значительные величины (1000–1200 м) определены в северных районах Хорейверской впадины и вала Сорокина. Ресурсы газа в зонах возможного гидратообразования могут составить 700–800 млрд м³. Они включают в себя потенциальные ресурсы газа в свободных газовых скоплениях, приуроченные к объему зоны до ее образования, газ, мигрирующий при неотектонических подвижках из нижних горизонтов в охлажденные зоны и накапливающийся в них, а также незначительную часть водорастворенного газа, перешедшего вначале в свободное и затем в гидратное состояние при изменении равновесных условий. Все перечисленные составляющие потенциального газового баланса в зоне гидратообразования в достаточной мере спорны при оценках и нуждаются в дальнейших методических исследованиях, а также анализе имеющейся информации.

Для более качественного прогноза территории на уголь, газ или жидкие углеводороды в Институте геологии выполняется структурно-тектоническое моделирование геологического строения, проводятся исследования, направленные на создание современной стратиграфической основы прогнозно-поисковых работ, реконструкция истории палеотектонического развития территории и палеопрогрева осадочных толщ, определение катагенетической преобразованности и нефтегазоматеринского потенциала органического вещества [30, 31], комплексное геохимическое изучение нефтей и нефтегазоматеринских пород [32, 33], изучение условий формирования и структуры порового пространства пород-коллекторов в терригенных и карбонатных нефтегазоносных комплексах [34, 35].

2. В пределах изучаемой территории выделяются две крупные минерагенические зоны – Полярно-Уральская и Вайгач-Пайхойская, которые, в свою очередь, делятся на рудные узлы и поля. К числу основных полезных ископаемых относятся хром, марганец, медь, никель, свинец, цинк, золото, бариты, флюорит [36].

К перспективным для проведения прогнозно-поисковых работ относятся Хойлинско-Лагортин-

ский хромитоносный, Кара-Силовский марганцевоносный районы, а также Центральнопайхойская зона развития платиноидно-медно-никелевой минерализации, Манитаньрдский золоторудный район, Карская алмазоносная астроблема. Эти районы и локализованные в их пределах месторождения полезных ископаемых в настоящее время изучаются специалистами Института геологии.

В пределах Хойлинско-Лагортинского рудного узла выявлены Хойлинское, Кечьпельское, Юньягинское, Водораздельное, Харотское проявления. По авторским оценкам ресурсы хромовых руд Хойлинско-Лагортинского узла составляют около 90 млн т.

В юго-восточной части Пай-Хоя выделяется Кара-Силовский рудный узел, включающий проявления карбонатных и оксидных руд марганца и железа (Юбилейное, Нядейское и др.), связанных с зонами дробления кремнистых сланцев верхнего девона. Мощность рудных зон составляет 150–200 м, мощность отдельных пластов – 1–5 м. Содержание марганца в рудах достигает 40 %. Ресурсы марганцевых руд по категории P₂+P₃ оцениваются в 120 млн т.

Формирование и развитие Парнокского железорудного минерально-сырьевого центра предусмотрено Стратегией развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 г., однако для реализации этой цели необходимо провести геологическое доизучение перспективных площадей, прилегающих к участку «Магнитный–1» (Магнитный–2, Усть-Пачвожский, Восточный, Дальний, магнитной аномалии «Южная») и геолого-технологическую оценку руд, особенно карбонатных и силикатно-карбонатных, относящихся к основному промышленному типу.

На Полярном Урале выявлен целый ряд проявлений меди, относящихся к типу медистых песчаников. Наиболее крупным является Саурипейское проявление, локализовано в песчаниках манитаньрдской свиты нижнего ордовика. Рудоносный горизонт прослежен на 2.5 км по простиранию при мощности 110 м. Рудные тела имеют линзовидную форму. Их мощность колеблется от 0.7 до 14.7 м. Рудные минералы представлены самородной медью, халькопиритом, малахитом, ковеллином, купритом, халькозином, борнитом. В качестве попутного компонента присутствует серебро. Содержание меди в рудах достигает 2–2.5 %, серебра – 150–200 г/т. Суммарный рудный потенциал составляет 1.45 млн т меди и 5.3 тыс. т серебра. Дано обоснование целесообразности оценки рудопроявления. Выполнен сравнительный анализ добычи и переработки руд различными способами – подземного и наземного кучного выщелачивания, использования различных реагентов – серноокислых растворов, сульфатов железа, хлоридов, получения различной товарной продукции – флотогравитационных концентратов, цементационной меди, катодной меди. Проведены лабораторные эксперименты по замене серной кислоты растворителями на основе сульфата железа, возможно применение хлоридной технологии [37].

В центральной зоне Пай-Хоя широко развита кобальт-медно-никелевая минерализация, связанная с дифференцированными интрузиями основного состава. Рудные зоны прослеживаются по простиранию до 700 м. Их мощность колеблется от 5 до 20 м. Выявлены рудопроявления Дальнее, Длинное, Крутое, Малое, Северное, Первое и другие. Главными рудными минералами являются пентландит, халькопирит. Содержание меди в рудах достигает 0.62, никеля – 0.37, кобальта – 0.034 %. В ассоциации с минералами меди и никеля находятся минералы платиновых металлов, самородные, золото, серебро [38].

Для Пай-Хоя характерна гидротермально-метасоматическая флюоритовая минерализация. Выделяется несколько флюоритоносных районов: Амдерминский, Среднепайхойский, Южнопайхойский.

Приполярный Урал наряду с Южным Уралом и Прибайкальем остается важнейшим регионом высококачественного кварцевого сырья. Здесь располагаются крупнейшие в России месторождения горного хрусталя и жильного кварца. В Республике Коми государственным балансом учтены пять месторождений (Желанное, Николайшор, Северная Лапча, Пелингичей и Омегашор).

Наиболее перспективными на Приполярном Урале являются Желаннинский и Неройский районы, в пределах которых находятся месторождения Желанное и Додо со значительными запасами гигантозернистого в разной степени прозрачного жильного кварца. Кроме того, заслуживает внимания Няртинский район, характеризующийся широким развитием жил гранулированного кварца.

Жильный кварц – крупно-гигантозернистый, молочно-белый, от полупрозрачного до прозрачного, трещиноватый, с незначительным количеством микропримесей. Используется для производства кварцевого стекла и синтеза искусственных кристаллов.

Горный хрусталь месторождения Желанное характеризуется высокой химической однородностью, низким содержанием микропримесей, используется в промышленности для получения кварцевого стекла и как пьезосырье. Средний размер кристаллов горного хрусталя и дымчатого кварца составляет 5–10 см по удлинению, 2–50 см в поперечнике, вес от 3 до 30 кг, максимальные 200–300 кг и выше. Также развиты цитриновые и дымчато-цитриновые разности кристаллов в Восточной зоне. Коллекционный интерес представляют щетки и друзы, нередко музейного качества.

Сложнее дело обстоит с особо чистым кварцевым сырьем, в первую очередь – с его высшими сортами. Такое сырье должно иметь светопропускание не менее 80 % и содержание элементов-примесей не более 25 %, что соответствует сорту кварцевых концентратов не ниже КГО-3. Этим требованиям наиболее соответствуют горный хрусталь 1 сорта и прозрачный жильный кварц высшего сорта.

Самостоятельные месторождения с таким качеством сырья в России неизвестны, а на известных месторождениях доля такого кварца составляет не более 1–2 %. Так, на самом крупном месторож-

дении Желанное среднее содержание прозрачного жильного кварца высшего сорта составляет всего 0.2 %. К тому же такой кварц рассеян в кварце более низких сортов и его селективная добыча практически невозможна.

Основным путем решения данной проблемы являются поиски месторождений кварца повышенной чистоты, аналогичным месторождениям США, Индии, Бразилии. В качестве одной из наиболее перспективных площадей является Манитаньрдская. Здесь ранее проведенными геолого-съёмочными работами (1980-е гг.) и поисковыми на горный хрусталь (1950–1960-е гг.) выявлены многочисленные небольшие проявления горного хрусталя, связанные с кварцевыми жилами средних размеров. Площадь была признана бесперспективной на пьезокварц, на прозрачный жильный кварц она не оценивалась.

По результатам полевых работ, проведенных в 2009–2010 гг. Институтом геологии, были оконтурены новые и подтверждены выделенные ранее участки локализации кварцевых жил. В ходе маршрутных геологических исследований, выполненных в масштабе 1:25 000, выявлено и изучено около 100 точек минерализации, в которых жильный кварц представлен жилами в коренном залегании или их развалами. В некоторых жилах крупнозернистый и гигантозернистый кварц представлен в значительной массе прозрачными и полупрозрачными разновидностями. Параметры жил определяются в границах от 0,1–0,5 до 1,0 м по мощности и от 20–50 до 200 м по протяженности. Основной состав жил – мономинеральный кварцевый, с преимущественным развитием средне-крупнозернистого молочно-белого кварца. Выявлены зоны осветления (возможно, вторичной перекристаллизации, грануляции), связанные с кварцевыми песчаниками манитаньрдской серии.

К числу основных коренных золоторудных месторождений и проявлений относятся Няюское, Няюхское, Дальнее (Полярный Урал), Чудное, Нестеровское, Синильга, Караванное, Лемвинское (Приполярный Урал). Золотоносными в основном являются гидротермальные кварцевые, кварц-сульфидные жилы, зоны прожилково-вкрапленной и вкрапленной сульфидной минерализации, метасоматиты и развивающиеся по ним коры выветривания [39].

Большой интерес представляет платиноидная, золото-палладиевая, золото-платино-палладиевая минерализация. В Кожимском районе Приполярного Урала в зоне межформационного контакта уралид и доуралид находятся золото-палладиевые месторождения – Чудное и Нестеровское [40 и др.]. Золото и минералы платиновых металлов (мертиит, атенеит) связаны в основном с тонкими фукситовыми прожилками в риолитах позднего рифея-венда и участками фукситизации в кварцевых конгломератах верхнего кембрия-нижнего ордовика.

На Полярном Урале в ультрабазитах и хромовых рудах Войкаросыньинского, Райизского и Сыумкеуского массивов отмечаются минералы платиновых металлов, золото, медь, известные медно-зо-

лото-платино-палладиевые проявления. Можно предполагать существование зон развития эпигенетической палладиевой, золото-палладиевой, медно-золото-палладиевой минерализации, контролирующихся разрывными нарушениями и наложенных как на ультрабазиты, так и на хромовые руды.

На Пай-Хое золото-платиноидная минерализация связана с участками развития магматогенной медно-никелевой минерализации в габбро-долеритах верхнего девона [38]. В ассоциации с сульфидами находятся самородные золото, серебро, медь, кобальт, свинец и минералы платиновых металлов.

Институтом геологии совместно с АО Северо-Западное ПГО (АО Росгеология) подготовлено геолого-экономическое обоснование для проведения поисково-оценочных работ на золото в Енганелз-Манитаньрдском районе Полярного Урала. Это наиболее крупный, открытый для геологоразведочных работ район в европейской части России. Здесь выделен Нияхойский золоторудный узел, а в его границах – Нияхойское и Верхняяньюское золоторудные поля. Известно одно мелкое по запасам месторождение коренного золота Верхняяньюское-2, несколько крупных рудопоявлений (Верхняяньюское-1, Нияхойское-1, 2 и Ягодное, более 10 пунктов минерализации). В северной части площади установлена россыпь Естошор. Программой геологоразведочных работ предполагается выявление объектов двух геолого-промышленных типов, помещенных в пространстве: золотоносных кор химического выветривания и золото-сульфидно-кварцевых руд в минерализованных зонах. Ожидаемые прогнозные запасы и ресурсы золота: C_2 – 3.4 т, кат. P_1 – 5 т, P_2 – 15–20 т, P_3 – 100–300 т. Содержание золота в рудах – 3–6 г/т. Изучена минералогия руд, установлены особенности самородного золота, свидетельствующие о формировании проявлений золоторудных полей в единой гидротермальной системе [41].

Среди подготовленных к эксплуатации месторождений особое место занимают месторождения барита. На Пай-Хое выделяется Карский баритоносный узел, в пределах которого выявлено несколько баритовых проявлений (Карское и др.). Баритовые залежи приурочены к карбонатным породам нижнего карбона и имеют пластовую форму. Ресурсы баритовой руды категории P_3 составляют около 15 млн т. На Полярном Урале выделен Собско-Пальникский баритоносный район. Здесь находятся Хойлинское рудное поле с Хойлинским месторождением и Малохойлинским проявлением и Пальникское рудное поле с Пальникским проявлением.

На Хойлинском месторождении выявлено три крупных баритовых тела (Восточное, Центральное, Западное) протяженностью до 1500 м при мощности до 40 м. Рудные тела почти полностью сложены голубовато-серым, темно-серым баритом. Запасы баритовых руд категорий $B+C_1+C_2$ оценены в объеме 9.2 млн т, запасы $BaSO_4$ – 6.8 млн т. Запасы баритовой руды в контурах участка, подготовленного для открытой разработки составляют 2.1 млн т (1.79 млн т $BaSO_4$). Разработка месторождения велась эпизодически ЗАО «Хойлинский ГОК» с 1998 г. по 2009 г.

По вещественному составу руды Хойлинского месторождения являются существенно баритовыми с небольшой примесью кварца и кальцита. Средние содержания $BaSO_4$ по рудным телам в контурах карьеров изменяются от 84.78 до 86.04 %. Баритовые руды Хойлинского месторождения практически без обогащения соответствуют классу Б маркам КБ-6, КБ-5, КБ-3 и могут использоваться для получения бурового баритового утяжелителя. Отходы добычи и обогащения могут эффективно утилизироваться при производстве цемента. Исходя из анализа проблем, возникших при разработке Хойлинского месторождения, подготовку и реализацию баритовых концентратов целесообразно проводить по следующим основным направлениям: буровой барит (20–30 тыс. т/год), барит для цементного производства и спецбетонов (20–30 тыс. т/год), микробарит для лакокрасочных материалов и химической промышленности (30–40 тыс. т/год), для металлургии (10–20 тыс. т/год), для стекольной промышленности (5–10 тыс. т/год), для ядерной энергетики и гражданской рентгенозащиты (5–10 тыс. т/год), для резинотехнической промышленности (5–10 тыс. т/год). По всем указанным направлениям необходимы технологические исследования и сертификация продукции [42, 43 и др.].

Расширение сырьевой базы баритов возможно за счет доизучения оцененных запасов (кат. C_2) Хойлинского и Малохойлинского баритовых месторождений, составляющих в сумме 7.7 млн т барита, а также прогнозных ресурсов на Хойлинском месторождении (7 млн т кат. P_1), Малохойлинском и Пальникском месторождениях (10.9 млн т кат. P_1 и 5.1 млн т кат. P_2).

3. В связи с возможным в перспективе гражданским и промышленным строительством, созданием транспортной инфраструктуры в Арктической зоне Российской Федерации изучается сырьевая база минерального строительного сырья. Генеральным планом развития МОГО «Город Воркута» предусмотрена существенная реорганизация территории, с изменением функционального назначения и границ, предусматривающая реконструкцию и строительство новых жилых и промышленных объектов. Серьезная модернизация ожидается в транспортной инфраструктуре – обсуждается возможность строительства электрифицированной железной дороги «Воркута (Хальмер-Ю)–Усть-Кара», протяженностью в пределах МОГО «Город Воркута» 120 км, с тремя реконструируемыми мостами, а также строительство автомобильной дороги федерального значения III категории с капитальным типом дорожной одежды и асфальтобетонным покрытием «Северо-Восток–Полярный Урал» (Сыктывкар–Воркута с подъездом к Нарьян-Мару), реконструкция и расширение дорог в пределах города и между городскими поселками. Выполнение этих мероприятий обуславливает значительный рост потребности в строительных материалах.

Для производства цемента балансом запасов учитывается Воркутинское месторождение карбонатных (известняки и доломиты) и глинистых пород. Правобережный участок месторождения разрабатывается ООО «Карьер». До 2016 г. функциониру-

вал Воркутинский цементный завод, производивший до 450 тыс. т/год цемента. Ресурсный потенциал цементного сырья, наличие дешевых энергоресурсов позволяют организовать производство цемента по новым технологиям (сухим или полусухим способами).

На площадях, тяготеющих к Воркутинскому цементному заводу – юго-западное крыло Изъюровской антиклинали на правом берегу р. Воркуты, Аячягинская антиклиналь, имеются значительные прогнозные ресурсы и запасы сырья, пригодного для производства магнезиальных вяжущих, огнеупоров, каустического доломита, стеновых плит, пенодоломита, фибролита.

По многим свойствам магнезиальные цементы превосходят портландцемент; они обладают эластичностью, стойкостью к действию масел, смазок, органических растворителей, щелочей и солей, обеспечивают высокую огнестойкость и низкую теплопроводность, хорошие износостойкость и прочность при сжатии и изгибе. При строительстве жилых и производственных зданий в Арктике по новым технологиям такие цементы могут применяться при устройстве бесшовных монолитных полов.

Наличие ресурсов качественных известняков, разных источников энергоресурсов (уголь, шахтный метан, природный газ) для их обжига, дает основания для проектирования не только цементных производств, но и производства химически осажденного карбоната кальция (ХОКК). Сегодня ХОКК – один из самых дефицитных и востребованных на внутреннем и внешнем рынках видов минерального наполнителя в бумагу, пластики и лакокрасочные материалы. Исходное сырье для производства ХОКК должно иметь следующий состав (масс. %): CaCO_3 90.00–96.00; MgCO_3 0.30–0.80; SiO_2 2.00–5.00; Fe_2O_3 0.30–1.40; Al_2O_3 0.80–1.40; $\text{SO}_3+\text{P}_2\text{O}_5$ 1–2. По результатам проведенных нами исследований таким требованиям удовлетворяют известняки месторождений Воркутинское, Юньягинское, Береговое-1, Береговое-2, а также проявлений, выявленных на крыльях Изъюровской и Аячягинской антиклиналей.

Из известняков Юньягинского месторождения получены образцы химически осажденного карбоната кальция, направленные производителям (Филиал ООО «Омия Урал в г. Сыктывкаре») для сравнительной оценки.

В качестве основы для получения вспененного силиката могут быть использованы природное минеральное сырье (трепел, опока, диатомиты) и техногенное сырье (зола угольных ТЭЦ). Непосредственно в Воркутинском районе располагается Сейдинское месторождение опок с разведанными запасами 4.3 млн т, на границе с Интинским районом – Сармаюское месторождение опок с разведанными запасами 3.5 млн т. Перспективы прироста запасов значительные. Опочки могут использоваться как гидравлическая добавка к цементу, повышающая марочность обычного цемента, или как сырье для производства высококачественного цемента по бесклинкерной технологии. Нами предлагается использовать опочки для получения теплоизоляционных материалов – вспененного силиката или минеральной ваты.

Накопленный объем зольных отходов на ТЭЦ-2 (г. Воркута) составляет 3.5–4.0 млн т. Доказана возможность и высокая эффективность получения из зольных отходов искусственных цеолитов, пеностекла, поризованной керамики [44]. Высокопористое пеностекло и поризованная керамика по совокупности эксплуатационных показателей опережают другие теплоизоляционные материалы. Они имеют низкую плотность (до 200 кг/м^3) и теплопроводность (0.07 Вт/мК), высокую прочность, относятся к категории влагостойких, негорючих материалов. Эти показатели не изменяются при эксплуатации в условиях низких температур на протяжении десятилетий.

В качестве исходного сырья или добавок для производства пеностекла могут также применяться глины, низкокачественное кварцевое сырье, кварц-каолинитовые породы, отходы камнеобработки. Как углеродистая добавка могут быть использованы угли Верхнесырьягинского месторождения (марки Т), технический углерод, производимый Сосногорским ГПЗ (или продукты полукисления углей), в качестве плавней – природные и искусственные цеолиты, флюорит месторождений Амдерминское, Буреданское, гряда Беляева, гидроалюмосиликаты натрия, образующиеся при переработке титановых руд Ярегского месторождения (АО СИТТЕК), бокситов Среднего Тимана (в перспективе).

Проявление Ния характеризуется крупными ресурсами кварц-каолинитовых пород (более 20 млн т), высоким качеством сырья (содержание красящих примесей менее 1 %), пригодного для производства керамической напольной плитки, огнеупорных изделий, кирпича. Каолинитовая фракция может использоваться как добавка в пигменты или для производства керамических изделий и огнеупоров, кварцевая составляющая – для производства стекла, пеностекла.

Ранее частными инвесторами были разработаны и предложены инвестиционные проекты по добыче блоков и производству облицовочных изделий на базе месторождений мраморизованных известняков Есто-то, Изъюровское, мощностью 15 тыс. $\text{м}^3/\text{год}$.

Таким образом, в пределах Воркутинского района имеется значительный потенциал разнообразного строительного минерального сырья, которое может быть востребовано при реализации социально-экономических, промышленных, инфраструктурных проектов в восточно-европейской Арктике [45].

Территория МОГО «Воркута» обладает большими прогнозными ресурсами подземных вод, оцениваемыми в количестве $3552.5 \text{ тыс. м}^3/\text{сут}$, в том числе пермских образований – $1507 \text{ тыс. м}^3/\text{сут}$. Проблема водопользования и обеспечения населения г. Воркуты качественными питьевыми водами сложилась в результате длительного (начиная с промышленного освоения территории в 1930-х гг.) техногенного преобразования гидродинамических и гидрохимических условий природных (поверхностных и подземных) вод. Для водообеспечения Воркутинской агломерации, в состав которой входило 25 шахт (в настоящее время действуют четыре шахты

и один углеразрез) и более 10 поселков (Мульда, Заполярный, Западный, Комсомольский, Воргашор, Промышленный, Юршор, Цементозаводский, Северный, Аяч-Яга, Октябрьский, Горняцкий (Рудник), Южный, Советский), в период с 1962 г. по 1998 г. было разведано 12 месторождений подземных вод.

Сегодня наблюдается снижение общего водопотребления на объектах Воркутинского промышленного района почти в два раза по сравнению с годами наибольшего промышленного развития территории. Потребности города в водах для хозяйственно-питьевых и производственно-технических нужд по состоянию на начало 2018 г. оцениваются в количестве ≈ 70 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$. Водоснабжение производится в основном за счет поверхностных водозаборов рек Усы и Воркуты и частично за счет подземных вод (пос. Заполярный). Подземные воды (дренажные воды) в объеме около ≈ 55 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$ откачиваются при шахтном водоотливе АО «Воркутауголь». В настоящее время добыча хозяйственно-питьевых подземных вод осуществляется только на трех месторождениях, находящихся за пределами зон влияния шахтного водоотлива. АО «Водоканал» на Западноркутском месторождении осуществляет водоотбор в количестве ≈ 7 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$ для водоснабжения поселков Мульда и Комсомольский, АО «Воркутауголь» на Дозмершорском и Койташорском месторождениях для водоснабжения шахт Воргашорская и Воркутинская добывает не более 5 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$.

Запасы подземных вод уже разведанных месторождений подземных вод в районе г. Воркуты (163,36 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$) могут обеспечить требуемый водоотбор и город может быть частично или полностью переведен на снабжение водой из защищенных источников. Эти мероприятия следует осуществить в ближайшее время с учетом предельного износа (более 90 %) Усинского водовода протяженностью почти 30 км.

Минеральные воды также широко распространены на рассматриваемой территории. В пределах поднятий Чернышева и Чернова минеральные воды залегают ниже зоны свободного водообмена на глубинах более 200–700 м, в водоносных зонах трещиноватости пермских–девонских пород. Ресурсы подземных вод повышенной минерализации в районе поднятия Чернова были оценены в 1 300 $\text{м}^3/\text{сут}$. В зонах разломов минеральные воды выходят на поверхность в виде соленых источников: Табей-Шор, Сала-Ю, Воркутские и другие. В г. Воркута и пос. Рудник имеется также несколько самоизливающихся сероводородными водами скважин. Воды гидрокарбонатно-натриевого состава с минерализацией 0,7–0,9 г/л.

Янейтивисское месторождение лечебных минеральных вод расположено на южном крыле поднятия Чернова в 30 км от г. Воркуты. Запасы утверждены в объемах: кат. А – 432 $\text{м}^3/\text{сут}$, кат. В – 588 $\text{м}^3/\text{сут}$. Потребность в лечебно-столовых водах для организации розлива была определена в 50 $\text{м}^3/\text{сут}$. Подземные воды закарстованных кавернозных, трещиноватых известняков и доломитов каменноугольного возраста имеют сульфатно-хлоридный

кальциево-натриевый состав с минерализацией 2,4–3,2 г/л. Воды Янейтивисского месторождения являются близким аналогом лечебно-столовой Алма-Атинской воды (Курамский источник № 8, Казахстан). Месторождение не было обустроено и не эксплуатируется, требует доизучения для оценки запасов и качества вод. На его базе может быть организовано санаторно-курортное лечение в рамках предлагаемого арктического медико-биологического кластера. Естественные источники соленых вод могут служить объектами туристической деятельности.

4. В соответствии со Стратегией развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 г., утвержденной Указом Президента Российской Федерации 26 октября 2020 года № 645, на европейском Северо-Востоке в состав сухопутных территорий Арктической зоны Российской Федерации включены частично или полностью административно-территориальные образования Республики Карелия, Мурманской области, Архангельской области, Ненецкого автономного округа и Республики Коми. В Республике Коми это муниципальный район Усть-Цилемский и муниципальные образования городских округов Усинск, Инта, Воркута.

На основе проведенного комплексного анализа минерально-сырьевой базы, оценки перспектив развития промышленного потенциала и транспортной инфраструктуры, *конкретизированы пан-арктические функции* Воркутинской опорной зоны [45].

Для Воркутинской опорной зоны выделяются следующие основные направления, в диапазоне которых эти функции могут быть конкретизированы:

- *угольная промышленность* (сохранение угледобычи, развитие глубокой переработки угля);
- *комплексное обеспечение безопасности* (развитие арктической группировки войск, формирования МЧС, модернизация аэропорта дальней авиации);
- *транспортно-логистический узел* (аэропорты, железные дороги, морские порты, трубопроводные системы);
- *арктическая связь* (волоконно-оптическая линия связи, мобильные телекоммуникационные платформы);
- *арктическое домостроение* (энергоэффективное строительство и эксплуатация зданий, индустрия строительных материалов);
- *полярная наука* (адаптация человека к условиям высоких широт, спортивная медицина, фармацевтика, экология восточно-европейских тундр, мерзлотоведение);
- *полярные кадры* (подготовка кадров в сфере нефтегазового комплекса).

Заключение

В результате проведенных исследований получены новые данные о геологическом строении, истории геологического развития и минерально-сырьевых ресурсах субарктической области европейского Северо-Востока, включая Печорскую пли-

ту, Приполярный и Полярный Урал, Пай-Хой, Тиман. В частности, показано, что в разрезе тимано-североуральского докембрия в отличие от южных районов Урала, вероятно, отсутствуют отложения нижнего и существенной части или всего разреза среднего рифея. Уточнены условия формирования верхнедокембрийских образований ряда районов. Выявлены признаки связи многих магматических комплексов Канино-Тиманского региона с плюмами. В осадочных отложениях палеозоя выделены интерфациальные корреляционные уровни, отвечающие следам глобальных геологических событий.

Европейский Северо-Восток, включая арктические территории, имеет большое значение для освоения минерально-сырьевого потенциала, прежде всего, ресурсов нефти, газа и угля. Однако сырьевой потенциал региона раскрыт еще далеко не в полной мере. Наряду с рядом районов Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции, где ведется добыча углеводородного сырья, потенциально перспективными являются Воркутинский район и территории, тяготеющие к нему. Приоритетным является изучение северной части Ижма-Печорской впадины, Малоземельско-Колгуевской моноклинали, Коротайхинской и Косью-Роговской впадин. К числу заслуживающих внимания нетрадиционных источников углеводородного сырья относятся метан угольных пластов и газогидраты.

Для развития сырьевой базы угля Печорского бассейна необходимо доизучение флангов и глубоких горизонтов действующих шахт, проведение поисково-оценочных работ в Хальмеръюском и Коротайхинском угленосных районах. В разработку могут быть вовлечены уже подготовленные для этого Усинское, Сейдинское месторождения, участки Верхнесырьягинского, Нижнесырьягинского месторождений. Крайне актуальны проблемы поиска новых направлений использования угля, получения обеззоленных углей, каптирования и утилизации шахтного метана.

К числу основных металлических и неметаллических полезных ископаемых региона относятся хром, марганец, медь, никель, свинец, цинк, золото, бариты, флюорит, высококачественный жильный кварц. Перспективными для постановки прогнозно-поисковых работ являются Хойлинско-Лагортинский (хромовые руды, бариты), Кара-Силовский (марганцевые руды), Карский (бариты), Центральнопайхойский (медно-никелевые руды), Енганепэ-Манитаньрдский (золото) районы. На ранее разрабатывавшемся Хойлинском баритовом месторождении, в пределах которого сосредоточены значительные запасы высококачественного сырья, могут быть возобновлены добычные работы.

В связи с обострившимся в последнее время социально-экономическим положением заполярного города Воркута и выделением арктической Воркутинской опорной зоны проведен анализ ресурсного потенциала этого региона. Разработана стратегия его развития, включающая ряд мероприятий, реализация которых наряду с угледобычей будет способствовать организации новых производств, обеспечит занятость населения и позволит сохранить

этот один из важнейших промышленных центров Российской Арктики.

Статья подготовлена в рамках выполнения темы НИР «Комплексные исследования Арктики», ГР № АААА-Ф20-120091090071-4.

Литература

1. Геологическая карта России и прилегающих акваторий масштаба 1:2500000 / Главный редактор Б. А. Яцкевич. СПб.: ВСЕГЕИ, 2000.
2. Глубинное строение Тимано-Североуральского региона / А.М. Пыстин, В.Л. Андреев, О.В. Удоротина и др. Сыктывкар: Геопринт, 2011. 264 с.
3. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200000. Издание второе. Серия Полярно-Уральская. Лист Q-42-VII, VIII (Обской). Объяснительная записка / В.А. Душин, О.П. Сердюкова, А.А. Малюгин и др. СПб.: ВСЕГЕИ, 2014. 384 с.
4. Стратиграфические схемы Урала (докембрий, палеозой). Екатеринбург: Уралгеолком, 1994.
5. Рифей и венд европейского Севера СССР / Редакторы: В.А. Дедеев, В.Г. Гецен. Сыктывкар, 1987. 124 с.
6. Тиманский кряж. В 2 т. Т. 2. Литология и стратиграфия, геофизическая характеристика земной коры, тектоника, минерально-сырьевые ресурсы / Н.Д. Цхадая, А.И. Кобрунов, Л.П. Шилов и др. Ухта: УГТУ, 2010. 427с.
7. Pystin A. M., Pystina Yu. I., Ulyasheva N. S., Grakova O. V. U-Pb dating of detrital zircons from basal Post Paleoproterozoic metasediments in the Subpolar and Polar Urals: Evidence for a Cryogenian, not Mesoproterozoic Age // International Geology Review. 2020. Vol. 62. No. 17. P. 2189–2202. DOI: 10.1080/002068 14.2019.1689533.
8. Никулова Н. Ю. Литология и геохимия допалеозойских песчаников Полярного Урала // Литология осадочных комплексов Евразии и шельфовых областей: Материалы IX Всерос. литологического совещания (с международным участием). Казань, 2019. С.323–324.
9. Канева Т. А. Петрогенезис и геодинамика позднедокембрийских вулканитов северо-западного Пай-Хоя // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2016. №12. С. 3–15.
10. Канева Т. А., Удоротина О. В., Старикова Е. В., Хубанов В. Б. Оценка нижнего возрастного предела неопротерозойской сокольнинской свиты северо-западного Пай-Хоя на основе U-Pb датирования детритных цирконов // Бюл. Моск. общ-ва испытателей природы. Отд. геол. М.: Изд-во МГУ, 2015. Т. 90. Вып. 6. С. 3–10.
11. Пучков В. Н. Плюмы – новое слово в геологии Урала // Литосфера. 2018. Т. 18. № 5. С. 692–706.

12. Голубева И. И., Ремизов Д. Н., Куликова К. В. и др. Геология и вещественный состав раннепермских высококальциевых трахитов эксплозивной субвулканической фации Среднего Тимана // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. геол. 2016. Т. 91. Вып. 2–3. С. 36–46.
13. Удоратина О. В., Капитанова В. А. Геохронология формирования пород субстрата и руд редкометалльно-редкоземельных месторождений и рудопроявлений на севере Урала и Тимане // Известия Коми НЦ УрО РАН. 2016. № 4(28). С. 86–101.
14. Шмакова А. М. Особенности минерального состава девонских долеритов и базальтов юго-восточной части полуострова Канин // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: Материалы XVII Геологического съезда Республики Коми. Т. II. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2019. С. 122–124.
15. Безносова Т. М., Лукин В. Ю., Мянник П. Возраст горизонтов нижнего силура Европейского Северо-Востока России // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2016. №11. С. 10–14.
16. Безносова Т. М., Матвеев В. А., Соколова Л. В. Биостратиграфический и событийно-стратиграфический рубеж лудлова и пржи-дола на западном склоне Приполярного Урала // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2018. № 11. С.31–37.
17. Soboleva M. A., Sobolev D. B. Conodonts and ostracodes from the Givetian-Frasnian shallow-water deposits of the Southern Timan // Vestnik IG Komi SC UB RAS. 2019. № 10. P. 28–38.
18. Тельнова О. П., Шумилов И. Х. Палинологическая и литологическая характеристики девонских терригенных отложений в бассейне р. Цильма (Средний Тиман) // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2019. Т.27. №1. С. 31–56.
19. Журавлев А. В., Вевель Я. А., Груздев Д. А. Местная стратиграфическая схема верхнего девона и карбона севера Пай-Хоя // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2018. Т.13. №2. http://www.ngtp.ru/rub/2/19_2018.pdf DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/19_2018
20. Ерофеевский А. В., Журавлёв А. В. Перспективы использования изотопно-стратиграфического метода ($\delta^{13}\text{C}$ карб) для корреляции верхнедевонско-каменноугольного интервала востока Тимано-Печорской провинции // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2019. Т. 14. № 1. http://www.ngtp.ru/rub/2019/9_2019.html DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/9_2019
21. New analytic study of Devonian-Permian deposits in the Polar Urals (Kozhim River) and Pay-Khoy (Yugorsky Peninsula) / O. L. Kossovaya, E. O. Petrov, I. O. Evdokimova, A. V. Shmanuyak, A. V. Zhuravlev, D. I. Leontiev, M. O. Berbenev, S.V. Yudin // Abstract. Third International Congress on Stratigraphy, Milano (Italy), 2-5 July 2019. P. 38.
22. Груздев Д. А., Плотицын А. Н., Журавлев А. В. и др. Лымбадьяхинская свита верхнего девона севера Пай-Хойского карбонатного паравтохтона: новые данные // Известия Коми НЦ УрО РАН. Серия «Науки о Земле». 2020. № 1(41). С. 5–15.
23. Голубева Ю. В., Кряжева И. В. Развитие растительности и микротериофауны в позднеледниковье и голоцене на территории национального парка «Югыд ва» // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2020. Т. 28. № 3. С. 148–160.
24. Безносков П. А., Снигиревский С. М., Наугольных С. В., Лукшевич Э. В. Верхнедевонский комплекс отложений дельтовой равнины на Северном Тимане // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2018. № 1. С. 25–44.
25. Ahlberg P.E., Beznosov P. An extremely primitive miniature tetrapod from the Late Devonian (Early Famennian) of North Timan, Russia. Ichthiolith Issues, Special Publication 14: Abstracts of the 15th International Symposium on Early and Lower Vertebrates. Qujing, 2019. P. 1–2.
26. Нетрадиционные источники углеводородного сырья арктической зоны европейского Северо-Востока России как основа развития новых отраслей промышленности / И.Н. Бурцев, Д.А. Бушнев, О.С. Котик, Д.В. Кузьмин, Д.О. Машин, И.Г. Бурцева // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2015. № 3(23). С. 71–79.
27. Анализ и характеристика обеззоленных углей Печорского угольного бассейна, полученных методом экстракции органическим растворителем / Н. С. Бурдельная, И. Н. Бурцев, Д. А. Бушнев, Д. В. Кузьмин, М. В. Мокеев // Доклады Академии наук. 2017. Т. 477. № 6. С. 688–693.
28. Нифонтов Ю. А., Герасимов А. М., Бурцев И. Н., Карпунина В. П. К вопросу о переработке низкосортных углей и получении беззольного угольного топлива для прямого ввода в газовую турбину // Морские интеллектуальные технологии. 2019. Т. 45. № 3. Часть 2. С. 142–150. ISSN 2588-0233
29. Бурцева И. Г., Бурцев И. Н., Тихонова Т. В. Возможности освоения нетрадиционных ресурсов углеводородного сырья в Тимано-Североуральском регионе с учетом экосистемных услуг // Известия Уральского государственного горного университета. 2017. Вып. 4 (48). С. 95–99.
30. Котик И.С., Майдль Т.В., Котик О.С., Пронина Н.В. Нефтегазоматеринские отложения силура поднятия Чернова (Тимано-Печорский бассейн) // Георесурсы. 2020. №22(3). С. 12–20. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2020.3.12-20>.
31. Котик О.С., Котик И.С., Каргиева Т.Г. Пермские отложения юго-востока Коротайхинской впадины: углепетрография, геохи-

- мия и нефтегазогенерационный потенциал // Геология нефти и газа. 2017. №4. С. 91–102.
32. *Валяева О.В., Бушнев Д.А.* Геохимическая характеристика нефтей вала Гамбургцева // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2020. Т.15. №2. http://www.ngtp.ru/rub/2020/20_2020.html.
33. *Валяева О.В., Рябинкина Н.Н., Бушнев Д.А.* Углеводороды-биомаркеры нефтей Лабаганского месторождения Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции // Георесурсы. 2020. 22(1).С. 46–54. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2020.1.46-54>.
34. *Даньщикова И.И., Майдль Т.В., Журавлев А.В., Рязанов К.П.* Структура пустотного пространства в силурийских карбонатных породах северо-востока Тимано-Печорской провинции // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2020. Т.15. №3. http://www.ngtp.ru/rub/2020/32_2020.html.
35. *Тимонина Н.Н., Мочалова И.Л.* Литологические особенности продуктивных отложений нижнего триаса Шапкина-Юръяхинского вала (Тимано-Печорская нефтегазоносная провинция) // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2017. Т.12. №3. http://www.ngtp.ru/rub/2/28_2017.pdf.
36. Минерально-сырьевая база Тимано-Североуральского региона и перспективы ее развития / *А. М. Асхабов, С. К. Кузнецов, М. Б. Тарбаев, И. Н. Бурцев, Н. Н. Тимонина, А.М. Пыстин* // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2015. № 3 (23). С. 79–90.
37. *Бурцев И. Н.* Современные геотехнологические методы переработки медных руд и перспективы их использования на месторождениях Тимана и Урала // Перспективные геотехнологии. СПб.: Наука, 2010. 376 с.
38. *Шайбеков Р. И., Исаенко С. И., Тропников Е. М.* Минералого-спектроскопические особенности арсенидов платины из медно-никелевых проявлений Пай-Хоя (Ненецкий автономный округ, Россия) // Минералогия. 2019. № 2. С. 36–45.
39. *Кузнецов С. К., Майорова Т. П., Сокерина Н. В., Глухов Ю. В.* Золотоносные районы западного склона севера Урала и Тимана // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2018. № 4(36). С. 25–38.
40. *Кузнецов С. К., Онищенко С. А.* Золотоносность локальных участков метасоматического изменения риолитов месторождения Чудное (Приполярный Урал) // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2018. № 12. С.39–45.
41. *Майорова Т. П., Ефанова Л. И.* Проявление золото-мышьяковистого типа Нияхойское-2 на Полярном Урале (кряж Манитаньрд) // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2019. № 8. С. 33–41. DOI: [10.19110/2221-1381-2019-8-33-41](https://doi.org/10.19110/2221-1381-2019-8-33-41).
42. Промышленные минералы севера европейской части России / *В.В. Щипцов, И.Н. Бурцев, Д.В. Жиров, А.В. Волошин, Д.О. Машин* // Труды Карельского научного центра РАН № 6. 2020. С. 7–35. DOI: [10.17076/them1267](https://doi.org/10.17076/them1267)
43. *Кузнецов Д. С.* Баритовые месторождения Республики Коми и перспективы их освоения // Актуальные проблемы, направления и механизмы развития производительных сил Севера – 2018: Сборник статей Шестой Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). Сыктывкар: ООО «Коми республиканская типография», 2018. Ч. II. С.46–49.
44. *Kotova O.B., Ignatiev G.V., Shushkov D.A., Harja M., Broekmans M.A.T.M.* Preparation and Properties of Ceramic Materials from Coal Fly Ash. In: *Votyakov S., Kiseleva D., Grokhovsky V., Shchapova Y.* (eds). Minerals: Structure, Properties, Methods of Investigation / Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences // Springer, Cham. 2019. P.100-107. DOI: [10.1007/978-3-030-00925-0_16](https://doi.org/10.1007/978-3-030-00925-0_16)
45. *Бурцев И.Н., Дмитриева Т.Е.* Сырьевая база минерального строительного сырья Воркутинской опорной зоны Арктики // Актуальные проблемы, направления и механизмы развития производительных сил Севера – 2018: Сборник статей Шестой Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). Сыктывкар: ООО «Коми республиканская типография», 2018. Ч. II. С.18–23.

References

1. *Geologicheskaya karta Rossii I privileyuschiy akvatorii masshtaba 1:2500000* [Geological map of Russia and adjacent water areas scale 1:2500000] / Chief ed. *B.A.Yatskevich*. St.Petersburg: Russian Geol. Research Inst. (VSEGEI), 2000.
2. *Glubinnoe stroenie Timano-Severouralskogo regiona* [Deep structure of the Timan-North Urals region] / *A.M.Pystin, V.L.Andreichev, O.V.Udoratina* et al. Syktyvkar: Geoprint, 2011. 264 p.
3. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federacii. Masshtab 1:200000. Izdanie 2. Seriya Polyarno-Uralskaya. List Q-42-VII, VIII (Obskoi). Obyasnitelnaya zapiska* [State geological map of the Russian Federation. Scale 1:200000. 2nd edition. Polar-Urals series. Sheet Q-42-VII, VIII (Ob). Explanatory note] / *V.A.Dushin, O.P.Sedyukova, A.A. Malyugin* et al. St.Petersburg: VSEGEI, 2014. 384 p.
4. *Stratigraficheskie shemy Urala (dokembrii, paleozoi)* [Stratigraphic schemes of the Urals (Precambrian, Paleozoic)]. Ekaterinburg: Uralgeolkom, 1994.
5. *Rifei i vend evropeiskogo Severa SSSR* [Riphean and Vendian of the European North of the USSR] / Eds. *V.A.Dedeev, V.G.Getsen*. Syktyvkar, 1987. 124 p.
6. *Timansky kryazh* [Timan ridge]. In 2 volumes. Vol. 2. Lithology and stratigraphy, geophysical characteristics of the Earth's crust, tectonics, mineral resources / *N.D.Tskhadaya, A.I.Kobrunov, L.P.Shilov* et al. Ukhta: Ukhta State Techn. Univ., 2010. 427 p.

7. *Pystin A.M., Pystina Yu.I., Ulyasheva N.S., Grakova O.V.* U-Pb dating of detrital zircons from basal Post Paleoproterozoic metasediments in the Subpolar and Polar Urals: Evidence for a Cryogenian, not Mesoproterozoic Age // *Intern. Geology Review*. 2020. Vol. 62. No. 17. P. 2189–2202. DOI: 10.1080/00206814.2019.1689533.
8. *Nikulova N.Yu.* Litologiya i geohimiya dopaleozoiskih peschanikov Polyarnogo Urala // *Litologiya osadochnykh kompleksov Evrazii i shelfovykh oblastei* [Lithology and geochemistry of pre-Paleozoic sandstones of the Polar Urals // *Lithology of sedimentary complexes of Eurasia and shelf areas*]: Materials of IX All-Russia Litholog. meeting (with intern. participation). Kazan, 2019. P. 323–324.
9. *Kaneva T.A.* Petrogenезis i geodinamika pozdnedokembriiskih vulkanitov severo-zapadnogo Pai-Hoya [Petrogenesis and geodynamics of Late Precambrian volcanites in northwestern Pay-Khoy] // *Bull. of Inst. of Geology, Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS*, 2016. №12. P. 3–15.
10. *Kaneva T.A., Udoratina O.V., Starikova E.V., Khubanov V.B.* Ocenka nizhnego vozrastnogo predela neoproterozoiskoi sokolninskoi svity severo-zapadnogo Pai-Hoya na osnove U-Pb datirovaniya detritnykh cirkonov [Estimation of the lower age limit of the Neoproterozoic Sokolninsk formation of the northwestern Pay-Khoy based on U-Pb Dating of detrital zircons] // *Bull. of Moscow society of nature explorers. Geology Dept. Moscow: Moscow State Univ. Publ.*, 2015. Vol. 90. Issue 6. P. 3–10.
11. *Puchkov V.N.* Plyumy – novoe slovo v geologii Urala [Plums – a new word in the Geology of the Urals] // *Lithosphere*. 2018. Vol. 18. № 5. P. 692–706.
12. *Golubeva I.I., Remizov D.N., Kulikova K.V.* et al. Geologiya i veschestvenny sostav rannepermских vysokokalievyykh trahitov eksplozivnoi subvulkanicheskoi facii Srednego Timana [Geology and material composition of Early Permian high-potassium trachytes of the explosive subvolcanic facies of the Middle Timan] // *Bull. of Moscow society of nature explorers. Geology Dept.* 2016. Vol. 91. Issue 2–3. P. 36–46.
13. *Udoratina O.V., Kapitanova V.A.* Geokhronologiya formirovaniya porod substrata i rud redkometallno-redkozemelnykh mestorozhdenii i rudoproyavlenii na severe Urala i Timana [Geochronology of formation of substrate rocks and ores of rare-metal-rare-earth deposits and ore occurrences in the North of the Urals and Timan] // *Proc. of Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS*. 2016. № 4(28). P. 86–101.
14. *Shmakova A.M.* Osobennosti mineralnogo sostava devonskikh doleritov i bazaltov yugovostochnoi chasti poluostrova Kanin [Features of the mineral composition of Devonian dolerites and basalts of the South-Eastern part of the Kanin Peninsula] // *Geology and mineral resources of the European North-East of Russia: Materials of XVII Geol. Congress of the Komi Republic. Vol. II. Сыктывкар: Inst. of Geology, Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS*, 2019. P. 122–124.
15. *Beznosova T.M., Lukin V.Yu., Männik P.* Vozrast gorizontov nizhnego silura evropeiskogo Severo-Vostoka Rossii [Age of Lower Silurian horizons in the European North-East of Russia] // *Bull. of Inst. of Geology, Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS*. 2016. №11. P. 10–14.
16. *Beznosova T.M., Matveev V.A., Sokolova L.V.* Biostratigraficheskie i sobitiino-stratigraficheskie rubezh ludlova i przhidola na zapadnom sklone Pripolyarnogo Urala [Biostratigraphic and event-stratigraphic boundary of Ludlovian and Pridolian on the western slope of the Subpolar Urals] // *Bull. of Inst. of Geology, Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS*. 2018. № 11. P.31–37.
17. *Soboleva M.A., Sobolev D.B.* Conodonts and ostracodes from the Givetian-Frasnian shallow-water deposits of the Southern Timan // *Vestnik IG Komi SC UB RAS*. 2019. № 10. P. 28–38.
18. *Telnova O.P., Shumilov I.Kh.* Palinologicheskaya i litologicheskaya harakteristiki devonskikh terrigennykh otlozhenii v basseine r. Tsilma (Sredny Timan) [Palynological and lithological characteristics of Devonian terrigenous deposits in the Tsilma river basin (Middle Timan)] // *Stratigraphy. Geological correlation*. 2019. Vol.27. №1. P. 31–56.
19. *Zhuravlev A.V., Vevel' Ya.A., Gruzdev D.A.* Mestnaya stratigraficheskaya shema verhnego Devona i karbona severa Pay-Hoya [Local stratigraphic scheme of the Upper Devonian and Carboniferous of Northern Pay-Khoy] // *Oil-and-gas Geology. Theory and practice*. 2018. Vol.13. №2. http://www.ngtp.ru/rub/2/19_2018.pdf DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/19_2018
20. *Erofeevsky A.V., Zhuravlev A.V.* Perspektivy ispolzovaniya izotopno-stratigraficheskogo metoda ($\delta^{13}\text{C}$ karb) dlya korrelyatsii verhnedevojsko-kamennougolnogo intervala vostoka Timano-Pechorskoi provincii [Prospects for using the isotope-stratigraphic method ($\delta^{13}\text{C}$ carb) for correlation of the Upper Devonian-Carboniferous interval in the East of the Timan-Pechora province] // *Oil-and-gas Geology. Theory and practice*. 2019. T. 14. № 1. http://www.ngtp.ru/rub/2019/9_2019.html DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/9_2019
21. New analytic study of Devonian-Permian deposits in the Polar Urals (Kozhim River) and Pay-Khoy (Yugorsky Peninsula) / *O.L. Kossovaya, E.O. Petrov, I.O. Evdokimova, A.V. Shmanyak, A.V. Zhuravlev, D.I. Leontiev, M.O. Berbenev, S.V. Yudin* // Abstract. Third International Congress on Stratigraphy, Milano (Italy), 2-5 July 2019. P. 38.
22. *Gruzdev D.A., Plotitsyn A.N., Zhuravlev A.V.* et al. Lymbadyahinskaya svita verhnego De-

- vona Pai-Hoiskogo karbonatnogo paravtohtona: novie dannie [The Lymbadyakh suite of the Upper Devonian of the North of the Pay-Khoy carbonate parautochthon: new data] // Proc. of Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS. Series "Earth Sciences". 2020. № 1(41). P. 5–15.
23. Golubeva Yu.V., Kryazheva I.V. Razvitie rastitelnosti i mikroteriofauny v pozdnelednikovye i golocene na territorii nacionalnogo parka "Yugyd-va" [Development of vegetation and microteriofauna in the Late Glacial and Holocene on the territory of the "Yugyd-Va" National Park] // Stratigraphy. Geological correlation. 2020. Vol. 28. № 3. P. 148–160.
 24. Beznosov P.A., Snigirevsky S.M., Naugolnykh S.V., Lukshovich E.V. Verhnedevonskii complex otlozhenii deltovoi ravniny na Severnom Timane [Upper Devonian complex of Delta plain deposits in the Northern Timan] // Bull. of Inst. of Geology, Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS, 2018. № 1. P. 25–44.
 25. Ahlberg P.E., Beznosov P. An extremely primitive miniature tetrapod from the Late Devonian (Early Famennian) of North Timan, Russia. Ichthyolith Issues, Special Publication 14: Abstracts of the 15th International Symposium on Early and Lower Vertebrates. Qujing, 2019. P. 1–2.
 26. Netradicionnye istochniki uglevodorodnogo syr'ya arkticheskoi zony evropeiskogo Severo-Vostoka Rossii kak osnova razvitiya novykh otraslei promishlennosti [Unconventional sources of hydrocarbons in the Arctic zone of the European North-East of Russia as a basis for the development of new industries] / I.N. Burtsev, D.A. Bushnev, O.S. Kotik, D.V. Kuzmin, D.O. Mashin, I.G. Burtseva // Proc. of Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS. 2015. № 3(23). P. 71–79.
 27. Analiz i harakteristika obezvolennykh uglei Pechorskogo ugolnogo basseina, poluchennykh metodom ekstrakcii organicheskimi rastvoritelem [Analysis and characteristics of desalinated coals of the Pechora coal basin obtained by organic solvent extraction method] / N.S. Burdelnaya, I.N. Burtsev, D.A. Bushnev, D.V. Kuzmin, M.V. Mokeev // Doklady Earth Sciences. 2017. Vol. 477. № 6. P. 688–693.
 28. Nifontov Yu.A., Gerasimov A.M., Burtsev I.N., Karpunina V.P. K voprosu o pererabotke nizkosortnykh uglei i poluchenii bezzolnogo ugolnogo topliva dlya pryamogo vvoda v gazovuyu turbinu [On the issue of processing low-grade coal and obtaining ash-free coal fuel for direct input to a gas turbine] // Marine intelligent technologies. 2019. Vol. 45. № 3. Part 2. P. 142–150. ISSN 2588-0233
 29. Burtseva I.G., Burtsev I.N., Tikhonova T.V. Vozmozhnosti osvoeniya netradicionnykh resursov uglevodorodnogo syr'ya v Timano-Severouralskom regione s uchetom ekosistemnykh uslug [Opportunities for developing unconventional hydrocarbon resources in the Timan-North Urals region, taking into account ecosystem services] // Proc. of the Ural State Mining Univ. 2017. Issue 4 (48). P. 95–99.
 30. Kotik I.S., Maidl' T.V., Kotik O.S., Pronina N.V. Neftegazomaterinskie otlozheniya silura podnyatiya Chernova (Timano-Pechorskii Bassein) [Oil and gas source deposits of the Silurian of the Chernov uplift (Timan-Pechora basin)] // Georesources. 2020. № 22 (3). P. 12–20. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2020.3.12-20>.
 31. Kotik O.S., Kotik I.S., Kargieva T.G. Permskie otlozheniya yugo-vostoka Korotaihinskoi vpadiny: uglepetrografiya, geohimiya i neftegazogeneracionnii potencial [Permian deposits of the southeast of Korotaihka depression: coal petrography, geochemistry, and oil and gas generation potential] // Oil and Gas Geology. 2017. № 4. C. 91–102.
 32. Valyaeva O.V., Bushnev D.A. [Geochemical characteristics of Gamburtsev swell oils] // Oil and Gas Geology. Theory and practice. 2020. Vol. 15. № 2. http://www.ngtp.ru/rub/2020/20_2020.html
 33. Valyaeva O.V., Ryabinkina N.N., Bushnev D.A. Uglevodorody-biomarkery neftei Labaganskogo mestorozhdeniya Timano-Pechorskoi neftegazonosnoi provincii [Hydrocarbons-biomarkers of oil from the Labagan field of the Timan-Pechora oil and gas province] // Georesources. 2020. 22(1). P. 46–54. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2020.1.46-54>
 34. Danshikova I.I., Maidl' T.V., Zhuravlev A.V., Ryazanov K.P. Struktura pustotnogo prostranstva v siluriiskikh karbonatnykh porodakh severo-vostoka Timano-Pechorskoi provincii [Structure of void space in Silurian carbonate rocks of the North-East of the Timan-Pechora province] // Oil and Gas Geology. Theory and practice. 2020. Vol. 15. № 3. http://www.ngtp.ru/rub/2020/32_2020.html.
 35. Timonina N.N., Mochalova I.L. Litologicheskie osobennosti produktivnykh otlozhenii nizhnego triasa Shapkina-Yuryahinskogo vala (Timano-Pechorskaya neftegazonosnaya provinciya) [Lithological features of productive deposits of the Lower Triassic of Shapkin-Yuryakha swell (Timan-Pechora oil and gas province)] // Oil and Gas Geology. Theory and practice. 2017. Vol. 12. № 3. http://www.ngtp.ru/rub/2/28_2017.pdf.
 36. Mineralno-siryevaya baza Timano-Severouralskogo regiona i perspektivy ee razvitiya [Mineral resource base of the Timan-North Urals region and its development prospects] / A.M. Askhabov, S.K. Kuznetsov, M.B. Tarbaev, I.N. Burtsev, N.N. Timonina, A.M. Pystin // Proc. of Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS. 2015. № 3 (23). P. 79–90.
 37. Burtsev I.N. Sovremennye geotekhnologicheskie metody pererabotki mednykh rud i perspektivy ih ispolzovaniya na mestorozhdeniyah Timana i Urala [Modern geotechnological methods of processing copper ores and prospects for their use in the Timan and Urals

- deposits] // Perspective geotechnologies. St. Petersburg: Nauka, 2010. 376 p.
38. *Shaibekov R.I., Isaenko S.I., Tropnikov E.M.* Mineralogo-spektroskopicheskie osobennosti arsenidov platiny iz medno-nikelevykh proyavlenii Pai-Hoya (Neneckii avtonomnyy okrug [Mineralogical and spectroscopic features of platinum arsenides from Copper-Nickel manifestations of Pay-Khoy (Nenets Autonomous area)] // Mineralogy. 2019. № 2. P. 36–45.
 39. *Kuznetsov S.K., Maiorova T.P., Sokerina N.V., Glukhov Yu.V.* Zolotonosnie raiony zapadnogo sklona severa Urala i Timana [Gold-bearing areas of the western slope of the North of the Urals and Timan] // Proc. of Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS. 2018. № 4(36). P. 25–38.
 40. *Kuznetsov S.K., Onishchenko S.A.* Zolotonosnost' lokalnykh uchastkov metasomaticheskogo izmeneniya riolitov mestorozhdeniya Chudnoe (Pripolyarnii Ural) [Gold content of local areas of metasomatic changes in rhyolites of the Chudnoye Deposit (Circumpolar Urals)] // Bull. of Inst. of Geology, Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS. 2018. № 12. P. 39–45.
 41. *Maiorova T.P., Efanova L.I.* Proyavlenie zolotomyslyakovistogo tipa Nitahoisкое-2 na Polyarnom Urale (kryazh Manitanyrd) [The manifestation Niyakhoy-2 of gold-arsenic type in the Polar Urals (Manitanyrd ridge)] // Bull. of Inst. of Geology, Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS. 2019. № 8. P. 33–41. DOI: 10.19110/2221-1381-2019-8-33-41
 42. Promishlennye mineraly severa evropeiskoi chasti Rossii [Industrial minerals of the North of the European Russia] / *V.V. Shchiptsov, I.N. Burtsev, D.V. Zhironov, A.V. Voloshin, D.O. Mashin* // Proc. of the Karelian Sci. Centre, RAS. 2020. № 6. P. 7–35. DOI: 10.17076/them1267
 43. *Kuznetsov D.S.* Baritovie mestorozhdeniya Respubliki Komi i perspektivy ih osvoeniya [Barite deposits of the Komi Republic and prospects for their development] // Actual problems, directions and mechanisms of development of productive forces of the North–2018: Collection of papers of the VI all-Russian sci. pract. conf. (with intern. partic.). Syktyvkar: Komi Republican Printing House, 2018. Part II. P.46–49.
 44. *Kotova O.B., Ignatiev G.V., Shushkov D.A., Harja M., Broekmans M.A.T.M.* Preparation and Properties of Ceramic Materials from Coal Fly Ash. In: *Votyakov S., Kiseleva D., Grok-hovsky V., Shchapova Y.* (eds). Minerals: Structure, Properties, Methods of Investigation / Springer Proc. in Earth and Environmental Sciences // Springer, Cham. 2019. P.100–107. DOI: 10.1007/978-3-030-00925-0_16
 45. *Burtsev I.N., Dmitrieva T.E.* Siryevaya baza mineralnogo stroitelnogo sirya Vorkutinskoi opornoj zony Arktiki [Raw material base of mineral construction raw materials of the Vorkuta reference zone of the Arctic] // Actual problems, directions and mechanisms of development of productive forces of the North–2018: Collection of papers of the VI all-Russian sci. pract. conf. (with intern. partic.). Syktyvkar: Komi Republican Printing House, 2018. Part II. P.18–23.

Статья поступила в редакцию 15.10.2020

УДК 548.5
DOI 10.19110/1994-5655-2020-6-21-27

А.М. АСХАБОВ

О КВАТАРОНАХ И ИХ НЕОБЫЧНЫХ СВОЙСТВАХ

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

Askhabov@geo.komisc.ru

A.M.ASKHABOV

ABOUT QUATARONS AND THEIR UNUSUAL PROPERTIES

**N.P. Yushkin Institute of Geology,
Federal Research Centre Komi Science Centre,
Ural Branch, RAS,
Syktyvkar*

Аннотация

Дан краткий обзор необычных свойств предкристаллизационных кластеров, названных кватаронами и рассматриваемых как особая форма атомно-молекулярной организации вещества на наноуровне (новое фазовое состояние). Кватароны не являются зародышами новой фазы, это – частицы особой протофазы, которые лишь при определенных условиях трансформируются в протоминералы, в кристаллические зародыши или иные типы наночастиц. Динамическая структура, флуктуация внешней поверхности, осциллирующий характер ряда связей между атомами, присущий им жидкостно-твердофазный дуализм, относятся к числу необычных свойств кватаронов, которые отличают их от обычных энергетически минимизированных и пространственно оптимизированных «классических» кластеров. Для дальнейшего понимания необычных свойств кватаронов необходимы эксперименты с использованием рентгеновского лазера на свободных электронах с *in situ* наблюдением за процессами их образования, эволюции и трансформации в различных условиях.

Ключевые слова: *предкристаллизационные кластеры, кватароны, рост кристаллов*

Abstract

A brief overview of the unusual properties of pre-crystallization clusters called quatarons, which are considered as a special form (new state) of the atomic-molecular organization of matter at the nanoscale, is given. We predicted the formation of such special particles - quatarons - in 1998. Even then, we noted that quatarons are not nuclei of a new phase. These are particles of a peculiar protophase, which, under certain conditions, transform into protominerals, crystalline nuclei, or other types of nanoparticles. Quatarons have a number of unusual properties. They have no phase boundaries in the usual macroscopic sense. Their morphology cannot be predicted due to their lack of structure. The dynamic structure, the fluctuation of the outer surface, the oscillating character of a number of bonds between atoms distinguish quatarons from ordinary energetically minimized and spatially optimized "classical" clusters. The liquid-solid-phase dualism inherent in quatarons and the associated "polymorphism", open the way for their structural evolution. The crystallogenic significance of quatarons is that they are ideally suited for the role of crystal-forming particles. However, quatarons are not actually building units, since growth is not carried out by their sequential stacking. In contrast to atomic (Kossel) or microblock (Balarev) mechanisms, the quataron growth of crystals involves a stage of adaptation of the quataron to the crystal structure. For further development of ideas about the unusual properties of quatarons, experiments using a free-electron

laser are necessary to study in situ the processes of quatarons formation and evolution under various conditions.

Keywords: *pre-crystallization clusters, quatarons, crystal growth*

Введение

Более 20 лет назад автор высказал идею о возможном существовании в наном мире особых частиц, которые были названы кватаронами [1]. За прошедшее время эта идея трансформировалась в оригинальную естественно-научную концепцию. Основные идеи новой (кватаронной) концепции и некоторые ее приложения были представлены в целом ряде работ [2–5], в том числе в статье, опубликованной в журнале «Известия Коми научного центра УрО РАН» [6]. Этой концепции удалось разрешить многие вопросы, связанные с образованием в природе конденсированного состояния вещества, зарождения и роста кристаллов, формирования различных наночастиц и наноструктурированных аморфных и кристаллических материалов [2–6]. В рамках кватаронной концепции обсуждались и находили ответы также и далекие от кристаллографии и минералогии проблемы (абиогенной сборки первичных элементов живой материи, происхождения шаровой молнии и др.) [7–8]. В результате эта концепция значительно расширила горизонты понимания наномира и наносостояния вещества в целом. Сами кватароны приобрели черты особой формы атомно-молекулярной организации вещества на наноуровне, нового состояния вещества, которое не реализуется на макроуровне. Стало очевидным, что структурный наноуровень – это не просто один из уровней размерности, а уровень особой структурной организации вещества, его перехода в принципиально новое качество с новыми свойствами. Зачастую эти свойства в силу своей необычности, казалось, противоречили установившимся в науке взглядам. Ряд свойств кватаронов до сих пор вызывает удивление и, в некоторых случаях, недопонимание.

Стало понятно, что кватароны – это важнейшие объекты протоминерального мира. Они привлекают внимание с разных сторон. Теперь уже не только как предзародышевые кластеры, которые определяют закономерности зарождения и роста кристаллов. Очевиден интерес к свойствам кватаронов со стороны нанотехнологов, материаловедов, экологов и др. В связи с этим мы считаем необходимым еще раз обратить внимание на наиболее необычные и удивительные свойства кватаронов и их роль в процессах кристаллообразования. Тема системного анализа свойств кватаронов все еще актуальна. Частично она уже обсуждалась нами в статье, недавно опубликованной в «Докладах Академии наук» [9]. Адресована эта заметка, в первую очередь, тем, кто продолжает считать кватароны обычными кластерами или очень маленькими кристаллическими зародышами. Мы также хотим охладить пыл тех, кто в каждом наноразмерном шарообразном объекте видит кватарон, что тоже часто

происходит. Цель статьи – показать еще раз, что кватароны – это совершенно удивительные атомные образования в протоминеральном наном мире и на этой основе побудить интерес к дальнейшему детальному их исследованию, в том числе с использованием методов соответствующего пространственно-временного разрешения.

От кватаронов к протоминеральному миру

Начнем с утверждения, что образованию кристаллических зародышей в пересыщенных средах предшествует стадия кластеризации вещества, не сводимая к обычным гетерофазным флуктуациям, характерным для метастабильных состояний. Это ключевое положение кватаронной концепции на первый взгляд кажется тривиальным, поскольку явление предкристаллизационного структурирования вещества в пересыщенных средах никогда категорически не отрицалось. Проблема заключалась в том, что существование предзародышевых кластеров, как устойчивых структур, не удавалось ни теоретически обосновать (в рамках классической теории зародышеобразования), ни надежно подтвердить экспериментальными методами. При этом косвенных фактов, свидетельствующих об их существовании, было более чем достаточно. Так, еще в 80-х гг. прошлого века связанный характер вещества в пересыщенных растворах был установлен рамановской спектроскопией [10, 11]. В наши дни соответствующая экспериментальная база существенно расширилась, появились новые методы исследования, в том числе методы криоэлектронной микроскопии [12]. В итоге, факт существования предзародышевых образований в пересыщенных средах уже практически никем не оспаривается. Что касается теоретического обоснования образования в кристаллообразующих средах специфических предзародышевых кластеров (кватаронов), то оно было дано нами еще в 1998 г. [1].

Однако новизна и поразительные свойства предсказанных в той работе новых частиц стали раскрываться, когда мы попытались анализировать их природу как зародышевых частиц новой фазы. Почти сразу стало ясно, что они никак не могут быть интерпретированы как маленькие кристаллические частицы – зародыши кристаллов. Соблазн просто назвать их дозародышами, и на этом закрыть вопрос, не выдерживал критики. Отсюда, собственно, и необходимость присвоения этим частицам специального названия – кватароны. Это же самое вынуждены были сделать затем и другие авторы: к примеру, в работе немецких авторов они были названы «доллопами» [13].

Таким образом, предкристаллизационные кластеры существуют, и это не зародыши кристаллов, которые образуются в результате фазового перехо-

да – кристаллизации. Мы имеем дело с принципиально новыми объектами. На этой основе нами в развитие учения об онтогении минералов была сформулирована концепция протоминерального мира – мира новых объектов, существующих между отдельными атомами и молекулами, с одной стороны, и кристаллами (минералами), с другой [14]. Протоминеральный мир (мир творения минералов) следует рассматривать сейчас, пользуясь термином В. Оствальда, как новый «мир обойденных величин». Именно исследование этого мира должно обеспечить глубокое понимание необычных свойств кватаронов, других форм структурной организации и существования доминерального вещества.

Кватароны: от протофазы к кристаллу

Далее остановимся на некоторых необычных свойствах кватаронов, которые позволяют глубже понять их роль и место в общей картине формирования кристаллического и некристаллического вещества.

При образовании кватаронов мы имеем дело с феноменом незавершенного фазового перехода, при котором на пути к новой фазе реализуется какое-то промежуточное состояние. Поскольку в данном случае речь идет о кристаллизации как фазовом переходе I-го рода, то это состояние, очевидно, не является кристаллическим, по крайней мере, не в полной мере кристаллическим. Кватароны – не кристаллы! Аналогичное состояние, которое реализуется между паром и жидкой фазой (водой) было названо в работе [15] «скрытой фазой». Рассматриваемая «недофаза», естественно, при определенных условиях может стать и становится реальной (явной) фазой – кристаллом.

Возникшая проблема кристаллизации кватаронов была решена нами на основе интерпретации кватаронов в терминах (R, r) -систем и соответствующей теоремы об упорядочении в области $4R$ (в некоторых работах – это $6R$), как условия для кристаллизации [16]. Это можно было сделать, поэтому что радиус покрытия R в (R, r) -системе практически тождественен параметру δ , который фигурирует в нашей теории.

Интересно, что трансформация кватарона в кристалл возможна только при выполнении определенных и не очень строгих условий [2–5]. Надо, чтобы:

1) радиус кватаронов был больше или равен 4δ , где δ – диаметр кластерообразующих атомов или иных структурных единиц;

2) кватароны были относительно плотными образованиями с нефрактальной структурой.

При соблюдении этих условий кватарон рано или поздно попадет в симметричную ловушку и станет кристаллом. Однако, если кватарон в процессе своей эволюции приобретает некристаллографическую симметрию, то кристаллизация станет невозможной. Такие аморфные кластеры с икосаэдрической и додекаэдрической симметрией достаточно распространены. Среди них наиболее известны так называемые магические кластеры [17]. С аморфными частицами, в которые трансформируются кватароны или которые образуются на их ос-

нове, связана отдельная материаловедческая сюжетная линия. В частности, в рамках кватаронной концепции легко объясняется образование фуллеренов, структурных единиц опалоподобных материалов [18–19].

От кватаронов к протоминералам

Нижняя геометрическая граница кватаронов связана с переходом системы через равновесие. Их устойчивое существование возможно только в неравновесных условиях. Минимальный размер легко определяется из модифицированного уравнения Оствальда-Фрейндлиха, связывающего радиус равновесных частиц r с пересыщением раствора $\ln \frac{c}{c_0}$ [2]:

$$\ln \frac{c}{c_0} = \frac{2\gamma_0 V_m}{RT r} \left(1 - \frac{\delta}{r}\right), \quad (1)$$

где γ_0 – удельная поверхностная энергия для плоской границы раздела, V_m – мольный объем, R – универсальная газовая постоянная, T – температура.

При нулевом пересыщении этот радиус равен δ . Это и есть минимальный размер кватарона.

Соответственно, максимальный размер мы определяем исходя из нового варианта формулы Гиббса для энергии образования зародыша [2].

$$\Delta G = \frac{4}{3} \pi r^3 \left(1 - \frac{4\delta}{r}\right). \quad (2)$$

Верхняя граница кватарона $r=4\delta$ определена из условия $\Delta G \leq 0$.

Таким образом, кватаронами названы частицы, радиус которых $\delta \leq r \leq 4\delta$, их образование происходит самопроизвольно, с выделением энергии. При $r > 4\delta$, согласно формуле (2), процесс образования частиц носит энергозатратный характер, как это и должно быть в соответствии с классической теорией.

Свойства кватаронов, как и всех других наноразмерных объектов, зависят от их размеров. Хотя мы их и объединили общим названием, по существу, кватароны в указанном интервале размеров – это по многим параметрам различные объекты. В области малых размеров ($r \leq 2\delta$) – это преимущественно полые образования, а вблизи $r = 4\delta$ – плотные объекты, структура которых может быть достаточно близка к структуре минерала. Такие объекты могут быть уже названы протоминералами.

Размерные свойства кватаронов

С размерами и некристаллическостью кватаронов связано следующее фундаментальное свойство кватаронов – неопределенность их структуры. Расположение атомов в кватаронах, по крайней мере значительного их числа, строго не фиксировано. Длины связей и углы между ними не постоянны и меняются во времени (имеют осциллирующий характер).

Это обстоятельство определяет ряд чрезвычайно важных свойств кватаронов:

а) они не имеют, особенно когда их размеры малы, фазовых границ в обычном макроскопическом понимании. Отсюда и известные затруднения их обнаружения;

б) морфологию кватаронов невозможно предсказать, их форма непрерывно меняется, флу-

ктуирует даже при заданном числе содержащихся в них атомов (молекул). При непостоянстве внешних условий неизбежна и флуктуация массы. По этой причине нет смысла искать для кватаронов оптимальную конфигурацию атомов;

в) из очевидных соображений следует, что кватароны должны иметь квазисферическую форму. Это связано также с тем, что кватароны – это броуновские частицы. Они находятся в беспорядочном движении, которое неизбежно ведет к изометризации их формы;

г) часть энергии, которая могла выделиться при их образовании, сохраняется в кватаронах в виде запасенной энергии, что делает возможным переключение связей и их повышенную энергоактивность. Кроме того, имеется еще ряд причин повышенной дополнительной энергии в кватаронах, связанной, в частности, с их неравновесностью. По этой причине кватароны иногда образно называют «живыми» кластерами.

Таким образом, динамичность структуры, флуктуирующая внешняя поверхность, осциллирующий характер связей между атомами резко отличают кватароны от обычно рассматриваемых энергетически минимизированных, пространственно оптимизированных «классических» кластеров.

Отдельный и самостоятельный вопрос – почему столь разительно отличаются свойства кватаронов (или в более общем случае – наночастиц) от макроскопических частиц. Частично ответ на этот вопрос, в общем-то, известен. Кроме того, что указывалось выше, это связано еще с рядом других обстоятельств.

1. Для частиц нанометрового размера поверхностная энергия (натяжение) зависит от их размера (поверхности). И это очень сильно влияет на их свойства, что во многом и определяет их необычность. Но сама эта зависимость для наноразмерных объектов часто вызывает дискуссии. Некоторые авторы предлагают вообще ее не обсуждать, что, по нашему мнению, неконструктивно.

2. В интервале размеров до $1\div 2$ нм нельзя пренебрегать квантовыми эффектами. Это уникальный размерный интервал. Квантовые размерные эффекты, как известно, проявляются, когда геометрические размеры соизмеримы с длиной волны до Брайля.

3. Для таких частиц высока доля поверхностных атомов в общем числе составляющих их атомов. Даже при максимальном их размере 4δ эта доля составляет 50%. При меньших размерах она еще больше. Совсем маленькие кватароны могут быть образованы всецело поверхностными атомами.

Агрегатное состояние кватаронов

Хорошо известно, что кристаллы (минералы), как твердые тела, имеют определенную форму и сохраняют ее. Это, в целом, относится и к наноразмерным минеральным индивидам (наноминералам). Способность держать форму – это очевидное следствие наличия у них устойчивой закономерной построенной внутренней структуры. Отсутствие способности принимать и сохранять форму –

это свойство жидких тел. В таком случае, исходя из рассмотренных выше свойств кватаронов, приходим к выводу если не о жидком, то квазизидком их характере. По крайней мере, это справедливо по отношению к кватаронам небольших размеров на определенных этапах их эволюции. По мере приближения их размеров к критическим значениям 4δ , они будут приобретать черты уже квазитвердых объектов. Констатируемый здесь нами жидкостно-твердотельный агрегатный дуализм – крайне интересное и не характерное для макроскопических тел свойство кватаронов (возможно, и других наночастиц), которое играет важную роль во многих процессах в наномире.

Такой своеобразный структурно-динамический «полиморфизм» оставляет открытыми пути для дальнейшей эволюции кватаронов и их трансформации в иные типы наночастиц, включая кристаллические наночастицы. В частности, это связано с тем, что большая часть связей в кватаронах носит «дохимический» характер. Что важно, в них химические связи между отдельными атомами могут образовываться и распадаться. В меньшей степени это возможно, если связи имеют направленный характер. Эту особенность связей мы пытались интерпретировать в терминах меняющегося числа стабильных связей [20]. С изменением числа стабильных связей, естественно, меняется структура, а следовательно, и свойства кватаронов. Устойчивое существование кватаронов обусловлено тем, что они достаточно длительное время сохраняют способность не «проваливаться» в глобальный энергетический минимум с фиксированными связями. Неопределенность в расположении атомов сохраняется до полного установления химических связей между ними. После этого исчезает характерная для кватаронов фактическая бесструктурность, и они трансформируются в иные типы наночастиц (фуллерены, фрактальные кластеры, кластеры с некристаллографической симметрией и т.д.).

Роль кватаронов в кристаллогенезисе

Кристаллообразование – это как раз та область, где роль и значение кватаронов оказались особенно незаменимыми. Мы уже утверждали, что при определенных условиях кватароны могут превратиться в кристаллические зародыши. Такой механизм зарождения кристаллов принципиально отличается от классического, который не предусматривает существование предшествующих прекурсоров для их образования. Сформировавшаяся на этой основе новая неклассическая модель зародышеобразования подробно рассмотрена нами в обзорных работах [21, 22].

Серия наших работ [4–6, 23–24] посвящена роли кватаронов в росте кристаллов. Была предложена новая кватаронная модель роста кристаллов. Совершенно ясно, что если значительная часть вещества в кристаллообразующей среде оказывается связанной в кватароны, то они будут участвовать в росте кристаллов. Однако роль кватаронов в росте кристаллов оказалась основополагающей. Выяснилось, что кватароны по многим свойствам очень

хорошо подходят на роль главных кристаллообразующих частиц. Кватароны не отличаются по составу, легко перестраиваются, топологически близки к структурным модулям кристалла. При этом происходящая уже на поверхности адаптация структуры кватаронов к структуре кристалла облегчена динамичностью их структуры. В результате перестройки кватарона на растущей грани кристалла образуется двумерный зародыш и таким образом решается основная проблема послойного роста совершенных кристаллов – формирование нового источника ступеней по грани.

Таким образом, фундаментальное значение идеи кватаронов для развития теории роста кристаллов заключается в том, что она решает дискуссионный вопрос об источнике ступеней роста, природе и размерах кристаллообразующих частиц. Согласно нашей модели, строительные единицы при росте кристаллов – это не отдельные атомы, как в концепции Косселя-Странского, и не кристаллические блоки, как это предполагается в концепции Федорова-Баларева. Рост кристаллов действительно осуществляют частицы более крупные, чем отдельные атомы, ионы или молекулы, но они не являются кристаллическими частицами. Это – кватароны, которые идеально подходят на эту роль. При этом сами по себе кватароны не являются в прямом смысле строительными единицами при росте кристалла, поскольку кристалл не строится путем последовательной укладки кватаронов (квазисферических по форме) в неизменном виде. В отличие от атомарного или микроблочного механизмов роста кватаронный рост кристаллов включает стадию трансформации кватарона, его приспособления к структуре кристалла.

Заключение

Приведенные выше сведения о необычных свойствах кватаронов свидетельствуют о неординарности этих объектов. На самом деле, список таких свойств гораздо шире и будет расширяться по мере появления новых инструментальных методов их *in situ* исследования. К сожалению, мы не имеем до сих пор возможности заглянуть внутрь кватаронов, осуществлять прямые наблюдения за процессами их образования и эволюции. Не появились еще и результаты многообещающих экспериментов из Шенефельда, где построен и введен в действие лазер на свободных электронах, одной из целей которого было заявлено изучение взаимодействия атомов в процессе образования молекул, а следовательно, и более крупных организованных структур из атомов и молекул. Тем не менее, несмотря на отсутствие прямых наблюдений за процессами образования и эволюции кватаронов, мы достаточно много о них уже знаем, а благодаря им и о процессах минералообразования и в целом о неизведанном мире до минералов.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института геологии Коми научного центра УрО РАН (ГР № АААА-А17-117121270 036-7), Российского фонда фундаментальных исследований (грант 19-05-00460а).

Литература

1. *Асхабов А.М., Рязанов М.А.* Кластеры «скрытой» фазы – кватароны и зародышеобразование // Доклады АН. 1998. Т. 362. № 5. С. 63–633.
2. *Асхабов А.М.* Кластерная (кватаронная) самоорганизация вещества на наноуровне и образование кристаллических и некристаллических материалов // Записки ВМО. 2004. Т. 133. № 4. С. 108–123.
3. *Асхабов А.М.* Кватаронная концепция кластерной самоорганизации вещества на наноуровне в решении задач кристаллографии, минералогии и смежных наук. Сыктывкар: Геопринт, 2003. 45 с.
4. *Асхабов А.М.* Кластеры «скрытой» фазы – кватароны и образование жидкой воды // Доклады АН. 2005. Т. 405. № 3. С. 381–384.
5. *Асхабов А.М.* Кватаронная концепция как новая парадигма кристаллообразования // Органическая минералогия: Материалы IV Российского совещания. Черноголовка, 2013. С. 11–13.
6. *Асхабов А.М.* Кватаронная концепция: основные идеи и некоторые приложения // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2011. № 3(7). С. 70–77.
7. *Асхабов А.М.* Кватаронная гипотеза происхождения жизни // Доклады АН. 2008. Т. 418. № 4. С. 564–566.
8. *Асхабов А.М.* Кватаронная модель шаровой молнии // Доклады АН. 2008. Т. 418. № 5. С. 611–613.
9. *Асхабов А.М.* О свойствах предзародышевых (протоминеральных) кластеров // Доклады АН. 2019. Т. 487. № 5. С. 47–50.
10. *Cerreta M.K., Berglund K.A.* The structure of aqueous solutions of some dihydrogen orthophosphates by laser Raman spectroscopy // Journal of Crystal Growth. 84(1987). P. 577–588.
11. *Rusli T.T., Frisch H.L., Hefland E., Lebowitz J.L.* Raman spectroscopic study of NaNO₃ solution system – solution clustering in super-saturated solution // Journal of Crystal Growth. 1989. Vol. 97. P. 345–351.
12. *Alexander E.S., Van Driessche, Matthias Kellermeier, Liane G. Benning, Denis Gebauer (Editors).* New Perspectives on Mineral Nucleation and Growth. From Solution Precursors to Solid // Materials Springer. 2017. 380 p.
13. *Gebauer D., Cölfen H.* Prenucleation clusters and non-classical nucleation // Nano Today. 2011. № 6. P. 564–584.
14. *Асхабов А.М.* Новый этап минералогического вторжения в «мир обойденных величин»: открытие протоминерального мира // Материалы Юбилейного съезда Российского минералогического общества «200 лет РМО». СПб., 2017. Т. 2. С. 3–5.
15. *Carlson H.R., Harden C.S.* Mass spectrometry of ion-induced water cluster: on explanation of infrared continuum absorption // J. Appl. Opt. 1980. Vol. 19. P. 1776–1779.

16. *Галиулин Р.В.* Кристаллографическая геометрия. М.: Наука, 1984. 135 с.
17. *Лакно В.Д.* Кластеры в физике, химии, биологии. Ижевск: НИЦ Регулярная и хаотическая динамика, 2001. 256 с.
18. *Асхабов А.М.* Кватаронная модель образования фуллеренов //Физика твердого тела. 2005. Т. 47. № 6. С. 1147–1150.
19. *Askhabov A.M.* Aggregation of quatarons as a formation mechanism of amorphous spherical particles // Doklady Earth Sciences. 2005. Vol. 400. № 1. P. 937–940.
20. *Чередов В.Н., Асхабов А.М.* Перколяционная природа нанокластеров на фронте кристаллизации //Известия Коми научного центра УрО РАН. 2018. № 1(33). С. 43–48.
21. *Асхабов А.М.* Новые идеи в теории образования кристаллических зародышей //Известия Коми научного центра УрО РАН. 2019. № 2(38). С. 51–60.
22. *Асхабов А.М.* Предзародышевые кластеры и неклассическое кристаллообразование // Записки Российского минералогического общества. 2019. № 6. С. 1–13.
23. *Асхабов А.М.* Кватаронные модели зарождения и роста кристаллов // Записки Российского минералогического общества. 2016. Ч. CXLV. № 5. С. 17–24.
24. *Askhabov A.M.* New cluster concept of crystal formation //Crystallography Reports. 2018. Vol. 63. № 7. P. 1195.
6. *Askhabov A.M.* Kvataronnaya koncepciya: osnovnie idei i nekotorie prilozheniya [Quataron concept: basic ideas and some applications] // Proc. of the Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS. 2011. No. 3(7). P. 70–77.
7. *Askhabov A.M.* Kvataronnaya gipoteza proishozhdeniya zhizni [Quataron hypothesis of the origin of life] // Doklady Earth Sciences. 2008. Vol. 418. No. 4. P. 564–566.
8. *Askhabov A.M.* Kvataronnaya model' sharovoi molnii [Quataron model of ball lightning] // Doklady Earth Sciences. 2008. Vol. 418. No. 5. P. 611–613.
9. *Askhabov A.M.* O svoistvah predzarodyshevyyh (protomineralnyh) klasterov [Properties of prenucleation (proto-mineral) clusters] // Doklady Earth Sciences. 2019. Vol. 487. No. 5. P. 47–50.
10. *Cerreta M.K., Berglund K.A.* The structure of aqueous solutions of some dihydrogen orthophosphates by laser Raman spectroscopy // J. of Crystal Growth. 84(1987). P. 577–588.
11. *Rusli T.T., Frisch H.L., Hefland E., Lebowitz J.L.* Raman spectroscopic study of NaNO₃ solution system – solution clustering in super-saturated solution // J. of Crystal Growth. 1989. Vol. 97. P. 345–351.
12. *Alexander E.S., Van Driessche, Matthias Kellermeyer, Liane G.Benning, Denis Gebauer* (Eds.). New perspectives on mineral nucleation and growth. From solution precursors to solid // Materials Springer. 2017. 380 p.
13. *Gebauer D., Cölfen H.* Prenucleation clusters and non-classical nucleation // Nano Today. 2011. No. 6. P. 564–584.
14. *Askhabov A.M.* Novy etap mineralogicheskogo vtorzheniya v “mir oboidennyh velichin”: otkrytie protomineralnogo mira [A new stage in the mineralogical invasion in the “world of by-passed values”: the discovery of the protomineral world] // Materials of the Jubilee Congress of the Russian Mineral. Society “200 years of RMS”. St.Petersburg, 2017. Vol. 2. P. 3–5.
15. *Carlton H.R., Harden C.S.* Mass spectrometry of ion-induced water cluster: on explanation of infrared continuum absorption // J. Appl. Opt. 1980. Vol. 19. P. 1776–1779.
16. *Galiulin R.B.* Kristallograficheskaya geometriya [Crystallographic geometry]. Moscow: Nauka, 1984. 135 p.
17. *Lakhno V.D.* Klasteriy v fizike, himii, biologii [Clusters in physics, chemistry, and biology] // Izhevsk, Regular and Chaotic Dynamics Publ., 2001. 256 p.
18. *Askhabov A.M.* Kvataronnaya model' obrazovaniya fullerenov [Quataron model of the formation of fullerenes] // Solid State Physics. 2005. Vol. 47. No. 6. P. 1147–1150.
19. *Askhabov A.M.* Aggregation of quatarons as a formation mechanism of amorphous spherical particles // Doklady Earth Sciences. 2005. Vol. 400. No. 1. P. 937–940.
20. *Cheredov V.N., Askhabov A.M.* Perkolyacionnaya priroda nanoklasterov na fronte Kristallizatsii [Percolation nature of nanoclusters at

References

1. *Askhabov A.M., Ryazanov M.A.* Klasteriy “skrytoi” fazy – kvatarony i zarodysheobrazovanie [Clusters of the “hidden” phase – quatarons and nucleation] // Doklady Earth Sciences. 1998. Vol. 362. No. 5. P. 63–633.
2. *Askhabov A.M.* Klaster'naya (kvataronnaya) samoorganizatsiya veshchestva na nanourovne i obrazovanie kristallicheskih i nekristallicheskih materialov [Cluster (quataron) self-organization of matter at the nanoscale and the formation of crystalline and non-crystalline materials] // Notes of the all-Russia Mineral. Society. 2004. Vol. 133. No. 4. P. 108–123.
3. *Askhabov A.M.* Kvataronnaya koncepciya klasternoi samoorganizatsii veshchestva na nanourovne v reshenii zadach kristallografii, mineralogii i mezhnyh nauk [Quataron concept of cluster self-organization of matter at the nanoscale in the solution of problems of crystallography, mineralogy and related Sciences]. Syktывkar: Geoprint, 2003. 45 p.
4. *Askhabov A.M.* Klasteriy “skrytoi” fazy – kvatarony i obrazovanie zhidkoi vody [Clusters of “hidden” phase – quatarons and the formation of liquid water] // Doklady Earth Sciences. 2005. Vol. 405. No. 3. P. 381–384.
5. *Askhabov A.M.* Kvataronnaya koncepciya kak novaya paradigma kristallobrazovaniya [The quataron concept as a new paradigm of crystal formation] // Organic Mineralogy: Materials of IV all-Russia meeting. Chernogolovka, 2013. P. 11–13.

- the crystallization front] // Proc. of Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS. Syktyvkar. 2018. No. 1(33). P. 43–48.
21. *Askhabov A.M.* Novie idei v teorii obrazovaniya kristallicheskih zarodyshei [New ideas in the theory of crystal nucleation] // Proc. of Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS. 2019. No. 2(38). P. 51–60.
22. *Askhabov A.M.* Predzarodyshevie klasteri i neklassicheskoe kristalloobrazovanie [Prenucleation clusters and non-classical crystal formation] // Notes of the Russian Mineral. Society. 2019. No. 6. P. 1–13.
23. *Askhabov A.M.* Kvataronnie modeli zarozhdeniya i rosta kristallov [Quatern models of nucleation and growth of crystals] // Notes of the Russian Mineral. Society. 2016. Part CXLV. No. 5. P. 17–24.
24. *Askhabov A.M.* New cluster concept of crystal formation // Crystallography Reports. Vol. 63. No. 7. P. 1195–1199.

Статья поступила в редакцию 20.09.2020

УДК 549.752/.753
DOI 10.19110/1994-5655-2020-6-28-39

В.И. СИЛАЕВ*, **А.В. КОКИН****,
А.Ф. ХАЗОВ*, **Д.В. КИСЕЛЕВА*****,
В.Н. ФИЛИПОВ*, **С.Н. ШАНИНА***

ЗОЛОТОЙ САМОРОДОК «КАЗАНЕНКО»

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

***Российская академия народного хозяйства
и госслужбы при Президенте РФ,
г. Ростов-на-Дону*

****Институт геологии и геохимии
им. академика А. Н. Заварицкого
УрО РАН,
г. Екатеринбург*

silaev@geo.komisc.ru

V.I. SILAEV*, **A.V. KOKIN****,
A.F. KHAZOV*, **D.V. KISELEVA*****,
V.N. FILIPPOV*, **S.N. SHANINA***

GOLDEN NUGGET «KAZANENKO»

**N.P.Yushkin Institute of Geology, Federal
Research Centre Komi Science Centre,
Ural Branch, RAS,
Syktuvkar*

***Russian Academy of National Economy
and Civil Service under the President of the
Russian Federation, Rostov-on-Don*

****A.N.Zavaritsky Institute of
Geology and Geochemistry,
Ural Branch, RAS,
Ekaterinburg*

Аннотация

Обсуждаются результаты минералого-геохимических исследований именованного золотого самородка с Центрально-Алданского рудного района: морфология, кристаллическая и наноструктура, ксеноминеральные примеси, химический состав, микроэлементы, газово-жидкие включения. По совокупности полученных результатов сделан вывод о том, что наиболее вероятным местом образования золотого самородка «Казаненко» была достаточно зрелая зона окисления (кора выветривания) эоцен-олигоценевого возраста на эндогенном золото-малосульфидно-кварцевом месторождении. В неоплейстоцен-голоцене самородок переместился в речную россыпь, где и приобрел кайму облагораживания.

Ключевые слова:

золотой самородок, Казаненко, Центральный Алдан, минералого-геохимические свойства, происхождение

Abstract

The results of mineralogical and geochemical studies of a nominal golden nugget from the Central Aldan ore region: morphology, crystal-line and nanostructure, xenomineral impurities, chemical composition, trace elements, gas-liquid inclusions, are discussed. Based on the totality of the results obtained, it was concluded that the most likely place for the formation of the golden nugget «Kazanenko» was a rather mature oxidation zone (weathering crust) of the Eocene-Oligocene age at the endogenous gold-low-sulfide-quartz deposit. In the Neopleistocene-Holocene, the nugget moved to the river placer, where it acquired a refinement border.

Keywords:

golden nugget, Kazanenko, Central Aldan, mineralogical and geochemical properties, origin

«Все золотые самородки имеют высокую валютную ценность, а некоторые из них – большое научное значение».

*Инструкция И48–1–79 МЦМ
и Минфин СССР, 1979*

Введение

В 2011 г. старатели артели «Селигдар» (Республика Саха «Якутия», г. Алдан) подарили Г. Г. Казаненко по случаю его 75-летия золотой самородок № 64.1/7/44 (данные по сертификату: вес — 14.9 г., проба золота — 886.9 (рис. 1)). В 2017 г. этот самородок был безвозмездно передан владельцем в Институт геологии Коми НЦ УрО РАН для минералого-геохимических исследований.

Казаненко Геннадий Григорьевич (1936–2018) родился в г. Новосибирске, в 1957 г. окончил Том-

ский политехнический институт по специальности горный инженер-геолог: поиски и разведка урановых месторождений. В Якутии работал на Алданском щите, занимался геологической съёмкой и поисками Au-урановых месторождений. С 1972 г. по 1999 г. — главный геолог Геохимической партии ПГО, курировал геохимические поиски и разведки золоторудных месторождений. Затем 12 лет служил главным геологом геологической экспертизы проектов ПГО «Якутскгеологии» и Геолкома Якутии. Российский

экзогенных условиях [17–19]. Скорее всего, живучесть «россыпной» гипотезы определяется тем фактом, что до 90 % золотых самородков были найдены именно в речных россыпях. Ради справедливости следует отметить, что уже появились данные об образовании небольших (до 8–11 мм) золотых самородков действительно в речных россыпях, но погребенных, в обстановке которых обломочные золотины довольно активно обрастают «новым» золотом, возможно, при участии бактерий [20].



Золотой самородок — это уникальное природное образование, для создания которого потребовались миллионы лет. Приобретая золотой самородок, вы можете быть уверенным, что подовного ему нет и больше нигде и ни у кого не увидите такого же.

С/А «Селигдар» гарантирует соответствие золотого самородка характеристикам, указанным в сертификате, а также его естественное происхождение.

1. Номер самородка 247/46
 2. Номер спецификации Гохрана России 30/1208 от 28.10.99 г.
 3. Классификатор К 47-2-92
 4. Номер позиции по классификатору: 1120-31
 5. Коэффициент качества 100
 6. Масса самородка, г 14,9
 7. Сред. проба 886,9

Поздравляем с покупкой и правильно сделанным выбором!

Артель старателей «Селигдар»
 678900, РФ, Республика Саха «Якутия»
 г. Алдан, 26-й Пикет

Председатель
 Артели старателей
 «Селигдар» А.Н.Лабуны



Рис. 1. Золотой самородок «Казаненко» — размеры и форма.
 Fig. 1. Golden nugget «Kazanenko» — size and shape.

отличник разведки недр.

Проблема генезиса золотых самородков уже на протяжении, по крайней мере, 150 лет остается неразрешенной. К настоящему времени более или менее популярны три гипотезы [1].

Согласно *первой* гипотезе, самородки имеют эндогенное происхождение, образуя в верхних частях рудных тел как бы «рудные столбы в миниатюре» вследствие обрастания ранних частиц эндогенного золота гидротермально-переотложенным снизу золотым веществом [2, 3].

По *второй* гипотезе золотые самородки — результат перегруппировки эндогенного золота в зоне окисления первичных золоторудных месторождений [4–7] с образованием его вторичных гипергенных сгущений [8–16].

Третья гипотеза, отечественным автором которой считается В. А. Обручев, трактует золотые самородки как экзогенное образование в речных россыпях. Эта идея до настоящего времени является наиболее популярной, хотя практически никак не обоснована убедительными соображениями о механизме укрупнения обломочных частиц золота в

Геологический контекст

Исследуемый самородок был отобран из речной россыпи на территории Центрального Алдана, точнее — на территории так называемого Эльконского горста, который в настоящее время рассматривается как перспективный ураново-золоторудный район (рис. 2). В 2006 г. здесь на основе ЗАО «Лунное» и «Золото Селигдара» было организовано объединенное ЗАО для разведки и добычи урана, золота и серебра на месторождении Лунное. Коренной источник самородка «Казаненко» остался неизвестным, хотя по геологическим соображениям его условно относили к мезозойским проявлениям Au-малосульфидно-кварцевой и Au-сульфотеллуридной формаций.

Как известно, геологическая история Центрально-Алданского рудного района подразделяется на четыре этапа: 1) доплатформенный палеоархей-палеопротерозойский; 2) платформенный палеопротерозой-раннетриасовый; 3) эпиплатформенный (режим ТМА) мезозойский; 4) платформенный кайнозойский [21].

Доплатформенный этап (3.7–1.65 млрд лет) представлен древнейшими терригенно-осадочными толщами, метаморфизованными до гранулитовой и амфиболитовой фаций¹, и магматическими комплексами — палеовулканыты и плагииграниты. С этим этапом связаны месторождения кварцитов, флогопита и апатита.

Платформенный этап (1.65–0.224 млрд лет), начавшийся с внедрения карбонатитов. Затем преобладало терригенно-карбонатное и карбонатное морское осадкообразование, спорадически сопровождавшееся внедрением долеритовых силлов. Характеризуется месторождениями строительных материалов.

Эпи́платформенный этап — эпоха тектоно-магматических активизаций (252–70 млн лет). В позднем триасе-ранней юре происходила субдукция океанической коры под Алдано-Становой хребет, сопровождавшаяся вспышкой магматизма. Средняя-поздняя юра — эпоха предорогенного вулканизма, мел — время формирования активной континентальной окраины и эндогенного рудообразования. Au-урановые проявления так называемого эльконского типа, связанные с карбонат-калийшошатовыми метасоматитами гумбеитовой формации, локализовались в метаморфитах фундамента [22, 23], а месторождения Au-малосульфидно-кварцевой и Au-сульфотеллуридной формаций [25, 26] получили распространение в осадочных толщах и магматитах мезозойского платформенного чехла.

Кайнозойский этап — начался формированием раннепалеоценовой поверхности выравнивания с древней речной сетью. В позднем эоцене-раннем олигоцене образовались каолинитовые коры выветривания². Миоцен — время накопления аллювиальных, делювиальных, солифлюкционных и озерно-болотных осадков. В плиоцене появились красно-пестроцветно-сметитовые коры выветривания, а в эоплейстоцене на основе дочетвертичной речной сети стала формироваться современная речная сеть. Этому этапу соответствуют месторождения строительных материалов, торфов, речных золотых россыпей.

Таким образом, интервал геологической истории, имеющий, вероятно, отношение к образованию самородка «Казаненко», может быть подразделен на три отрезка: 1) образование коренных золоторудных месторождений в обстановке активной континентальной окраины (170–150 млн лет); 2)

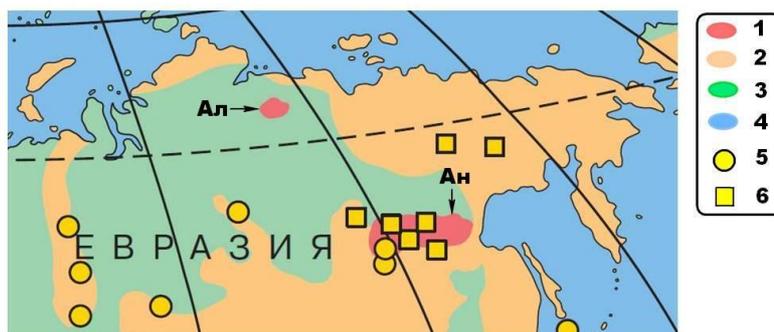


Рис. 2. Геологическое строение Евразии и основные типы золоторудных месторождений [19]: 1 — кристаллические массивы — выступы фундамента древних платформ (Ан — Анабарский, Ал — Алданский); 2 — складчатые системы; 3 — осадочные чехлы платформ; 4 — океаны; 5, 6 — соответственно эндогенные и россыпные золоторудные месторождения.

Fig. 2. Geological structure of Eurasia and the main types of gold ore deposits [19]: 1 — crystalline massifs — protrusions of the basement of ancient platforms (Ан — Anabar, Ал — Aldan); 2 — folded systems; 3 — sedimentary covers of platforms; 4 — oceans; 5, 6 — endogenous and placer gold ore deposits, respectively.

формирование каолинитовых кор выветривания в платформенных условиях (40–30 млн лет); 3) начавшееся в эоплейстоцене (1.8–0.8 млн лет) развитие современной речной сети с образованием в них золотых россыпей.

Методы исследований

Исследования самородка «Казаненко» осуществлялись с использованием комплекса методов: оптической микроскопии в режиме отраженного света (компьютеризированный комплекс OLYMPUS BX51); фото- и дифрактометрической рентгенометрии (XRD-600 Jeol); рентгенофлюоресцентного анализа (XRD-1800 Shimadzu); определения нанометровой пористости по кинетике адсорбции-десорбции азота (Nova 1200e Quantachrome Instruments); масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ELAN9000 Perkin Elmer); газовой пирохроматографии (Цвет-800 с пиролитической приставкой); аналитической СЭМ (JSM-6400 Jeol и Teskan Vega 3); изотопной масс-спектрометрии (проточный масс-спектрометр Delta V Advantage и аналитический комплекс Thermo Fisher).

ИСП-МС анализы выполнены в ЦКП УрО РАН «Геоаналитик» при поддержке темы № AAA-A18-118053090045 государственного задания Института геологии и геохимии УрО РАН. Остальные аналитические работы осуществлены в ЦКП «Геонаука» в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН.

Физические свойства самородка

Исследуемый образец характеризуется уплощенно-неправильной формой, размерами 23 × 16 × 3 мм, заглаженной поверхностью и внутренним микро-тонкозернистым строением. В режиме аналитической СЭМ (рис. 3) в приповерхностной части самородка выявляются многочисленные микровключения кварца и примазки каолинита и оксигидроксидов алюминия-железа. Во внутренней части образца

¹Д. С. Коржинский, конец 1930-х гг.: первая модель осадочной дифференциации в архее Алдана и петрологическая теория регионального метаморфизма терригенно-осадочных толщ с их разделением на минералогические фации глубинности, прогноз обнаружения флогопитовых месторождений.

²Глобальная эпоха образования латеритных кор выветривания, например, на Полярном Урале к этой эпохе относятся Софроновское месторождение гипергенных фосфоритов и Парнокское марганцевое месторождение.

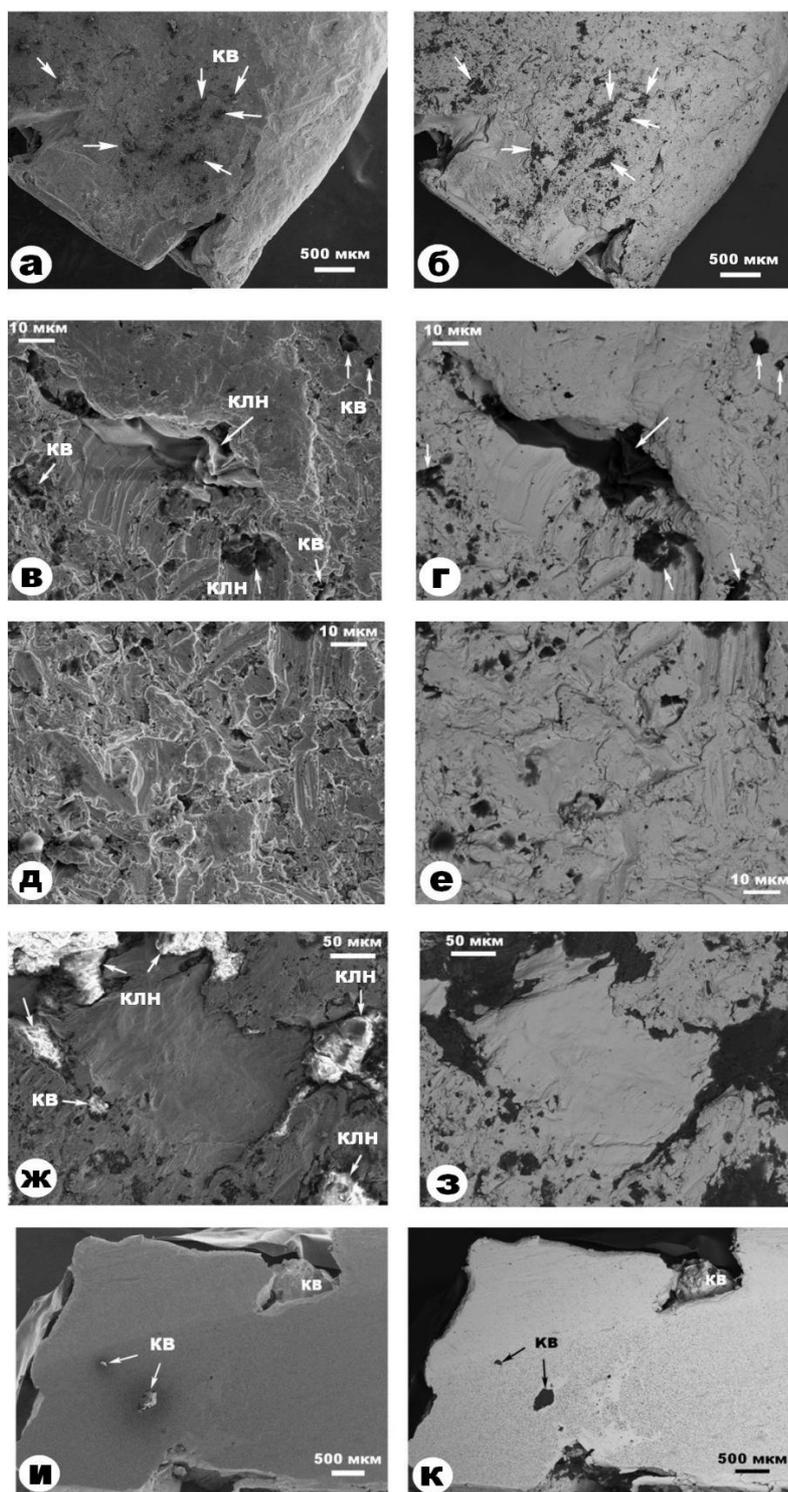


Рис. 3. СЭМ-изображения поверхности (а-з) и среза (и, к) самородка в режимах вторичных (а, в, д, ж, и) и упруго-отраженных (б, г, е, з, к) электронов. Стрелками показаны ксеноминеральные включения и примазки (Кв — кварц, Клн — каолинит).
 Fig. 3. SEM images of the surface (a-z) and cut (и, к) of the nugget in the modes of secondary (a, в, д, ж, и) and elastically reflected (б, г, е, з, к) electrons. Arrows indicate xenomineral inclusions and smears (Кв — quartz, Клн — kaolinite).

обнаружены включения кварца и полевых шпатов. Размер включений и примазок на поверхности: для кварца — (1–140) × (1–75) мкм, для каолинита и оксигидроксидов — (15–95) × (15–80) мкм. Внутри самородка размер большинства включений варьируется в

пределах (100–1050) × (700–750) мкм, спорадически достигая (1000–1050) × (700–750) мкм. Таким образом, размеры ксеноминеральных включений внутри самородка превышают таковые у включений и примазок в приповерхностной его части на один-два порядка.

Фазовая диагностика самородка осуществлялась Б. А. Макеевым фоторентгеновским и рентгенодифракционным методами. На рентгенограммах зафиксированы все основные отражения в структуре золота (Å, в последовательности снижения интенсивностей, в скобках индексы): 2.334 (111) – 1.226 (311) – 1.173 (222) – 2.026 (200) – 1.018 (400) – 1.434 (220) – 1.004 (420). Параметр элементарной ячейки составляет 4.054 ± 0.006 Å, что довольно близко к значению для чистого металла. Судя по дебаеграммам, исследуемый самородок имеет типичное для природных самородков микрополикристаллическое строение. В качестве минеральных примесей рентгеновски диагностированы кварц, альбит, ортоклаз и каолинитоподобный минерал.

В связи с выявлением микрополикристаллического строения было интересно проанализировать образец на наличие нанометровой пористости. Согласно полученным данным, суммарная поверхность nanopор в самородке достигает $0.694 \text{ м}^2/\text{г}$, удельный суммарный объем nanopор составляет $0.8 \text{ мм}^3/\text{г}$, средний размер nanopор равен 2.298 нм , средний объем индивидуальной nanopоры 50.85 нм^3 , условное число пор в удельном объеме — 1593 . Все полученные данные на два-три порядка уступают данным по нанопористым композитам, например, костным. В отличие от таких органоминеральных композитов проанализированный самородок характеризуется преимущественно микрометровой размерностью не только кристаллических индивидов, но и интерстициальных пор.

Газово-жидкие включения

Анализ состава газово-жидких включений в исследуемом самородке осуществлялся пирохроматографическим методом при нагревании образца до 400°C , что является оптимальным для самородного золота из месторождений Юго-Восточной Якутии [27]. По данным проведенного нами анализа в самородке «Казаненко» содержание таких включений достигает 2112 мкг/г . В

их состав входят как неорганические, так и органические компоненты, мкг/г: H_2O 1 981; CO_2 110.4; CO 20; CH_4 0.059; C_2H_4 0.052; C_2H_6 0.006; C_3H_6 0.032; C_3H_8 0.09; C_4H_8 0.229; $i-C_4H_{10}$ 0.023. Доля органических газов в общем балансе оценивается в 0.02 %. По пропорции в группах неорганических и органических газов проанализированные включения отвечают продуктам мантийно-коровых взаимодействий [28, 29]. При этом наличие в составе органических газов только изобутана может свидетельствовать об их абиогенном происхождении.

Проведенные дополнительные исследования привели к обнаружению в самородке микрочастиц конденсированного углеродного вещества с изотопным составом углерода в пределах $-28...-25$ ‰. Это практически соответствует изотопному составу углерода в углеродном веществе, дисперсно-рассеянном в продуктах современного вулканизма [30]. Таким образом подтверждается вывод об абиогенном происхождении УВ в исследованном самородке «Казаненко».

Химический состав

По данным аналитической СЭМ (табл. 1) самородок «Казаненко» заметно различается по составу золота во внутренней и приповерхностной частях.

Во внутренней части состав золота колеблется от умеренно-высокопробного до весьма высокопробного, отвечая в среднем высокопробному. При этом по содержанию собственно золота самородок здесь характеризуется очень большой однородностью (коэффициент вариации — менее 2 %). В качестве основных примесей к золоту выступают Ag и Fe, спорадически отмечаются Hg, Si, Ti, Al, Ca, Na, K, Cl. В приповерхностной части самородок сложен высокопробным—весьма высокопробным, в среднем — весьма высокопробным золотом, из примесей здесь установлены только Ag и Fe.

Таким образом, в исследуемом самородке приповерхностная часть в среднем на 3.5–4 % более высокопробна, чем внутренняя часть. Важно также подчеркнуть, что по результатам наших исследований самородок оказался богаче золотом во внутренней части на 6 %, а на поверхности на 8 % по сравнению с данными, приведенными в сертификате (рис. 1).

Анализ состава ксеноминеральных включений и примазок в исследуемом самородке показал (табл. 2), что во внутренней части они представлены кварцем, альбитом состава $(Na_{0.93-0.96}Ca_{0.04-0.06})[Al_{1-1.09}Si_{2.91-3}O_8]$ и ортоклазом $K_{0.9-1}[Al_{0.98-1}Si_3O_8]$. Кроме того, растворением здесь выявлены включения стехиометричного кераргирита, мас. %: Ag 75.29; Cl 24.71 (рис. 4). Последнее согласуется с отмеченным выше фактом обнаружения в составе самородка хлора. Обнаружение примеси хлорида серебра может иметь отношение к вопросу миграции золота в эндогенных обстановках в составе комплексных хлоридных соединений, указывая тем самым на первоначально эндогенное происхождение слагающего самородок «Казаненко» металла.

На поверхности самородка дополнительно к кварцу присутствуют примазки железистого каолинита состава $(Al_{3.6-4}Fe_{0-0.4})[Si_4O_{10}](OH)_8$ и гётит-алюмогётита $(Fe_{0.59-0.98}Al_{0-0.32}Ti_{0-0.05}Mg_{0-0.05}Ca_{0-0.03})O(OH)$. Очевидно, что, если «центральные» включения в самородке могут ассоциироваться с эндогенными обстановками, то минералы-примеси на поверхности самородка больше соответствуют обстановкам гипергенного минералообразования, т. е. могут указывать на пребывание самородка в зоне окисления на золоторудном месторождении.

Как известно, генеральное распределение самородков по пробе золота характеризуется широким размахом от 750 до 960 ‰ и сильно выраженной модой при 885 ‰ [2]. В рамках такого распределения состав исследуемого самородка сдвинут в весьма высокопробную область, что указывает на его значительную неординарность. Столь высокопробное золото нами наблюдалось только в зоне окисления Каталамбинского золото-малосульфидно-кварцевого месторождения на Приполярном Урале [14].

Важным фактом также является упомянутое выше различие по пробе золота внутренней и приповерхностной частей исследуемого самородка. Как известно, появление высокопробных оболочек характерно для аллювиальных золотин, на которых они образуются вследствие «вымывания» с поверхности части примесей [31–33]. В рассматриваемом случае мы видим, что самородок «Казаненко» по пробе золота в приповерхностной части может быть отождествлен с золотинами из речных россыпей ближнего сноса, но по пробе золота во внутренней части соответствует сильно облагороженным золотинам в россыпях дальнего сноса (рис. 5, а). На диаграмме, обобщающей генетические разновидности самородного золота (рис. 5, б), исследуемый самородок попадает на границу областей гипергенно-модифицированного золота и золотин, аномально облагороженных по всему объему, в специфичных тиманских россыпях. В целом получается, что самородок «Казаненко» мог действительно образоваться в условиях зоны окисления эндогенного золоторудного месторождения и лишь впоследствии переместиться в речную россыпь, где и подвергся дополнительному облагораживанию золота на своей поверхности.

Микроэлементы

В составе исследуемого самородка установлено более 30 микроэлементов, валовые содержания которых во внутренней и приповерхностной частях сильно различаются — на поверхности самородок богаче микроэлементами в 9–10 раз (табл. 3). В сравнении с золотинами из кайнозойских россыпей Южной Якутии [34] самородок «Казаненко» во внутренней своей части беднее микроэлементами в 6–6.5 раз, но в приповерхностной части он ими богаче тех же золотин в 1.5 раза. В общем, получается, что этот самородок внутренней своей частью отличается от россыпного золота многократно пониженным содержанием микроэлементов, а вот на поверхности он по этому свойству оказался близким к золотинам в россыпях.

Таблица 1

Химический состав самородного золота во внутренней (1—9) и приповерхностной (10—27) частях самородка, мас. %

Table 1

Chemical composition of native gold in the inner (1—9) and near-surface (10—27) parts of the nugget, wt. %

№ п/п	Au	Ag	Hg	Fe	Ti	Проба	Эмпирическая формула
1	91.82	8.18	Не обн.	Не обн.	Не обн.	918	Au _{0.86} Ag _{0.14}
2	92.23	7.77	«	«	«	922	Au _{0.87} Ag _{0.13}
3	92.2	7.8	«	«	«	922	Au _{0.87} Ag _{0.13}
4	91.82	8.18	«	«	«	918	Au _{0.86} Ag _{0.14}
5	92.18	7.82	«	«	«	922	Au _{0.87} Ag _{0.13}
6	92.41	7.59	«	«	«	924	Au _{0.87} Ag _{0.13}
7	96.09	1.67	0.36	1.30	0.08	961	Au _{0.93} (Ag,Hg) _{0.03} Fe _{0.04}
8	92.33	7.27	Не обн.	0.40	Не обн.	923	Au _{0.86} Ag _{0.12} Fe _{0.02}
9	89.51	6.23	«	0.87	«	895	Au _{0.86} Ag _{0.11} Fe _{0.03}
Среднее	92.29	6.95	0.04	0.29	0.01	923	Au _{0.86–.93} Ag _{0.03–0.14} Fe _{0–0.07}
СКО	1.68	2.06	0.12	0.48	0.03	17	
10	94.83	5.17	Не обн.	Не обн.	Не обн.	948	Au _{0.91} Ag _{0.09}
11	92.31	7.68	«	«	«	923	Au _{0.87} Ag _{0.13}
12	92.83	6.63	«	0.54	«	928	Au _{0.87} Ag _{0.11} Fe _{0.02}
13	92.66	7.34	«	Не обн.	«	927	Au _{0.87} Ag _{0.13}
14	92.93	6.39	«	0.68	«	929	Au _{0.87} Ag _{0.11} Fe _{0.02}
15	93.37	5.95	«	5.95	«	934	Au _{0.75} Ag _{0.09} Fe _{0.16}
16	91.56	8.44	«	Не обн.	«	916	Au _{0.86} Ag _{0.14}
17	96.6	3.4	«	«	«	966	Au _{0.89} Ag _{0.11}
18	100	Не обн.	«	«	«	1000	Au
19	96.15	3.85	«	«	«	962	Au _{0.93} Ag _{0.07}
20	100	Не обн.	«	«	«	1000	Au
21	97.25	2.75	«	«	«	973	Au _{0.95} Ag _{0.05}
22	99.15	«	«	0.85	«	992	Au _{0.97} Fe _{0.03}
23	100	«	«	Не обн.	«	1000	Au
24	96.34	2.85	«	0.81	«	963	Au _{0.92} Ag _{0.05} Fe _{0.03}
25	95.29	4.71	«	Не обн.	«	953	Au _{0.92} Ag _{0.08}
26	99.3	«	«	0.7	«	993	Au _{0.98} Fe _{0.02}
27	96.59	3.41	«	Не обн.	«	966	Au _{0.94} Ag _{0.06}
Среднее	96.02	3.96	Не опр.	0.56	Не опр.	960	Au _{0.75–1} Ag _{0–0.14} Fe _{0–0.16}
СКО	2.98	2.93		1.42		30	

Примечание. Результаты № 7–8 получены на СЭМ Teskan Vega 3, остальные – на СЭМ JSM-6400 Jeol.

Значительный интерес для оценки происхождения исследуемого самородка имеет анализ ассоциации микроэлементов с позиции их центробежно-центростремительных свойств [35]. Расчет показал, что, несмотря на различие практически на порядок в суммарном содержании микроэлементов во внутренней и приповерхностной частях самородка, распределения микроэлементов по крайним группам ЦЦС в этих частях оказались довольно близкими (%), первое значение – внутренняя часть, второе – приповерхностная): центробежные (Ц₁) – 66.14 и 53.66; минимально-центробежные (Ц₂) – 0.25 и 29.49; дефицитно-центробежные (Ц₃) – 28.72 и 3.66; центробежные (Ц₄) – 4.89 и 13.19. Значения групповых отношений Ц₄/Ц₁ составили соответственно 0.07 и 0.25.

На диаграмме генерального тренда важнейших минералов в золоторудных месторождениях по пропорциям между ЦЦС-группами микроэлементов [36] состав самородка «Казаненко» демонстрирует наибольшую степень обогащения центростремительными элементами (рис. 6). Это выглядит вполне закономерным, если исходить именно из гипотезы образования первоначального вещества самородка в эндогенных относительно глубинных условиях с низкой степенью геохимической дифференциации рудообразующего вещества [37].

Среди обнаруженных в исследуемом самородке микроэлементов есть очевидные индикаторы конкретных эндогенных оруденений. Такие элементы подразделяются на две группы, отвечающие разным рудным формациям.

Таблица 2
Химический состав минеральных примазок на поверхности самородка, мас. %
Table 2
Chemical composition of mineral smears on the nugget surface, wt. %

№ п/п	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
1	65.89	He обн.	6.27	27.84	He обн.	He обн.	He обн.	He обн.
2	66.95	«	20.64	He обн.	«	1.38	11.03	«
3	65.01	«	18.13	«	«	He обн.	He обн.	16.8 6
4	63.34	«	5.93	30.73	«	«	«	«
5	72.63	«	21.39	«	«	0.67	5.31	«
6	64.76	«	18.26	«	«	«	He обн.	16.9 8
7	37.81	1.35	33.86	25.53	«	1.45	«	He обн.
8	23.31	1.05	17.91	52.86	1.97	1.86	«	1.04
9	24.68	0.84	10.52	62.83	«	«	«	1.13
10	38.36	1.37	34.36	25.91	«	«	«	He обн.
11	24.52	1.11	18.84	55.53	«	«	«	«
12	24.97	0.85	10.64	63.54	«	«	«	«

Эмпирические формулы: 1 – 0.67SiO₂ + 0.33(Fe_{0.77}Al_{0.23})O(OH); 2 – (Na_{0.96}Ca_{0.04}) [Al_{1.09}Si_{2.91}O₈]; 3 – K_{0.99}[Al_{0.98}Si₄O₈]; 4 – 0.67SiO₂ + 0.33(Fe_{0.77}Al_{0.23}) (OH); 5 – 0.42SiO₂ + 0.58 (Na_{0.93}Ca_{0.06})_{0.99} [AlSi₃O₈]; 6 – K[Al_{0.99}Si_w3O₈]; 7 – 0.38SiO₂ + 0.62 (Fe_{0.66}Al_{0.32}(Ti, Ca)_{0.02}) O(OH); 8 – 0.26SiO₂ + 0.74(Fe_{0.59}Al_{0.31}Mg_{0.04}Ca_{0.03}K_{0.03})O(OH); 9 – 0.29SiO₂ + 0.71(Fe_{0.77} Al_{0.2}Ca_{0.02}Ti_{0.01})O(OH); 10 – 0.77Al₄ [Si₄O₁₀](OH)₈ + 0.23(Fe_{0.86} Al_{0.09} Ti_{0.05})O(OH); 11 – 0.55 (Al_{3.6}Fe_{0.4})₄[Si₄O₁₀](OH)₈ + 0.45 (Fe_{0.98}Ti_{0.02})O(OH); 12 – 0.23SiO₂ + 0.26Al₄[Si₄O₁₀] (OH)₈ + 0.51(Na_{0.93}Ca_{0.06})_{0.99}[AlSi₃O₈].

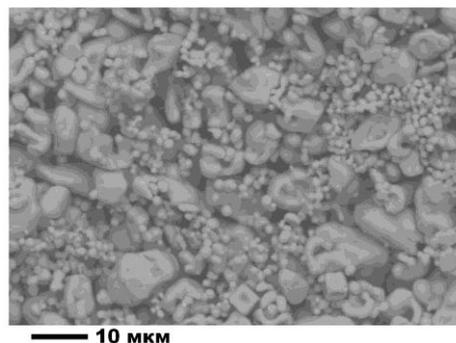


Рис. 4. Выделенный из самородка «Казаненко» кераргирит.
Fig. 4. Cerargyrite isolated from the nugget “Kazanenko”.

В первую группу входят катионообразующие элементы (в скобках — принадлежность к группам ЦЦС): Ni (Ц₁), Cu (Ц₁), Zn (Ц₂), Hg (Ц₃), Pb (Ц₄), W (Ц₄). Это элементы-индикаторы, характерные в условиях Южно-Якутского региона для золото-малосульфидно-кварцевой и золото-полиметаллической формаций. Примером из этих формаций первой здесь может служить Au-Hg-сульфидное месторождение Кючус, а примером второй — Au-Cu-W месторождение Агылки [25, 26]. Приведенные на рис. 6 данные показывают, что среди катионообразующих элементов и во внутренней, и в приповерхностной частях самородка стабильно преобладают Ni, Cu, Hg — наиболее типоморфные именно для золото-малосульфидно-кварцевой формации, а Zn и W значительно уступают, особенно во внутренней части самородка.

Вторую группу образуют анионообразующие элементы: Se (Ц₃), Te (Ц₃), Bi (Ц₃), As (Ц₃), типичные для Au-сульфотеллуридной формации, пространственно связанной в Южном Верхоянье Якутии с проявлениями кислого магматизма. В качестве примера такой формации можно назвать золоторудное месторождение Одержимое — в настоящее время перспективный объект для промышленного освоения руд Au-Bi-Te, а также рудопроявления Курумское и Наганжинское. Данные, приведенные на рис. 7, демонстрируют как для внутренней, так и приповерхностной частей самородка резкое доминиро-

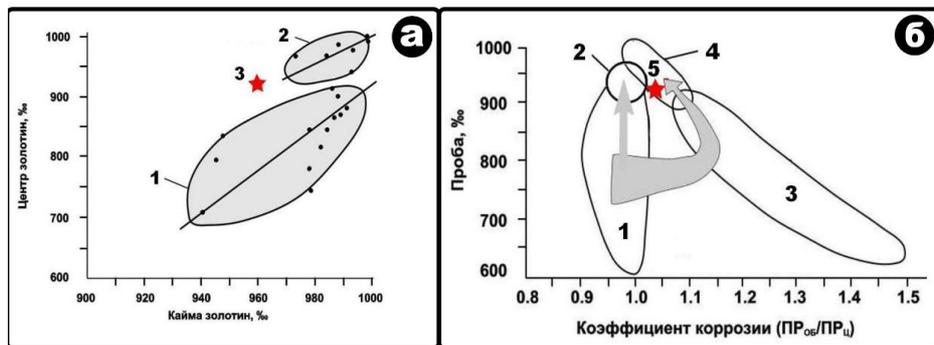


Рис. 5. Вариации эпигенетического облагораживания золота в условиях россыпей и зон окисления коренных золоторудных месторождений. На а: 1 – речные россыпи ближнего сноса на Полярном Урале [38]; 2 – речные россыпи дальнего сноса в Предуральском краевом прогибе [33]; 3 – самородок «Казаненко». На б: 1 – коренные золоторудные проявления на Полярном Урале; 2 – гипергенно-облагороженное золото на Каталамбинском золоторудном проявлении, Приполярный Урал [13, 14]; 3 – речные россыпи ближнего сноса на Полярном Урале; 4 – тиманские россыпи с аномально облагороженным золотом по всему объему золотин [32, 39]; 5 – самородок «Казаненко».

Fig. 5. Variations in epigenetic refinement of gold in the conditions of placers and zones of oxidation of primary gold deposits. On a: 1 – near-drift river placers in the Polar Urals [38]; 2 – far-drift river placers in the Pre-Ural foredeep [33]; 3 – “Kazanenko” nugget. On b: 1 – primary gold ore occurrences in the Polar Urals; 2 – hypergenically refined gold at the Katalamba gold ore occurrence, Subpolar Urals [13, 14]; 3 – near-drift river placers in the Polar Urals; 4 – Timan placers with anomalously refined gold throughout the entire volume of gold grains [32, 39]; 5 – “Kazanenko” nugget.

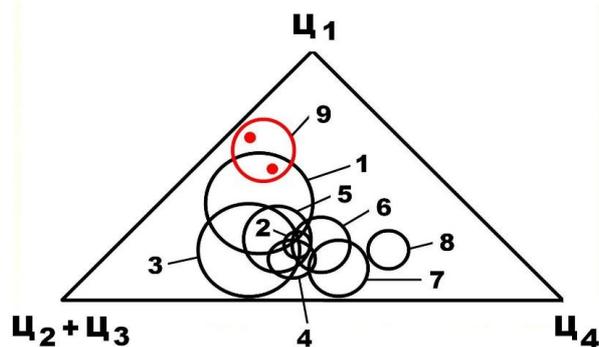


Рис. 6. Пропорции групповых содержаний микроэлементов в минералах эндогенных рудных месторождений и их генеральный тренд по ЦЦС микроэлементов (показан стрелкой). Минералы: 1 – пирит, 2 – арсенопирит, 3 – халькопирит, 4 – борнит, 5 – сфалерит, 6 – галенит, 7 – халькозин, 8 – барит, 9 – золото во внутренней части и на поверхности самородка «Казаненко». Fig. 5. Proportions of group contents of trace elements in minerals of endogenous ore deposits and their general trend for the centrifugal-centripetal forces (CCF) of trace elements (shown by the arrow). Minerals: 1 – pyrite, 2 – arsenopyrite, 3 – chalcopyrite, 4 – bornite, 5 – sphalerite, 6 – galena, 7 – chalcocite, 8 – barite, 9 – gold in the inner part and on the surface of the “Kazanenko” nugget.

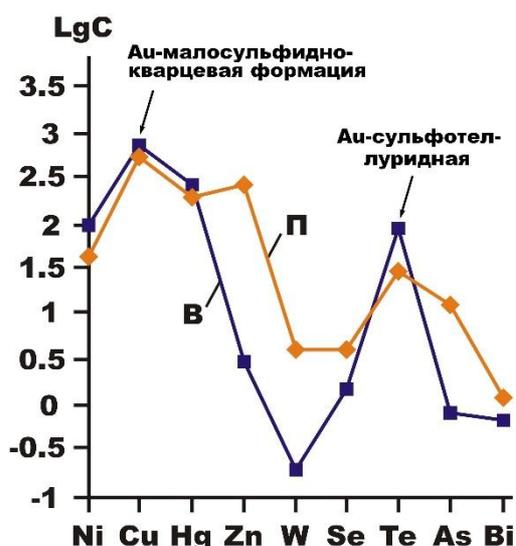


Рис. 7. Распределение основных элементов-примесей по логарифмам концентраций в составе самородка «Казаненко»: В, П — соответственно внутренняя и приповерхностная части самородка. Fig. 7. Distribution of the main elements-impurities by logarithms of concentrations in the composition of the “Kazanenko” nugget: В, П — respectively, the inner and near-surface parts of the nugget.

вание теллура, что характерно для относительно глубоких по источникам сульфотеллуридных минерализаций и оруденений. Возрастание содержания других элементов рассматриваемой группы в приповерхностной части самородка, возможно, отражает результат уже гипергенно-экзогенного его изменения.

Таким образом, результаты геохимического изучения не только подтверждают сделанный выше вывод о первоначально эндогенном происхождении

Таблица 3
Содержание микроэлементов в самородке, г/т

Table 3
The content of trace elements in the nugget, g/t

№ п/п	Элементы	Внутренняя часть	Поверхность
1	Fe	Не обн.	16663.906
1	Cr	Не обн.	11.074
2	Ni	91.571	42.105
3	Cu	703.066	544.886
Сумма Ц ₁		794.637	12261.97
4	P	Не обн.	6092.84
5	Ca	«	383.581
6	Sc	«	0.928
7	V	«	13.665
8	Zn	2.97	249.588
Сумма Ц ₂		2.97	6740.602
9	S	Не обн.	591.101
10	As	0.776	12.561
11	Se	1.469	4.144
12	Te	87.164	29.172
13	Mo	Не обн.	0.368
14	Cd	1.001	0.762
15	Sn	Не обн.	0.27
16	Hg	255.248	197.44
17	Bi	0.68	1.169
Сумма Ц ₃		346.338	836.987
	Si	Не обн.	2679.85
18	K	«	243.964
19	Li	0.623	3.611
20	Zr	0.054	0.646
21	Nb	0.136	2.741
22	Ta	Не обн.	2.739
23	W	0.019	4.159
24	Tl	Не обн.	0.093
25	Pb	59.54	67.378
26	Y	Не обн.	0.538
27	La	0.524	2.194
28	Ce	0.919	4.949
29	Pr	0.066	0.375
30	Nd	0.176	1.267
31	Sm	Не обн.	0.361
Сумма Ц ₄		62.68	3014.865
Итого		1205.988	22854.43

вещества самородка «Казаненко», но и свидетельствуют о проявлении в его первичных свойствах признаков двухформационности, т. е. признаков Au-малосульфидно-кварцевой и Au-сульфотеллуридной формаций, наиболее характерных для соответствующей территории. Следует подчеркнуть, что в составе исследуемого самородка не были выявлены примеси ни U, ни Th, которые свидетельствовали бы о геохимической связи самородка с Аурановой формацией.

Заключение

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы.

По химическому составу исследованный самородок во внутренней части отвечает в среднем высокопробному золоту, а на поверхности — весьма высокопробному. То есть самородок обладает каймой облагораживания, обычно характерной для золотин в речных россыпях. Среди ксеномине-

ральных включений внутри самородка выявлены кварц, полевые шпаты и галогены серебра (кераргирит), что может указывать на эндогенное образование вещества самородка, а на поверхности обнаружены примазки каолинита и гётита-алюмогётита — индикаторы пребывания самородка в зоне окисления. В самородке выявлены газополимерные включения, почти нацело сложенные водой с незначительной примесью CO₂ и CO. Среди органических газов преобладают метан и бутан. Присутствие изобутана в отсутствие бутана, а также обнаружение в самородке конденсированного углеродистого вещества с изотопным составом углерода как в вулканитах может указывать на абиогенное происхождение этих примесей в самородке.

В составе самородка установлены более 30 микроэлементов, общее содержание которых во внутренней части многократно уступает таковому в золотилах из речных россыпей на территории Южной Якутии. На поверхности самородка оно близко к упомянутым золотилам. С позиций геохимической классификации элементов по Ю. Г. Щербакову ассоциации микроэлементов внутри и на поверхности исследованного нами самородка аномально обогащены центростремительными элементами, значительно преобладая по этому свойству над всеми исследованными нами сульфидами в эндогенных золоторудных месторождениях. Это вполне соответствует гипотезе образования вещества самородка в эндогенном относительно глубинном месторождении с низкой степенью геохимической дифференциации. В первичных геохимических свойствах самородка проявляются признаки двухформационности — Au-малосульфидно-кварцевой и Au-сульфотеллуридной рудных формаций, наиболее характерных для соответствующей территории. Признаков связи самородка с Au-урановой формацией не установлено.

Таким образом, из совокупности минералогическо-геохимических свойств следует, что наиболее вероятным местом образования золотого самородка «Казаненко» была достаточно зрелая зона окисления (кора выветривания) эоцен-олигоценевого возраста на, вероятнее всего, эндогенном золото-малосульфидно-кварцевом месторождении. В неоплеистоцен-голоцене самородок переместился в речную россыпь, где и приобрел кайму облагораживания.

За ценное сотрудничество авторы благодарят к. г.-м. н. Б. А. Макеева, инженера-технолога Е. М. Тропникова, химика-технолога С. Т. Неверова, н. с. В. А. Капитанову и вед. инженера-химика И. В. Смолееву.

Литература

1. *Посухова Т. В.* Золотые кладовые природы // Соросовский образовательный журнал. 2001. Т. 7. № 10. С. 67–74.
2. *Самусиков В. П.* Самородки — золотая загадка природы // Гипотезы и факты. 2007. № 1. С. 59–64.
3. *Соболевский В. И.* Благородные металлы. Золото. М.: Знания, 1970. 47 с.
4. *Альбов М. Н.* Вторичная зональность золоторудных месторождений Урала. М.: Гостехиздат, 1960. 216 с.
5. *Альбов М. Н.* Закономерности распределения золота в зоне гипергенеза жильных месторождений // Минералогия зоны гипергенеза. М.: Наука, 1980. С. 15–19.
6. Пове́дение золота в зоне окисления золото-сульфидных месторождений / *В.М. Крейтер, В.В. Волюнский, И.С. Волюнский, А.Н. Крестовников, В.В. Кувичинский.* М.: Гостехиздат, 1958. 268 с.
7. *Мурзин В. В., Григорьев Н. А., Менцер Э. И.* О механизме укрупнения частиц золота в гипергенном ореоле остаточного типа // Доклады АН СССР. 1985. Т. 284. № 4–5. С. 956–959.
8. *Новгородова М.И., Генералов М.Е., Трубкин Н.В.* Новое золото в корах выветривания Южного Урала (Россия) // Геология рудных месторождений. 1995. Т. 37. № 1. С. 40–53.
9. *Полякова Т. П., Ридзюнская Н. М., Николаева Л. А.* Золото в корах выветривания Урала // Руды и металлы. 1995. № 1. С. 25–40.
10. *Ридзюнская Н. М., Полякова Т. П., Ладыгин А. И.* Золотоносные коры выветривания Приполярного Урала // Руды и металлы. 1996. № 4. С. 38–45.
11. *Росляков Н. А.* Геохимия золота в зоне гипергенеза. Новосибирск: Наука, 1981. 238 с.
12. *Савва Н. Е., Пальянов Г. А., Колова Е. Е.* Минералы золота и серебра в зоне вторичного сульфидного обогащения (рудопроявление Крутое, Северо-Восток России) // Вестник Северо-Восточного научного центра Дальневосточного отделения РАН, 2010. С. 33–45.
13. *Хазов А. Ф.* Мезо-кайнозойские коры выветривания на убого золотоносных субстратах (Приполярный Урал) // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН, 2001. № 6. С. 19–20.
14. *Хазов А. Ф., Петровский Д. В.* Генетические особенности гипергенно-модифицированного золота в корах выветривания // ДАН. 2007. Т. 415. № 5. С. 533–537.
15. *Bowell R. J.* Suppergene gold mineralogy at Ashanti Ghana: implications for the Suppergene behavior of gold // Miner. Mag. 1992. Vol. 56. No. 4. P. 545–560.
16. *Man A. W.* Mobility of Gold and Silver in Lateritic Weathering Profiles: Some Observations from Western Australia // Econ. Geol., 1984. Vol. 79. No. 1. P. 38–49.
17. *Клепиков В. Н.* Крупнейшие самородки золота из аллювиальных россыпей Северо-Востока // Колыма. 1992. № 10–11. С. 14–20.
18. *Петровская Н. В.* Самородное золото. М.: Наука, 1973. 348 с.
19. *Петровская Н. В.* Золотые самородки. М.: Наука, 1993. 191 с.
20. *Силаев В. И., Хазов А. Ф., Чайковский И. И., Филиппов В. Н.* «Живая» золотоносная россыпь на реке Большой Шалдинке // Вестник

- Института геологии Коми НЦ УрО РАН, 2005. № 9. С. 4–9.
21. *Рукович А. В.* История геологического развития Центрального-Алданского рудного района (ЦАРР) // *Advances in current Natural Sciences*. 2016. № 11. P. 186–190.
 22. *Бойцов В. Е., Пилипенко Г. Н., Дорожкина Л. А.* Золоторудные и золото-урановые месторождения Центрального Алдана. Т. 2: Стратегические виды рудного сырья. М.: ИГЕМ РАН, 2006. С. 215–240.
 23. *Бойцов В. Е., Пилипенко Г. Н., Дорожкина Л. А.* Новый уникальный тип золото-урановых (браннеритовых) руд Эльконского рудного узла (Центральный Алдан) // *RMSDPI 2006-2-6-0*. С. 17–19.
 24. *Борисенко А. С., Наумов Е. А., Оболенский А. А.* Типы золото-ртутных месторождений и условия их образования // *Геология и геофизика*. 2006. Т. 47. № 3. С. 342–354.
 25. *Кокин А. В.* Золоторудное проявление Одержимый – перспективный объект для промышленного освоения золота, висмута и теллура // *Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции*. Т. 1. Якутск, 2017. С. 90–95.
 26. *Кокин А. В.* Оценка перспективности рудных объектов. Ростов-на-Дону: РостИздат, 2005. 347 с.
 27. *Кокин А. В.* Термобарометрия самородного золота и его минералов-спутников из месторождений Юго-Восточной Якутии // *Геология и геофизика*. 1981. № 5. С. 74–79.
 28. *Fluid Phases in Carbonado and Their Genetic Significance / V.A. Petrovsky, V.I. Silaev, A.E. Sukharev, S. N. Shanina, M. Martins, J. Karfunkel* // *Geochemistry International*. 2008. Vol. 46. No. 7. P. 693–710.
 29. *Petrovsky D. V., Silaev V. I., Zharkov V. A., Petrovsky V. A.* Native gold and companion Minerals in the Cenozoic Sediments of the Ural Fore deep // *Geology of Ore Deposits*, 2012. Vol. 54. No. 6. P. 474–486.
 30. Минерально-фазовый парагенезис в эксплозивных продуктах современных извержений вулканов Камчатки и Курил. Часть 1. Алмазы, углеродные фазы, конденсированные органические соединения / *В.И. Силаев, Г.А. Карпов, Л.П. Аникин, Е.А. Васильев, Г.П. Вергасова, Н.В. Смолева* // *Вулканология и сейсмология*. 2019. №5. С. 54–67.
 31. *Литвиненко И. С., Шилина П. А.* Гипергенные новообразования золота из россыпных месторождений Нижне-Мякитского рудно-россыпного поля, Северо-Восток России // *Руды и металлы*. 2017. № 1. С. 75–90.
 32. *Майорова Т. П.* Минералогия и типоморфизм золота кайнозойских россыпей севера Урала и Тимана // *Руды и металлы*. 1996. № 4. С. 45–55.
 33. Геологическая информативность обломочного золота в современных речных отложениях (на примере Предуральяского краевого прогиба) / *В. И. Силаев, А. Ф. Хазов, В. А. Жариков, М. Ю. Сокерин, В. Н. Филиппов* // *Уральский геологический журнал*, 2013. № 6. С. 21–32.
 34. Типоморфизм самородного золота из кайнозойских отложений / *А. В. Терехов, А. В. Молчанов, В. В. Шатов, Е. И. Хорохорина, О. Л. Соловьев* // *Региональная геология и металлогения*. 2016. № 65. С. 63–103.
 35. *Щербаков Ю. Г.* Геохимическая эволюция и рудные формации // *Проблемы эндогенного рудообразования и металлогении*. Новосибирск: Наука, 1976. С. 217–229.
 36. *Силаев В. И.* Парадигма глобальной геохимической дифференциации и перспективы минералого-геохимических исследований рудоносности // *Геохимия рудообразующих систем и металлогенический анализ*. Новосибирск: Наука, 1989. С. 180–190.
 37. *Силаев В. И.* Зональность рудных месторождений и полей как отражение геохимической дифференциации. Сыктывкар, 1987. 23 с.
 38. *Силаев В.И., Яковлева О.А., Ивановский В.С.* Генетико-информационное значение пробы аллювиального золота // *Доклады АН СССР*. 1987. Т. 294. № 6. С. 1432–1435.
 39. *Макеев А. Б., Дудар В. А.* Самородки золота россыпных проявлений Приполярного Урала и Среднего Тимана // *Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН*, 2003. № 11. С. 15–18.

References

1. *Posukhova T.V.* Zolotyye kladovyye prirody [Golden treasures of nature] // *Soros Educational J*. 2001. Vol. 7. No. 10. P. 67–74.
2. *Samusikov V.P.* Samorodki – zolotaya zagadka prirody [Nuggets – the golden mystery of nature] // *Hypotheses and facts*. 2007. No. 1. P. 59–64.
3. *Sobolevsky V.I.* Blagorodnyye metally. Zoloto [Noble metals. Gold]. Moscow: Znaniya, 1970. 47 p.
4. *Al'bov M.N.* Vtorichnaya zonal'nost' zolotorudnykh mestorozhdeniy Urala [Secondary zoning of gold ore deposits in the Urals]. Moscow: Gostekhizdat, 1960. 216 p.
5. *Al'bov M.N.* Zakonomernosti raspredeleniya zolota v zone gipergeneza zhil'nykh mestorozhdeniy [Regularities of gold distribution in the zone of hypergenesis of vein deposits] // *Mineralogy of the hypergenesis zone*. Moscow: Nauka, 1980. P. 15–19.
6. *Povedeniye zolota v zone okisleniya zoloto-sul'fidnykh mestorozhdeniy* [Gold behavior in the oxidation zone of gold-sulfide deposits] / *V.M. Kreiter, V.V. Volynsky, I.S. Volynsky, A.N. Krestovnikov, V.V. Kuvichinsky*. Moscow: Gosgeoltekhizdat, 1958. 268 p.
7. *Murzin V.V., Grigoryev N.A., Mentser E.I.* O mekhanizme ukрупneniya chastits zolota v gipergennom oreole ostatochnogo tipa [About the mechanism of enlargement of gold particles in a hypergenic halo of residual type] //

- Doklady Earth Sciences. 1985. Vol. 284. No. 4–5. P. 956–959.
8. *Novgorodova M.I., Generalov M.E., Trubkin N.V.* Novoye zoloto v korakh vyvetrivaniya Yuzhnogo Urala (Rossiya) [New gold in the weathering crusts of the Southern Urals (Russia)] // *Geology of ore deposits*. 1995. Vol. 37. No. 1. P. 40–53.
 9. *Polyakova T.P., Ridzyunskaya N.M., Nikolaeva L.A.* Zoloto v korakh vyvetrivaniya Urala [Gold in the weathering crusts of the Urals] // *Ores and Metals*. 1995. No. 1. P. 25–40.
 10. *Ridzyunskaya N.M., Polyakova T.P., Ladygin A.I.* Zolotonosnyye kory vyvetrivaniya Pripolyarnogo Urala [Gold-bearing weathering crusts of the Subpolar Urals] // *Ores and Metals*. 1996. No. 4. P. 38–45.
 11. *Roslyakov N.A.* Geokhimiya zolota v zone gipergeneza [Geochemistry of gold in the hypergenesis zone]. Novosibirsk: Nauka, 1981. 238 p.
 12. *Savva N.E., Palyanov G.A., Kolova E.E.* Mineraly zolota i serebra v zone vtorichnogo sul'fidnogo obogashcheniya (rudoproyavleniye Krutoye, Severo-Vostok Rossii) [Minerals of gold and silver in the zone of secondary sulfide enrichment (Krutoye ore occurrence, North-East of Russia)] // *Bull. of the North-Eastern Sci. Centre, Far Eastern Branch, RAS*, 2010. P. 33–45.
 13. *Khazov A.F.* Mezo-kaynozoye kory vyvetrivaniya na ubogo zolotonosnykh substratakh (Pripolyarnyy Ural) [Meso-Cenozoic weathering crust on poor gold-bearing substrates (Subpolar Urals)] // *Bull. of the Inst. of Geology, Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS*. 2001. No. 6. P. 19–20.
 14. *Khazov A.F., Petrovsky D.V.* Geneticheskiye osobennosti gipergenno-modifitsirovannogo zolota v korakh vyvetrivaniya [Genetic features of hypergenically modified gold in weathering crusts] // *Doklady Earth Sciences*. 2007. Vol. 415. No. 5. P. 533–537.
 15. *Bowell R. J.* Supergene gold mineralogy at Ashanti Ghana: implications for the Supergene behavior of gold // *Miner. Mag.* 1992. Vol. 56. No. 4. P. 545–560.
 16. *Man A.W.* Mobility of Gold and Silver in Lat-eritic Weathering Profiles: Some Observations from Western Australia // *Econ. Geol.*, 1984. Vol. 79. No. 1. P. 38–49.
 17. *Klepikov V.N.* Krupneyshiye samorodki zolota iz allyuvial'nykh rossypey Severo-Vostoka [The largest nuggets of gold from alluvial placers of the North-East] // *Kolyma*. 1992. No. 10–11. P. 14–20.
 18. *Petrovskaya N.V.* Samorodnoye zoloto [Native gold]. Moscow: Nauka, 1973. 348 p.
 19. *Petrovskaya N.V.* Zolotyie samorodki [Golden nuggets]. Moscow: Nauka, 1993. 191 p.
 20. *Silaev V.I., Khazov A.F., Chaikovskiy I.I., Filippov V.N.* «Zhivaya» zolotonosnaya rossyp' na reke Bol'shoy Shaldinke ["Live" gold placer on the Bolshaya Shaldinka river] // *Bull. of the Inst. of Geology, Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS*, 2005. No. 9. P. 4–9.
 21. *Rukovich A.V.* Istoriya geologicheskogo Tsentral'nogo-Aldanskogo rudnogo rayona (TsARR) [History of geological development of the Central-Aldan ore region (CAOR)] // *Advances in current Natural Sciences*. 2016. No. 11. P. 186–190.
 22. *Boitsov V.E., Pilipenko G.N., Dorozhkina L.A.* Zolotorudnyye i zoloto-uranovyie mestorozhdeniya Tsentral'nogo Aldana [Gold ore and gold-uranium deposits of Central Aldan]. Vol. 2: Strategic types of ore raw materials. Moscow: Inst. of Geology of Ore Deposits, RAS, 2006. P. 215–240.
 23. *Boitsov V.E., Pilipenko G.N., Dorozhkina L.A.* Novyy unikal'nyy tip zoloto-uranovykh (branneritovykh) rud El'konskogo rudnogo uzla (Tsentral'nyy Aldan) [A new unique type of gold-uranium (brannerite) ores of the Elkon ore cluster (Central Aldan)] // *RMSDPI 2006-2-6-0*. P. 17–19.
 24. *Borisenko A.S., Naumov E.A., Obolensky A.A.* Tipy zoloto-rtutnykh mestorozhdeniy i usloviya ikh obrazovaniya [Types of gold-mercury deposits and conditions of their formation] // *Geology and Geophysics*. 2006. Vol. 47. No. 3. P. 342–354.
 25. *Kokin A.V.* Zolotorudnoye proyavleniye Oderzhimyy perspektivnyy ob"yekt dlya promyshlennogo osvoyeniya zolota, vismuta i tellura [Gold ore occurrence Oderzhimy – promising object for the industrial development of gold, bismuth and tellurium] // *Geology and mineral resources of the North-East of Russia: Materials of the VII All-Russian sci.-pract. conf.* Vol. 1. Yakutsk, 2017. P. 90–95.
 26. *Kokin A.V.* Otsenka perspektivnost' rudnykh ob"yektov [Assessment of the prospects of ore objects]. Rostov-on-Don: RostIzdat, 2005. 347 p.
 27. *Kokin A.V.* Termobarometriya samorodnogo zolota i yego mineralov-sputnikov iz mestorozhdeniy Yugo-Vostochnoy Yakutii [Thermobarometry of native gold and its satellite minerals from the deposits of South-Eastern Yakutia] // *Geology and Geophysics*. 1981. No. 5. P. 74–79.
 28. Fluid Phases in Carbonado and their Genetic Significance / *V.A. Petrovsky, V.I. Silaev, A.E. Sukharev, S.N. Shanina, M. Martins, J. Karfunkel* // *Geochemistry International*. 2008. Vol. 46. No. 7. P. 693–710.
 29. *Petrovsky D.V., Silaev V.I., Zharkov V.A., Petrovsky V.A.* Native gold and companion Minerals in the Cenozoic Sediments of the Ural Foredeep // *Geology of Ore Deposits*, 2012. Vol. 54. No. 6. P. 474–486.
 30. Mineralno-fazoviy paragenезis v eksplozivnykh produktakh sovremennykh izverzhений vulkanov Kamchatki i Kuril. Chast I. Almazy, uglerodnie fazy, kondensirovannye organoidy [Mineral-phase paragenesis in explosive ejecta discharged by recent eruptions in Kamchatka and the Kuril Islands. Part I. Diamonds, carbonaceous phases, and condensed organoids] / *V.I.Silaev, G.A.Karpov, L.P.Anikin, E.A. Vasilyev, L.P.Vergasova, I.V.Smoleva* // *Volcanology and seismology*. 2019. No. 5. P. 54–67.

31. *Litvinenko I.S., Shilina P.A.* Gipergennyye novoobrazovaniya zolota iz rossypnykh mestorozhdeniy Nizhne-Myakitskogo rudno-rossypnogo polya, Severo-Vostok Rossii [Hypergenic new formations of gold from placer deposits of the Nizhne-Myakitsky ore-placer field, North-East of Russia] // *Ores and Metals*. 2017. No. 1. P. 75–90.
32. *Maiorova T.P.* Mineralogiya i tipomorfizm zolota kaynozoyskikh rossypey severa Urala i Timana [Mineralogy and typomorphism of gold from Cenozoic placers in the north of the Urals and Timan] // *Ores and Metals*. 1996. No. 4. P. 45–55.
33. Geologicheskaya informativnost' oblomoch-nogo zolota v sovremennykh rechnykh otlozheniyakh (na primere Predural'skogo krayevogo progiba) [Geological informativeness of clastic gold in modern river sediments (on the example of the Cis-Ural edge deflection)] / *V.I. Silaev, A.F. Khazov, V.A. Zharikov, M.Yu. Sokerin, V.N. Filippov* // *Ural Geol. J.*, 2013. No. 6. P. 21–32.
34. Tipomorfizm samorodnogo zolota iz kaynozoyskikh otlozheniy [Typomorphism of native gold from Cenozoic sediments] / *A.V. Terekhov, A.V. Molchanov, V.V. Shatov, E.I. Khorokhorina, O.L. Solovyev* // *Regional Geology and Metallogeny*. 2016. No. 65. P. 63–103.
35. *Shcherbakov Yu.G.* Geokhimicheskaya evolyutsiya i rudnyye formatsii [Geochemical evolution and ore formations] // *Problems of endogenous ore formation and metallogeny*. Novosibirsk: Nauka, 1976. P. 217–229.
36. *Silaev V.I.* Paradigma global'noy geokhimicheskoy differentsiatsii i perspektivy mineralogo-geokhimicheskikh issledovaniy rudnosnosti [The paradigm of global geochemical differentiation and prospects for mineralogical and geochemical studies of ore content] // *Geochemistry of ore-forming systems and metallogenic analysis*. Novosibirsk: Nauka, 1989. P. 180–190.
37. *Silaev V.I.* Zonal'nost' rudnykh mestorozhdeniy i poley kak otrazheniye geokhimicheskoy differentsiatsii [Zoning of ore deposits and fields as a reflection of geochemical differentiation]. Syktyvkar, 1987. 23 p.
38. *Silaev V.I., Yakovleva O.A., Ivanovsky V.S.* Genetiko-informatsionnoye znacheneye proby allyuvial'nogo zolota [Genetic and informational value of sample alluvial gold] // *Doklady Earth Sciences*. 1987. Vol. 294. No. 6. P. 1432–1435.
39. *Makeev A.B., Dudar V.A.* Samorodki zolota rossypnykh proyavleniy Pripolyarnogo Urala i Srednego Timana [Golden nuggets of placer occurrences of the Subpolar Urals and Middle Timan] // *Bull. of Inst. of Geology, Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS*. 2003. No. 11. P. 15–18.

Статья поступила в редакцию 10.09.2020

УДК 552.31 (470.111)
DOI 10.19110/1994-5655-2020-6-40-48

А.М. ШМАКОВА^{*,}, К.В. КУЛИКОВА^{*}**

ПЕТРОГРАФИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ ПОЗДНЕДЕВОНСКИХ ДОЛЕРИТОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ И ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ПОЛУОСТРОВА КАНИН

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

***Всероссийский научно-исследовательский
геологический институт
им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ),
г. Санкт-Петербург*

alex.sch92@yandex.ru

A.M. SHMAKOVA^{*,}, K.V. KULIKOVA^{*}**

PETROGRAPHY AND MINERALOGY OF THE LATE DEVONIAN DOLETERITES OF THE CENTRAL AND SOUTH-EASTERN KANIN PENINSULA

**N.P. Yushkin Institute of Geology,
Federal Research Centre Komi Science Centre,
Ural Branch, RAS,
Syktывkar*

***A.P. Karpinsky Russian Geological Research
Institute (VSEGEI),
St. Petersburg*

Аннотация

В статье приведены петрографическая характеристика и новые данные о минералогических особенностях долеритов канино-тиманского долеритового комплекса (βD_3kt) центральной и юго-восточной частях п-ова Канин. Установлено, что долериты центра и юго-востока полуострова отличаются между собой по глубине кристаллизации пород и скорости остывания расплава. Помимо этого, установлена зональность в телах дайковой серии, обусловленная различным химическим составом породообразующих минералов. В породах происходил «отток тепла от лежащего борта к висячему», что обуславливает зональность.

Ключевые слова:

пироксен, плагиоклаз, титаномагнетит, температура кристаллизации, давление, долериты, дайки, полуостров Канин

Abstract

Petrographic characteristics and new data on mineralogical characteristics of rocks of the Kanin-Timan dolerite complex (βD_3kt) in the central and southeastern part of the Kanin Peninsula are presented. Pyroxenes of dolerites correspond in chemical composition: in the center of grains – to augite, and at the edges – to ferroaugite. Difference between pyroxenes of dolerites from different regions of the peninsula is in the presence of exsolution in the pyroxenes of dolerites from the center of the Kanin Peninsula.

Using the Lindsley diagram for determining the crystallization temperature for all studied clinopyroxenes, it was found that the central part of the crystals crystallized at a temperature from 1300 to 1000 °C, in the marginal part the crystallization temperature varied from 1100 to 900 °C.

According to the Nekvasil diagram, the central compositions of the clinopyroxene grains fall into the pressure field from 4.3 to 14.3 kbar. The compositions of the edge parts of clinopyroxenes correspond to pressure fields of 1 atm. Thus, from the grain centers to the edges, a regularity of pressure decrease during the crystallization of clinopyroxenes and, accordingly, dolerites is observed. The beginning of crystallization of dolerites in the central part of the Kanin Peninsula occurred in deeper conditions compared to the same rocks in the southeastern part of the peninsula.

As a result of studies of the mineral composition of the rocks of the complex under study, it was found that the dolerites in the center and south-east of the peninsula differ in the depth of rock crystallization and the rate of melt cooling.

Keywords:

pyroxene, plagioclase, titanomagnetite, crystallization temperature, pressure, dolerites, dikes, Kanin Peninsula

Введение

Канин Кряж (полуостров Канин) является частью Тиманского орогена, в пределах которого в девонское время проходили процессы рифтогенеза, сопровождаемые базитовым магматизмом [1–3]. На всей территории Тиманского орогена установлены базальтовые покровы и дайки долеритов, выделяемые в составе канино-тиманского долеритового комплекса (βD_3kt) [4]. Абсолютный возраст этого комплекса, определенный по базальтам Вежаю-Ворыкинскому покрову Среднего Тимана, составляет 389 ± 8 млн лет [5]. А.Б. Макеевым с соавторами [6] установлено, что магматиты Тимана относятся к разнотемпным, разнофациальным, крайне неравновесным породам, которые характеризуются непостоянством состава, различиями структурно-текстурных особенностей и вторичных преобразований, что может говорить о различных условиях плавления и кристаллизации пород [7].

На территории п-ова Канин периоды магматической активности пришлись на поздний протерозой и палеозой [8,1,3,9]. Магматиты позднего протерозоя представлены метадолеритами, монцититами, двуслюдяными гранитами, пегматитами и щелочными габброидами, подробные данные по их геологии, составу и возрасту представлены в ряде публикаций [8,10,11]. Раннепалеозойские породы основного состава, а именно позднедевонские долериты и базальты полуострова, относящиеся, как и на Тимане, к канино-тиманскому долеритовому комплексу (βD_3kt), менее изучены. Установлено, что эти породы относятся к трапповой формации и по ним еще в 70-х гг. прошлого столетия получены противоречивые данные абсолютного возраста от 378 до 288 млн лет [4]. Подробная вещественная характеристика этих пород на современном уровне отсутствует и на сегодняшний момент является весьма актуальной задачей.

В ходе геолого-съемочных работ в 2018–2019 гг. в составе Канинской партии ВСЕГЕИ под руководством Д.В. Зархидзе и А.С. Букасса нами опробованы дайки долеритов и покровы базальтов в центральной и юго-восточной частях п-ова Канин.

Целью данного исследования является геологическое и петрографическое описание долеритов п-ова Канин, а также получение новых данных о минеральном составе и условиях кристаллизации изучаемых пород.

Материал и методы

Объектами исследования являются долериты канино-тиманского гипабиссального долеритового комплекса, отобранные в центральной части и на юго-востоке п-ова Канин. Описание и фотографирование шлифов проводилось на поляризационном микроскопе Olympus BX51, состав минералов и растровые снимки получены с помощью сканирующего микроскопа Tescan Vega 3 LMN с энергодисперсным спектрометром X-Max (аналитики: Е.М. Тропников, А.С. Шуйский) в ЦКП «Геонаука» Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. Расчет температур кристаллизации пироксенов долеритов был выполнен по методике, разработанной Линдсли [12]. Давление, при котором кристаллизовались пирок-

сены, рассчитано на основе диаграммы влияния давления на содержание катионов Al и Ti [13].

Геология и петрография

На п-ове Канин канино-тиманский комплекс представлен интрузивными дайками долеритов и телами субвулканических базальтов, расположенными в основном в центральной части (реки Горелая, Тальбей, Падлей, Менсейяха, Мурсейяха) и частично на юго-востоке полуострова (побережье Чешской губы, бассейн р. Б. Ойва, р. Немазямаяха) (рис.1).

Долериты комплекса образуют дайки, секущие рифейские сланцы. Мощность тел 2–10 м, редко встречаются дайки, достигающие 50 м (р. Падлей, р. Тальбей). По данным предшественников их протяженность от нескольких до первых десятков километров [4], простираются преимущественно субмеридиональное, реже северо-западное (рис. 2). Цвет породы темно-серый, голубовато- или зеленовато-серый.

В петрографическом строении долеритов выделяются следующие особенности. По размерности зерен структура долеритов делится на тонко- (0,25 — 0,6 мм) и мелкозернистую (1,0 — 1,5 мм). Текстура пород чаще всего массивная, в единичных случаях миндалекаменная. Миндалины мелкие (до 1 мм), зональные, выполнены сидеритом, кальцитом и кварцем. Микроструктура пород офитовая (рис. 3), реже порфиристая (рис. 3 е), пойкилоофитовая (рис. 3 а). Редкие порфиристые вкрапленники (до 1,8 мм) представлены не зональными лейстами плагиоклаза, соответствующего по химическому составу битовниту. Основная масса породы сложена преимущественно зональными клинопироксенами и плагиоклазами. Плагиоклаз встречается в виде лейст размером от 0,5 до 1,5 мм, часто наблюдается замещение минерала поздним альбитом или олигоклазом. Клинопироксен представлен ксеноморфными, реже гипидиоморфными кристаллами, размером от 0,25 до 1,5 мм. Минерал плеохроирует в белых, желтых и бежевых тонах, угол погасания составляет 40° .

Большинство даек довольно монотонны в структурном плане. Чаще всего встречаются мелкозернистые породы, реже тонкозернистые, иногда наблюдается зональность в виде увеличения размерности зерен от одного края к другому. В некоторых дайках наблюдаются миндалины с одного края тела. В целом долериты центральной и юго-восточной частях п-ова Канин схожи между собой, они разделяются на тонкозернистые (рис. 3 а, б), мелкозернистые (рис. 3 в, г), с вкрапленниками плагиоклаза (рис. 3 е), с миндалинами (рис. 3 д) и подверженные выветриванию (рис. 3 в, г).

Для долеритов были выявлены следующие минералогические особенности.

В плагиоклазах долеритов как центральной части полуострова, так и на юго-востоке, центры плагиоклазов по химическому составу соответствуют лабрадору An_{50-69} , в единичных случаях битовниту An_{70-72} , ближе к краю состав меняется на более

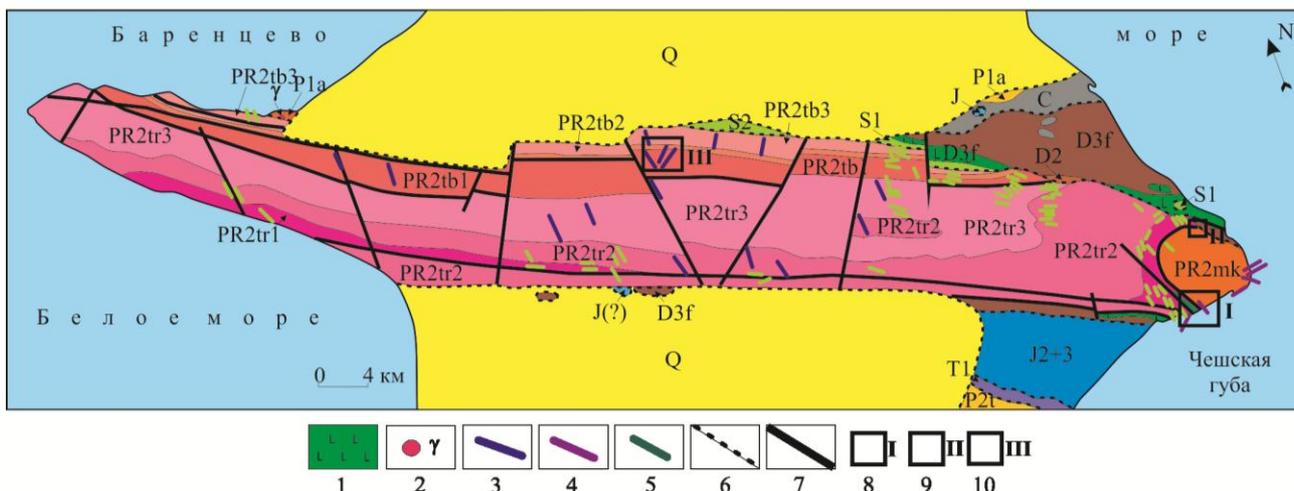


Рис. 1 Геологическая карта хребта Канин Камень с участками отбора материала (по [1]): 1 – девонские базальты, 2 – граниты, 3 – дайки девонских долеритов, 4 – пегматиты, 5 – метадиабазы и амфиболиты, 6 – стратиграфические несогласия, 7 – разломы, 8 – 10 участки отбора материала. Отложения: Q – четвертичные, J – юрские; J₂₊₃ – средне- и верхнеюрские; T₁ – нижнетриасовые; P_{2t} – верхнепермские, татарский ярус; P_{1a} – нижнепермские, ассельский ярус; C – каменноугольные; D_{3f} – верхнедевонские, франкий ярус; D₂ – среднедевонские; S₂ – верхнесилурийские; S₁ – нижнесилурийские; PR₂ – верхнедокембрийские; PR_{2mk} – микулкинская серия: гнейсовидные алевро-псаммиты и кристаллические сланцы, скарноиды; PR_{2tr} – тархановская серия: PR_{2tr1} – нижняя свита, кварцито-сланцевая, PR_{2tr2} – средняя свита, сланцевая, PR_{2tr3} – верхняя свита, сланцево-кварцитовая; PR_{2tb} – табуевская серия: PR_{2tb1} – свита ручья Болванского: песчаники, алевролиты и глинистые сланцы, PR_{2tb2} – янейская свита, PR_{2tb3} – гнильская свита: глинистые сланцы и филлиты, карбонатно-терригенные породы.

Fig. 1. Geological map of the Kanin Kamen Ridge with sampling sites (according to [1]): 1 – Devonian basalts, 2 – granites, 3 – Devonian dolerite dikes, 4 – pegmatites, 5 – metadiabases and amphibolites, 6 – stratigraphic unconformities, 7 – faults, 8 – 10 sites of material selection. Deposits: Q – Quaternary, J – Jurassic; J₂₊₃ – Middle and Upper Jurassic; T₁ – Lower Triassic; P_{2t} – Upper Permian, Tatar stage; P_{1a} – Lower Permian, Asselian stage; C – coal; D_{3f} – Upper Devonian, Frasnian stage; D₂ – Middle Devonian; S₂ – Upper Silurian; S₁ – Lower Silurian; PR₂ – Upper Precambrian; PR_{2mk} – Mikulkin series: gneiss-like silty-psammites and crystalline schists, skarnoids; PR_{2tr} – Tarkhan series: PR_{2tr1} – lower formation, quartzite-shist, PR_{2tr2} – middle formation, shist, PR_{2tr3} – upper formation, shale-quartzite; PR_{2tb} – Tabuev series: PR_{2tb1} – suite of the Bolvansky brook: sandstones, siltstones and clay shales, PR_{2tb2} – Yanei suite, PR_{2tb3} – Gnil' suite: clay shales and phyllites, carbonate-terrigeneous rocks.

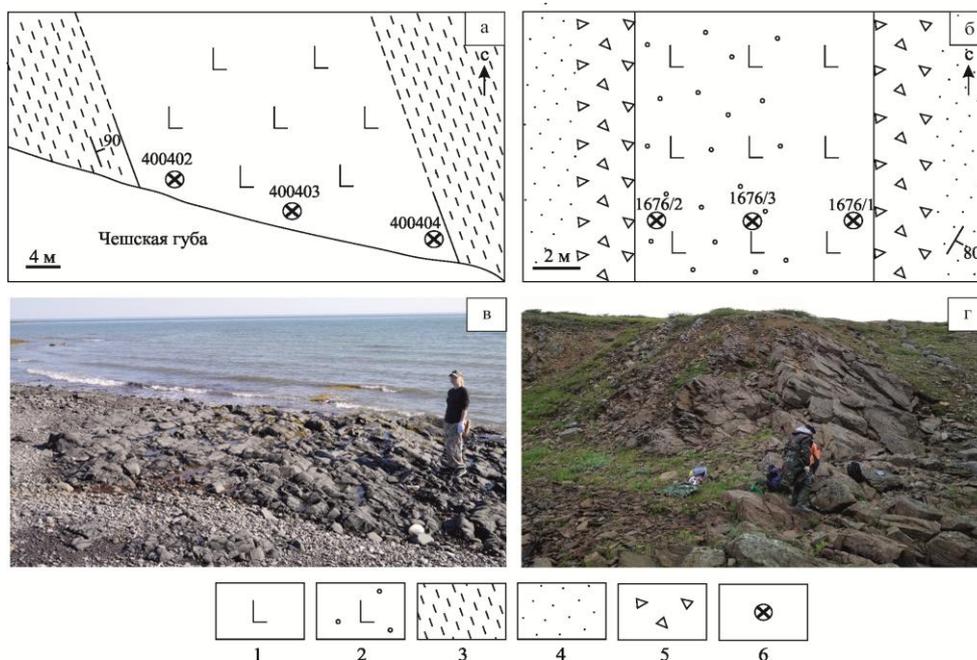


Рис. 2. Схема геологического положения (строения) даек долеритов: а, в – дайка долеритов на побережье Чешской губы; б, в – дайка долеритов в бассейне р. Тальбей. Условные обозначения: 1 – долериты, 2 – миндалекаменный долерит, 3 – кристаллические сланцы по песчанику и алевролиту, 4 – песчаник, 5 – элювиально-деллювиальные развалы, 6 – место отбора проб.

Fig. 2. Scheme of the geological position (structure) of dolerite dikes: а, в – dolerite dike on the coast of the Czech Bay, б, в – dolerite dike in the basin of the river Talbey. Legend: 1 – dolerites, 2 – amygdaloidal dolerite, 3 – crystalline shists along sandstone and siltstone, 4 – sandstone, 5 – eluvial-deluvial breakdowns, 6 – sampling site.

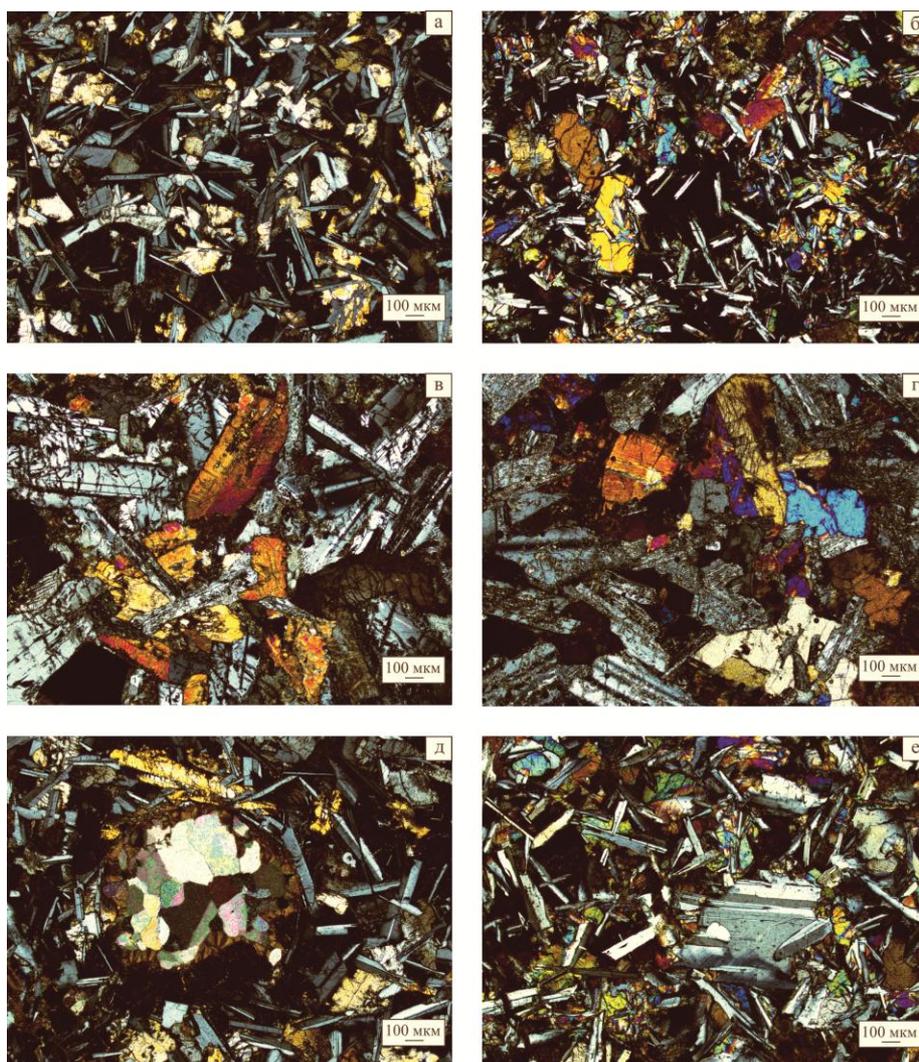


Рис. 3. Долериты п-ова Канин: долериты центральной части полуострова – а, в, д, е; долериты юго-востока полуострова – б, г; а-е – офитовая структура: а, б – тонкозернистая структура, в, г – мелкозернистая структура, д – миндалины кальцита с хлоритовой каемкой, е – вкрапленники плагиоклаза (фото с анализатором).

Fig. 3. Dolerites of the Kanin Peninsula: dolerites of the central part of the peninsula – а, в, д, е; dolerites of the southeast of the peninsula – б, г; а-е – ophitic texture: а, б – fine-grained texture, в, г – close-grained texture, д – calcite amygdale with a chlorite border, е – plagioclase phenocrysts (photo with an analyzer).

натриевый и соответствует низкокальциевому лабрадору An_{50-60} , либо андезину An_{33-49} (рис. 4; табл. 1).

Клинопироксены долеритов центральной части полуострова по химическому составу в центре зерна соответствуют преимущественно авгиту и магниевому пижониту, в единичных случаях составы соответствуют промежуточному пижониту и субкальциевому авгиту. В краевой части содержание железа постепенно увеличивается, и состав пироксена меняется в сторону ферроавгита, реже субкальциевого ферроавгита и железистого пижонита (рис. 5; табл.2). Наличие пижонита указывает на тонкие структуры распада твердого раствора, которые трудно диагностировать в шлифах, данные структуры свидетельствуют об условиях медленного остывания [14].

Химический состав в центре зерен клинопироксенов долеритов юго-востока соответствует авгиту,

по краям состав либо остается прежним, либо переходит в более железистые разновидности: ферроавгит и субкальциевый ферроавгит (рис. 5; табл.3).

Акцессорные минералы представлены апатитом и КПШ. Установленный апатит образует редкие скелетные изометричные и игольчатые кристаллы микроскопических размеров (0,01–0,03 мм). КПШ в долеритах встречается в единичных зернах (размер до 0,1 мм).

Из рудных минералов в долеритах установлено значительное количество скелетных кристаллов титаномагнетита со структурой распада (рис. 6). Размер кристаллов достигает 0,5 мм, в единичных случаях 1 мм. Данный минерал делится на три группы по наличию ламелей и их химическому составу.

Первую группу составляют гомогенные титаномагнетиты без видимых структур распада. В составе данных титаномагнетитов присутствует относительно большое количество $TiO_2=19-26$ мас. %, химическая формула минерала варьирует в пределах $Fe^{2+}_{0,91-2,87} (Ti^{3+}_{0,43-0,74} Fe^{3+}_{0,7-1,41})O_4$ (табл.4). Титаномагнетиты без структуры распада установлены в центральной части полуострова и на юго-востоке.

Во вторую группу входит титаномагнетит долеритов со структурой распада. Химическая формула минерала варьирует в более широких пределах $Fe^{2+}_{0,87-1,58} (Ti^{3+}_{0,34-0,77} Fe^{3+}_{1,01-1,55}) O_4$. Содержание диоксида титана в матриксе составляет $TiO_2 = 13-25$ мас. %. Ламели имеют в составе содержание $TiO_2=28-40$ мас. %, $Fe_2O_3=51-65$ мас. %, минимальные соотношения ламелей: Илменит (35–64), Нематит (34–64), Геикелит (1–3), Пуррофанит (0–2). Минералы из данной группы установлены только в центральной части п-ова Канин.

Третью группу составляет титаномагнетит с более крупными и четкими ламелями ильменита. Химическая формула минерала варьирует в широких пределах $Fe^{2+}_{0,87-1,59} (Ti^{3+}_{0,34-0,65} Fe^{3+}_{1,06-1,46}) O_4$. Содержание диоксида титана в матриксе минерала составляет $TiO_2 = 9-27$ мас. %. Содержание TiO_2 в ла-

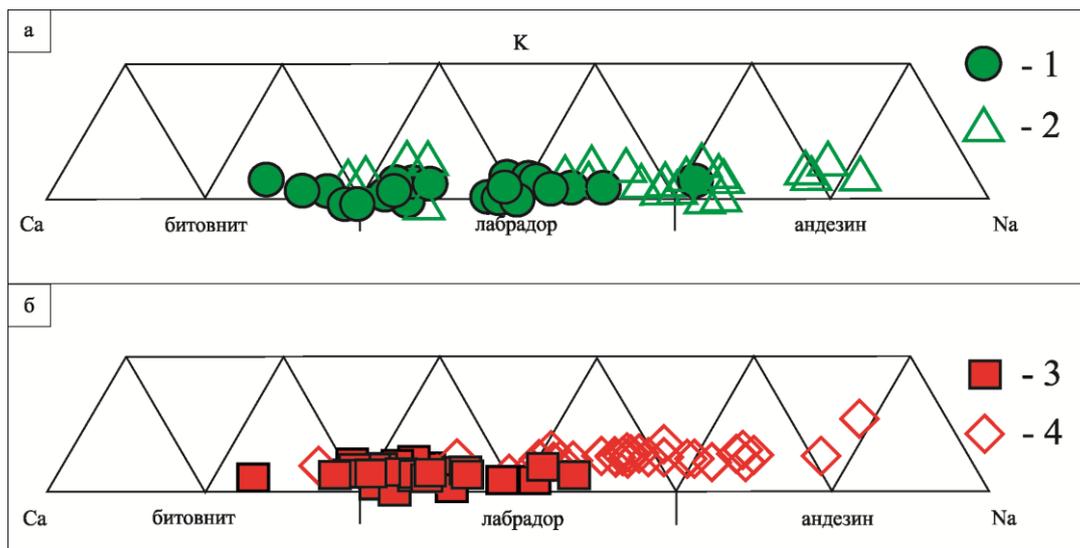


Рис. 4. Составы плагиоклазов долеритов п-ова Канин. Условные обозначения: плагиоклазы долеритов юго-восточной части полуострова (а): 1 – центр зерна, 2 – край зерна. Плагиоклазы из долеритов центральной части полуострова (б): 3 – центр зерна, 4 – край зерна.
 Fig. 4. Compositions of plagioclases of dolerites of the Kanin Peninsula. Legend: dolerite plagioclases of the southeastern part of the peninsula (a): 1 – grain center, 2 – grain edge. Plagioclases from dolerites of the central part of the peninsula (b): 3 – grain center, 4 – grain edge.

Химический состав (мас. %) плагиоклазов долеритов п-ова Канин

Таблица 1

Chemical composition (wt.%) of plagioclases of dolerites of the Kanin Peninsula

Table 1

Компо- нент, мас. %	Центральная часть полуострова				Юго-восток полуострова			
	Минерал							
	лабрадор	андезин	битовнит	лабрадор	лабрадор	андезин	битовнит	лабрадор
	№ образца							
	1115	1115	1676-1	1676-1	406501	406501	351501	351501
	Положение точки							
центр	край	центр	край	центр	край	центр	край	
SiO ₂	51.27	57.21	49.4	53.19	54.52	60.53	49.25	52.25
Al ₂ O ₃	30.39	27.24	31.68	29.54	28.63	24.7	30.76	30.31
CaO	13.87	9.53	15.23	12.37	11.65	7.6	14.56	13.58
Na ₂ O	3.53	5.84	2.69	4.23	4.75	6.78	2.92	3.6
K ₂ O	0.18	0.28	0.14	0.23	0.24	0.4	0.12	0.2
Сумма	99.24	100.1	99.14	99.56	99.79	100.01	98.1	100.71

мелях – 37–50 мас. %, Fe₂O₃ = 49–58 мас. %, минимальные соотношения ламелей: Ilmenite (54–90), Nematite (13–44), Geikelite (0–3), Pyrophanite (1–2). Подобные разновидности установлены как в центральной, так и в юго-восточной части полуострова.

Наличие или отсутствие структуры распада, а также различие в химическом составе ламелей титаномагнетита может быть связано с условиями кристаллизации минерала. Титаномагнетит без структуры распада мог кристаллизоваться в результате быстрого остывания расплава. Наличие структуры распада свидетельствует о более медленном остывании [16]. Титаномагнетит без структуры распада наблюдается преимущественно у дайек маленькой мощности.

Помимо титаномагнетита, из рудных минералов в долеритах установлены сульфиды: халькопирит в виде изометричных зерен размером до

0,025 мм и пирит в виде единичных кристаллов размером до 0,015 мм. В редких случаях отмечаются галенит и ильменит. В межзерновом пространстве долеритов наблюдается стекло, полностью замещенное палагонитом.

Для выяснения температуры и давления кристаллизации долеритов был использован ряд диаграмм.

С помощью диаграммы Линдсли [12] для определения температуры кристаллизации для всех изученных клинопироксенов установлено, что центры зерен пироксенов центральной части полуострова кристаллизовались при температуре преимущественно от 1200 до 1100°C, в то время как на юго-востоке температура кристаллизации была немного ниже, от 1100 до 1000°C. В краевой части зерен температура варьировала в пределах от 1100 до 900°C независимо от района исследований. Так-

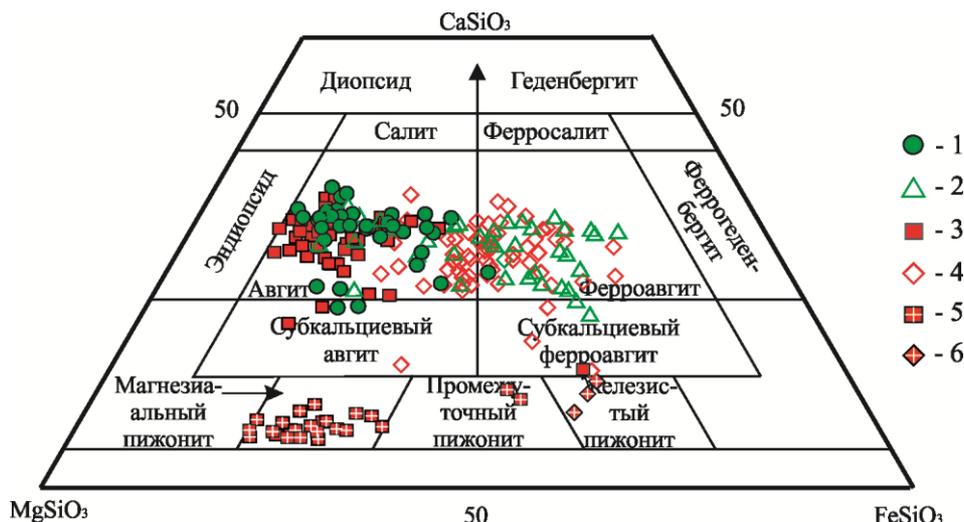


Рис. 5. Положение фигуративных точек состава клинопироксенов (по [15]) из позднедевонских долеритов п-ова Канин. Условные обозначения: пироксены из долеритов юго-восточной части полуострова: 1 – центр зерна, 2 – край зерна. Пироксены долеритов центральной части полуострова: 3 – центр зерна, 4 – край зерна, 5 – пироксены со структурой распада (центр зерна), 6 – пироксены со структурой распада (край зерна).

Fig. 5. Position of the figurative points of the clinopyroxene composition (according to [15]) from the Late Devonian dolerites of the Kanin Peninsula. Legend: pyroxenes from dolerites in the southeastern part of the peninsula: 1 – grain center, 2 – grain edge. Dolerite pyroxenes in the central part of the peninsula: 3 – grain center, 4 – grain edge, 5 – pyroxenes with exsolution (grain center), 6 – pyroxenes with exsolution (grain edge).

Таблица 2

Химический состав (мас. %) пироксенов долеритов центральной части п-ова Канин

Table 2

Chemical composition (wt.%) of dolerite pyroxenes of the central part of the Kanin Peninsula

Компо- по- нент, мас. %	Центральная часть полуострова							
	Минерал							
	Авгит	Авгит	Ферроав- гит	Ферроав- гит	Мг пижонит	Мг пижонит	Fe пижонит	Fe пижонит
	№ образца							
	1115	1679	1115	1679	1115	1676-1	1115	1115
	Положение точки							
центр	центр	край	край	центр	центр	центр	центр	
SiO ₂	51.64	52.04	50.21	49.91	54.29	54	49.6	49.12
TiO ₂	0.74	0.61	0.48	0.69	0.35	0.21	0.35	0.33
Al ₂ O ₃	2.17	3.3	1.08	1.01	0.82	1.06	0.58	0.49
FeO	12.29	7.47	20.42	23.43	17.41	14.53	32.02	32.38
MnO	0.26	0.2	0.51	0.47	0.43	0.36	0.88	0.92
MgO	16.55	18.23	9.28	9.42	22.87	24.44	9.77	9.75
CaO	15.76	18.09	16.66	15.13	4.11	5.18	5.71	4.97
Na ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-
K ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-
Сумма	99.41	99.94	98.64	100.06	100.28	99.78	98.91	97.96

же можно отметить следующие тенденции изменения составов клинопироксенов и температур их кристаллизации в различных участках даек.

В клинопироксенах долеритов центрального района п-ова Канин количество пижонита уменьшается от западных бортов даек к восточным. Для даек юго-востока полуострова характерно как от-

сутствие зональности породообразующих минералов в теле, так и ее наличие. Установленная зональность в теле выражается в наличии изменения химического состава пироксенов в зависимости от их расположения в теле. Так, зональность пироксенов прослеживается в западном борту и центре тела (авгит-ферроавгит) и отсутствует в восточном борту

Химический состав (мас. %) пироксенов долеритов юго-востока полуострова Канин

Таблица 3

Chemical composition (wt.%) of dolerite pyroxenes in the southeast of the Kanin Peninsula

Table 3

Компонент, мас. %	Юго-восток полуострова			
	Минерал			
	авгит	ферроавгит	авгит	авгит
	№ образца			
	400504	400504	406501	406501
	Положение точки			
	центр	край	центр	край
SiO ₂	51.85	48.02	52.15	49.55
TiO ₂	0.71	0.76	0.72	1.6
Al ₂ O ₃	1.32	0.98	2.66	2.64
FeO	14.97	27.17	8.15	17.27
MnO	0.38	0.64	-	0.41
MgO	15.97	7.55	16.53	11.5
CaO	14.74	13.31	19.11	16.91
Na ₂ O	-	-	-	-
K ₂ O	-	-	-	-
Сумма	99.94	98.43	99.32	99.88

(авгит-авгит). В породах, по всей видимости, происходил «отток тепла от лежащего борта к всячечему». Титаномагнетит с более обильными и тонкими структурами распада сочетается с зональным пироксеном (авгит-ферроавгитом), титаномагнетит с редкими ламелями наблюдается совместно с незональным пироксеном (авгитом).

На основе диаграммы влияния давления на содержание катионов Al и Ti [13] было установлено, что центральные составы зерен клинопироксенов попадают в поле давлений от 4,3 до 14,3 кбар (рис. 7). Составы краевых частей клинопироксенов соответствуют полям давлений в 1 atm. Таким образом, от центров зерен к краям прослеживается закономерность уменьшения давления при кристаллизации клинопироксенов и соответственно долеритов. Исходя из этой диаграммы также можно сде-

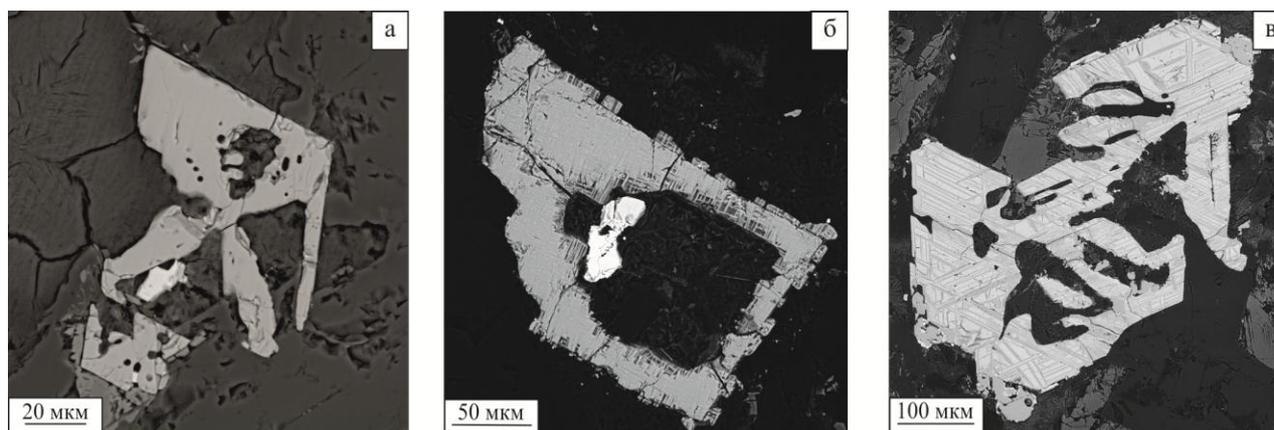


Рис. 6. Скелетные кристаллы титаномагнетита в долеритах центральной части п-ова Канин: а – гомогенные кристаллы титаномагнетита, б – кристаллы титаномагнетита со слабой структурой распада, в – титаномагнетит с интенсивной структурой распада (фото в обратно рассеянных электронах).

Fig. 6. Skeletal crystals of titanomagnetite in dolerites of the central part of the Kanin Peninsula: а – homogeneous crystals of titanomagnetite, б – titanomagnetite crystals with weak exsolution, в – titanomagnetite with intense exsolution (photo in backscattered electrons).

Химический состав (мас. %) титаномагнетита долеритов п-ова Канин

Таблица 4

Chemical composition (wt.%) of titanomagnetite from dolerites of the Kanin Peninsula

Table 4

Компонент, мас. %	Центральная часть полуострова					Юго-восток полуострова		
	№ образца					351501	400401	400401
	1676-1	1676-1	1115	1115	1679			
	Положение точки							
	ламель	матрикс	ламель	матрикс	матрикс	ламель	матрикс	
SiO ₂	0,2	0,33	-	0,22	0,33	0,69	5,44	0,54
TiO ₂	50,65	13,91	31,98	19,69	24,83	26,53	51,07	23,12
Al ₂ O ₃	-	1,85	0,83	1,74	1,83	2,32	0,7	2,13
FeO	46,71	76,98	54,82	67,74	69,86	65,03	34,52	60,17
MnO	0,68	1,16	0,6	0,55	-	3,11	-	4,35
MgO	0,5	-	0,86	-	0,42	-	-	-
V ₂ O ₅	-	-	-	-	0,81	-	-	-
Сумма	98,74	94,23	89,09	89,94	98,08	97,68	91,73	90,31

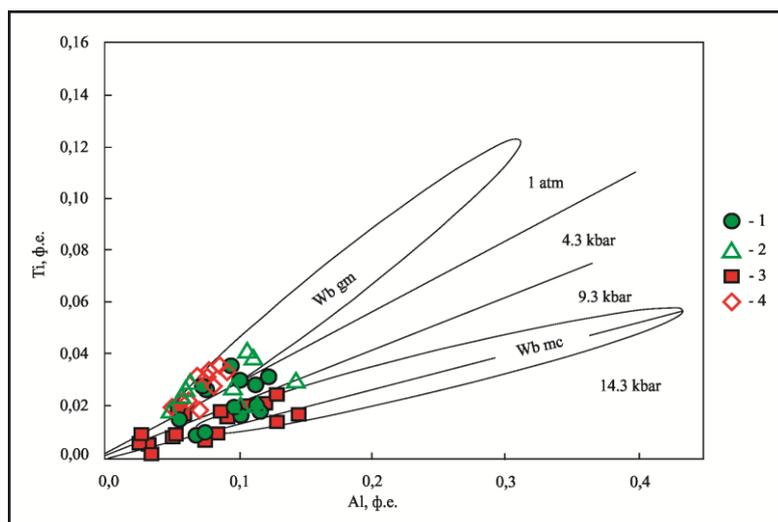


Рис. 7. Вариационная диаграмма Ti-Al (по [16]) для пироксенов позднедевонских долеритов п-ова Канин. Условные обозначения: пироксены долеритов юго-восточной части полуострова: 1 – центр зерна, 2 – край зерна. Пироксены долеритов центральной части полуострова: 3 – центр зерна, 4 – край зерна.

Fig. 7. Variational diagram of Ti-Al (according to [13]) for pyroxenes of the Late Devonian dolerites of the Kanin Peninsula. Legend: dolerite pyroxenes of the southeastern part of the peninsula: 1 – grain center, 2 – grain edge. Dolerite pyroxenes in the central part of the peninsula: 3 – grain center, 4 – grain edge.

Из этого вывода, что начало кристаллизации долеритов центральной части п-ова Канин происходило в более глубоких условиях по сравнению с таковыми же породами юго-восточной части полуострова.

Заключение

В результате исследований минерального состава пород изучаемого комплекса установлено, что долериты центра и юго-востока полуострова отличаются между собой по глубине кристаллизации пород и скорости остывания расплава. Так, долериты из центральной части полуострова относятся к более глубинным породам, кристаллизовавшимся при более высоких температурах и давлении, относительно пород юго-востока.

Таким образом, при общем сходстве, долериты имеют различия минерального состава в зависимости от района исследований и зональности в телах, что, вероятно, связано с эволюцией девонского магматического очага и процессами магматической дифференциации.

Литература

1. Оловянишников В.Г. Геологическое развитие Северного Тимана и полуострова Канин. Сыктывкар: Геопринт, 2004. 80 с.
2. Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: Дизайн-ПолиграфСервис, 2010. 280 с.
3. Степаненко В. И. Канино-Тимано-Печорская провинция позднедевонского внутри плитного магматизма (положение и размеры) // Доклады Академии наук. 2016. Т. 467. № 5. С. 572–575.

4. Журавлев В.А., Куприн В.Ф., Лукьянова Л.И., Парамонова М.С. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Мезенская. Лист Q-38 – Мезень. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. 311 с. + 3 вкл.

5. Удорткина О.В., Андричев В.Л., Травин А.В., Саватенков В.М. Базальты Среднего Тимана: Rb-Sr, Sm-Nd и Ar-Ar данные // Геология и минеральные ресурсы европейского Северо-Востока России: Материалы XVI Геологического съезда Республики Коми. Т. II. Сыктывкар: Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, 2014. 384 с.

6. Макеев А.Б., Лебедев В.А., Брянчанинова Н.И. Магматиты Среднего Тимана. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 348 с. ISBN 5-7691-1878-4

7. Кокс К.Г., Белл Дж. Д., Пан-кхерст Р.Дж. Интерпретация изверженных горных пород. М.: Недра, 1982. 414 с.

8. Андричев В.Л., Соболева А.А., Сергеев С.А., Пресняков С.Л. Цирконовая хронология интрузивного магматизма полуострова Канин // Известия вузов. Геология и разведка. 2018. № 4. С. 30–38.

9. Тиманский кряж. В 2 т. Т. 2. Литология и стратиграфия, геофизическая характеристика земной коры, тектоника, минерально-сырьевые ресурсы: монография. Ухта: УГТУ, 2010. 437 с.
10. Ивенсен Ю.П. Магматизм Тимана и полуострова Канин. М.: Наука, 1964. 123 с.
11. Костюхин М.Н., Степаненко В.И. Байкальский магматизм Канинско-Тиманского региона. Л.: Наука, 1987. 232 с.
12. Lindsley D. H. Pyroxene thermometry // American Mineralogist. 1983. Vol. 68. P. 477–493.
13. The Origin and Evolution of Silica-saturated Alkalic Suites: an Experimental Study / H. Nekvasil, A. Dondolini, J. Horn, J. Filiberto, H. Long, D. H. Lindsley // Journal of Petrology. 2004. Vol. 45. No 4. P. 693–721. DOI: 10.1093/petrology/egg103
14. Патнис А., Мак-Коннелл Дж. Основные черты поведения минералов: Пер. с англ. М.: Мир, 1983. 304 с.
15. Morimoto N., Fabries J., Ferguson A.K. et al. Nomenclature of pyroxenes // American Mineralogist. 1988. Vol. 73. P.1123–1133.
16. Рамдор. П. Рудные минералы и их сростания. М.: Изд-во иностр. лит., 1962. 1132 с.

References

1. Olovyanishnikov V.G. Geologicheskoe razvitiye Severnogo Timana i p-ova Kanin [Geological

- development of the Northern Timan and Kanin Peninsula]. Syktyvkar: Geoprint, 2004. 80 p.
2. *Puchkov V.N.* Geologiya Urala i Priuralya (aktualnie voprosy stratigrafii, tektoniki, geodinamiki i metallogenii [Geology of the Urals and SubUrals (topical issues of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny)]. Ufa: DesignPoligraphService, 2010. 280 p.
 3. *Stepanenko V.I.* Kanino-Timano-Pechorskaya provinciya pozdnedevonskogo vnutriplitovogo magmatizma (polozhenie [Kanin-Timan-Pechora province of the Late Devonian intraplate magmatism (position and size)] // *Doklady Earth Sciences*. 2016. Vol. 467. No. 5. P. 572–575.
 4. *Zhuravlev V. A., Kuprin V. F., Lukyanova L. I., Paramonova M. S.* et al. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federacii. Masshtab 1 : 1 000 000 [State geological map of the Russian Federation. Scale 1 : 1 000 000 (3rd generation)]. Mezen series. Sheet Q-38 – Mezen. Explanatory note. St.Petersburg: Cartographic factory VSEGEI, 2012. 311 p.
 5. *Udoratina O. V., Andreichev V. L., Travin A. V., Savatenkov V. M.* Bazalty Srednego Timana: Rb-Sr, Sm-Nd, i Ar-Ar dannie [Basalts of the Middle Timan: Rb-Sr, Sm-Nd, and Ar-Ar data] // *Geology and mineral resources of the European North-East of Russia: Materials of the XVI Geol. Congress of the Komi Republic*. Vol. II. Syktyvkar: Inst. of Geology, Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS, 2014. 384 p.
 6. *Makeev A. B., Lebedev V. A., Bryanchaninova N.I.* Magmatity Srednego Timana [Magmatites of the Middle Timan]. Ekaterinburg: Ural Branch, RAS, 2008. 348 p. ISBN 5-7691-1878-4
 7. *Cox C. G., Bell J. D., Pankhurst R. J.* Interpretaciya izverzhennyh gornyh porod [Interpretation of igneous rocks]. Moscow: Nedra, 1982. 414 p.
 8. *Andreichev V. L., Soboleva A. A., Sergeev S. A., Presnyakov S. L.* Cirkonovaya hronologiya intruzivnogo magmatizma poluostrova Kanin [Zircon chronology of intrusive magmatism of the Kanin Peninsula] // *Proc. of the universities. Geology and exploration*. 2018. № 4. P. 30–38.
 9. *Timanskii kryazh* [Timan ridge]. In 2 volumes. Vol. 2. Lithology and stratigraphy, geophysical characteristics of the Earth crust, tectonics, mineral resources: monograph. Ukhta: Ukhta State Techn. Univ., 2010. 437 p.
 10. *Ivensen Yu. P.* Magmatism of the Timan and Kanin Peninsula. Moscow: Nauka, 1964. 123 p.
 11. *Kostyukhin M. N., Stepanenko V. I.* Baikalskii magmatizm Kaninsko-Timanskogo regiona [Baikal magmatism of the Kanin-Timan region]. Leningrad: Nauka, 1987. 232 p.
 12. *Lindsley D. H.* Pyroxene thermometry // *American Mineralogist*. 1983. Vol. 68. P. 477–493.
 13. The Origin and Evolution of Silica-saturated Alkalic Suites: an Experimental Study / *H. Nekvasil, A. Dondolini, J. Horn, J. Filiberto, H. Long, D. H. Lindsley* // *J. of Petrology*. 2004. Vol. 45. No. 4. P. 693–721. DOI: 10.1093/petrology/egg103
 14. *Patnis A., McConnell J.* Osnovnie cherty povedeniya mineralov [The main features of the behavior of minerals]. Translated from English. Moscow: Mir, 1983. 304 p.
 15. *Morimoto N., Fabries J., Ferguson A.K.* et al. Nomenclature of pyroxenes. *American Mineralogist*. 1988. Vol. 73. P.1123–1133.
 16. *Ramdor P.* Rudnie mineraly i ih srastanie [Ore minerals and their intergrowth]. Moscow: Foreign Literature Publ. House, 1962. 1132 p.

Статья поступила в редакцию 04.09.2020

УДК 551.24
DOI 10.19110/1994-5655-2020-6-49-60

И.Л. ПОТАПОВ, А.М. ПЫСТИН

**СТРУКТУРНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ
ПОРОД ПАРИКВАСЬШОРСКОЙ СВИТЫ
ХАРБЕЙСКОГО МЕТАМОРФИЧЕСКОГО
КОМПЛЕКСА (ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)**

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

*ilpotapov@geo.komisc.ru
pystin@geo.komisc.ru*

I.L. POTAPOV, A.M. PUSTIN

**STRUCTURAL EVOLUTION OF ROCKS OF THE
PARIKVAS'SHOR SUITE OF THE KHARBEBY
METAMORPHIC COMPLEX (POLAR URALS)**

**N.P. Yushkin Institute of Geology,
Federal Research Centre Komi Science Centre,
Ural Branch, RAS,
Syktyvkar*

Аннотация

В статье рассмотрен слабо изученный вопрос о структурных особенностях пород париквасьшорской свиты и их структурной эволюции в сравнении с породами ханмейхойской свиты, как наиболее хорошо изученного стратиграфического подразделения в составе харбейского комплекса. Показано, что начиная с этапа формирования изоклинальных складок с круто погружающимися шарнирами, структуры ханмейхойской и париквасьшорской свит развивались совместно. Складчатость сопровождалась высокотемпературным метаморфизмом пород. Механизмом образования складок являлось пластическое течение в обстановке горизонтального сжатия. Судя по данным о возрасте метаморфогенного циркона из гнейсов париквасьшорской свиты (1 896 млн лет) и структурно-геологическим взаимоотношениям стратиграфических подразделений, слагающих харбейский комплекс, все они, в том числе париквасьшорская свита, относятся к дорифейскому структурному этажу. Геологические взаимоотношения, различия в уровне метаморфизма пород и характере складчатости свидетельствуют о том, что париквасьшорская свита является наиболее молодым стратоном харбейского комплекса, слагающим Париквасьшорскую синклиналь.

Ключевые слова:

Полярный Урал, харбейский комплекс, париквасьшорская свита, раннедокембрийский структурный этап, структурный анализ

Abstract

The Parikvas'shor suite is a component of the Kharbey gneiss-amphibolite complex and occupies its central part. Most researchers adhere to the idea of the Early Precambrian age of all the strata that make up the Kharbey complex, including the Parikvas'shor suite, but, at the same time, they express different points of view about their relationship in the section. Some researchers believe that the Parikvas'shor suite is the most ancient in the Kharbey complex and composes the Parikvas'shor uplift, while others adhere to an alternative idea of the synclinal occurrence of the Parikvas'shor suite, underlain by gneisses and amphibolites known as the Laptayugan and Khanmeykhoy suites. In recent years, based on new data on isotopic U-Pb dating of zircons, it has also been suggested that the formation of protoliths of crystalline schists of the Parikvas'shor suite, and, possibly, other stratigraphic units of the Kharbey complex, did not occur earlier than the Late Riphean.

As the experience of studying other Precambrian metamorphic complexes of the Urals shows, the structural characteristics of rocks and the features of the structural evolution of metamorphic strata can be used as one of the criteria for their relative age. Based on the results of the study of macro- and microstructures, it is shown that, starting from the stage of formation of isoclinal folds with

steeply dipping hinges, the structures of the Khanmeykhoy and Parikvas'shor suites developed jointly. Folding was accompanied by high-temperature metamorphism of rocks. The folding mechanism was plastic flow in a horizontal compression setting. According to the data on the age of metamorphogenic zircon from the gneisses of the Parikvas'shor suite (1896 Ma) and the structural-geological relationships of the stratigraphic units that make up the Kharbey complex, all of them, including the Parikvas'shor suite, belong to

the pre-Riphean structural stage. Geological relationships, differences in the level of metamorphism of rocks and the nature of folding indicate that the Parikvas'shor suite is the youngest stratum of the Kharbey complex, which composes the Parikvas'shor syncline.

Keywords:

Polar Urals, Kharbey complex, Parikvas'shor suite, Early Precambrian structural stage, structural analysis

Введение

Париквасьшорская свита является составной частью харбейского гнейсово-амфиболитового комплекса и занимает его центральную часть в виде расширяющегося с северо-запада на юго-восток полосы шириной 3–12 км при протяженности около 30 км (рис. 1). Свита была выделена А.В. Цымбалюком в 1954 г. со стратотипом на руч. Париквасьшор (левый приток р. Харбей). По мнению А.В. Цымбалюка [1], В.Н. Охотникова [2], О.А. Кондияйна [3] и других геологов париквасьшорская свита является наиболее древней в составе гнейсово-амфиболитового комплекса. На изданной в 2000 г. геологической карте России [4] и прилегающих акваторий масштаба 1:250000, фрагмент которой приведен на рис. 1, возраст отложений париквасьшорской свиты показан, как позднеархейско-раннепротерозойский, а окружающих свиту гнейсов и амфиболитов – раннепротерозойский. В то же время, после проведения первых геологических съемок масштаба 1:50000, выполненных в 50 – 60-х гг. прошлого столетия (А.Л. Клопов, В.Н. Воронов и др.), обосновывается альтернативное представление о синклинальном залегании париквасьшорской свиты, подстилаемой гнейсами и амфиболитами, известными как лаптаюганская и ханмейхойская свиты. Эта точка зрения была поддержана многими уральскими геологами (Л.Л. Подсосова, В.А. Душин, В.В. Бутин и др.) и нашла отражение в схеме IV Уральского межведомственного стратиграфического совещания [5], в соответствии с которой в составе харбейского комплекса снизу вверх выделяются марункеуская, лаптаюганская, ханмейхойская и париквасьшорская свиты раннепротерозойского возраста. Раннепротерозойский возраст пород харбейского комплекса, и в том числе париквасьшорской свиты, был подтвержден Pb-Pb и U-Pb датировками цирконов [6, 7].

В последнее время сложившееся представление о харбейском гнейсово-амфиболитовом комплексе и слагающих его стратонах, в том числе париквасьшорской свиты, как нижнедокембрийских образований, подвергается ревизии. Так, на основании сравнительно недавно полученных изотопно-геохронологических данных Л.И. Зылева, А.Л. Коновалов и их коллеги [8, 9] пришли к заключению, что формирование протолитов плагиогнейсов и амфиболитов ханмейхойской свиты, а также кри-

сталлических сланцев париквасьшорской свиты происходило не раньше позднего рифея.

Таким образом, различное толкование геологических взаимоотношений, слагающих харбейский комплекс толщ и неоднозначность изотопно-геохронологических данных, оставляет дискуссионным вопрос о стратиграфической позиции париквасьшорской свиты и возрасте слагающих ее пород, как и возрасте других стратиграфических подразделений гнейсово-амфиболитового комплекса.

Цель настоящей статьи – рассмотреть слабо изученный вопрос о структурных особенностях пород париквасьшорской свиты и их структурной эволюции в сравнении с породами ханмейхойской свиты, как наиболее хорошо изученного стратиграфического подразделения в составе харбейского комплекса. Эти исследования могут внести определенный вклад в решение проблемы стратиграфической позиции париквасьшорской свиты и, возможно, косвенно, о ее принадлежности (или отсутствии таковой) к образованиям нижнедокембрийского структурного этажа.

Методы исследования

В работе используются данные, полученные авторами непосредственно при полевых наблюдениях обнажений в бассейне рек Харбей и Мал. Ханмей. Для более подробного изучения структурных особенностей пород использовались методы морфолого-геометрического анализа плоскостных и линейных элементов пород, а также микроструктурного анализа, который заключался в определении в шлифах ориентировок оптических осей кварца и спайностей слюд, с применением универсального четырехосного столика Федорова на поляризационном микроскопе. Результаты замеров микроструктур выносились на стереографические диаграммы (нижняя полусфера, равноугольная сетка).

Геологическая позиция и особенности строения париквасьшорской свиты

Париквасьшорская свита по современным представлениям [10] является стратоном, завершающим разрез нижнепротерозойского харбейского гнейсово-амфиболитового комплекса и слагает Париквасьшорскую синклиналь, заключенную между двумя брахиантиклинальными структурами: Ев-Юганской на юге и Лапта-Юганской на севере, сло-

женными гнейсами и амфиболитами лаптаюганской и ханмейхойской свит (рис. 1). По соотношению пород в разрезе свита подразделяется на три части. В нижней части преобладают гнейсы разного состава: биотитовые, двуслюдяные, гранат-биотит-мусковитовые и амфиболсодержащие слюдяные, иногда с гранатом. Среди гнейсов в виде прослоев и пачек отмечаются амфиболиты и кварциты. Средняя часть свиты сложена гранат-слюдяными, слюдяными и амфибол-слюдяными гнейсами. В верхней части свиты гнейсы имеют подчиненное

значение. Доминируют кристаллические сланцы, среди которых встречаются слюдяно-гранатовые, слюдяно-гранат-ставролитовые, кианит-ставролитовые, гранат-кианит-ставролитовые, кианит-слюдяные и другие разновидности. По данным последней геологической съемки [10] нижняя граница свиты в большинстве разрезов тектоническая; иногда отмечаются согласные взаимоотношения с амфиболитами и гнейсами нижележащей лаптаюганской свитой, как, например, в приустьевой части руч. Киргизшор. Здесь нижняя граница париквасьшор-

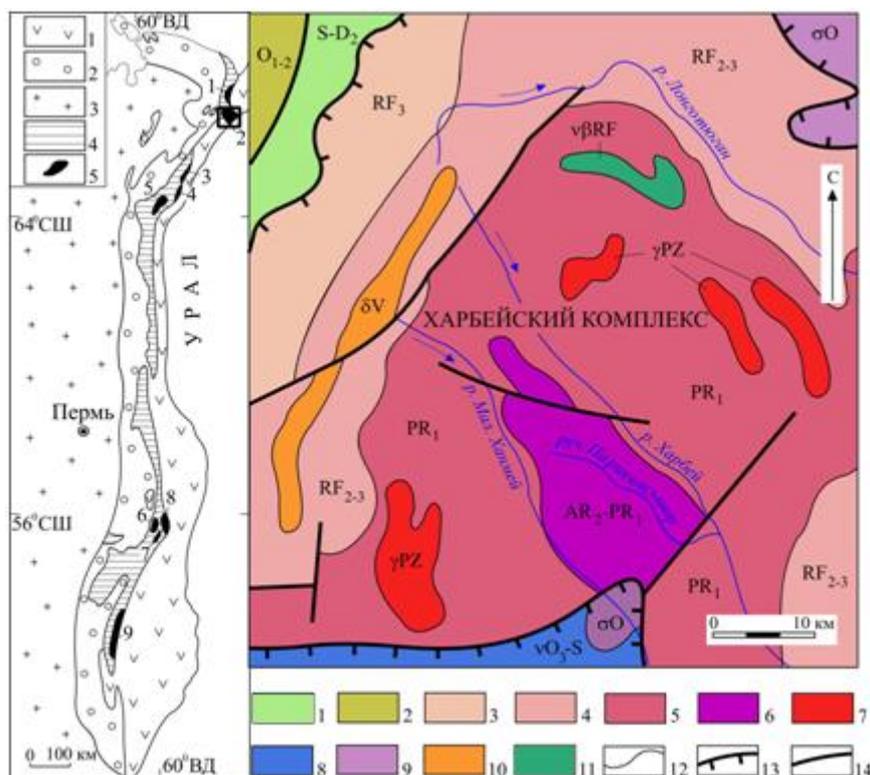


Рис. 1. Схематическая геологическая карта харбейского комплекса. Составлена с использованием Геологической карты России и прилегающих акваторий масштаба 1:2500000 / Главный редактор Б. А. Яцкевич. СПб.: ВСЕГЕИ, 2000).

Условные обозначения к врезке: 1–2 палеозойские формации (1 – палеоокеанические; 2 – палеоконтинентальные); 3 – осадочный чехол Европейской платформы; 4 – верхнепротерозойские образования; 5 – нижнедокембрийские комплексы. Названия нижнедокембрийских комплексов: 1 – марункеуский, 2 – харбейский, 3 – хордьюский, 4 – неркаюский, 5 – няртинский, 6 – тараташский, 7 – александровский, 8 – уфалейский, 9 – максютовский. Квадратом показано расположение карты харбейского комплекса.

Условные обозначения к схематической геологической карте: 1 – силурийско-среднедевонские отложения; 2 – нижне-среднеордовикские отложения; 3 – верхнерифейские отложения; 4 – средне-верхнерифейские отложения нерасчлененные; 5–6 – харбейский метаморфический комплекс: 5 – лаптаюганская и ханмейхойская свиты нерасчлененные; 6 – париквасьшорская свита; 7 – граниты; 8 – габбро, нориты; 9 – перидотиты, дуниты, пироксениты, серпентиниты; 10 – диориты, кварцевые диориты; 11 – метагаббродолериты, метадолериты; 12 – границы стратиграфических подразделений и магматических тел; 13 – надвиги; 14 – крутопадающие разломы.

Fig. 1. Schematic geological map of the Kharbey complex. Compiled using the Geological Map of Russia and adjacent water areas, scale 1: 2500000 / Chief Ed. B.A. Yatskevich. St.Petersburg: VSEGEI, 2000.

Symbols for the inset: 1–2 Paleozoic formations (1 – paleo-oceanic; 2 – paleo-continental); 3 – sedimentary cover of the European platform; 4 – Upper Proterozoic formations; 5 – Lower Precambrian complexes. Names of the Lower Precambrian complexes: 1 – Marunkeu, 2 – Kharbey, 3 – Khordyus, 4 – Nerka, 5 – Nyartin, 6 – Taratash, 7 – Aleksandrov, 8 – Ufaley, 9 – Maksyutov. The square shows the location of the map of the Kharbey complex.

Symbols to the schematic geological map: 1 – Silurian-Middle Devonian deposits; 2 – Lower-Middle Ordovician deposits; 3 – Upper Riphean deposits; 4 – undivided Middle-Upper Riphean deposits; 5–6 – Kharbey metamorphic complex: 5 – undivided Laptoyugansk and Nanmeikhoy formations; 6 – Parikvas'shor suite; 7 – granites; 8 – gabbro, norites; 9 – peridotites, dunites, pyroxenites, serpentinites; 10 – diorites, quartz diorites; 11 – metagabbrodolerites, metadolerites; 12 – boundaries of stratigraphic units and magmatic bodies; 13 – thrusts; 14 – steeply dipping faults.

ской свиты проводится по подошве последнего горизонта слюдястых кристаллических сланцев. В некоторых случаях отмечаются противоположные взаимоотношения свит, а именно, налегание лаптаюганской свиты на париквасьшорскую. Это связано с запрокинутым залеганием пород, что в целом типично для харбейского комплекса. Такая картина нами наблюдалась, например, в разрезе по безымянному левому притоку, впадающему в р. Мал. Ханмей в 12 км выше устья руч. Ев-Юган. Здесь в зоне контакта париквасьшорской и лаптаюганской свит слагающие их толщи находятся в запрокинутом залегании с крутым падением слоистости и полосчатости на север-северо-восток.

Вопросы метаморфизма пород харбейского комплекса, включая париквасьшорскую свиту, рассматривались в работах Ю.Е. Молдованцева, Г.А. Кейльмана, В.В. Бутина, В.А. Душина, И.И. Голубевой, Н.С. Уляшевой и других геологов. Мы считаем необходимым акцентировать внимание на этом вопросе, так как различия в степени и типе метаморфизма пород могут быть одними из критериев взаимного расположения сравниваемых геологических объектов в разрезе.

В породах ханмейхойской свиты Н.С. Уляшевой [11–13] установлено последовательное проявление нескольких метаморфических событий. Условия развития раннего метаморфического парагенезиса (чермакит-паргаситовая роговая обманка + олигоклаз) соответствовали высоким степеням амфиболитовой фации умеренных давлений ($T > 700^{\circ}\text{C}$, $P = 5.5\text{--}10$ кбар). Учитывая тот факт, что в гнейсах ханмейхойской свиты встречаются цирконы гранулитового типа (округлые многогранники) с изотопным Pb-Pb возрастом 2071 ± 25 млн лет [7], высока вероятность, что раннепротерозойский этап метаморфизма пород мог достигать условий гранулитовой фации, а парагенезисы амфиболитовой фации связаны с высокотемпературным диафторезом и гранитизацией. Термодинамические обстановки проявления последующих процессов диафтореза, судя по наблюдаемым наложенным парагенезисам, отвечали условиям гранат-глаукофановой фации ($T = 580\text{--}640^{\circ}\text{C}$, $P = 8\text{--}12$ кбар). Они развиты локально, в основном в западной части харбейского комплекса. Н.С. Уляшева считает, что этот относительно высокобарный процесс метаморфизма проявился в интервале 1000–850 млн лет назад. Возрастной интервал 610–590 млн лет [14], по мнению Н.С. Уляшевой, датирует процессы диафтореза эпидот-амфиболитовой фации, а более низкие возрастные значения (489, 434, 336 млн лет [15]) связаны с низкотемпературными изменениями в условиях зеленосланцевой фации. Аналогичные условия метаморфизма характерны для пород лаптаюганской свиты.

Степень метаморфизма пород париквасьшорской свиты также оценивается как относительно высокая, поскольку во всех разновидностях кристаллических сланцев присутствует гранат [16]. Отметим, что гранат отмечается и в прослоях амфиболитов. Это дает основание считать, что метаморфизм пород достигал, по крайней мере,

низких ступеней амфиболитовой фации. Но он, несомненно, был ниже, чем в ханмейхойской свите. Об этом, в частности, свидетельствует факт отсутствия в породах цирконов гранулитового типа. Но в то же время для пород париквасьшорской свиты очень характерны цирконовые сростки сложной формы, известные в литературе, как цирконы «типа цветной капуста» [17]. Опыт изучения уральских метаморфических комплексов показывает, что такие цирконы образуются в породах, метаморфизм которых не достигал уровня высоких ступеней амфиболитовой фации, когда возникают P-T условия для проявления процессов гранитизации. Установленный U-Pb возраст таких цирконов из париквасьшорских биотит-мусковитовых плагиогнейсов с гранатом и ставролитом 1 896 млн лет [7].

По данным И.И. Голубевой [16], в наиболее высокотемпературной ставролит-дистеновой зоне породы кристаллизовались при температуре 600–590 °C и давлении 5.5–6 кбар. При этом, по ее мнению, уровень метаморфизма пород снижается в северо-западном направлении с удалением от зоны Главного Уральского разлома, что фиксируется сменой изоград: кианит → ставролит → гранат. Ранее о связи метаморфизма пород с Главным Уральским разломом на Полярном Урале писали Ю.Е. Молдованцев и А.С. Перфильев [18].

По нашим наблюдениям, выполненным в разных частях распространения париквасьшорской свиты (руч. Парноеган, правобережье р. Харбей вблизи оз. Возейты, руч. Париквасьшор, руч. Изъяшор, левобережные безымянные притоки р. Мал. Ханмей), отсутствуют какие-либо закономерности в распространении гранат-, ставролит- и кианитсодержащих пород. По степени гранитизации породы в изученных нами разрезах также не различаются. Эти факты дают основание считать, что метаморфическая зональность, на которую указывает И.И. Голубева и другие исследователи, в пределах площади распространения пород париквасьшорской свиты отсутствует. Видимые различия в уровне метаморфизма пород связаны с разной степенью проявления в них процессов средне-низкотемпературного диафтореза.

Таким образом, париквасьшорская свита отличается от окружающих ее ханмейхойской и лаптаюганской свит более низкой степенью метаморфизма пород и слабым проявлением процессов гранитизации. Это является косвенным признаком более высокого стратиграфического положения париквасьшорской свиты в сравнении с другими стратиграфическими подразделениями харбейского комплекса.

Результаты структурных исследований и обсуждение Анализ макроструктур

Для изучения структурных особенностей отложений стратиграфических подразделений харбейского комплекса в полевых условиях были проведены замеры структурных элементов. Структурные исследования пород ханмейхойской свиты прово-

дились по ручьям Ольховый и Хабинсово-Шор, по рекам Мал. Харбей и Мал. Ханмей и их притокам, на обоих берегах р. Бол. Харбей. Отложения париквасьшорской свиты изучались на водоразделе в районе среднего течения руч. Париквасьшор, на левобережье р. Мал. Ханмей. На хорошо обнаженной возвышенности между оз. Возей-ты и р. Бол. Харбей был закартирован участок, сложенный породами париквасьшорской свиты (рис. 2).

Самыми ранними установленными структурными формами для ханмейхойской и париквасьшорской свит являются метаморфическая полосчатость, параллельные ей первичная сланцеватость, поверхности контактов, различающихся по составу пород. Полосчатость и первичная сланцеватость отложений ханмейхойской свиты в районе нижней

части руч. Мал. Харбей и его притоков падает по азимутам 175°–210° под углами от 30° до 55°, в районе устья руч. Париквасьшор, встречаются как северо-восточные азимуты падения 65°–85° под углами 30°–80°, так и юго-западные под углами от 5° до 50°.

Простираение вышеупомянутых плоскостных элементов для париквасьшорской свиты – северо-западное, в южной части участка – субширотное, зеркала полосчатости и ранней сланцеватости падают на северо-восток и юго-запад под углами от 60° до 90°. Поздняя сланцеватость встречается в двух генерациях. Первая падает на северо-восток и юго-запад под углами от 0° до 20°, вторая – на запад и восток под углами от 10° до 40°. Поздняя сланцеватость иногда сечет раннюю полосчатость или сланцеватость с образованием кливажа плейчатости (рис. 3, а).

Поскольку амфиболиты ханмейхойской свиты представляют собой массивные, главным образом, не расслоенные породы, то информацию о складках удается получить в основном при изучении гнейсов и сланцев, среди которых встречаются слои амфиболитов, а также смятые в складки полевошпат-кварцевые прослои и линзы гнейсов в амфиболитах. Выделяются четыре генерации складок.

Первая генерация складок F_{n+1}^h , которую можно считать наиболее ранней для ханмейхойской свиты, наблюдается в амфиболитах с полевошпат - кварцевыми слоями (жилами) (рис. 3, б) и в сланцах, контактирующих с амфиболитами. Это концентрические сжатые, иногда закрытые складки, с падением крыльев в основном на юго-запад под углами 40°–60°. На сферических диаграммах полюсов (рис. 4, а) крылья рассеиваются по дуге малого круга. Осевые поверхности круто падают на запад и юго-запад, шарниры погружаются главным образом на юго-запад под углами от 30° до 80°. На сферических диаграммах (рис. 4, с) шарниры рассеиваются по дуге большого круга, совпадающей с дугой распределения полюсов крыльев поздних складок F_{n+2}^h .

Вторая генерация F_{n+2}^h , морфологически представляет собой сильно сжатые подобные складки с круто падающими осевыми поверхностями. Крылья погружаются на юг, юго-запад и северо-восток под углами от 55° до 85°. Складки, главным образом, крупные. Их можно наблюдать в кристаллических сланцах при смятии слоев амфиболитов (рис. 3, с). На сферических диаграммах (рис. 4, б)

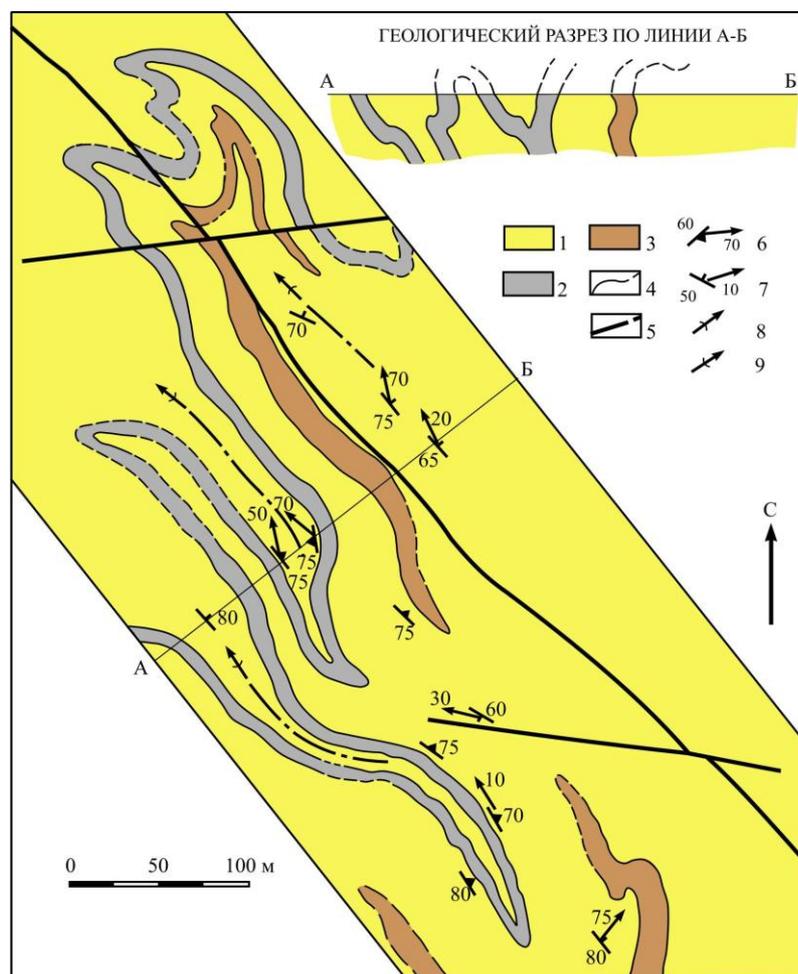


Рис. 2. Схема геологического строения участка Вазей-ты.

1 – гранат-мусковит-биотитовые гнейсы и кристаллические сланцы; 2 – кварциты; 3 – мезо- и меланократовые слюдястые кристаллические сланцы со ставролитом, иногда мигматизированные; 4 – стратиграфические границы; 5 – тектонические границы; 6 – элементы залегания контактов с шарнирами складок; 7 – элементы залегания сланцеватости с шарнирами складок; (8–9) – оси складок: 8 – антиклинальных, 9 – синклинальных.

Fig. 2. Scheme of the geological structure of the Vazey-ty site.

1 – garnet-muscovite-biotite gneisses and crystalline schists; 2 – quartzite; 3 – meso- and melanocratic micaceous crystalline schists with staurolite, sometimes migmatized; 4 – stratigraphic boundaries; 5 – tectonic boundaries; 6 – elements of contacts bedding with fold bends; 7 – elements of schistosity bedding with fold bends; (8–9) – axes of folds: 8 – anticlinal, 9 – synclinal.

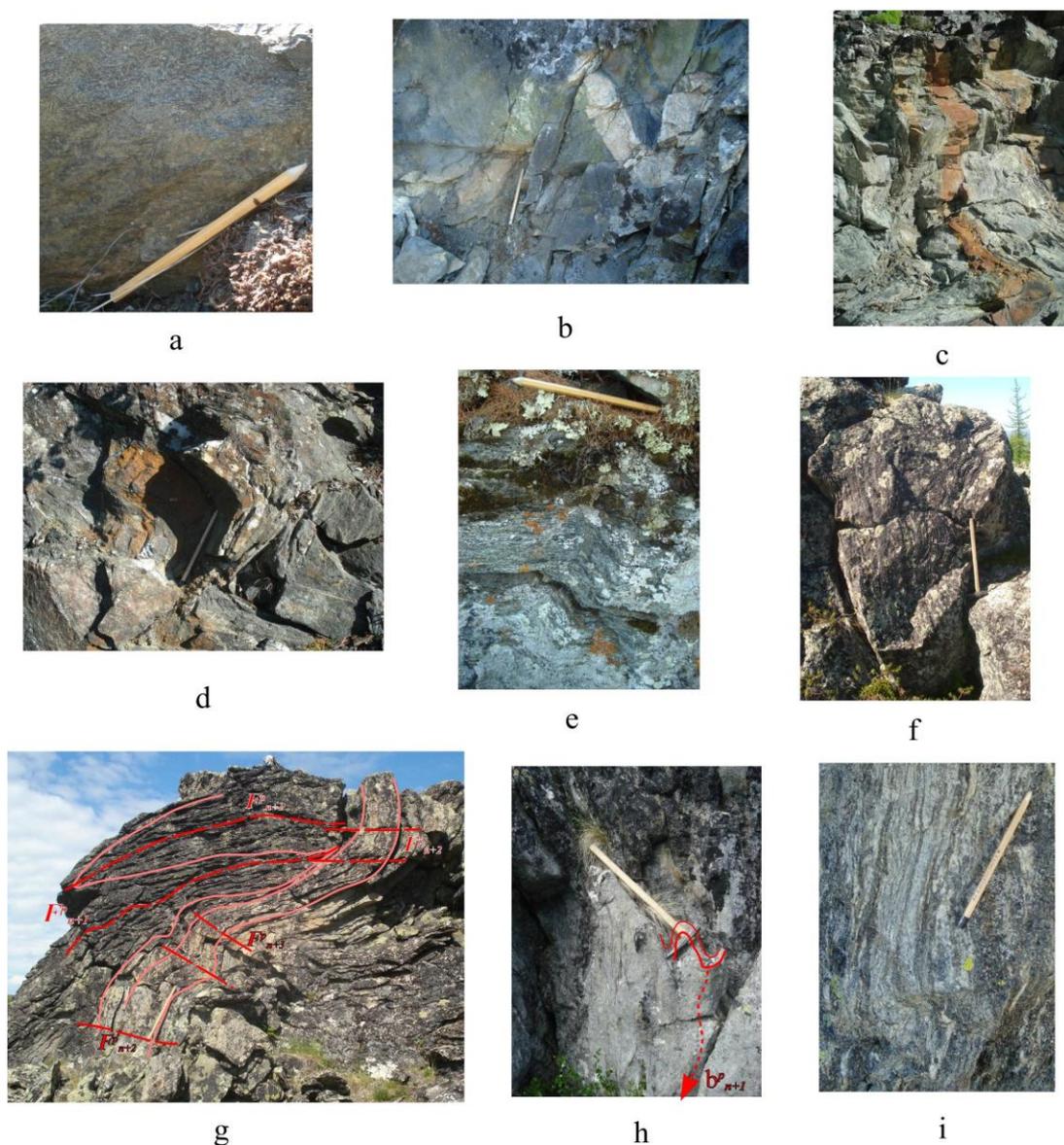


Рис. 3. Фото складок ханмейхойской (а–е) и париквасьшорской (f–i) свит харбейского комплекса.

(а) кливаж пloidчатости, амфиболит, руч. Ольховый; (b) закрытая складка F_{n+1}^h , шарнир полого погружается на юго-восток, гранитогнейс в амфиболите, левый берег р. Бол. Харбей ; (c) сжатая складка F_{n+2}^h , с круто погружающимся шарниром, прослой амфиболита в гнейсах, левый берег р. Бол. Харбей ; (d) лежащая асимметричная складка F_{n+3}^h , в замке видны складки волочения, амфиболит с прослоями гнейсов, левый берег р. Бол. Харбей ; (e) асимметричная закрытая складка F_{n+3}^h , осевая поверхность падает под углом около 50° на восток, гнейс, правый берег р. Бол. Харбей; (f) сжатая складка F_{n+1}^p , кристаллический сланец, останец в районе оз. Вазей-ты; (g) сложная складка, крылья складок F_{n+1}^p сминаются в складки F_{n+2}^p и F_{n+3}^p , кристаллические сланцы, останец на водоразделе севернее руч. Париквасьшор; (h) сжатая складка F_{n+1}^p с круто погружающимся ундулирующим шарниром, кристаллический сланец, останец, водоразел севернее руч. Париквасьшор; (i) закрытая асимметричная складка F_{n+3}^p с падающей на восток осевой поверхностью под средним углом, кристаллический сланец, останец, водоразел севернее руч. Париквасьшор.

Fig. 3. Photo of the folds of the Khanmeykhoy (a-e) and Parikvas'shor (f-i) suites of the Kharbey complex.

(a) crenulation cleavage, amphibolite, Ol'khovy stream; (b) closed fold F_{n+1}^h , the bend plunges gently to the south-east, granite gneiss in amphibolite, left bank of the Bolshoy Kharbey river; (c) compressed fold F_{n+2}^h , with a steeply dipping bend, amphibolite interlayer in gneisses, left bank of the Bolshoy Kharbey river; (d) recumbent asymmetric fold F_{n+3}^h , lug folds are visible in the curve of fold, amphibolite with interlayers of gneisses, left bank of the Bolshoy Kharbey; (e) asymmetric closed fold F_{n+3}^h , axial surface falling at an angle of about 50° to the east, gneiss, right bank of the Bolshoy Kharbey river; (f) compressed fold F_{n+1}^p , crystalline schist, outlier in the area of the Vazey-ty lake; (g) complex fold, fold limbs F_{n+1}^p are crumpled into F_{n+2}^p and F_{n+3}^p folds, crystalline schists, an outlier on the watershed north of the Parikvas'shor stream; (h) compressed fold F_{n+1}^p with a steeply dipping undulating bend, crystalline schist, an outlier on the watershed north of the Parikvas'shor stream; (i) a closed asymmetric fold F_{n+3}^p with an axial surface dipping to the east at a mean angle, crystalline schist, an outlier on the watershed north of the Parikvas'shor stream.

полюса крыльев рассеиваются по двум дугам большого круга, скорее всего, из-за влияния поздних деформаций. Осевые поверхности круто погружаются как на северо-восток, так и на юго-запад. Шарниры наблюдаются редко, погружаются круто на юго-запад и северо-восток.

Складки третьей генерации F_{n+3}^h деформируют крылья и осевые поверхности ранних складок F_{n+1}^h и F_{n+2}^h . Складки цилиндрические, лежачие, асимметричные, подобные, чаще закрытые, но встречаются и открытые. В замках крупных складок иногда можно проследить развитие мелких складок волочения (рис. 3, d). Крылья круто падают на юго-запад и северо-восток. На сферических диаграммах полюса ложатся вдоль дуги большого круга (рис. 4, d), шарниры погружаются по азимутам от 100° до 120° под углами от 10° до 40° и также по азимутам от 265° до 285° под углами от 5° до 20° .

Четвертая генерация F_{n+4}^h представлена мелкими, асимметричными, иногда запрокинутыми, открытыми складками, а также флексурами (рис. 3, e). Складки развиты, главным образом, в сланцах и гнейсах. В амфиболитах они практически не встречаются. Осевые поверхности таких складок имеют «уральское» простирание осевых поверхностей со средними углами погружения.

В отличие от ханмейхойской свиты, в париквасьшорской свите практически везде наблюдается переслаивание слоев разного состава, с высоким контрастом вязкостей, а неравномерная их мощность обуславливает большое разнообразие морфологии складок. Хорошая обнаженность позволяет произвести большее количество замеров, необходимых для статистического анализа плоскостных и линейных ориентировок с использованием сферических диаграмм.

Наиболее ранняя установленная генерация F_{n+1}^p для париквасьшорской свиты представлена сжатыми, иногда изоклинальными складками (рис. 3, f) с круто погружающимися осевыми поверхностями, которые маркируются кливажными зонами с высокой концентрацией ориентированных слюд. Крылья складок круто погружаются на северо-восток и юго-запад. На сферических диаграммах (рис. 4, e) полюса крыльев складок распределяются по двум дугам большого круга. Шарниры погружаются на северо-запад и юго-восток под углами от 40° до 85° , нередко можно наблюдать их ундуляцию под воздействием поздних деформаций (рис. 3, g). На диаграммах (рис. 4, f) шарниры распределяются по дугам, совпадающим с распределением полюсов складок второй генерации F_{n+2}^p . Это четко указывает на то, что складки F_{n+1}^p образовались раньше складок F_{n+2}^p [19].

Для второй генерации F_{n+2}^p характерны асимметричные, чаще открытые лежачие складки (рис. 3, f), но нередко встречаются закрытые, осложненные в ядерных частях более мелкими асимметричными складками волочения. Данные складки, главным образом, развиты по субвертикальным крыльям ранней генерации F_{n+1}^p . Осевые поверхности падают под углами 5° – 30° на север и юг, осевой кливаж наблюдается редко. Шарниры

погружаются по азимутам от 100° до 140° и от 260° до 330° под углами от 0° до 30° . На стереографических диаграммах (рис. 4, e) полюса крыльев складок распределены по двум дугам больших кругов, часть полюсов крыльев, в основном закрытых асимметричных, мелких складок, распределяются по дуге малого круга (на рисунке отмечен индексом F_{n+2}^{pk}), а их шарниры распределены (рис. 4, g) внутри сферического треугольника. То есть, мелкие складки ориентируются в виде дивергентного веера, осложняя крупные складки.

Третья генерация F_{n+3}^p представлена асимметричными опрокинутыми, реже лежачими, закрытыми или сжатыми складками (рис. 3, f, g). Осевые поверхности параллельны поздней сланцеватости, падают на запад и восток под углами от 10° до 40° . Шарниры погружаются под пологими углами на юг и юго-запад под углами 5° – 10° .

Из вышеизложенного видно, что наиболее ранние складки F_{n+1}^h характерны только для пород ханмейхойской свиты, а складки второй (F_{n+2}^h), третьей (F_{n+3}^h) и четвертой (F_{n+4}^h) генераций в породах ханмейхойской свиты по морфологии и ориентировкам идентичны, соответственно, складкам первой (F_{n+1}^p), второй (F_{n+2}^p) и третьей (F_{n+3}^p) генераций в породах париквасьшорской свиты.

Микроструктурный анализ

Для уточнения структурных особенностей пород обеих свит нами дополнительно был проведен микроструктурный анализ. Рассмотренные выше макроструктурные особенности учитывались при выборе ориентировки образцов. Для уточнения ориентировки петроструктурных осей и плоскостей скольжения предварительно произведены замеры ориентировок спайностей слюд (биотита, мусковита) для каждого из образцов. При этом выяснялось их соответствие с ориентировками плоскостных и линейных структурных элементов, таких как падение сланцеватости, полосчатости, слоистости, погружение шарниров. Диаграммы оптических осей кварца строились перпендикулярно плоскости, параллельной сланцеватости или полосчатости S и оси удлинения L. Исследования проводились на универсальном столике Федорова.

Были исследованы: один образец кварцосдержанных гнейсов из ханмейхойской свиты, ориентированный по контакту с амфиболитом, и два образца кварцосдержанных слюдистых гнейсов из париквасьшорской свиты, ориентированных по полосчатости, проявляющиеся на одном из крыльев складок F_{n+1}^p .

Измеренные оптические с-оси кварца (для ханмейхойской и париквасьшорской свит), а также ориентировки кристаллографических осей биотита (для париквасьшорской свиты) вынесены на сферические диаграммы (рис. 5).

На сферических диаграммах оптических осей кварца (рис. 5, a, b, c) для обеих свит узор представляется в виде трех пересекающихся поясов с двумя крупными максимумами по краям и несколькими небольшими ближе к плоскости скольжения. Такое распределение, исходя из эксперимен-

тальных и теоретических исследований [20], характерно для динамически рекристаллизованного кварца, доминирующим механизмом рекристаллизации которого является миграция зерновых границ [21], что также визуально наблюдается непосредственно в шлифах. По мнению вышеупомянутых исследователей, такой механизм характерен для кварца, рекристаллизованного, как минимум, при температурах выше 500°C. При возрастании стрессовых напряжений температурный диапазон увеличивается [22]. Исходя из вышеизложенного, можно сказать, что основным механизмом образования складок являлось пластическое течение.

Кристаллографические ориентировки биотита из пород париквасьшорской свиты на диаграммах (рис. 5, с) для [001] представлены поясом с максимумом, ориентировка [010] — поясом с максимумом в направлении скольжения (рис. 5, d), а для [001] (рис. 5, e) с максимумом по оси вращения (шарниру). А.Н. Казаковым [23] установлено, что такие ориентировки для биотита характерны для условий посткристаллизационного механического вращения.

Ранее Л.Н. Любоженко [24] при проведении микроструктурных исследований пород париквасьшорской свиты сделала предположение об «уральской» природе деформаций, поскольку по получен-

ным ею данным следовало, что основным механизмом, ответственным за ориентировки кварца, явилось горизонтальное субширотное сжатие, которое привело к формированию как сжатых, так и открытых локальных складок с субвертикальными шарнирами, погружающимися на север. Такая, отличающаяся от нашей интерпретация результатов изучения ориентировок кварца в сланцах париквасьшорской свиты, связана с тем, что ориентировка складок первой генерации F_{n+1}^p меняется под воздействием наложенных поздних деформаций, а именно, изначально субвертикальные шарниры складок изменяют ориентировку (ундулируют), погружаясь как на север, так и на восток, и на запад (рис. 4, f). Поэтому мы считаем, что существенные изменения микроструктуры, будь то дробление, растворение, рекристаллизация кварца, кристаллизация мусковита и граната происходили во время формирования первой генерации складок F_{n+1}^p , а более поздние деформации лишь частично изменили микроструктурный облик париквасьшорской свиты. Это заключение подтверждается, в том числе, ориентировкой чешуйчатых минералов: мусковита и хлорита. Ориентировка мусковита коррелируется со складками F_{n+1}^p и F_{n+2}^p (рис. 6, a, b), а ориентировка хлорита говорит о его кристаллизации

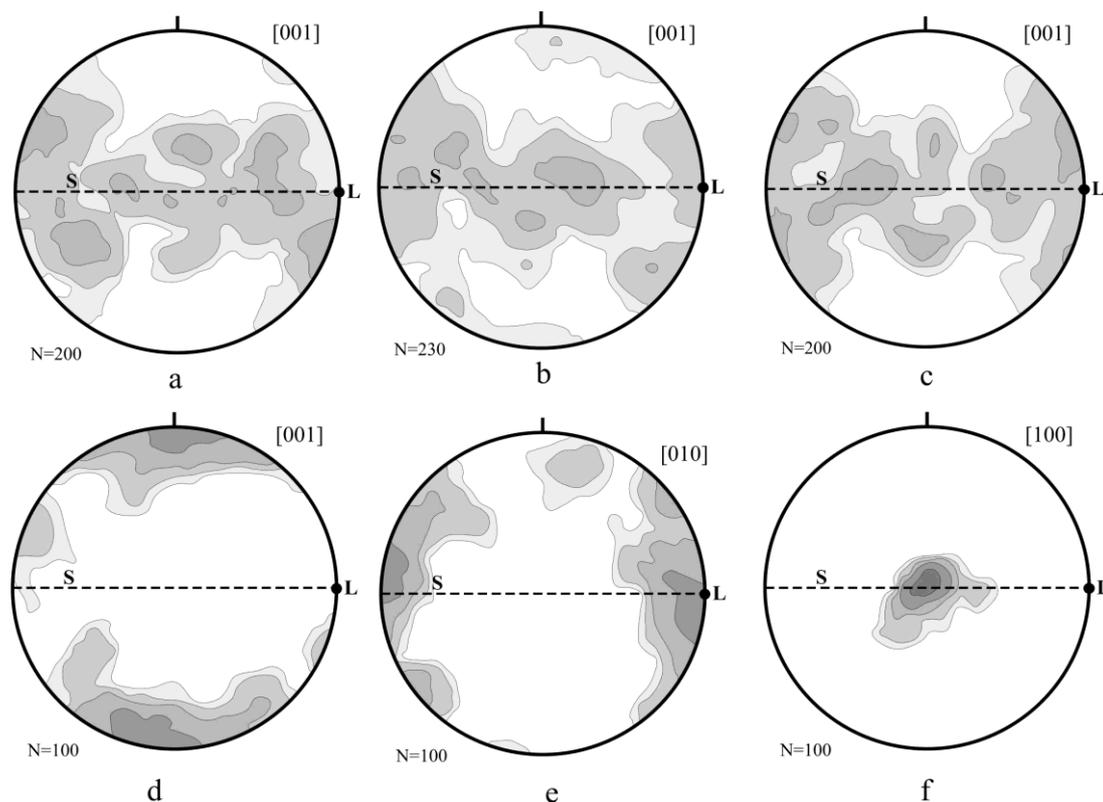


Рис. 5. Стереографические проекции микроструктурных ориентировок, плотность изолиний 1–2–4–8%, S – плоскость скольжения, L – направление скольжения, N – количество замеров: (а) оптические с-оси кварца, гнейс, ханмейхойская свита, (обр. 203); (б) оптические с-оси кварца, кристаллический сланец, париквасьшорская свита (обр. 206); (с) оптические с-оси кварца, кристаллический сланец, париквасьшорская свита (обр. 207); (d-f) кристаллографические ориентировки биотита, кристаллический сланец, париквасьшорская свита (обр. 206).

Fig. 5. Stereographic projections of microstructural orientations, contour density 1–2–4–8%, S – slip plane, L – slip direction, N – number of measurements: (a) optical c-axes of quartz, gneiss, Khanmeikhoy suite, (sample 203); (b) optical c-axes of quartz, crystalline schist, Parikvas'shor suite (sample 206); (c) optical c-axes of quartz, crystalline schist, Parikvas'shor suite (sample 207); (d-f) crystallographic orientations of biotite, crystalline schist, Parikvas'shor suite (sample 206).

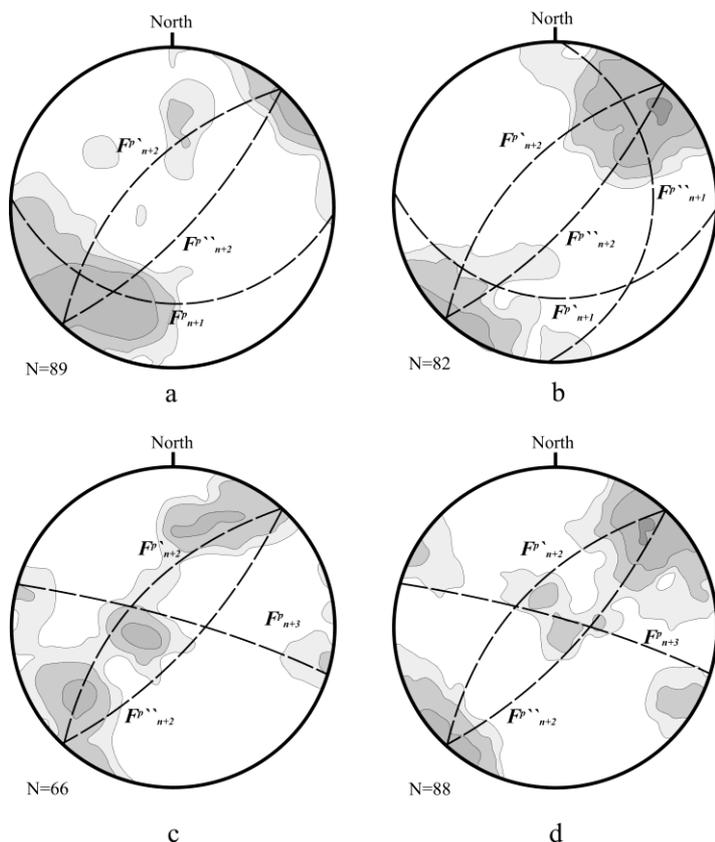


Рис. 6. Стереографические проекции микроструктурных ориентировок полюсов плоскостей спайностей мусковита (а, b) и хлорита (с, d) для отложений париквасьшорской свиты. Слева — обр. 206, справа — обр. 207. Плотность изолиний 2–4–8–16%, N – количество замеров. Дуги представляют пояса распределения полюсов крыльев складок.

Fig. 6. Stereographic projections of the microstructural orientations of the poles of the cleavage planes of muscovite (a, b) and chlorite (c, d) for the deposits of the Parikvas'shor suite. On the left – sample 206, on the right – sample 207. Density of isolines 2–4–8–16%, N – number of measurements. The arcs represent the distribution belts of the poles of fold limbs.

совместно со складками $F^{p_{n+2}}$ и $F^{p_{n+3}}$ (рис. 6, с, d).

Обсуждение

Невысокий уровень геохронологического обоснования возраста протолитов и последующих метаморфических преобразований пород харьбейского комплекса и относительно слабая степень изученности их метаморфизма позволяют дать лишь весьма приблизительную возрастную привязку описанных выше этапов деформации.

Наиболее ранние из наблюдаемых складок в ханмейхойской свите, которые на самом деле могут быть не первыми и поэтому обозначаются как «n+1», вероятно, связаны с высокотемпературным метаморфизмом (амфиболитовой или гранулитовой фаций). В этот деформационный этап в условиях высоких температур в породах образовывались асимметричные концентрические складки $F^{p_{n+1}}$ с субвертикальными осевыми поверхностями и пологими шарнирами. Формирование складок происходило в обстановке горизонтального сжатия. Процессы деформации и метаморфизма пород по времени (около 2.1 млрд лет назад) коррелируются с коллизией двух крупных континентальных блоков:

Волго-Уралии и Сарматии с образованием протоконтинента Волго-Сарматия [25].

На втором деформационном этапе (первом для париквасьшорской свиты) породы обеих свит подверглись складкообразованию в обстановке горизонтального сжатия при воздействии достаточно высоких температур и давлений в условиях амфиболитовой фации. Положение осевых поверхностей говорит об ориентировке оси сжатия с севера на юг, ось растяжения погружается на запад под небольшим углом. На данном этапе также происходили такие явления, как механическое вращение биотита в породах париквасьшорской свиты, дробление и рекристаллизация кварца. Можно предположить, что эти процессы проявились во время объединения двух составных частей Балтики: Волго-Сарматии и Фенноскандии (1.9–1.7 млрд лет назад) [25].

На третьем этапе деформаций в отложениях обеих свит сформировались асимметричные лежачие складки продольного изгиба ($F^{p_{n+3}}$ для ханмейхойской и $F^{p_{n+2}}$ для париквасьшорской свит) с субгоризонтальными осевыми поверхностями с образованием складок волочения в замках складок. Ось растяжения имеет северо-восточную ориентировку, ось сжатия субвертикальна. Судя по всему, на данном этапе происходил постепенный подъем Харьбейского блока и диафторез пород в условиях эпидот-амфиболитовой фации. Характер распределения напряжений говорит о том, что породы Харьбейского блока располагались в замке крупной антиформы северо-западного простирания, предположительно образовавшейся в коллизионный этап формирования тиманид в позднем венде [26].

На четвертом деформационном этапе возникают складки вдоль небольших сдвиговых зон с формированием кливажных доменов параллельно осевым поверхностям, которые имеют средние углы погружения. Формирование таких зон, скорее всего, связано с формированием Главного Уральского надвига при скольжении по срывам тектонических пластин. Здесь деформация осуществляется, скорее всего, за счет перемещения крупных блоков вдоль разломов.

Заключение

Начиная с этапа формирования изоклинальных складок с круто погружающимися шарнирами, структуры ханмейхойской и париквасьшорской свит развивались совместно. Складчатость сопровождалась высокотемпературным метаморфизмом пород. Механизмом образования складок являлось пластическое течение в обстановке горизонтального сжатия. Судя по данным о возрасте метаморфогенного циркона из гнейсов париквасьшорской свиты (1 896 млн лет) и структурно-геологическим взаимоотно-

ношениям стратиграфических подразделений, слагающих харьбийский комплекс, все они, в том числе париквасьшорская свита, относятся к дорифейскому структурному этажу.

Геологические взаимоотношения, различия в уровне метаморфизма пород и характере складчатости свидетельствуют о том, что париквасьшорская свита является наиболее молодым стратоном харьбийского комплекса, слагающим Париквасьшорскую синклинали.

Литература

1. *Цымбалюк А.В.* Геологическая карта СССР масштаба 1:200000. Серия Северо-Уральская. Лист Q-42-VII. М., 1976.
2. *Охотников В.Н., Фомиченко Т.А., Бевз Е.И.* Юрмэнекский габбро-гранитный комплекс Полярного Урала // Геология и полезные ископаемые Северо-Востока европейской части СССР / Коми филиал АН СССР. Сыктывкар, 1976. С. 73–79.
3. Геология и полезные ископаемые России. Запад России и Урал. Т. 1, кн. 2 / *Ред. О.А. Кондайн.* СПб.: ВСЕГЕИ, 2011. 581 с.
4. Геологическая карта России и прилегающих акваторий масштаба 1:2500000 / *Главный редактор Б. А. Яцкевич.* СПб.: ВСЕГЕИ, 2000.
5. *Стратиграфические схемы Урала* (докембрий, палеозой). Екатеринбург: Уралгеолком, 1993.
6. *Краснобаев А. А.* Циркон как индикатор геологических процессов. М.: Наука, 1986. 152 с.
7. *Пыстина Ю.И., Пыстин А.М.* Цирконовая летопись уральского докембрия. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 168 с.
8. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000. Третье поколение. Серия Западно-Сибирская. Лист Q-42 (Салехард). Объяснительная записка / *Л.И. Зылева, А.Л. Коновалов, А.П. Казак и др.* СПб.: ВСЕГЕИ, 2014. 396 с.
9. *Коновалов А.Л., Лохов К.И., Черкашин А.В., Вакуленко О.В.* О тектонической границе между метаморфическими сланцевыми и кристаллическими образованиями позднего протерозоя Харьбийского антиклинория (Полярный Урал) // Региональная геология и металлогения. 2016. № 68. С. 5–20.
10. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200000. Издание второе. Серия Полярно-Уральская. Лист Q-42-VII, VIII (Обской). Объяснительная записка / *В.А. Душин, О.П. Сердюкова, А.А. Малюгин и др.* СПб.: ВСЕГЕИ, 2014. 384 с.
11. *Уляшева Н.С.* Термодинамическая эволюция метаморфизма пород харьбийского комплекса (Полярный Урал) // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2011. № 9. С. 2–6.
12. *Уляшева Н.С.* Метабазиты харьбийского комплекса (Полярный Урал). Сыктывкар, 2012. 99 с.
13. Глубинное строение Тимано-Североуральского региона / *Отв. редактор А. М. Пыстин.* Сыктывкар: Геопринт, 2011. 264 с.
14. *Пыстин А.М., Пыстина Ю.И., Конанова Н.В., Потапов И.Л.* Типизация нижнего докембрия Тимано-Североуральского региона. Сыктывкар: Геопринт, 2009. 36 с.
15. *Литошко Д.Н.* Топоминералогия медно-молибденовой рудной формации Полярного Урала. М.: Наука, 1988. 212 с.
16. *Голубева И.И.* Первичный состав и условия образования метаморфических пород париквасьшорского выступа // Магматиты и метаморфиты севера Урала и Тимана. Сыктывкар, 1991. С. 75–88 (Тр. Ин-та геологии Коми НЦ УрО АН СССР; Вып. 74).
17. *Peucat J.J., Bernard-Griffiths J., Gil Ibarguchi J.I. et al.* Geohemical and Geochronological cross-section of the deep Variscan crust: The Cabo Ortegal high-pressure nappe (northwestern Spain) // *Tectonophysics.* 1990. Vol. 110. P. 463–472.
18. *Молдаваницев Ю.Е., Перфильев А.С.* Проявление метаморфизма в связи с глубинным разломом на Полярном Урале // *Известия АН СССР. Сер. геол.,* 1962. № 4. С. 50–55.
19. Геологическая съемка сложноподстилаемых комплексов / *В.Д. Вознесенский, Н.В. Горлов, А.В. Доливо-Добровольский и др.* Л.: Недра, 1980. 239 с.
20. *Stipp M., Stünitz H., Heilbronner R., Schmid S.M.* Dynamic recrystallization of quartz: correlation between natural and experimental conditions // *Geological Society, London, Special Publications.* 2002. Vol. 200. P. 171–190. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2001.200.01.11>
21. *Passchier C.W., Trouw R.A.J.* *Microtectonics.* Springer Science & Business Media, 2005. 366 p.
22. *Stipp M., Stünitz H., Heilbronner R., Schmid S.M.* The eastern Tonale fault zone: a ‘natural laboratory’ for crystal plastic deformation of quartz over a temperature range from 250 to 700 C // *Jour. Struct. Geol.* 2002. Vol. 24 (12), P. 1861–1884. [https://doi.org/10.1016/S0191-8141\(02\)00035-4](https://doi.org/10.1016/S0191-8141(02)00035-4)
23. *Казаков А.Н.* Динамический анализ микроструктурных ориентировок минералов. Л.: Наука, 1987. 272 с.
24. *Любоженко Л.Н.* Результаты микроструктурного изучения пород париквасьшорского блока (Полярный Урал) // Магматические и метаморфические комплексы севера Урала. Сыктывкар, 1994. С. 80–86. (Тр. Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН.; Вып. 87).
25. *Bogdanova S. V., Gintov O. B., Kurlovich D. M. et al.* Late Palaeoproterozoic mafic dyking in the Ukrainian Shield of Volgo-Sarmatia caused by rotation during the assembly of supercontinent Columbia (Nuna) // *Lithos.* 2013. Vol. 174. P. 196–216.
26. *Пучков В. Н.* Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 280 с.

References

1. *Tsybalyuk A.V.* Geologicheskaya karta SSSR masshtaba 1:200000. Seriya Severo-Ural'

- skaya. List Q-42-VII [Geological map of the USSR, scale 1:200000. North-Urals series. Sheet Q-42-VII]. Moscow, 1976.
2. *Okhotnikov V.N., Fomichenko T.A., Beuz E.I.* Yurmenekskij gabbro-granitnyj kompleks Polyarnogo Urala [Yurmenek gabbro-granite complex of the Polar Urals] // *Geologiya i poleznye iskopaemye severo-vostoka Evropejskoj chasti SSSR* [Geology and minerals of the northeast of the European part of the USSR]. Komi Branch, USSR Ac. Sci. Syktyvkar, 1976. P. 73–79.
 3. *Geologiya i poleznye iskopaemye Rossii. Zapad Rossii i Ural* [Geology and minerals of Russia. West of Russia and the Urals.]. Vol. 1, Book 2 / *Ed. O.A. Kondiain.* St.Petersburg: VSEGEI, 2011. 581 p.
 4. *Geologicheskaya karta Rossii i prilgayushchih akvatorij masshtaba 1:2500000* [Geological map of Russia and adjacent water areas, scale 1:2500000] / *Chief ed. B.A. Yatskevich.* St. Petersburg: VSEGEI, 2000.
 5. *Stratigraficheskie skhemy Urala (dokembrij, paleozoj)* [Stratigraphic schemes of the Urals (Precambrian, Paleozoic)]. Ekaterinburg: Uralgeolkom, 1993.
 6. *Krasnobaev A.A.* Cirkon kak indikator geologicheskikh processov [Zircon as an indicator of geological processes]. Moscow: Nauka, 1986. 152 p.
 7. *Pystina Yu.I., Pystin A.M.* Cirkonovaya letopis' ural'skogo dokembriya [Zircon Chronicle of the Ural Precambrian]. Ekaterinburg: Ural Branch, RAS, 2002. 168 p.
 8. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1:1 000 000. Tret'e pokolenie. Seriya Zapadno-Sibirskaya. List Q-42 (Salekhard). Ob'yasnitel'naya zapiska* [State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1 000 000. 3rd generation. West Siberian series. Sheet Q-42 (Salekhard). Explanatory note] / *L.I. Zyleva, A.L. Konovalov, A.P. Kazak et al.* St.Petersburg: VSEGEI, 2014. 396 p.
 9. *Konovalov A.L., Lokhov K.I., Cherkashin A.V., Vakulenko O.V.* O tektonicheskoy granice mezhdum metamorficheskimi slancevymi i kristallicheskimi obrazovaniyami pozdnego proterozoya Harbejskogo antiklinoriya (Polyarnyj Ural) [On the tectonic boundary between metamorphic shale and crystalline formations of the Late Proterozoic of the Kharbey anticlinorium (Polar Urals)] // *Regional'naya geologiya i metallogeniya* [Regional geology and metallogeny]. 2016. № 68. P. 5–20.
 10. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1:200000. Izdanie vtoroe. Seriya Polyarno-Ural'skaya. List Q-42-VII, VIII (Obskoj). Ob'yasnitel'naya zapiska* [State geological map of the Russian Federation. Scale 1:200000. 2nd edition. Polar-Urals series. Sheet Q-42-VII, VIII (Obs). Explanatory note] / *V.A. Dushin, O.P. Serdyukova, A.A. Malyugin et al.* St. Petersburg: VSEGEI, 2014. 384 p.
 11. *Ulyasheva N.S.* Termodinamicheskaya evolyuciya metamorfizma porod harbejskogo kompleksa (Polyarnyj Ural) [Thermodynamic evolution of metamorphism of rocks of the Kharbey complex (Polar Urals)] // *Bull. of the Inst. of Geology, Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS.* 2011. № 9. P. 2–6.
 12. *Ulyasheva N.S.* Metabazity harbejskogo kompleksa (Polyarnyj Ural) [Metabasites of the Kharbey complex (Polar Urals)]. Syktyvkar, 2012. 99 p.
 13. *Glubinnoe stroenie Timano-Severoural'skogo regiona* [Deep structure of the Timan-North Urals region] / *Ed. A.M. Pystin.* Syktyvkar: Geoprint, 2011. 264 p.
 14. *Pystin A.M., Pystina Yu.I., Konanova N.V., Potapov I.L.* Tipizaciya nizhnego dokembriya Timano-Severoural'skogo regiona [Typification of the Lower Precambrian of the Timan-North Urals region]. Syktyvkar: Geoprint, 2009. 36 p.
 15. *Litoshko D.N.* Topomineralogiya medno-molibdenovoj rudnoj formacii Polyarnogo Urala [Topomineralogy of the copper-molybdenum ore formation of the Polar Urals]. Moscow: Nauka, 1988. 212 p.
 16. *Golubeva I.I.* Pervichnyj sostav i usloviya obrazovaniya metamorficheskikh porod parikvas'shorskogo vystupa [Primary composition and conditions of formation of metamorphic rocks of the Parikvas'shor uplift] // *Magmatity i metamorfity severa Urala i Timana* [Magmatites and metamorphites of the north of the Urals and Timan]. Syktyvkar, 1991. P. 75–88 (Proc. of the Inst. of Geology, Komi Sci. Centre, Ural Branch, USSR Ac. Sci.; Issue 74).
 17. *Peucat J.J., Bernard-Griffiths J., Gil Ibarguchi J.I.* et al. Geochemical and Geochronological cross-section of the deep Variscan crust: The Cabo Ortegal high-pressure nappe (northwestern Spain) // *Tectonophysics*, 1990. 110. P. 463–472.
 18. *Moldavantsev Yu.E., Perfilyev A.S.* Proyavlenie metamorfizma v svyazi s glubinnym razlomom na Polyarnom Urale [Manifestation of metamorphism in connection with a deep fault in the Polar Urals] // *Izvestiya USSR Ac. Sci. Series Geology*, 1962. № 4. P. 50–55.
 19. *Geologicheskaya s'emka slozhnodislocirovannykh kompleksov* [Geological survey of complexly dislocated complexes] / *V.D. Voznesensky, N.V. Gorlov, A.V. Dolivo-Dobrovolsky et al.* Leningrad: Nedra, 1980. 239 p.
 20. *Stipp M., Stünitz H., Heilbronner R., Schmid S.M.* Dynamic recrystallization of quartz: correlation between natural and experimental conditions // *Geological Society, London, Special Publications*. 2002. Vol. 200. P. 171–190. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2001.200.01.11>
 21. *Passchier C.W., Trouw R.A.J.* *Microtectonics*. Springer Science & Business Media, 2005. 366 p.
 22. *Stipp M., Stünitz H., Heilbronner R., Schmid S.M.* The eastern Tonale fault zone: a 'natural laboratory' for crystal plastic deformation of quartz over a temperature range from 250 to 700 C // *Jour. Struct. Geol.* 2002. Vol. 24

- (12). P. 1861–1884. [https://doi.org/10.1016/S0191-8141\(02\)00035-4](https://doi.org/10.1016/S0191-8141(02)00035-4)
23. *Kazakov A.N.* Dinamicheskij analiz mikrostrukturnyh orientirovok mineralov [Dynamic analysis of microstructural orientations of minerals]. Leningrad: Nauka, 1987. 272 p.
24. *Lyubozhenko L.N.* Rezul'taty mikrostrukturnogo izucheniya porod parikvas'shorskogo bloka (Polyarnyj Ural) [Results of microstructural study of rocks of the Parikvas'shor block (Polar Urals)] // *Magmaticheskie i metamorficheskie komplekсы severa Urala* [Magmatic and metamorphic complexes of the North of the Urals]. Syktyvkar, 1994. P. 80–86 (Proc. of the Inst. of Geology, Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS; Issue 87).
25. *Bogdanova S.V., Gintov O.B., Kurlovich D.M.* et al. Late Palaeoproterozoic mafic dyking in the Ukrainian Shield of Volgo-Sarmatia caused by rotation during the assembly of supercontinent Columbia (Nuna) // *Lithos*. 2013. Vol. 174. P. 196–216.
26. *Puchkov V.N.* Geologiya Urala i Priural'ya (aktual'nye voprosy stratigrafii, tektoniki, geodinamiki i metallogenii) [Geology of the Urals and SubUrals (topical issues of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny)]. Ufa: DesignPoligraphService, 2010. 280 p.

Статья поступила в редакцию 18.09.2020

УДК 550.93:549.514.81(234.851)
DOI 10.19110/1994-5655-2020-6-61-76

**Н.Ю. НИКУЛОВА*, И.Н. БУРЦЕВ*,
В.Н. ФИЛИППОВ*, В.Б. ХУБАНОВ****

**ВОЗРАСТ ПЕСЧАНИКОВ
ПРОСКУРИНСКОЙ ТОЛЩИ
(СЕВЕРНЫЙ УРАЛ)
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ U-Pb ДАТИРОВАНИЯ
ДЕТРИТНЫХ ЦИРКОНОВ**

**Институт геологии
и.м. академика Н.П. Юшкина
ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
г. Сыктывкар*

***Геологический институт СО РАН,
г. Улан-Удэ*

nikulova@geo.komisc.ru

**N.YU.NIKULOVA*, I.N.BURTSEV*,
V.N.FILIPPOV*, V.B.KHUBANOV****

**AGE OF SANDSTONES
OF THE PROSKURINSKY STRATA
(NORTHERN URALS)
ACCORDING TO U-Pb DATING
OF DETRITAL ZIRCONS**

** N.P.Yushkin Institute of Geology,
Federal Research Centre Komi Science Centre,
Ural Branch, RAS,
Syktivkar*

*** Geological Institute,
Siberian Branch, RAS,
Ulan-Ude*

Аннотация

Приводятся первые результаты U-Pb датирования детритового циркона из вулканоконтинентальных песчаников обломочной толщи, распространенной в контурах предполагаемой базальтоидной трубки взрыва в верховье р. Печоры. Установлено, что в составе песчаников, образованных в обстановке эпиконтинентального рифтогенеза, преобладают слабо измененные в условиях холодного климата продукты разрушения вулканических пород преимущественно основного состава, связанные с проявлениями магматической активности близко или одновременно с осадконакоплением. На основании геохимических особенностей и возрастных характеристик, содержащихся в песчаниках зерен циркона, сделан вывод о принадлежности песчано-алевритовой проскуринской толщи к тельпосской свите нижнего ордовика. Высказаны предположения о сходстве источников обломочного материала и условий осадконакопления различных пространственно удаленных разрезов основания палеозойского разреза севера Урала.

Ключевые слова:

песчаники, алевриты, туфогенно-осадочная толща, детритовые цирконы, условия образования, изотопный возраст

Abstract

The first results of U-Pb dating of detrital zircons from volcanoclastic sandstones of clastic strata distributed in the contours of the proposed basaltoid volcanic pipe in the upper reaches of the Pechora river are presented. It is established that the composition of the sandstones formed during epicontinental riftogenesis, is dominated by slightly altered, under cold climate conditions, products of destruction of volcanic rocks, mainly of the basic composition, associated with magmatic activity close to or simultaneous with sedimentation. On the basis of the geochemical features and age characteristics of the zircon grains contained in the sandstones, we concluded that the sand-aleurite Proskurinsky strata belongs to the Lower Ordovician Telpos suite. We suggested that the sources of clastic material and sedimentation conditions in various spatially remote sections of the basement of the Paleozoic section of the Northern Urals were similar.

Keywords:

sandstones, aleurolites, tufogenic-sedimentary strata, detrital zircons, formation conditions, isotopic age

Введение

В устье р. Маньской Волосницы (N 62°00'11.05", E 59°15'21.87"), левого притока р. Печоры (рис. 1), в ходе работ, направленных на

решение проблемы поисков коренных источников уральских алмазов, В. С. Озеровым сделано предположение о нахождении в этой местности базальтоидной трубки взрыва. Интерес к изучению данного объекта обусловлен ассоциацией базальтоидных трубок взрыва с кимберлитовыми трубками и локализацией их на периферии алмазоносной провинции. Геологической основой исследований В. С. Озерова послужили материалы съемки масштаба 1:50 000, проведенной Ключиковской ГСП под руководством Г. Ф. Проскурина¹ в 1969–1971 гг. Породы песчано-алевритовой толщи, выделенной в ходе поисково-съемочных работ в контуре магнитной аномалии в устье р. Маньской Волосницы и отнесенной к основанию тельпосской свиты, были определены В. С. Озеровым как базальтоидные пепловые туфы, выполняющие кратер кембрийской трубки взрыва, а сама песчано-алевритовая толща названа проскуринской² [1–4].



Рис. 1 Схема расположения участка «Проскуринский» (1).

Fig. 1. Layout of the site "Proskurinsky" (1).

В настоящее время представления о возрасте, слагающих толщу отложений основываются только на ее несогласном залегании на рифейских породах. Необычность объекта, его предполагаемая связь с алмазоносными кимберлитами и значение для реконструкции геологической истории региона, обусловили необходимость проведения U-Pb исследования зерен детритового циркона из туфопесчаников проскуринской толщи для корректировки ее возраста.

¹ Геологическое строение и полезные ископаемые бассейна р. верхняя Печора (Северный Урал, листы Р-40-82-Б, Р-40-82-А, Б). Проскурин Г. Ф. и др. Отчет по поисково-съемочным работам, проведенным Ключиковской ГСП, ВКГРЭ-МГРИ в 1968–1971 гг.

² Название дано В. С. Озеровым в честь Г. Ф. Проскурина, руководившего геолого-съемочными работами в районе верхней Печоры.

Геологическое строение района верховья р. Печоры

Район исследования расположен в пределах Центрально-Уральского поднятия, представляющего собой выступы структурно-вещественных комплексов протоуралид-тиманид среди палеозойских образований (рис. 2).

Верхнепротерозойские толщи представлены метатерригенными породами хобеинской (RF_3hb) и мороинской (RF_3mr) свит и терригенно-базальтриолитовым парагенезом саблегорской (RF_3Vsb) свиты. С метавулканитами саблегорской свиты пространственно ассоциируют саблегорские субвулканические образования, являющиеся их комагматами. Первая фаза внедрения связана с метаморфизованными долеритами (βRF_3sb_1), вторая – с гранит-порфирами ($\gamma RF_3-V_1sb_2$). Парнукский габбро-диоритовый комплекс представлен интрузивными телами габбро (vRF_3-V_1p), а саклаимсорский гранитовый комплекс ($\gamma O_{2-3}sk$) – гранитами с натриевым типом щелочности. Палеозойские образования, принадлежащие Присалатимскому аллохтону, значительно моложе изучаемого объекта.

Отдельно следует остановиться на приведенном в Легенде к геологической карте описании образований лаптопайской свиты (V_2-E_1lp). Область ее распространения совпадает с контурами выделенной В. С. Озеровым проскуринской толщи, и из которой, если опираться на карту, отобрана изученная проба для выделения зерен циркона (рис. 2). Место распространения образований, отнесенных к лаптопайской свите, «значительно оторвано в пространстве от известных севернее ареалов распространения; состав отличается некоторым своеобразием, интерпретируется неоднозначно и, как следствие, стратиграфическое положение и генетическая природа этих образований трактуется различно» [5, с. 28]. Толща была отнесена к лаптопайской свите, преимущественно на основе анализа материалов предшественников. Закартированные как лаптопайские образования, локально распространенные в районе устья р. Тумпы и на ее водоразделе с р. Маньской Волосницей, представлены туффитами, полимиктовыми песчаниками, алевролитами, полимиктовыми конгломератами, гравелитами и туфами.

Геологическое строение участка «Проскуринский»

На основе геологической съемки масштаба 1 : 50 000 (Проскурин и др., 1972 г.) и собственных наблюдений В. С. Озеровым была составлена геологическая карта участка Проскуринский (рис. 3), отражающая альтернативную точку зрения на геологическое строение и стратиграфическую принадлежность толщи, отнесенной съемщиками сначала к тельпосской, а затем к лаптопайской свите [1, 2].

Наиболее древними образованиями в пределах участка «Проскуринский»³ (рис. 3), в соответствии с представлениями В. С. Озерова, являются

³ Название дано В. С. Озеровым в честь Г. Ф. Проскурина.

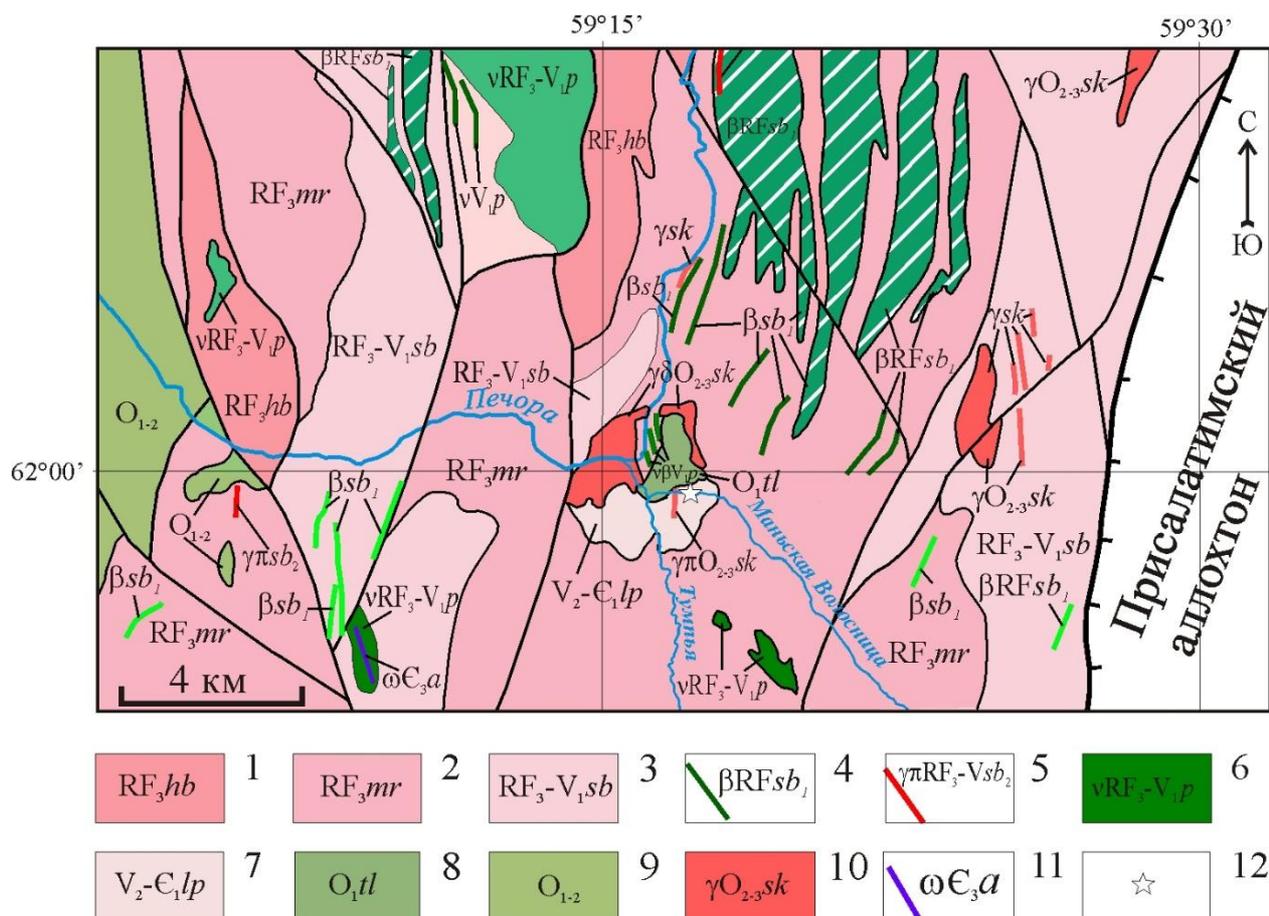


Рис. 2. Схематическая геологическая карта верховья р. Печоры (по: [5, 6] с изменениями). 1 – хобеинская свита: кварцитопесчаники, кварциты, метапесчаники с прослоями гравелитов, конгломератов и сланцев; 2 – мороинская свита: сланцы, кварцитопесчаники и метапесчаники, гравелиты, мелкогалечные конгломераты, метавулканики основного состава; 3–5 саблегорская свита: 3 – базальты, андезибазальты, риолиты, дациты и их туфы; 4 – субвулканические образования: метадолериты; 5 – гранит-порфиры; 6 – субвулканические образования парнукского комплекса; 7 – лаптопайская свита: туффиты, песчаники, алевролиты, прослой конгломератов, гравелитов, пепловых туфов; 8 – тельпосская свита: кварциты, метапесчаники, алевролиты, гравелиты, конгломераты, сланцы; 9 – тельпосская и хыдейская свиты: кварциты, метапесчаники, известковистые песчаники, алевролиты, сланцы; 10 – саклаймсорский гранитовый комплекс: граниты; 11 – антипинский комплекс пикритовый гипабиссальный: метаморфизованные пикриты; 12 – контуры участка «Проскуринский» и точка отбора пробы 200014.

Fig. 2. Schematic geological map of the upper reaches of the Pechora river (according to: [5, 6] with changes). 1 – Khobein Suite: quartzite sandstones, quartzites, metaescalines with layers of gravelites, conglomerates and shales; 2 – Moroin Suite: shales, quartzite sandstones and metaescalines, gravelites, pebble conglomerates, metavolcanics of basic composition; 3–5 Sablegor Suite: 3 – basalts, andesibasalts, rhyolites, dacites and their tuffs; 4 – subvolcanic formations: metadolerites; 5 – granite-porphyrines; 6 – subvolcanic formations of Parnuk complex; 7 – Laptopai Suite: tuffites, sandstones, siltstones, interlayers of conglomerates, gravelites, ash tuffs; 8 – Telpos Suite: quartzites, metaescalines, siltstones, gravelites, conglomerates, shales; 9 – Telpos and Khydei Suites: quartzites, metaescalines, calcareous sandstones, siltstones, shales; 10 – Saklaimsor granite complex: granites; 11 – Antipino complex picrite hypabyssal: metamorphosed picrites; 12 – contours of the site "Proskurinsky" and sampling point 200014.

серицит-кварцевые и серицит-альбит-кварцевые сланцы пуйвинской свиты среднего рифея (RF₂pv), на которых согласно залегает толща кварцитов и мусковитовых кварцитосланцев верхнерифейской хобеинской (RF₃hb) свиты. Рифейские отложения прорваны позднерифейско-вендскими интрузиями габбро и вендскими гранодиоритами. Раннекембрийские образования представлены брекчиями, туфогенными, туфогенно-осадочными отложениями проскуринской (песчано-алевритовой) толщи и континентальными грубообломочными породами тумпьянской толщи, выполняющими кратер щелочно-базальтоидной диатремы, возраст которой В.С. Озеров оценивает как раннекембрийский. Под-

стилающими породами для нижнекембрийских отложений, по его мнению, являются раннекембрийские магматические гипабиссальные и эффузивные породы основного-, ультраосновного ряда, сформировавшиеся в посттиманскую платформенную эпоху развития территории, а также субсинхронные с ними эффузивно-осадочные кратерные отложения диатрем [1].

Предполагается, что нижняя часть канала диатремы сложена эксплозивными брекчиями, в которых обломочная часть представлена габбро, гранодиоритами, риолитами, эпидотизированными базальтоидами, сфен-карбонат-амфибол-гранатовыми скарноподобными породами, кварцитами и

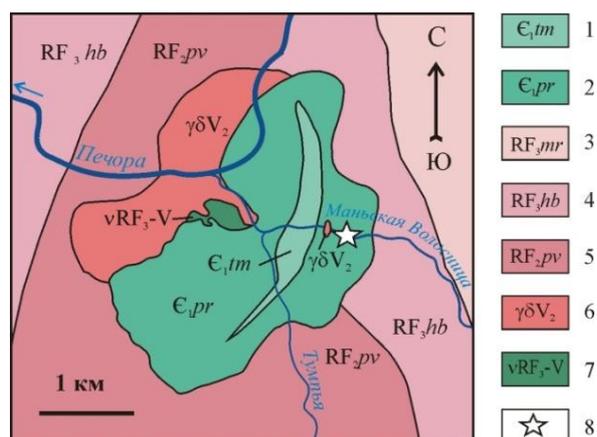


Рис. 3. Схематическая геологическая карта участка "Проскуринский" (по: [1]). Условные обозначения: 1 – тумпыйнская толща: песчаники, гравелиты, конгломераты; 2 – проскуринская толща: туфы щелочных базальтов, туффиты; 3 – мороинская свита: карбонат-содержащие сланцы; 4 – хобейнская свита: кварциты, кварцитопесчаники; 5 – пуйвинская свита: серицит-кварцевые сланцы; 6 – комплекс поздневендских гранодиоритов; 7 – комплекс позднерифейско-вендских габбро; 8 – точка отбора пробы 200014.

Fig. 3. Schematic geological map of the site "Proskurinsky" (according to: [1]). Symbols: 1 – Tumpyinsky strata: sandstones, gravelites, conglomerates; 2 – Proskurinsky strata: alkali basalts tuffs, tuffites; 3 – Moroin suite: carbonate-bearing schists; 4 – Khobein suite: quartzites, quartzite sandstones; 5 – Puyvin suite: sericite-quartz schists; 6 – complex of Late Riphean-Vendian granodiorites; 7 – complex of Late Riphean-Vendian gabbro; 8 – sampling point 200014.

кварцем, а состав заполнителя соответствует составу вышележащей мелкосаммитовой проскуринской толщи – кварц-альбит-эпидот-хлоритовый [7]. Залегающие в поле распространения алевритовой толщи гравелиты и мелкогалечные конгломераты тумпыйнской толщи выполняют депрессию серповидных очертаний, размерами 2500 x 350 м.

Таким образом, песчано-алевритовая толща различными авторами интерпретируется по-разному: как верхневендско-раннекембрийская лаптопайская свита, нижнекембрийская проскуринская толща в кратере кембрийской трубки взрыва, или как нижнеордовикская тельпосская свита. Неоднозначность трактовки стратиграфической и генетической принадлежности является важным дополнительным аргументом в пользу необходимости проведения специальных исследований, позволяющих установить возраст проблематичной толщи.

Объект и методы исследования

Проба (обр. 200014) мелкозернистого зеленовато-серого песчаника отобрана в коренном выходе в борту долины р. Маньской Волосницы, 700 м выше слияния с р. Тумпьюей (N 61°59'51.32", E 59°16'54.72"). Петрографический состав песчаника изучен в прозрачном шлифе. Содержания породообразующих оксидов определено традиционным весовым химическим методом. По результатам химического анализа исследуемого образца песчаника обр. 200014 рассчитаны индикаторные соотношения и петрохимические модули, используемые для палеогеографических реконструкций и

позволяющие судить об условиях образования данной породы и источниках обломочного материала [7–16].

Минералогическая проба в полевых условиях раздроблена в ступе и промыта до серого шлиха, после чего разделена на фракции с использованием бромформа, магнитной и электромагнитной сепарации. Извлеченная под биноклем монофракция циркона помещена в эпоксидную шашку. Морфологические особенности и химический состав зерен циркона изучены с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-6400 с энергетическим спектрометром Link в ЦКП «Геонаука» Института геологии Коми НЦ УрО РАН. Ускоряющее напряжение и ток на образцах – 20 кВ и $2 \cdot 10^{-8}$ А, соответственно. В качестве стандартов для определения химического состава использовались сертифицированные стандарты фирмы «Microspec».

Определения U-Pb изотопного возраста зерен циркона проводились с помощью устройства лазерной абляции UP-213 и одноколлекторного магнитно-секторного масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой Element XR (LA-ICP-MS) в ЦКП «Аналитический центр минералогеохимических и изотопных исследований» ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ). Методика измерения, обработка масс-спектрометрического сигнала, расчет изотопных соотношений и возрастов изложены в работе [17]. Применялось лазерное излучение с частотой импульсов 10 Гц, плотностью потока энергии около 3.5 Дж/см² и диаметром пучка излучения 25 мкм. В качестве внешнего стандарта использовались эталонные зерна циркона 91500 [18], контрольного образца – эталонные зерна циркона Plešovice (аттестованный ID-TIMS возраст 337.13±0.37 млн лет [19] и GJ-1 (аттестованный ID-TIMS возраст 608.5±0.4 млн лет [20]). В течение сессии, состоящей из 98 измеренных точек в исследуемой пробе, внешний стандарт был измерен в 24 точках, каждый контрольный образец – в 12 точках. Относительная среднеквадратичная погрешность определения изотопного отношения в контрольных стандартах варьировала: для $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ в пределах 1.5–2.5%; $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ – 1.3–2.5%; $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ – 0.7–1%. Средневзвешенное значение оценки возраста контрольных эталонных Plešovice зернах циркона по $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ отношению составило 350±22 млн лет, $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ – 345±6 млн лет и $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ – 338±1.5 млн лет; возраст GJ-1 по $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ отношению – 591±21 млн лет, $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ – 602±4 млн лет и $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ – 605±3 млн лет. Эти данные отличаются от аттестованного возраста эталонных зерен циркона [21] не более чем на 0.6% для средневзвешенного значения $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ возрастов, не более чем на 2.3% для $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ возрастов и не более чем на 3.8% для $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ возрастов.

При интерпретации для зерен циркона моложе 1 млрд лет принимался $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ возраст, для цирконов древнее 1 млрд лет – $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ возраст.

Вещественный состав и геохимические особенности песчаников

Тонкозернистые песчаники характеризуются бластосаммитовой структурой и сланцеватой за счет ориентировки чешуек хлорита текстурой. Порода сложена слабо окатанными зернами плагиоклаза и кварца, погруженными в базальный хлорит-

товый цемент, содержащий неравномерно распределенный (на отдельных участках составляющий до 5 %) эпидот, представленный отдельными зернами с идиоморфным сечением и плохо окристаллизованными новообразованными зернами агрегатного строения, вероятно, развитыми по кальциевым минералам. Порода имеет следующую химический состав (мас. %): SiO₂ 56.60, TiO₂ 1.03, Al₂O₃ 15.72, Fe₂O₃ 3.98, FeO 5.68, MnO 0.18, CaO 4.12, MgO 5.57, K₂O 0.63, Na₂O 2.96, P₂O₅ 0.120, CO₂ 0.09, п.п.п. 3.77. По результатам нормативного пересчета песчаники состоят (об. %) из: среднего (№ 34) плагиоклаза (38), кварца (23), хлорита (21), магнетита (5.3), биотита (3.6), эпидота (2.6), титанита (2.4), калиевого полевого шпата (2) и акцессорных количеств апатита, кальцита, ильменита.

Песчаники являются граувакками, образованными в рифтогенной обстановке, со значениями коэффициентов DF1 и DF2⁴ [22] 3.07 и 2.52, соответственно. Значения индексов CIA⁵ 55, CIW⁶ 56 и ICV⁷ 1.98 указывают на присутствие в изученных песчаниках большого количества неглинистых силикатных минералов и слабую степень химического разложения исходных пород в холодных условиях. Соотношение индексов ICV–CIA [14] предполагает преобладание в составе песчаников материала слабо измененных базальтов. Фациальный индикатор для осадочных пород Fe/Mn [8] составляет 41, что характерно для осадков, сформированных в бассейне с незначительной глубиной. Титановый модуль (Fe+Mn)/Ti [9] 8.28 и алюминевый модуль Al/(Al+Fe+Mn) [12] 0.59 характеризуют песчаники как не содержащие примесь эксгалитивного материала.

Результаты датирования зерен детритового циркона

В исследуемой пробе циркон представлен прозрачными кристаллами и полупрозрачными окатанными зернами различных оттенков розового и желтовато-коричневого цвета. Цирконы размером 50–100 мкм составляют около 40 % от общего количества. Они представлены и неокатанными короткопризматическими кристаллами (K_{удл} 1.0–1.5) и обломками зерен и кристаллов. Около 35 % от общего количества составляют среднеокатанные зерна (K_{удл} 1.5–2.5), реже – обломки зерен циркона размером 100–150 мкм. Примерно 20 % зерен циркона представлены хорошо окатанными овальными зернами (K_{удл} 1.5–2.5) размером 150–200 мкм. Около 5% – это хорошо окатанные зерна циркона размером 200–230 мкм. Обломки зерен, образовавшиеся, вероятно, при дроблении пробы, составляют около 40 % от общего количества зе-

рен и содержатся преимущественно в мелкой фракции. Состав зерен циркона (мас. %): ZrO₂ 64.87–69.71, SiO₂ 31.08–32.85, HfO₂ 0.4–1.82.

Продатировано 98 зерен циркона, анализы с дискордантностью ≥10 %, (пять зерен) исключены из рассмотрения.

Возраст зерен циркона охватывает диапазон от мезоархей (2835±22 млн лет) до раннего ордовика (482±6 млн лет) (таблица, рис. 4).

Наиболее древний мезоархейский возраст 2835±22 млн лет зафиксирован в одном зерне, в двух зернах установлен неоархейский возраст – 2734±45 и 2533±31 млн лет. В диапазоне 2078±53–1075±57 млн лет, охватывающем верхнюю половину раннего протерозоя и весь ранний и средний рифей, выделяется несколько временных интервалов: 2078±53–1984±24 млн лет, представленный шестью зернами или ~6% от общего количества: 1796±35–1661±33 млн лет, включающий 10 зерен (11 %), 1561±35–1362±39 млн лет – девять зерен (10%), а также два зерна с возрастaми 1115±47 и 1075±57 млн лет.

Позднерифейско-позднекембрийские датировки, образующие непрерывный ряд, объединяют несколько популяций. Позднерифейский (криогенийский) возраст имеют 12 зерен (13 %) циркона с возрастaми 732±9–651±10 млн лет. Максимальное количество зерен (42 зерна или 45 %) принадлежат к вендской (эдиакарской) популяции с возрастaми 645±9–545±7 млн лет и девять зерен (~10%) имеют кембрийский возраст – 541±8–482±6 млн лет.

Отношение Th/U в датированных зернах циркона

Зерна циркона различного генезиса различаются по величине Th/U отношениями. Анализ критерию деления цирконов магматического и метаморфического происхождения при реконструкции формирования метаморфических и осадочных комплексов посвящено значительное количество публикаций, в том числе обзоров, уделяющих геохимической характеристике зерен циркона большое внимание [24–30].

Отношения Th/U в датированных зернах циркона из песчаников проскуринской толщи варьируют в широких пределах: от 0.04 до 2.43 (рис. 5). Большинство фигуративных точек зерен циркона всех возрастных диапазонов укладываются в интервал значений 0.3 < Th/U < 1.1, типичных для большинства магматических и метаморфических горных пород. Лишь в 12 зернах величины Th/U выходят за пределы этого интервала. Для двух зерен циркона с мезоархейскими возрастaми, одного зерна средне-рифейского возраста и четырех зерен из вендской популяции значения Th/U < 0.3. Зерна циркона, характеризующиеся высокими (более 1.1) значениями Th/U, имеют позднерифейские и кембрийские датировки.

Большинство зерен циркона из метаморфических пород начальных ступеней метаморфизма характеризуется значениями Th/U < 0.5 [28]. Известно, что наиболее низкие отношения Th/U, близкие к 0.1, установлены для зерен циркона из метаморфических пород и жильных образований [29]. Ис-

⁴ $DF1_{(Arc-Rift-Col)adj} = (0/608 * \ln(TiO_2/SiO_2)_{adj}) + (-1.854 * \ln(Al_2O_3/SiO_2)_{adj}) + (0.299 * \ln(Fe_2O_3/SiO_2)_{adj}) + (-0.550 * \ln(MnO/SiO_2)_{adj}) + (0.120 * \ln(MgO/SiO_2)_{adj}) + (0.194 * \ln(CaO/SiO_2)_{adj}) + (-1.510 * \ln(Na_2O/SiO_2)_{adj}) + (1.941 * \ln(K_2O/SiO_2)_{adj}) + (0.003 * \ln(P_2O_5/SiO_2)_{adj}) - 0.294;$

$DF2_{(Arc-Rift-Col)adj} = (-0.554 * \ln(TiO_2/SiO_2)_{adj}) + (-0.995 * \ln(Al_2O_3/SiO_2)_{adj}) + (1.765 * \ln(Fe_2O_3/SiO_2)_{adj}) + (-1.034 * \ln(MnO/SiO_2)_{adj}) + (0.225 * \ln(MgO/SiO_2)_{adj}) + (0.713 * \ln(Na_2O/SiO_2)_{adj}) + (0.330 * \ln(K_2O/SiO_2)_{adj}) + (0.637 * \ln(P_2O_5/SiO_2)_{adj}) - 3.631$ (по: [22]).

⁵ $CIA = 100Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)$ (по: [16]).

⁶ $CIW = 100Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O)$ (по: [13]).

⁷ $ICV = (Fe_2O_3 + K_2O + Na_2O + Ca_2O + Mg_2O) / (TiO_2 / Al_2O_3)$ (по: [12]).

Результаты U-Pb датирования зерен детритового циркона
The results of U-Pb dating of detrital zircon grains

№ п/п	№ зерна	Th/U	Изотопные отношения						Rho	Возраст, млн лет						D, %
			$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1σ (%)	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1σ (%)	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1σ (%)		$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1σ	
1	14	1.04	0.0569	2.14	0.6085	2.23	0.0777	1.30	0.6	486	47	483	9	482	6	0
2	17	0.92	0.0597	1.46	0.6609	1.62	0.0805	1.26	0.8	591	31	515	7	499	6	3
3	47	0.72	0.0592	4.21	0.6742	4.27	0.0826	1.42	0.3	575	89	523	17	511	7	2
4	78	0.64	0.0616	3.46	0.7050	3.49	0.0830	1.52	0.4	661	72	542	15	514	8	5
5	55	0.94	0.0593	2.61	0.6886	2.68	0.0843	1.41	0.5	578	56	532	11	522	7	2
6	76	0.64	0.0624	13.04	0.7316	13.02	0.0850	1.78	0.1	689	256	558	56	526	9	6
7	77	1.06	0.0597	8.20	0.7024	8.21	0.0854	1.55	0.2	591	168	540	34	528	8	2
8	75	2.29	0.0579	2.33	0.6853	2.44	0.0859	1.40	0.6	525	51	530	10	531	7	0
9	53	0.62	0.0587	7.53	0.7090	7.55	0.0876	1.52	0.2	556	156	544	32	541	8	1
10	11	1.47	0.0584	1.85	0.7100	1.96	0.0882	1.28	0.7	546	40	545	8	545	7	0
11	72	0.84	0.0598	3.48	0.7325	3.51	0.0888	1.51	0.4	597	74	558	15	549	8	2
12	82	0.63	0.0621	2.66	0.7619	2.74	0.0889	1.44	0.5	679	56	575	12	549	8	5
13	59	0.48	0.0589	2.28	0.7237	2.36	0.0892	1.38	0.6	563	49	553	10	551	7	0
14	71	0.69	0.0637	3.13	0.7868	3.17	0.0897	1.48	0.5	731	65	589	14	554	8	6
15	74	0.74	0.0620	2.40	0.7669	2.50	0.0898	1.40	0.6	673	51	578	11	554	7	4
16	62	0.81	0.0601	2.18	0.7425	2.29	0.0897	1.37	0.6	607	47	564	10	554	7	2
17	84	0.31	0.0637	3.20	0.7974	3.25	0.0907	1.50	0.5	732	66	595	15	560	8	6
18	12	0.62	0.0574	1.72	0.7172	1.85	0.0908	1.28	0.7	506	38	549	8	560	7	-2
19	27	0.61	0.0619	2.02	0.7727	2.12	0.0907	1.31	0.6	669	43	581	9	560	7	4
20	91	0.87	0.0630	3.46	0.7895	3.50	0.0909	1.54	0.4	707	72	591	16	561	8	5
21	79	0.1	0.0619	2.36	0.7847	2.47	0.0919	1.40	0.6	671	50	588	11	567	8	4
22	57	0.83	0.0633	2.28	0.8043	2.37	0.0923	1.39	0.6	717	48	599	11	569	8	5
23	7	0.61	0.0586	1.47	0.7456	1.61	0.0925	1.24	0.8	551	32	566	7	570	7	-1
24	15	0.35	0.0582	1.82	0.7410	1.94	0.0925	1.29	0.7	537	40	563	8	570	7	-1
25	89	0.88	0.0622	7.84	0.7927	7.84	0.0924	1.69	0.2	682	159	593	35	570	9	4
26	18	0.35	0.0620	1.69	0.7937	1.82	0.0929	1.28	0.7	675	36	593	8	573	7	4
27	58	0.63	0.0627	2.43	0.8055	2.51	0.0933	1.39	0.6	696	51	600	11	575	8	4
28	25	0.63	0.0622	3.95	0.8002	3.99	0.0934	1.38	0.3	681	82	597	18	576	8	4
29	42	0.42	0.0591	2.13	0.7651	2.27	0.0939	1.33	0.6	571	46	577	10	579	7	0
30	85	0.66	0.0613	9.14	0.7938	9.14	0.0940	1.68	0.2	648	185	593	41	579	9	2
31	81	0.37	0.0632	4.49	0.8347	4.48	0.0957	1.65	0.4	716	93	616	21	589	9	5
32	49	0.54	0.0604	2.38	0.7994	2.53	0.0959	1.37	0.5	619	51	597	11	590	8	1
33	54	0.71	0.0614	2.28	0.8184	2.36	0.0968	1.38	0.6	653	48	607	11	595	8	2
34	26	0.42	0.0624	2.90	0.8302	2.95	0.0966	1.40	0.5	687	61	614	14	595	8	3
35	97	0.78	0.0614	2.98	0.8348	3.07	0.0986	1.48	0.5	651	63	616	14	606	9	2
36	46	0.56	0.0610	4.44	0.8292	4.50	0.0986	1.43	0.3	638	93	613	21	606	8	1
37	52	0.54	0.0630	3.30	0.8617	3.39	0.0992	1.42	0.4	707	69	631	16	610	8	3
38	87	0.61	0.0635	4.62	0.8719	4.65	0.0996	1.51	0.3	724	95	637	22	612	9	4
39	20	0.62	0.0617	3.34	0.8472	3.38	0.0997	1.35	0.4	664	70	623	16	612	8	2
40	29	0.89	0.0618	2.70	0.8479	2.79	0.0997	1.34	0.5	665	57	624	13	612	8	2
41	4	0.55	0.0627	1.67	0.8638	1.79	0.1001	1.26	0.7	698	35	632	8	615	7	3

Продолжение таблицы

№ п/п	№ зерна	Th/U	Изотопные отношения						Rho	Возраст, млн лет						D, %
			$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1σ (%)	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1σ (%)	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1σ (%)		$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1σ	
42	36	0.52	0.0605	3.30	0.8323	3.36	0.0998	1.37	0.4	623	70	615	16	613	8	0
43	24	0.58	0.0614	6.53	0.8506	6.52	0.1007	1.66	0.3	651	135	625	30	618	10	1
44	66	0.78	0.0635	2.32	0.8809	2.42	0.1008	1.39	0.6	723	49	642	12	619	8	4
45	19	0.53	0.0627	1.66	0.8713	1.79	0.1009	1.28	0.7	699	35	636	8	619	8	3
46	3	0.69	0.0618	1.88	0.8598	1.96	0.1010	1.28	0.7	668	40	630	9	620	8	2
47	35	0.84	0.0617	2.21	0.8571	2.31	0.1009	1.34	0.6	662	46	629	11	620	8	1
48	64	0.28	0.0622	2.20	0.8692	2.31	0.1013	1.38	0.6	682	46	635	11	622	8	2
49	13	0.7	0.0605	1.67	0.8437	1.80	0.1012	1.27	0.7	623	36	621	8	622	8	0
50	23	0.93	0.0633	1.83	0.9057	1.96	0.1039	1.29	0.7	718	38	655	9	637	8	3
51	93	0.54	0.0613	2.80	0.8908	2.90	0.1053	1.46	0.5	651	59	647	14	645	9	0
52	88	0.79	0.0642	3.58	0.9409	3.62	0.1063	1.55	0.4	747	74	673	18	651	10	3
53	48	2.43	0.0646	2.20	0.9737	2.35	0.1094	1.34	0.6	760	46	690	12	669	9	3
54	32	0.66	0.0647	2.23	0.9789	2.33	0.1098	1.31	0.6	764	46	693	12	672	8	3
55	8	0.12	0.0650	1.51	0.9841	1.65	0.1100	1.25	0.8	773	32	696	8	673	8	3
56	43	0.59	0.0628	2.09	0.9543	2.23	0.1102	1.33	0.6	701	44	680	11	674	9	1
57	51	0.98	0.0608	2.32	0.9320	2.47	0.1111	1.36	0.6	634	49	669	12	679	9	-2
58	1	1.1	0.0623	1.73	0.9626	1.85	0.1123	1.26	0.7	683	37	685	9	686	8	0
59	80	1.53	0.0669	3.23	1.0509	3.27	0.1139	1.51	0.5	835	66	729	17	695	10	5
60	44	1.42	0.0635	2.57	1.0087	2.67	0.1152	1.38	0.5	726	54	708	14	703	9	1
61	60	0.62	0.0633	2.02	1.0104	2.14	0.1159	1.36	0.6	718	43	709	11	707	9	0
62	5	0.23	0.0618	1.60	1.0005	1.72	0.1176	1.26	0.7	668	34	704	9	717	9	-2
63	41	0.55	0.0672	2.26	1.1135	2.39	0.1202	1.35	0.6	843	47	760	13	732	9	4
64	98	0.04	0.0752	2.91	1.9486	3.02	0.1877	1.48	0.5	1075	57	1098	20	1109	15	-3
65	45	0.56	0.0768	2.38	1.9592	2.50	0.1851	1.37	0.5	1115	47	1102	17	1095	14	2
66	39	0.33	0.0871	2.06	2.7820	2.19	0.2318	1.33	0.6	1362	39	1351	16	1344	16	1
67	73	0.64	0.0873	2.16	2.7389	2.28	0.2276	1.40	0.6	1367	41	1339	17	1322	17	3
68	63	0.34	0.0885	1.78	3.1018	1.92	0.2545	1.34	0.7	1392	34	1433	15	1462	18	-5
69	40	0.46	0.0898	2.31	2.9976	2.42	0.2422	1.37	0.6	1420	43	1407	18	1398	17	2
70	83	0.81	0.0907	2.22	3.4362	2.34	0.2748	1.39	0.6	1440	42	1513	18	1565	19	-8
71	38	0.45	0.0938	1.92	3.4266	2.07	0.2651	1.32	0.6	1504	36	1511	16	1516	18	-1
72	21	0.42	0.0950	2.01	3.4112	2.12	0.2606	1.31	0.6	1529	37	1507	17	1493	17	2
73	67	0.35	0.0964	1.82	3.5814	1.96	0.2696	1.35	0.7	1556	34	1545	16	1539	18	1
74	65	0.34	0.0967	1.91	3.6424	2.04	0.2734	1.37	0.7	1561	35	1559	16	1558	19	0
75	30	0.49	0.1020	1.80	3.8005	1.94	0.2703	1.30	0.7	1661	33	1593	16	1543	18	8
76	16	0.46	0.1048	1.52	4.4039	1.66	0.3051	1.27	0.8	1711	28	1713	14	1717	19	0
77	22	0.6	0.1048	1.60	4.0803	1.75	0.2825	1.28	0.7	1712	29	1650	14	1604	18	7
78	92	0.67	0.1062	2.61	4.2335	2.71	0.2890	1.44	0.5	1735	47	1681	22	1637	21	6
79	69	1.03	0.1067	1.90	4.5910	2.04	0.3122	1.36	0.7	1744	34	1748	17	1752	21	0
80	94	0.49	0.1070	2.72	4.7526	2.83	0.3220	1.45	0.5	1748	49	1777	24	1800	23	-3
81	34	0.51	0.1079	1.86	4.6895	2.00	0.3152	1.31	0.7	1765	34	1765	17	1766	20	0
82	90	0.79	0.1080	2.81	4.5027	2.89	0.3023	1.50	0.5	1766	50	1732	24	1703	22	4
83	70	0.51	0.1082	2.00	4.6192	2.12	0.3097	1.38	0.7	1770	36	1753	18	1739	21	2

№ п/п	№ зерна	Th/U	Изотопные отношения						Rho	Возраст, млн лет						D, %
			$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$		$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$		$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$			$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$		$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$		$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$		
			1σ (%)	1σ (%)	1σ (%)	1σ (%)	1σ (%)	1σ (%)								
84	33	0.6	0.1098	1.96	4.7915	2.09	0.3166	1.32	0.6	1796	35	1783	18	1773	21	1
85	9	0.82	0.1219	1.37	6.0388	1.52	0.3597	1.25	0.8	1984	24	1982	13	1981	21	0
86	31	0.97	0.1223	1.85	5.9747	1.98	0.3546	1.31	0.7	1990	32	1972	17	1956	22	2
87	10	0.45	0.1259	1.49	6.5126	1.64	0.3757	1.27	0.8	2041	26	2048	14	2056	22	-1
88	56	0.78	0.1277	1.87	6.5431	2.00	0.3720	1.38	0.7	2066	33	2052	18	2039	24	1
89	61	0.42	0.1277	1.77	6.5419	1.91	0.3718	1.36	0.7	2066	31	2052	17	2038	24	1
90	95	0.59	0.1285	3.05	6.5546	3.13	0.3696	1.55	0.5	2078	53	2053	28	2028	27	2
91	37	0.23	0.1676	1.87	10.1405	2.02	0.4391	1.31	0.6	2533	31	2448	19	2347	26	8
92	96	0.24	0.1891	2.78	13.5159	2.89	0.5180	1.47	0.5	2734	45	2716	27	2691	32	2
93	2	0.65	0.2011	1.33	15.4445	1.49	0.5577	1.25	0.8	2835	22	2843	14	2857	29	-1

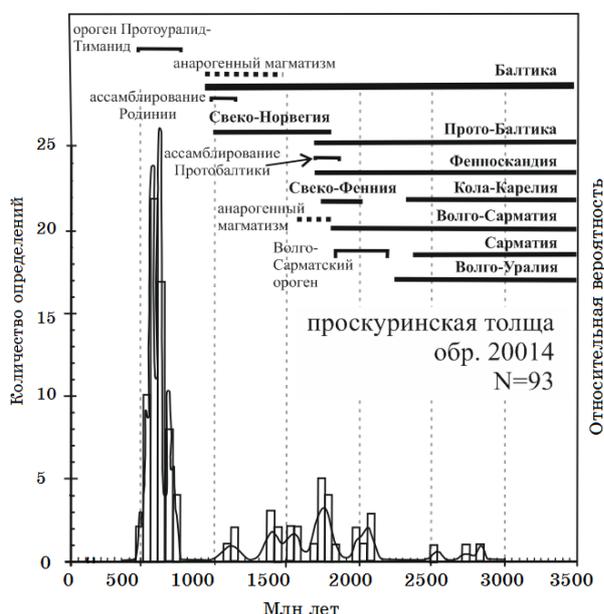


Рис. 4. Гистограмма и кривая плотности вероятности распределения возрастов зерен циркона из песчаников прокуринской толщи. Сплошными и пунктирными отрезками над графиками отмечены временные диапазоны основных тектоно-магматических событий (по: [23]).

Fig. 4. The histogram and the probability density curve for the age distribution of zircon grains from sandstones of the Proskurinsky strata. The time ranges of the main tectonic-magmatic events are marked with solid and dotted segments above the graphs (according to: [23]).

точником зерен циркона с величинами Th/U 0.5–0.8 могут быть гранитоиды и метаморфические породы амфиболитовой фации [24, 30]. В диапазоне 0.2 до 1.0 располагаются значения Th/U, характерные для основных вулканитов, а Th/U > 1.5 может свидетельствовать о происхождении зерен циркона из мафических пород [31].

Обсуждение результатов

Вероятным источником архейских зерен циркона из изученных песчаников были породы, участвующие в строении кристаллического фундамента

Волго-Уральской и Сарматской частей древнего остова Восточно-Европейской платформы [23]. Зерна циркона с возрастными 2078±53–1984±24 млн лет могли происходить из различной степени метаморфизованных пород начальных этапов свекофенского метаморфизма и плутонических пород Свекофенского орогена [32]. Возрастные диапазоны 1796±35–1661±33 млн лет, 1561±35–1362±39 млн лет соответствуют поздним метаморфическим комплексам Свекофенского мегаблока и гранитам рапакиви проявлений аномального магматизма на окраинах Волго-Сарматии и Фенноскандии [6]. По значению Th/U зерна циркона, относящиеся к этим популяциям, можно условно разделить на гранитные (>0.5) и метаморфогенные (0.33–0.49) низкой степени метаморфизма [24, 26, 27, 33].

Самую многочисленную группу составляют зерна циркона с позднерифейско-раннепалеозойскими возрастными (645±9–545±7–541±8–82±6 млн лет). Позднерифейско-вендские зерна циркона могли поступать из вулканитов и субинтрузивных образований саблегорской свиты, интрузий парнукского габбро-диоритового комплекса и гранитов первой фазы внедрения сальнерско-маньхамбовского комплекса из крупнейшего на севере Урала гранитного массива Мань-Хамбо, расположенного в нескольких десятках километров южнее описываемого района [34–36]. Мы не исключаем, что часть интрузивных образований, отнесенных к средне-позднеордовикскому саклаимсорскому гранитовому комплексу, также являются сальнерско-маньхамбовскими.

Позднерифейско-раннеордовикская позднекембрийская популяция зерен циркона отличается значительным разбросом значений Th/U. Четыре зерна с вендскими возрастными характеризуются низкими значениями Th/U отношения (0.1–0.28), свойственными цирконам из метаморфических пород низких ступеней метаморфизма и жильным образованиям [37]. На диаграмме (см. рис. 5), отражающей зависимость Th/U от возраста зерен циркона, позднерифейско-вендские зерна образуют группу из 40 точек со значениями Th/U в диапазоне 0.5–0.8. Значения величин Th/U в зернах кембрийского

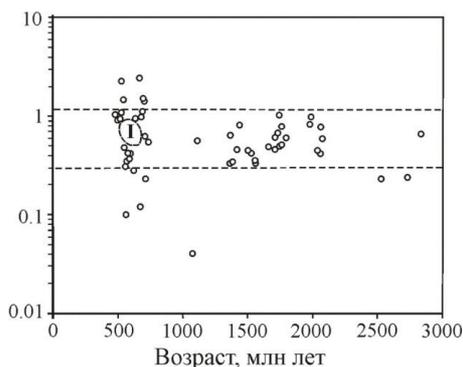


Рис. 5. Диаграмма зависимости величины Th/U в зернах детритового циркона из песчаников проскуринской толщи от их возраста. I – группа из 40 точек. Пунктирными линиями выделен диапазон преобладающих значений.

Fig. 5. Diagram of the dependence of Th/U value in detrital zircon grains from sandstones of the Proskurinsky strata on their age. I – a group of 40 points. Dotted lines indicate the range of prevailing values.

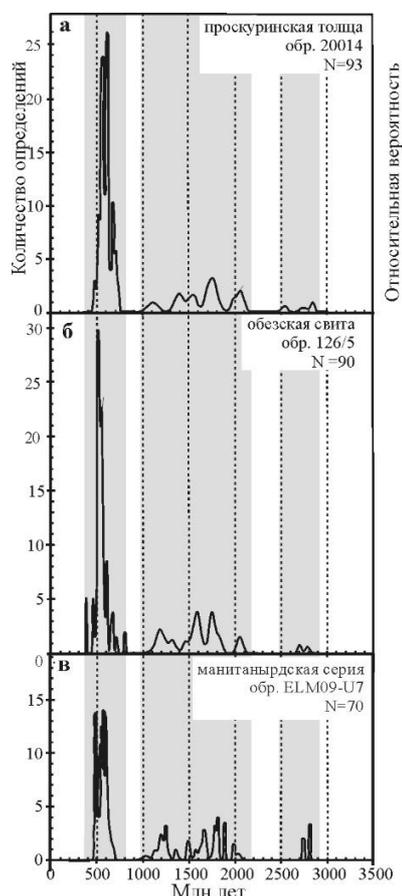


Рис. 6. Гистограммы и кривые плотности вероятности распределения U-Pb изотопных возрастов зерен циркона из песчаников: а – проскуринской толщ; б – основания обоезской свиты, г. Сабля, Приполярный Урал [38]; в – основание манитаньрдской серии, кряж Енганэ-Пэ, Полярный Урал [40].

Fig. 6. Histograms and probability density curves for the distribution of U-Pb isotopic ages of zircon grains from sandstones: а – Proskurinsky strata; б – bases of the Oboiz suite, Sablya mount, Circumpolar Urals [38]; в – base of the Manitanyrd series, Engane-Pe ridge, Polar Urals [40].

циркона составляют 0.62–1.06, за исключением одного зерна с возрастом 531 млн лет, в котором этот показатель равен 2.29. Цирконы со столь высоким значением Th/U могут происходить из вулканитов основного и ультраосновного состава.

Петрохимические особенности песчаников проскуринской толщи свидетельствуют о преобладании в их составе слабо измененного вулканокластического материала, источником которого могли быть близкие по возрасту основные вулканиты. Проявления вулканической активности, связанные с эпиконтинентальным рифтогенезом, характерны для всего севера Урала. Сопоставление результатов датирования зерен детритового циркона из песчаников проскуринской толщи с возрастными данными зерен циркона из близких им по структурно-тектонической позиции и литолого-геохимическим характеристикам песчаников из разрезов основания позднекембрийско-раннеордовикских обоезской свиты хр. Сабля на Приполярном Урале [39] и манитаньрдской серии кряжа Енганэ-Пэ на Полярном Урале [39, 40] показывает явное сходство в распределении возрастов зерен циркона, при преобладании позднерифейско-раннекембрийских датировок, присутствие которых связано с проявлениями магматической активности близко или одновременно с осадконакоплением (рис. 6), что соответствует времени проявления коллизионных процессов при формировании орогена протоуралид-тиманид [41, 42].

Заключение

В результате датирования зерен детритового циркона из песчаников проскуринской толщи установлено, что накопление обломочного материала песчаников происходило преимущественно за счет разрушения развитых в районе интрузивных образований, принадлежащих к магматическим коллизионным комплексам протоуралид-тиманид. В меньшей степени в формировании изученных песчаников принимали участие докембрийские комплексы окраин пассивной окраины Балтики и активной окраины Арктиды. По геохимическим особенностям песчаники проскуринской толщи соответствуют осадочной породе, образованной за счет размыва и переотложения слабо измененных в условиях холодного климата вулканических пород преимущественно основного состава на незначительной глубине в обстановке эпиконтинентального рифтогенеза, что с учетом данных о возрасте зерен детритового циркона полностью соответствует тельпосской свите нижнего ордовика.

Сходство возрастных характеристик зерен детритового циркона из песчаников пространственно разобщенных разрезов в различных районах западного склона Полярного и Приполярного Урала свидетельствует о единой истории развития располагавшегося вдоль западного склона севера Урала осадочного бассейна.

Авторы признательны д.г.-м.н. В. Л. Андрееву и к.г.-м.н. А. А. Соболеву за консультации.

Работа выполнена в рамках программ фундаментальных исследований ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (проект № АААА-А17-117121270034-3) и РАН ГИН СО РАН (проекты № АААА-А17-117011650013-4 и АААА-А16-116122110027-2).

Литература

1. *Озеров В. С., Озерова Э. Н.* Открытие кембрийской базальтоидной трубки взрыва на Северном Урале // Алмазы и алмазоносность Тимано-Уральского региона: Материалы Всерос. совещания. Сыктывкар: Геопринт, 2001 а. С. 90–92.
2. *Озеров В. С., Озерова Э. Н.* Перспективы алмазоносности Верхнепечорского района Северного Урала // Алмазы и алмазоносность Тимано-Уральского региона: Материалы Всерос. совещания. Сыктывкар: Геопринт, 2001 б. С. 93–95.
3. *Озеров В. С., Озерова Э. Н., Игнатович О. О.* Открытие тел метакимберлитов в верховье Печоры // Южные районы Республики Коми: геология, минеральные ресурсы, проблемы освоения: Материалы III Всерос. науч. конференции, 23–25 апреля 2002 г. Сыктывкар: Геопринт, 2002. С. 197–200.
4. *Озеров В. С., Озерова Э. Н., Игнатович О. О.* Кембрийские диатремы верховьев Печоры (Северный Урал) // Литосфера. 2006. № 1. С. 91–101.
5. *Государственная геологическая карта Российской Федерации.* Масштаб 1 : 200 000. Изд. 2. Серия Северо-Уральская. Лист Р-40-ХVIII (Лопский). Объяснительная записка. М.: Московский филиал ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2017. 148 с. (Минприроды России, Роснедра, Уралнедра, ОАО «Уральская геологосъемочная экспедиция»).
6. *Государственная геологическая карта Российской Федерации.* Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Уральская серия – Лист Р-40 (Североуральск). Объяснительная записка. СПб.: Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 2005. 332 с.
7. *Юдович Я.Э., Кетрис М.П., Никулова Н. Ю., Швецова И. В.* Верхнепечорские «проскуриты» // Геохимия древних толщ Севера Урала. Сыктывкар: Геопринт, 2002. С. 86–90.
8. *Розен О. М., Журавлев Д. З., Ляпунов С. М.* Геохимические исследования осадочных отложений Тимано-Печорской провинции // Разведка и охрана недр. 1994. № 1. С. 18–21.
9. *Страхов Н. М.* Проблемы геохимии современного океанского литогенеза. М.: Наука, 1976. 300 с.
10. *Bhatia M. R.* Plate tectonic and geochemical composition of sandstones // *J. Geol.* 1983. Vol. 91. № 6. P. 611–627.
11. *Bostrom K.* The origin and fate of ferromanganoan active ridge sediments // *Stockholm Contrib. geol.*, 1973. Vol. 27. № 2. P. 148–243.
12. *Cox R., Lowe D. R.* Controls of sediment composition on a regional scale: a conceptual review // *J. Sed. Res.* 1995. Vol. 65. P. 1–12.
13. *Harnois L.* The CIW index: a new chemical index of weathering // *Sed. Geol.* 1988. Vol. 55. №. 3/4. P. 319–322.
14. *Lee Y. I.* Provenance derived from the geochemistry of late Paleozoic-early Mesozoic mudrocks of the Pyeongann Supergroup, Korea // *Sedimentary Geology.* 2002. Vol. 149. P. 219–235.
15. *Nesbitt H. W., Young G. M.* Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // *Nature.* 1982. Vol. 299. P. 715–717.
16. *Roser B. P., Korsch R. J.* Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio // *J. Geol.* 1986. Vol. 94. № 5. P. 635–650.
17. *Хубанов В. Б., Буянтуев М. Д., Цыганков А. А.* U-Pb изотопное датирование цирконов из PZ3-MZ магматических комплексов Забайкалья методом магнитно-секторной масс-спектрометрии с лазерным пробоотбором: процедура определения и сопоставления с SHRIMP данными // Геология и геофизика. 2016. Т. 57. № 1. С. 241–258.
18. *Wanless V.D., Perfit M.R., Ridley W.I., Wallace P.J. et al.* Volatile abundances and oxygen isotopes in basaltic to dacitic lavas on mid-ocean ridges: the role of assimilation at spreading centers. // *Chemical Geology.* 2011. No 287 (1–2). P. 54–65. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeol.2011.05.017>
19. Plesovice zircon – a new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis / *J. Sláma, J. Košler, D.J. Condon, J. L. Crowley et al.* // *Chem. Geol.* 2008. Vol. 249. P. 1–35.
20. *Jackson S. E., Pearson N. J., Griffin W. L., Belousova E. A.* The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U-Pb zircon geochronology // *Chemical Geology.* 2004. Vol. 211. P. 47–69.
21. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses / *M. Wiedenbeck, P. Allé, F. Corfu, W.L. Griffin et al.* // *Geostandards Newsletter.* 1995. № 19. P. 1–23.
22. *Verma S. P., Armstrong-Altrin J. S.* New multi-dimensional diagrams for tectonic discrimination of siliciclastic sediments and their application to Precambrian basins. // *Chem. Geol.* 2013. № 355. P. 117–133.
23. *Кузнецов Н. Б., Алексеев А. С., Белоусова Е. А.* и др. Тестирование моделей поздненевандской эволюции северо-восточной периферии Восточно-Европейской платформы на основе первых результатов U/Pb-изотопного датирования (LA-ICP-MS) детритных цирконов из верхненевандских песчаников Юго-Восточного Беломорья // Докл. РАН. 2014. Т. 458, № 3. С. 313–317.
24. *Вотьяков С. Л., Шапова Ю. В., Хиллер В. В.* Кристаллохимия и физика радиационно-термических эффектов в ряде U-Th-содержащих минералов как основа для их химического микрозондового датирования. Ека-

- теринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2011. 336 с.
25. *Каулина Т. В.* Образование и преобразование циркона в полиметаморфических комплексах. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2010. 144 с.
 26. *Пыстин А.М., Пыстина Ю.И.* Новые данные о возрасте гранитоидов Приполярного Урала в связи с проблемой выделения кожимской среднерифейской гранит-риолитовой формации // Известия Коми НЦ УрО РАН. 2011. Вып. 4(8). С. 73–78.
 27. *Пыстин А. М., Пыстина Ю. И.* Распределение U и Th в цирконах метаморфических пород и гранитоидов Севера Урала // Геология, полезные ископаемые и проблемы экологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий: Материалы XII межрегиональной научно-практической конференции. Уфа, 2018. С. 294–299.
 28. *Kirkland C.L., Smithies R.H., Taylor R.J.M., Evans N., McDonald B.*, 2015. Zircon Th/U ratios in magmatic environs. *Lithos* 212–215, 397–414. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2014.11.021>
 29. *Rubatto D.* Zircon trace element geochemistry: partitioning with garnet and the link between U-Pb ages and metamorphism // *Chem. Geol.* 2002. Vol. 184. P. 123–138.
 30. *Kaczmarek M.A., Müntener O., Rubatto D.* Trace element chemistry and U–Pb dating of zircons from oceanic gabbros and their relationship with whole rock composition (Lanzo, Italian Alps) // *Contributions to Mineralogy and Petrology.* 2008. No. 155(3). P. 295–312. <https://doi.org/10.1007/s00410-007-0243-3>
 31. *Глебовицкий В.А., Балтыбаев Ш.К., Левченко О.А. и др.* Вулканиды в свекофеннидах Приладожья: результаты определения изотопного возраста // Докл. РАН. 2001. Т. 396. №5. С. 369–373.
 32. *Košler J., Sylvester P.J.* Present trends and the future in geochronology: laser ablation ICPMS. In: J.M. Hanchar and P.W.O. Hoskin. (Eds.), *Reviews in Mineralogy and Geochemistry.* 2003. Vol. 53. P. 243–275.
 33. *Кузнецов Н.Б., Соболева А.А., Удоротина О.В.* и др. Доуральская тектоническая эволюция северо-восточного и восточного обрамления Восточно-Европейской платформы. Ч. 2. Позднекембрийско-кембрийская коллизия Балтики и Арктиды // *Литосфера.* 2007. № 1. С. 32–45.
 34. Возраст гранитоидов массивов Маньхембковского и Ильязского массивов (Северный Урал): U-Pb данные / *О.В. Удоротина, А.А. Соболева, Н.А. Кузнецов, Н.В. Родионов, С.Л. Пресняков* // ДАН. 2006 Т. 406. № 6. С. 810–815.
 35. Граниты Маньхембковского, Ильязского массивов и редкометалльные породы Маньхембковского массива (Северный Урал) / *О.В. Удоротина, В. Л. Андреев, В.А. Капитанова, М.А. Кобл, Ц. Ген* // Граниты и эволюция Земли: мантия и кора в гранитообразовании: Материалы III Международной геол. конф. (28–31 августа, Екатеринбург). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2017. С. 298–300. ISBN 978-5-7691-2482-2
 36. Палеотектонические и палеогеографические обстановки накопления нижнерифейской айской свиты Башкирского поднятия (Южный Урал) на основе изучения детритовых цирконов методом «TerraneChrono®» / *Т.В. Романюк, Н.Б. Кузнецов, Е.А. Белоусова, В.М. Горожанин, Е.Н. Горожанина* // Геодинамика и тектонофизика. 2018. №1. С. 1–37. DOI: 10.5800/GT-2018-9-1-0335
 37. *Heaman L.M., Bowins R., Crocket J.* The chemical composition of igneous zircon suites: implications for geochemical tracer studies // *Geochim Cosmochim Acta.* 1990. No. 54. P. 1597–1607.
 38. *Никулова Н. Ю., Удоротина О. В., Хубанов В. Б.* Возраст песчаников в основании разреза уралид на хр. Сабля (Приполярный Урал) по результатам U-Pb датирования детритных цирконов // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. геол. 2016. Т. 91. Вып. 1. С. 15–23.
 39. *Соболева А. А.* Проявления кремнекислого вулканизма на рубеже кембрия и ордовика на северо-восточной окраине Восточно-Европейского континента // Вулканизм и геодинамика: Материалы IV Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2009. Т. 1. С. 524–527.
 40. Результаты U-Pb датирования детритных цирконов из базальных горизонтов уралид (Полярный Урал) / *А. А. Соболева, Н. Б. Кузнецов, Э. Л. Миллер, О. В. Удоротина, Герелс Дж.* // ДАН. 2012. Т. 445. № 5. С. 570–576.
 41. *Кузнецов Н. Б., Натанов Л. М., Белоусова Е. А.* и др. Первые результаты U/Pb-датирования и изотопно-геохимического изучения детритных цирконов из позднекембрийских песчаников Южного Тимана (увал Джежим-Парма) // Докл. АН. 2010. Т. 435. № 6. С. 798–805.
 42. *Кузнецов Н.Б., Соболева А.А., Удоротина О.В.* и др. Доуральская тектоническая эволюция северо-восточного и восточного обрамления Восточно-Европейской платформы. Ч. 1. Протоуралиды, Тиманиды и Доордовикские гранитоидные вулкано-плутонические ассоциации севера Урала и Тимано-Печорского региона // *Литосфера.* 2006. № 4. С. 3–22.

References

1. *Ozerov V.S., Ozerova E.N.* Otkritie kembriiskoi bazaltoidnoi trubki vzryva na Severnom Urале // *Almazы i almazonosnost' Timano-Uralskogo regiona* [Discovery of the Cambrian basaltoid volcanic pipe in the Northern Urals // *Diamonds and diamond content of the Timan-Urals region*]: Proc. of the All-Russia meeting. Syktывkar: Geoprint, 2001 a. P. 90–92.
2. *Ozerov V.S., Ozerova E.N.* Perspektivy almazonosnosti Verhnepechorskogo raiona

- Severnogo Urala // *Almazы i amazonosnost' Timano-Uralskogo regiona* [Prospects for diamond content in the Upper Pechora region of the Northern Urals // *Diamonds and diamond content in the Timan-Urals region*]; Proc. of the All-Russia meeting. Syktyvkar: Geoprint, 2001 b. P. 93–95.
3. *Ozerov V.S., Ozerova E.N., Ignatovich O.O.* Otkritie tel metakimberlitov v verhovye Pechory // *Yuzhnie raiony Respubliki Komi: geologiya, mineralnie resursy, problem osvoeniya* [Discovery of metakimberlite bodies in the upper course of the Pechora river // Southern regions of the Komi Republic: geology, mineral resources, development problems]; Proc. of the 3rd all-Russian sci. conf., April 23–25, 2002. Syktyvkar: Geoprint, 2002. P. 197–200.
 4. *Ozerov V.S., Ozerova E.N., Ignatovich O.O.* Kembriiskie diatremy verhovye Pechory (Severnii Ural) [Cambrian diatremes of the upper course of the Pechora river (Northern Urals) // *Lithosphere*. 2006. № 1. P. 91–101.
 5. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federacii*. Masshtab 1 : 200 000. Izd. 2. Seriya Severo-Uralskaya. List P-40-XVIII (Lopsiya). Obyasnitelnaya zapiska [State geological map of the Russian Federation. Scale 1 : 200 000. 2nd edition. North Urals series. Sheet P-40-XVIII (Lapse). Explanatory note]. Moscow: VSEGEI, Moscow Branch, 2017. 148 p. (Ministry of Natural Resources of Russia, Rosnedra, Uralnedra, JSC “Ural geological survey expedition”).
 6. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federacii*. Masshtab 1 : 1 000 000 (tretye pokolenie). Uralskaya seriya. List P-40 (Severouralsk). Obyasnitelnaya zapiska [State geological map of the Russian Federation. Scale 1: 1 000 000 (3rd generation). Ural series. Sheet P-40 (Severouralsk). Explanatory note]. St.Petersburg: Publ. House of St. Petersburg VSEGEI map factory, 2005. 332 p.
 7. *Yudovich Ya.E., Ketris M.P., Nikulova N.Yu., Shvetsova I.V.* Verhnepechorskies “proskurity” // *Geohimiya drevnih tolsch Severa Urala* [Upper Pechora “proskurites” // *Geochemistry of ancient strata of the North of the Urals*]. Syktyvkar: Geoprint, 2002. P. 86–90.
 8. *Rosen O.M., Zhuravlev D.Z., Lyapunov S.M.* Geohimicheskie issledovaniya osadochnyh otlozhenii Timano-Pechorskoi provincii // *Razvedka i ohrana nedr* [Geochemical studies of sedimentary deposits of the Timan-Pechora province // *Exploration and protection of mineral resources*]. 1994. № 1. P. 18–21.
 9. *Strakhov N.M.* Problemy geohimii sovremenogo okeanskogo litogeneza [Problems of geochemistry of modern ocean lithogenesis]. Moscow: Nauka, 1976. 300 p.
 10. *Bhatia M.R.* Plate tectonic and geochemical composition of sandstones // *J. Geol.* 1983. Vol. 91. № 6. P. 611–627.
 11. *Bostrom K.* The origin and fate of ferromanganoan active ridge sediments // *Stockholm Contrib. geol.*, 1973. Vol. 27. № 2. P. 148–243.
 12. *Cox R., Lowe D. R.* Controls of sediment composition on a regional scale: a conceptual review // *J. Sed. Res.* 1995. Vol. 65. P. 1–12.
 13. *Harnois L.* The CIW index: a new chemical index of weathering // *Sed. Geol.* 1988. Vol. 55. №. 3/4. P. 319–322.
 14. *Lee Y.I.* Provenance derived from the geochemistry of Late Paleozoic-Early Mesozoic mudrocks of the Pyeongann Supergroup, Korea. *Sedimentary Geology*. 2002. Vol. 149. P.219–235.
 15. *Nesbitt H.W., Young G.M.* Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // *Nature*. 1982. Vol. 299. P. 715–717.
 16. *Roser B. P., Korsch R. J.* Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio // *J. Geol.* 1986. Vol. 94. № 5. P. 635–650.
 17. *Khubanov V.B., Buyantuev M.D., Tsygankov A.A.* U-Pb izotopnoe datirovanie cirkonov iz PZ3-MZ magmaticallykh kompleksov Zabai-kalya metodom magnitno-sekturnoi mass-spektrometrii s lazernym probotooborom: procedura opredeleniya i sopostavleniya s SHRIMP dannymi [U-Pb isotope dating of zircons from PZ3-MZ magmatic complexes of Transbaikalia by magnetic sector mass spectrometry with laser sampling: procedure for determination and comparison with SHRIMP data] // *Geology and Geophysics*. 2016. Vol. 57. № 1. P. 241–258.
 18. *Wanless V.D., Perfit M.R., Ridley W.I., Wallace P.J.* et al. Volatile abundances and oxygen isotopes in basaltic to dacitic lavas on mid-ocean ridges: the role of assimilation at spreading centers // *Chemical Geology*. 2011. No. 287 (1–2). P. 54–65. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2011.05.017>
 19. Plesovice zircon – a new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis / *J.Sláma, J.Košler, D.J.Condon, J.L. Crowley et al.* // *Chem. Geol.* 2008. Vol. 249. P. 1–35.
 20. *Jackson S.E., Pearson N.J., Griffin W.L., Belousova E.A.* The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U–Pb zircon geochronology // *Chemical Geology*. 2004. Vol. 211. P. 47–69.
 21. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses / *M.Wiedenbeck, P.Allé, F.Corfu, W.L.Griffin et al.* // *Geostandards Newsletter*. 1995. № 19. P. 1–23.
 22. *Verma S.P., Armstrong-Altrin J.S.* New multi-dimensional diagrams for tectonic discrimination of siliciclastic sediments and their application to Precambrian basins // *Chem. Geol.* 2013. № 355. P. 117–133.
 23. *Kuznetsov N.B., Alekseev A.S., Belousova E.A.* et al. Testirovanie modelei pozdnevendskoi evolucii severo-vostochnoi periferii Vostochno-Evropeiskoi platformy na osnove

- pervykh rezultatov U/Pb-izotopnogo datirovaniya (LA-ICP-MS) detritnykh cirkonov iz verhnevendskih peschanikov Yugo-Vostochnogo Belomorya [Testing models of the Late Vendian evolution of the North-Eastern periphery of the East European platform based on the first results of U/Pb-isotope dating (LA-ICP-MS) of detrital zircons from the Upper Vendian sandstones of the South-Eastern White Sea region] // *Doklady Earth Sciences*. 2014. Vol. 458, № 3. P. 313–317.
24. *Votyakov S.L., Shchapova Yu.V., Khiller V.V.* Kristallohimiya i fizika radiacionno-termicheskikh effektov v ryade U-Th-soderzhaschih mineralov kak osnova dlya ih himicheskogo mikrprzondovogo datirovaniya [Crystal chemistry and physics of radiation-thermal effects in a number of U-Th-containing minerals as a basis for their chemical microprobe dating]. Ekaterinburg: Inst. of Geology and Geochemistry, Ural Branch, RAS, 2011. 336 p.
 25. *Kaulina T.V.* Obrazovanie i preobrazovanie zirkona v polimetamorficheskikh kompleksah [Formation and transformation of zircon in polymetamorphic complexes]. Apatity: Kola Sci. Centre, RAS, Publ., 2010. 144 p.
 26. *Pystin A.M., Pystina Yu.I.* Novie Dannie o vozraste granitoidov Pripolyarnogo Urala v svyazi s problemoi vydeleniya kozhimskoi srednerifeiskoi granit-riolitovoi formacii [New data on the age of granitoids of the Subpolar Urals in connection with the problem of isolation of the Kozhim mid-Riphean granite-rhyolite formation // *Proc. of the Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS*. 2011. Issue 4(8). P. 73–78.
 27. *Pystin A.M., Pystina Yu.I.* Raspredelenie U i Th v cirkonah metamorficheskikh porod i granite-idov Severa Urala // *Geologiya, poleznie isko-paemie i problem geokologii Bashkortostana, Urala i sopredelnykh* [Distribution of U and Th in zircons of metamorphic rocks and granitoids of the North of the Urals // *Geology, minerals and problems of Geocology of Bashkortostan, the Urals and adjacent territories*]; *Proc. of the XII inter-regional sci.-pract. conf.* Ufa, 2018. P. 294–299.
 28. *Kirkland C.L., Smithies R.H., Taylor R.J.M., Evans N., McDonald B.*, 2015. Zircon Th/U ratios in magmatic environs. *Lithos* 212–215, 397–414. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2014.11.021>
 29. *Rubatto D.* Zircon trace element geochemistry: partitioning with garnet and the link between U-Pb ages and metamorphism // *Chem. Geol.* 2002. Vol. 184. P. 123–138.
 30. *Kaczmarek M.A., Müntener O., Rubatto D.* Trace element chemistry and U–Pb dating of zircons from oceanic gabbros and their relationship with whole rock composition (Lanzo, Italian Alps) // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 2008. No. 155(3). P. 295–312. <https://doi.org/10.1007/s00410-007-0243-3>
 31. *Glebovitsky V.A., Baltybaev Sh.K., Levchenkov O.A.* et al. The volcanic rocks in the Svecofennides of the Ladoga lake area: results of isotopic age determination // *Dokl. Earth Sciences*. 2001. Vol. 396. № 5. P. 369–373.
 32. *Košler J., Sylvester P.J.* Present trends and the future in geochronology: laser ablation ICPMS. In: J.M. Hanchar and P.W.O. Hoskin. (Eds.) // *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. 2003. Vol. 53. P. 243–275.
 33. *Kuznetsov N.B., Soboleva A.A., Udoratina O.V.* et al. Douralskaya tektonicheskaya evolyuciya severo-vostochnogo i vostochnogo obramleniya Vostochno-Evropeiskoi platformy [Pre-Ural tectonic evolution of the North-Eastern and Eastern framing of the East European platform]. Part 2. Late Precambrian-Cambrian collision of the Baltic and Arctida // *Lithosphere*. 2007. № 1. P. 32–45.
 34. *Vozrast granitoidov Man'hambovskogo i Ilyaizskogo massivov (Severny Ural): U-Pb dannie* [The age of granitoids of the Man'khambov and Ilyaiz massifs (Northern Urals): U-Pb data] / *O.V.Udoratina, A.A.Soboleva, N.A.Kuzenkov, N.V.Rodionov, S.L.Presnyakov* // *Doklady Earth Sciences*. 2006. Vol. 406. № 6. P. 810–815.
 35. *Granity Man'hambovskogo, Ilyaizskogo massivov i redkometallnie porody Man'hambovskogo massiva (Severny Ural)* [Granites of the Man'khambov, Ilyaiz massifs and rare-metal rocks of the Man'khambov massif (Northern Urals)] / *O.V.Udoratina, V.L.Andreichev, V.A.Kapitanova, M.A.Kobl, Ts.Gen* // *Granites and evolution of the Earth: mantle and crust in the granite formation: Proc. of the 3rd Intern. Geological conf.* (August 28-31, Ekaterinburg). Ekaterinburg: Inst. of Geology and Geochemistry, Ural Branch, RAS, 2017. P. 298–300. ISBN 978-5-7691-2482-2
 36. *Paleotektonicheskie i paleogeograficheskie obstanovki nakopleniya nizherifeiskoi aiskoi sviny Bashkirkogo podnyatiya (Yuzhny Ural) na osnove izucheniya detritovykh cirkonov metodom "TerraneChrono®"* [Paleotectonic and paleogeographic conditions of accumulation of the Lower Riphean Ai formation of the Bashkir uplift (Southern Urals) based on the study of detrital zircons by the "TerraneChrono®" method] / *T.V.Romanyuk, N.B.Kuznetsov, E.A.Belousova, V.M.Gorozhanin, E.N.Gorozhanina* // *Geodynamics and Tectonophysics*. 2018. №1. P. 1–37. DOI: 10.5800/GT-2018-9-1-0335
 37. *Heaman L.M., Bowins R., Crocket J.* The chemical composition of igneous zircon suites: implications for geochemical tracer studies // *Geochim Cosmochim Acta*. 1990. No. 54. P. 1597–1607.
 38. *Nikulova N.Yu., Udoratina O.V., Khubanov V.B.* Vozrast peschanikov v osnovanii razreza uralid na hr. Sablya (Pripolyarny Ural) po rezultatam U-Pb datirovaniya denritnykh cirkonov [Age of sandstones at the base of the Uralides section on the Sablya ridge (Circumpolar Urals) based on U-Pb dating of detrital zircons] // *Bull. of the Moscow society*

- of nature explorers. Geology Dept. 2016. Vol. 91. Issue 1. P. 15–23.
39. *Soboleva A.A.* Proyavleniya kremnekislogo vulkanizma na rubezhe kembriya i ordovika na severo-vostochnoi okraine Vostochno-Evropeiskogo kontinenta // Vulkanizm i geodinamika [Manifestations of silicic acid volcanism at the turn of the Cambrian and Ordovician in the northeastern edge of the Eastern European continent // Volcanism and geodynamics]: Proc. of the IV all-Russian Symposium on volcanology and paleovolcanology. Petropavlovsk-Kamchatski: Inst. of Volcanology and Seismology, Far-Eastern Branch, RAS, 2009. Vol. 1. P. 524–527.
40. Rezultaty U-Pb datorovaniya detritnyh cirkonov iz bazalnyh gorizontov uralid (Polynnyy Ural) [Results of U-Pb dating of detrital zircons from basal horizons of the uralides (Polar Urals) / *A.A.Soboleva, N.B.Kuznetsov, E.L.Miller, O.V.Udoratina, J.Gerels* // Doklady Earth Sciences. 2012. Vol. 445. № 5. P. 570–576.
41. *Kuznetsov N.B., Natapov L.M., Belousova E.A.* et al. Pervie rezultaty U/Pb-datirovaniya i izotopno-geohimicheskogo izucheniya detritnyh cirkonov iz pozdnedokembriiskih peschanikov Yuzhnogo Timana (uval Dzhezhim-Parma) [First results of U/Pb dating and isotope-geochemical study of detrital zircons from the Late Precambrian sandstones of the South Timan (Dzhezhim-Parma ridge)] // Doklady Earth Sciences. 2010. Vol. 435. № 6. P. 798–805.
42. *Kuznetsov N.B., Soboleva A.A., Udoratina O.V.* et al. Douralskaya tektonicheskaya evolyuciya severo-vostochnogo i vostochnogo [Pre-Ural tectonic evolution of the northeastern and eastern framing of the East European platform]. Part 1. Protouralidy, Timanidy i Doordovikskie granitoidnye vulkano-plutonicheskie asociacii severa Urala i Timano-Pechorskogo regiona [ProtoUralides, Timanides and Pre-Ordovician granitoid volcano-plutonic associations of the north of the Urals and Timan-Pechora region] // Lithosphere. 2006. № 4. P. 3–22.

Статья поступила в редакцию 26.06.2020

УДК 551.733.33 (470.1)
DOI 10.19110/1994-5655-2020-6-75-89

**Т.М. БЕЗНОСОВА*, В.А. МАТВЕЕВ*,
Л.Л. ШАМСУТДИНОВА****

НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО СТРАТИГРАФИИ И ОБНОВЛЕННАЯ СХЕМА КОРРЕЛЯЦИИ ВЕРХНЕГО ОРДОВИКА И СИЛУРА ТИМАНО-ПЕЧОРСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ И СЕВЕРА УРАЛА

**Институт геологии
им. академика Н.П. Юшкина
ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
г. Сыктывкар
**ООО «Тимано-Печорский
научно - исследовательский центр»
(ООО «ТП НИЦ»),
г. Ухта*

beznosova@geo.komisc.ru

**T.M.BEZNOSOVA*, V.A.MATVEEV*,
L.L.SHAMSUTDINOVA****

NEW DATA ON STRATIGRAPHY AND AN UPDATED CORRELATION SCHEME OF THE UPPER ORDOVICIAN AND SILURIAN OF THE TIMAN-PECHORA OIL AND GAS PROVINCE AND THE NORTH OF THE URALS

**N.P.Yushkin Institute of Geology, Federal
Research Centre Komi Science Centre,
Ural Branch, RAS,
Syktuykar
** «Timan-Pechora Research Centre», LLC,
Ukhta*

Аннотация

В статье представлены результаты исследований, позволившие внести вклад в решение наиболее дискуссионных проблем расчленения силура, положения региональных границ ордовик-силур, лландовери-венлок, лудлов-пржидол, показавшие необходимость пересмотра и уточнения существующих стратиграфических схем исследуемой территории. Приведена схема корреляции верхнеордовикских и силурийских толщ, разбуренных скважинами на территории северо-восточного субрегиона Восточно-Европейской платформы (Тимано-Печорская область) и одновозрастных отложений западноуральского субрегиона. Корреляция возрастных и фациальных комплексов ископаемой морской фауны, а также данные по изотопному составу углерода в карбонатах позволили сделать заключение о перерывах в осадконакоплении на рубеже лландовери и венлока и в конце лудлова.

Ключевые слова:

ордовик, силур, брахиоподы, конодонты, стратиграфическая схема, лландовери, венлок, лудлов, изотопы углерода, Североуральский регион

Abstract

The paper presents the results of studies which contribute to solving the most controversial problems of the Silurian disintegration, the position of the regional boundaries of the Ordovician-Silurian, Llandovery-Wenlock, Ludlow-Pri-doli, which showed the need to review and clarify the existing stratigraphic schemes of the study area. The correlation diagram of the Upper Ordovician and Silurian strata drilled by wells in the northeastern subregion of the East European platform (Timan-Pechora region) and coeval deposits of the West Urals subregion is given. The correlation of age and facies complexes of fossil marine fauna, as well as data on the isotopic composition of carbon in carbonates, allowed us to conclude that there were interruptions in sedimentation at the turn of Llandovery and Wenlock and at the end of Ludlow.

Keywords:

Ordovician, Silurian, brachiopods, conodonts, stratigraphic schemes, Llandovery, Wenlock, Ludlow, carbon isotopes, North Urals region

Введение

В настоящее время для расчленения отложений верхнего ордовика и силура европейского Северо-Востока приняты две стратиграфические схемы: для северо-восточного субрегиона Восточно-Европейской платформы [1] и западноуральского субрегиона [2]. Несмотря на достигнутую детальность этих схем, остались проблемы, для ре-

шения которых требовалось продолжение исследований пограничных отложений ордовика и силура, лландовери и венлока, венлока и лудлова, лудлова и пржидола в целях «более точной отработки критериев определения этих границ» [2, с. 61]. Статья является сводкой ранее опубликованных и новых данных, полученных при изучении разрезов и скважин, которые здесь сведены для представления обновлённой региональной схемы.

За время, прошедшее с момента принятия этих региональных стратиграфических схем, проведено новое изучение разрезов на западном склоне Приполярного Урала, грядах Чернова и Чернышева. Вновь полученные результаты с использованием разных методов исследований: палеонтологического, седиментологического, событийного и хеомстратиграфического, позволили пересмотреть некоторые сложившиеся представления о строении разреза верхнего ордовика и силура, положении уровня границ между ордовиком и силуром, лландовери и венлоком, провести корреляцию отложений яптикнырдской свиты верхнего ордовика с одновозрастными образованиями Шотландии и Эстонии, обосновать перерыв в осадконакоплении в позднем лудлове, внести существенные уточнения, дополнения и изменения в эти схемы [3–13].

Сложность корреляции региональных подразделений верхнего ордовика и силура с другими регионами России и ярусным стандартом Международной стратиграфической шкалы (МСШ) обусловлена отсутствием граптолитовой фауны в разрезах Северо-Восточного субрегиона Восточно-Европейской платформы и западноуральского субрегиона и недостаточно изученной конодонтовой последовательности [14].

Проведено изучение отложений верхнего ордовика и силура с использованием различных методов – биостратиграфического, биоседиментологического, событийного и хеомстратиграфического.

Прослежена смена биологического разнообразия, связанная с изменением условий осадконакопления в разрезах на западном склоне Приполярного Урала, Северном Тимане, п-ове Канин, на поднятиях Чернова и Чернышева и вскрытых при бурении глубоких скважин в Ижма-Печорской синеклизе и Большеземельском районе (Печоро-Кожвинский авлакоген, Хорейверская впадина, Варандей-Адзвинская зона), а также в пределах Предуральского краевого прогиба (рис. 1). В работе также использованы опубликованные и фондовые материалы, данные ГИС, результаты описания керна более 100 скважин, изучения многочисленных палеонтологических коллекций.

Определение изотопного состава углерода в карбонатных породах проведены в ЦКП «Геонаука» Института геологии им. акад. Н. П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН на масс-спектрометре DELTA V Advantage (аналитик И. В. Смолева). Значения изотопных коэффициентов определялись в промилле (‰) по стандартам PDB NBS18 и NBS19 (TS-limestone) для углерода. Погрешность определения обоих коэффициентов не превышала $\pm 0.1\%$. Коллекции литологических образцов, шлифов, а также

брахиопод, остракод и конодонтов хранятся в Геологическом музее им. А. А. Чернова Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар (колл. № 514 – литологические образцы и шлифы; колл. № 368 – брахиоподы; колл. № 654 – позвоночные) и в отделе региональной геологии ООО «ТП НИЦ», г. Ухта.

Результаты и обсуждение Пограничные отложения ордовика и силура

Проблема определения границы между ордовиком и силуром связана с тем, что количество разрезов, в которых отложения ордовика и силура вскрываются в непрерывной последовательности и охарактеризованы не только граптолитами, но и бентосной фауной, в мире ограничено. Отчетливо выраженные литологические уровни отсутствуют в разрезе Добс Линн в Шотландии, принятом в качестве глобального стратотипа для этого интервала разреза [16–19].

В настоящее время используется общая стратиграфическая шкала (ОСШ) ордовикской силурийской системы, аналогичная Международной стратиграфической шкале (МСШ) [20].

В стратиграфических схемах Урала граница ордовика и силура была условно установлена в кровле слоев с брахиоподами *Proconchidium muensteri* и *Holorhynchus giganteus* [1, 2].

В качестве типового разреза региональной границы ордовика и силура на территории Североуральского региона был предложен разрез Кожым-108 на западном склоне Приполярного Урала (рис. 1). На основе биологических данных и результатов углеродно-изотопного анализа осуществлено датирование толщ, слагающих пограничный интервал ордовика и силура, и определен рубеж между этими системами. В настоящее время этот разрез является единственным на территории европейского Северо-Востока России, в котором в непрерывной последовательности вскрываются отложения верхнего ордовика и нижнего силура, а также нижняя граница руддана, обоснованная комплексом конодонтов. Послойное описание разреза верхнего ордовика и пограничных с ним отложений лландовери, определения фауны и история изучения пограничных отложений ордовика и силура на европейском Северо-Востоке приведены в опубликованных работах [4–7, 21].

Уникальность этого Кожымского разреза определяется, прежде всего, его стратиграфической полнотой и непрерывной последовательностью отложений ордовика и силура, позволяющей провести палеонтологически и хеомстратиграфически обоснованную корреляцию этого уральского разреза с глобальным стратотипическим разрезом в Доббс Линн (рис. 2).

Разрез Кожым-108 является стратотипом яптикнырдской свиты верхнего ордовика и яренейского горизонта лландовери [3, 22]. Яптикнырдская свита согласно залегает на малотавротинской свите и подразделяется на яптикшорские и юнкошорские слои.

Яптикшорские слои слагают доломиты темносерые, комковатые, плитчатые, массивные, содержащие колонии табуляты *Eocatenipora* sp., *Agetolites* sp.,

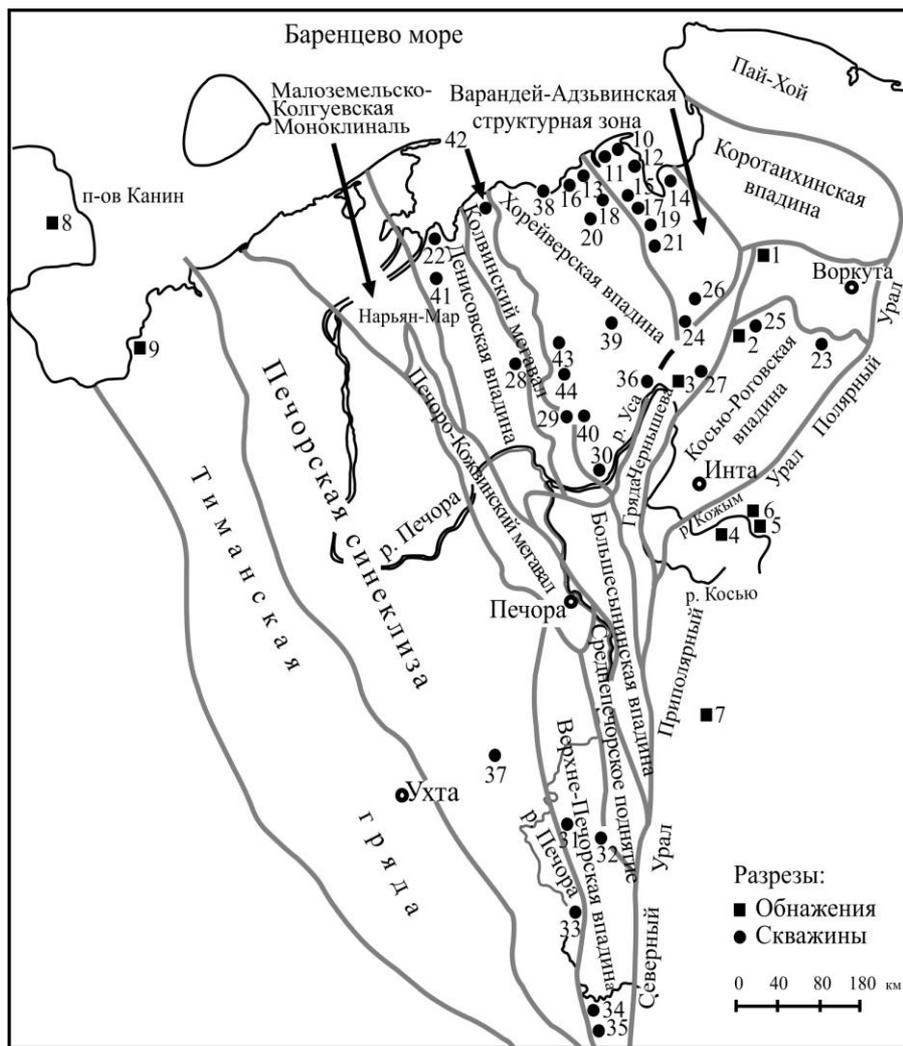


Рис. 1. Схема расположения изученных разрезов верхнего ордовика и силура. (Схема тектонического районирования по: [15]). **Номера обнажений:** 1 – р. Падимейтивис, обн. 1, 1, ручей Безымьянный, обн. 2; 2 – р. Харута, обн. 2; 3 – р. Шарью, обн. 64; 4 – р. Кожым, обн. 236; 5 – р. Кожым, обн. 108; 6 – р. Кожым, обн. 116; 7 – р. Щугор, обн. 10; 8 – р. Рыбная; 9 – р. Черная. **Номера скважин:** 10 – 1-Тобойская; 11 – 1-Варандейская; 12 – 46-Мядсейская; 13 – 5,6-Варкнавтская; 14 – 46,47-З.Лякейягинская; 15 – 2-Наульская; 16 – 52-Южно-Садаягинская; 17 – 76-Лабанганская; 18 – 1-Удачная; 19 – 1,2-Седьяга; 20 – 20-Оленья; 21 – 1-З. Ярейягинская; 22 – 25-Требса; 23 – 1,2-Ярвож; 24 – 1-Адз'ва; 25 – 1-Берганты-Мыл'кская; 26 – 80-Хосолтинская; 27 – 3-Кочмес; 28 – 15-Мишвань; 29 – 42,63-Возей; 30 – 37-Уса; 31 – 1,2,4-Сев.Савинобор; 32 – 42-Вуктыл; 33 – 30-Сев.Джебол; 34 – 42-Рассоха; 35 – 2-Патраковка; 36 – Усино-Кушшор; 37 – 91-Кыкаель; 38 – 1-Сев. Чернореченская; 39 – Салюкинская; 40 – 1-Вост. Возей; 41 – 1-Вост.Ванейвис; 42 – 12-Ярейю; 43 – 200-Инзирей; 44 – 61-Харьяга.

Fig. 1. Layout of the studied sections of the Upper Ordovician and Silurian. (Scheme of tectonic zoning according to: [15]) **Outcrops:** 1 – Padimeityvis River, outcrop 1, 1, Bezymyanny brook, outcrop 2; 2 – Kharuta River, outcrop 2; 3 – Sharyu River, outcrop 64; 4 – Kozhym River, outcrop 236; 5 – Kozhym River, outcrop 108; 6 – Kozhym River, outcrop 116; 7 – Shchugor River, outcrop 10; 8 – Rybnaya River; 9 – Chernaya River. **Wells:** 10 – 1-Toboiskaya; 11 – 1-Varandeiskaya; 12 – 46-Myadseiskaya; 13 – 5,6-Varknavtskaya; 14 – 46, 47-Z.Lyakeiyaginskaya; 15 – 2-Naul'skaya; 16 – 52-Yuzhno-Sadayaginskaya; 17 – 76-Labaganskaya; 18 – 1-Udachnaya; 19 – 1,2-Sedyaga; 20 – 20-Olenya; 21 – 1-Z. Yareiyaginskaya; 22 – 25-Trebsa; 23 – 1,2-Yarvozh; 24 – 1-Adz'va; 25 – 1-Berganty-Myl'kская; 26 – 80-Khosoltinskaya; 27 – 3-Kochmes; 28 – 15-Mishvan'; 29 – 42,63-Vozey; 30 – 37-Usa; 31 – 1,2,4-Sev.Savinobor; 32 – 42-Vuktyl; 33 – 30-Sev.Dzhebol; 34 – 42-Rassokha; 35 – 2-Patrakovka; 36 – Usino-Kushshor; 37 – 91-Kykael'; 38 – 1-Sev.Chernorechenskaya; 39 – Salyukinskaya; 40 – 1-Vost.Vozey; 41 – 1-Vost.Vaneivis; 42 – 12-Yareiyu; 43 – 200-Inzirei; 44 – 61-Kharyaga.

ругозы *Dalmanophyllum dalmani* (Edv. et Hime), конодонты *Belodina stonoi* Sweet, а также прослои с брахиоподами *Pr. muensteri* (St. Joseph) и *H. giganteus* (Kiaer). Объем яптикшорских слоев в разрезе определяет интервал распространения брахиопод *Proconchidium* и *Holorhynchus* [4].

Юнкошорские слои, венчающие разрез ордовика, – новое стратиграфическое подразделение, завершающее ордовикский цикл осадконакопления. По изотопным данным эти слои сопоставлены с хирнантским ярусом [7]. Юнкошорские слои сложены преимущественно доломитами массивными без видимых остатков фауны. Основным компонентом биоты этих слоев являются различные микроскопические водоросли (?) [23]. Граница ордовика и силура установлена по кровле юнкошорских слоев и обоснована палеонтологическим, седиментологическим, событийным, С-изотопно хемотратиграфическим методами (рис. 2).

Ярнейский горизонт нижнего силура представлен в основании доломитами серыми, темно-серыми, тонко-плитчатыми, полосчато-слоистыми. Раннелландоверийский возраст ярнейских отложений определен П. Мянником по комплексу конодонтов *Oulodus? aff. nathani* McCracken et Barnes, *Walliserodus cf. curvatus* (Branson et Branson) и *Ozarcodina* sp. [5, 4, 7].

Возрастным аналогом яптикшорских слоев Урала в Тимано-Печорской провинции является салюкинская свита, сложенная вторичными доломитами с остатками табулята и брахиопод. В основании силура установлен джагалский горизонт, которому соответствует макаринская свита, представленная циклическим переслаиванием вторичных и седиментационных доло-

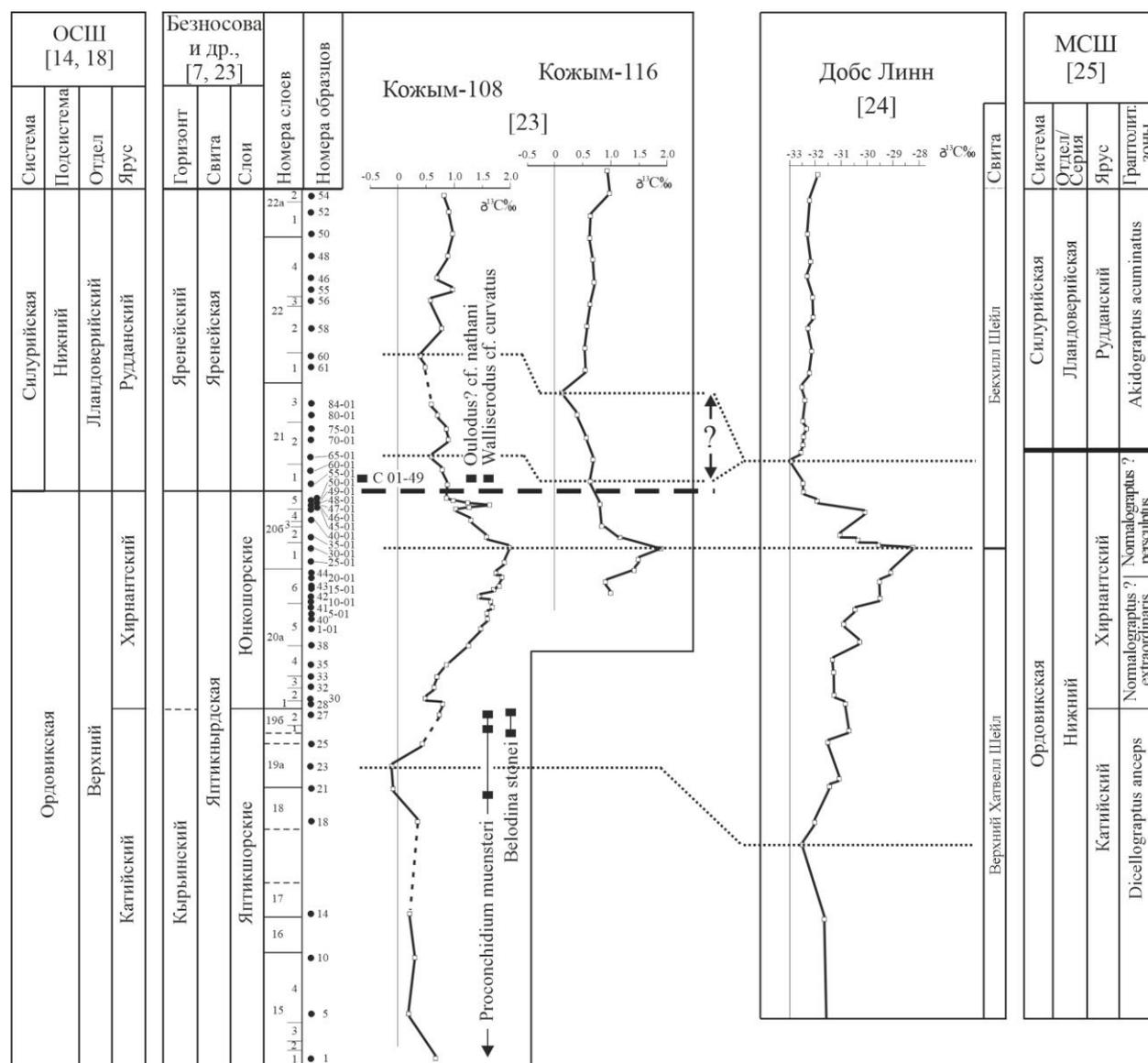


Рис. 2. Корреляция разрезов по р. Кожым (Приполярный Урал) и Добс Линн (Шотландия) по результатам С-изотопного хемостратиграфического анализа [7]. Точечные линии – возможные уровни корреляции; жирная пунктирная линия – условное положение границы ордовика и силура в разрезах Кожым-108 и Кожым-116. Fig. 2. Correlation of sections along the Kozhym River (Subpolar Urals) and Dobs Linn (Scotland) based on C-isotope chemostratigraphic analysis. Dotted lines – possible levels of correlation [7]; bold dotted line – conventional position of the Ordovician-Silurian boundary within the Kozhym-108 and Kozhym-116 sections.

митов, иногда сульфатизированных с маломощными прослоями, обогащенными обломочным материалом. В керне скважин в салюкинских отложениях найдены ордовикские конодонтовые комплексы с *Belodina* (Среднемакарихинская, Салюкинская, Среднемылвинская, Возейская и др. площади), а в нижней части макарихинской свиты – комплекс раннесилурийских конодонтов (Веякская и Сандивейская площади). Наиболее полно охарактеризован керном и хорошо изучен этот пограничный ордовикско-силурийский интервал разреза в скважине 1-Восточно-Возейская [9, 25, 26]. В этой скважине найдены оба комплекса: ордовикский комплекс с *Belodina stonei* Sweet, *Aphelognathus shatzeri* Sweet, *Drepanodus* sp. выше по разрезу сменяется силурийским с *Ozarkodina oldhamensis* (Rexroad), *Oulodus* sp. Самая верхняя часть ордовика, отве-

чающая западноуральским юнкошорским слоям (хирнантскому ярусу), в пределах Тимано-Печорской провинции, вероятно, отсутствует, как и в других регионах России [18], что связано с обширной раннехирнантской регрессией.

Пограничные отложения лландовери и венлока

Анализ лито-биостратиграфических и событийных данных, изучение изменений соотношения изотопов углерода в разрезах силура на западном склоне Приполярного Урала, а также проведенная корреляция нижнесилурийских отложений западноуральских разрезов с разрезами Эстонии и Северной Земли позволили предположить существование перерыва в осадконакоплении, разделяющего отложения лландовери и венлока, а также отсутствие отложений нижнего венлока (шейнвуда) [6, 27]. Пе-

Система		ОСШ [14]	Восточно-Европейская платформа [1]	Западный склон Урала [2]	Североуральский регион [6]	Североуральский регион [10, 27]
Подсистема	Отдел	Ярус	Горизонт	Горизонт	Горизонт	Горизонт
Верхняя	Лудфордский	Гердьюсский		Сизимский	Сизимский	Сизимский
	Горетийский			Падимейтывисский	Падимейтывисский	Падимейтывисский
Нижняя	Венлокский	Гомерский	Седельский	Устьдурнаюсский	Устьдурнаюсский	Войвывский
	Шейнвудский	Филиппельский	Филиппельский	Маршрутинский	Маршрутинский	Маршрутинский
	Теличский	Джагалский	Джагалский	Лолашорский	Лолашорский	Лолашорский
	Аэронский			Ярнейский	Ярнейский	Ярнейский
	Руданский					

Рис. 3. Изменение представлений о положении границы лландовери и венлока в разрезах Североуральского региона.

Fig. 3. A new view on the location of the Llandoveri-Wenlock boundary in the North Urals region.

перыв, разделяющий отложения лландовери и венлока в разрезе Приполярного Урала, отвечает нижней части венлока (шейнвудскому ярусу) [10].

Палеонтологически доказанные пограничные отложения лландовери и венлока вскрываются на западном склоне Приполярного и Северного Урала, поднятиях Чернова и Чернышева. Рассматриваемый пограничный интервал разреза слагают сходные в литофациальном отношении толщи терригенно-карбонатных пород, заключающих обедненный комплекс беспозвоночной фауны. Часто неудовлетворительная сохранность органических остатков и отсутствие четких видимых изменений литологического состава пород осложняют определение рубежа лландовери и венлока в естественных разрезах и разрезах скважин на рассматриваемой территории.

Переходные слои от лландовери к венлоку характеризуются крайне мелководными литоральными отложениями – чередованием известняков с прослойками глинистого материала и известняковых гравелитов, с маломощными прослоями известняков, заключающих фрагменты раковин брахиопод, гастропод, остракод, известняков с трещинами усыхания, линзами известняков, содержащих мелкие галечки и строматолиты. Проведенные детальные исследования показали ошибочность отнесения маршрутинского горизонта и нижней части устьдурнаюсского горизонта к венлоку, как это принято в существующей стратиграфической схеме Урала [2].

Отложения маршрутинского горизонта и нижней половины устьдурнаюсского горизонта включают комплексы брахиопод, остракод, табулят и конодонтов *Apsidognathus tuberculatus*, датирующих их лландоверийский возраст. На этом основании нижняя часть устьдурнаюсского горизонта, заключающая лландоверийский комплекс фауны, включена в состав маршрутинского горизонта лландовери [10].

Отложения, относимые ранее к верхней части устьдурнаюсского горизонта с конодонтами *Ctenognathodus kozhimi-cus* (Mel'nikov), табулятами *Parastriatopora commutabilis* Klaman, брахиоподами *Spirinella nordensis* (Ljashenko), *Hyattidina* sp., остракодами *Herrmannina insignis* Abushik, *Gibberella praetiosa* Abushik, *Eukloedenella grandifabae* Abushik, венлокский возраст которых не вызывает сомнений, выделено в новое самостоятельное региональное стратиграфическое подразделение – войвывский горизонт, сопоставленный с гомерским ярусом МСШ (рис. 3). Согласно

стратиграфическому кодексу название «устьдурнаюсский» горизонт предложено в дальнейшем не использовать [10, 20, 28].

В разрезах многочисленных скважин, пробуренных в пределах Хорейверской впадины, Варандей-Адзьвинской структурной зоны и Предуральского краевого прогиба, в верхней части веянской свиты (седельский горизонт) встречены комплексы остракод венлокской зоны *insignis – grandifabae* (Варкнавтская, Веякская, Хасырейская и др. площади). В скважине 1-Северо-Чернореченская (северная часть Хорейверской впадины) в отложениях веянской свиты прослежена смена лландоверийского комплекса остракод венлокским: в нижней части свиты определен лландоверийский комплекс остракод с *Microcheilinella rozhdestvenskaja* Neckaja и *Microcheilinella variolaris* (Neckaja), выше по разрезу он сменяется венлокским комплексом с *Herrmannina insignis* Abushik и *Eukloedenella grandifabae* Abushik. То есть, веякская свита имеет лландоверийско-венлокский возраст. Значительное изменение остракодовых комплексов отражает смену палеоэкологических обстановок и подтверждает существование перерыва в осадконакоплениях на границе лландовери и венлока.

Войвывский горизонт – новое стратиграфическое подразделение венлока

С началом венлокской трансгрессии и повышением уровня морского бассейна связано начало нового этапа в развитии морской биоты и преобра-

зовании морфо-экологической структуры сообществ брахиопод, составлявших значительную долю в венлокских палеоценозах, наряду с табулятами, пелециподами и остракодами [4, 10, 12]. Условия открытого мелководного шельфа в венлоке способствовали существенному обновлению родового и видового состава биоты. Прослеживаются существенные различия позднепландоверийских (маршрутинских) и венлокских (войвывских) сообществ брахиопод, которые различаются не только таксономическим составом, но и специфической морфологической и экологической специализацией брахиоподовой фауны [29]. Маршрутинские сообщества брахиопод составляют виды, преимущественно с характерной уплощенной формой раковин, оснащенных ребрами, складками, шлейфами, адаптированных к существованию на мягких иловых грунтах тиховодных участков дна и принадлежащих к морфологическому типу свободнлежащих, а батиметрически – ко второму бентосному комплексу [30]. Войвывские сообщества брахиопод обладали гладкими раковинами, а также оснащенными ребрами и складками. Они принадлежат к якорному морфологическому типу, обитали на уплотненных грунтах, к которым прикреплялись с помощью ножки и батиметрически относятся ко второму и третьему бентосным комплексам.

Следует отметить, что почти во всех изученных разрезах пограничных отложений пландовери и венлока прослеживаются разные по мощности интервалы со смешанной пландоверийско-венлокской фауной, что, возможно, объясняется масштабно-стью размыва и переотложения. Так, в разрезе на западном склоне Приполярье Урала, в бассейне р. Щугор (обн. 10ц) мощность интервала с совместными находками венлокских брахиопод *Spirinella nordensis* и пландоверийских конодонтов *Apsidognathus tuberculatus* составляет 19 м. В бассейне р. Кожым (обн. 217) конодонты рода *Apsidognathus*, брахиоподы *Hyattidina* и остракоды *Herrmannina insignis* встречаются в интервале мощностью 17.3 м. На поднятии Чернышева на р. Шарью (обн. 64, 65) интервал совместного распространения брахиопод *S. nordensis*, *Hyattidina* sp. и конодонтов *Apsidognathus* составляет 14.5 м [31]. На поднятии Чернова в разрезе венлока, мощностью более 300 м, интервал совместного распространения венлокских брахиопод *S. nordensis*, остракод *H. insignis* и пландоверийских конодонтов *Apsidognathus* – 125 м. Такие мощности в разрезе на поднятия Чернова обусловлены штормовыми отложениями [32].

Пограничные отложения лудлова и пржидола

Рассматриваемый интервал пограничных отложений лудлова и пржидола изучен в терригенно-карбонатном разрезе на западном склоне Приполярье Урала, в бассейне р. Кожым (рис. 1). В связи с тем, что существуют противоречия в датировке возраста пограничных отложений лудлова и пржидола, основанные на изучении разных групп фауны [33–35], нами было проведено новое детальное изучение этого опорного разреза. Цель исследования – получение более полной информации о строении разреза, уточнение хроностратиграфичес-

кой последовательности верхнесилурийских толщ, анализ особенностей условий обитания биоты, определение эвстатических маркеров трансгрессий и регрессий. Представленные в статье результаты подтверждены биоседиментологическими, палеоэкологическими и хемотратиграфическими авторскими данными [36, 37].

Известна сложность решения проблемы определения границы между лудловом и пржидолом в пределах Михайловско-Вайгачской структурно-фациальной зоны, которая состоит в том, что комплекс брахиопод и другой фауны, характеризующей стратотипические разрезы региональных горизонтов пржидола (белушьянского и карповского), не содержат виды, которые характерны для пржидольских отложений в глобальном стратотипе Чехии [2, 38–40].

По результатам вновь проведенного послонного изучения разреза в бассейне Кожым, который был выбран в качестве опорного разреза, уточнена мощность отложений сизимского горизонта верхнего лудлова (лудфордия), которая составляет 71,9 м (а не 51, как это указано в путеводителе) [40]. Сделано заключение о стратиграфической неполноте разреза сизимского горизонта и наличии перерыва в осадконакоплении в конце лудлова, разделяющего отложения сизимского горизонта лудлова и белушьянского горизонта пржидола (рис 4).

Известно, что перерывы в осадконакоплении являются наиболее четкими рубежами, по которым устанавливаются границы местных стратиграфических подразделений. О том, что максимум падения относительного уровня моря в Тимано-Печорской нефтегазонадной провинции приходится на окончание лудлова и проявляется субаэральным размывом верхней части разреза лудлова, отмечал ранее А.В. Мартынов [41].

Позднелудловский (лудфордский) возраст сизимского горизонта определяют присутствующие в его отложениях остатки позвоночных *Phlebolepis elegans* Pander, брахиопод *Didymothyris didyma* (Dalman), а также пандемичных конодонтов *Polygnathoides siluricus* (Branson et Mehl). Впервые комплекс с конодонтами *P. siluricus* обнаружил В.Н. Пучков в разрезе р. Харута [42]. Позже С.В. Мельников определил этот вид в рассматриваемом здесь разрезе сизимского горизонта, бассейне р. Кожым [9, 40]. И в настоящее время известны лишь эти два местонахождения конодонтов *P. siluricus* на территории Североуральского региона.

Отложения верхней части сизимского горизонта характеризуются постепенным сокращением таксономического разнообразия биоты, исчезновением лудловских брахиопод *Didymothyris*, конодонтов рода *Adctenognathodus* (?) sp. и многих видов позднелудловских остракод. Отчетливо проявляются седиментационные признаки обмеления вверх по разрезу – чередование известняков строматолитовых, оолитовых, микробиально-сгустковых и доломитов с прослоями плоскогалечных конгломератов, с трещинами усыхания, биоморфных, органо-детритовых, лито- и биокластовых с переотложенной галькой известнякового состава. Максимум

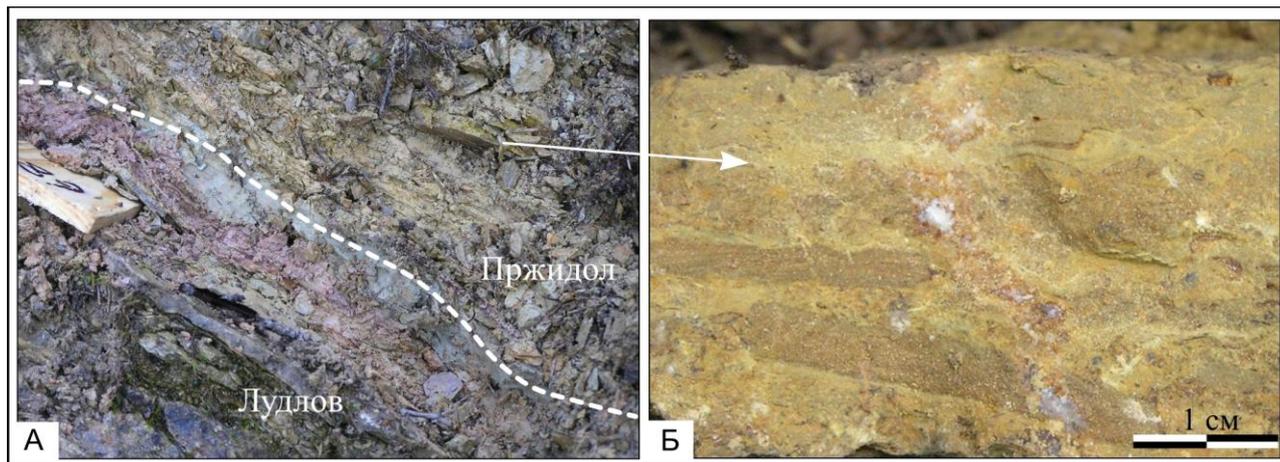


Рис. 4. Распространение фауны и распределение $\delta^{13}\text{C}$ в пограничных отложениях лудлова и пржидола (Приполярный Урал, р. Кожым, обнажение 236).
 Fig. 4. Distribution of fauna and $\delta^{13}\text{C}$ values in the Ludlow/Pridoli boundary deposits (Subpolar Urals, Kozhym River, outcrop 236).

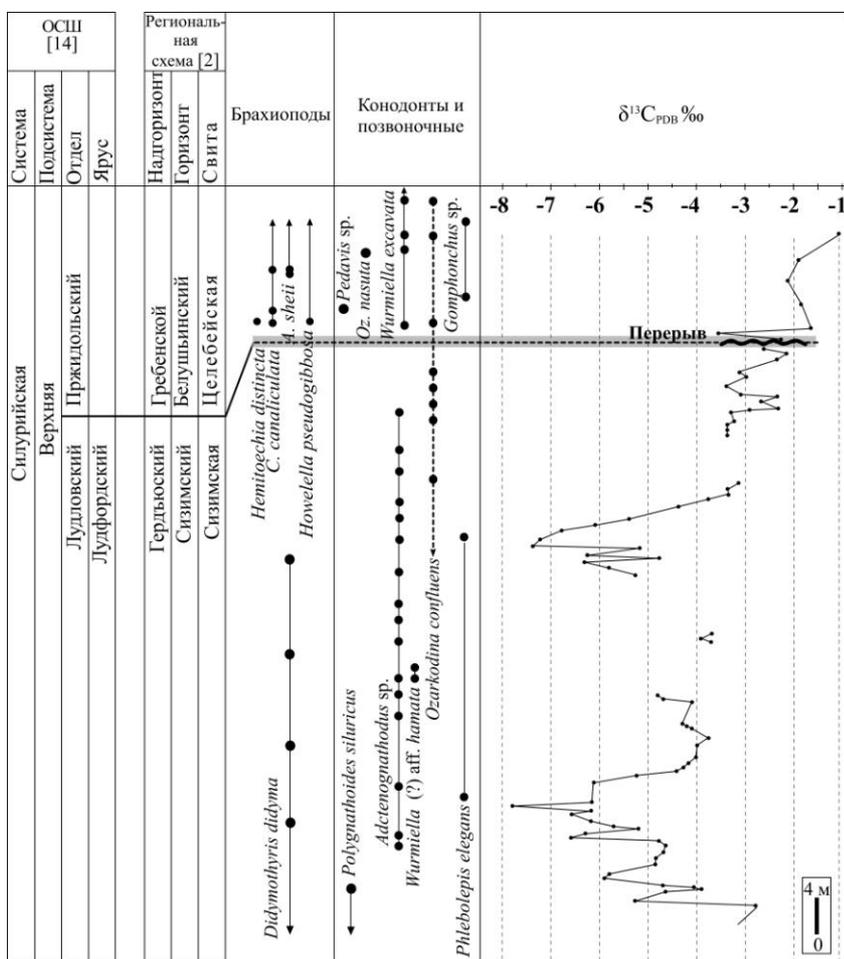


Рис. 5. Контакт лудловских и пржидольских отложений в обнажении 236. (Приполярный Урал, р. Кожым). А – прослой красноцветно-пестроцветных глин; Б – доломиты с литокластами (брекчии взламывания). Пунктирная линия – условное положение границы лудлова и пржидола.
 Fig. 5. Ludlow/Pridoli boundary deposits in outcrop 236 (Subpolar Urals, Kozhym River). A – interlayer of red-mottled clay; B – dolomites with lithoclasts (breccias of cracking). Dotted line – conventional position of the Ludlow/Pridoli boundary.

падения относительного уровня моря приходится на окончание лудлова. Сокращение таксономического разнообразия фауны, сменившееся доминированием строматолитообразующей биоты, наблюдаемое в разрезе, свидетельствует о крупной экосистемной перестройке в конце лудлова [36].

Верхняя граница сизимского горизонта лудлова нами определена по кровле прослоя красноцветно-пестроцветных глин, завершающего регрессивную фазу развития бассейна в конце лудлова и фиксирующего перерыв в осадконакоплении [11, 36]. Выше красноцветно-пестроцветных глин залегают доломиты с крупными литокластами (брекчии взламывания) (рис. 5), которые перекрываются доломитами с прослоями известково-глинистых черных углистых сланцеватых аргиллитов, отвечающих новому, трансгрессивному циклу осадконакопления в пржидоле.

Трансгрессия способствовала транспортировке и массовому захоронению органического вещества в основании белушьянского горизонта пржидола. Палеонтологически этот переход характеризуется полностью обновленным составом остракод [12, 43, 44], а также брахиопод, образующих четкие маркирующие слои ракушняка в нижней части белушьянского горизонта. Эти брахиоподовые слои прослеживаются в разрезе

зах Приполярного и Северного Урала, на поднятиях Чернова и Чернышева и многочисленных скважинах, пробуренных на территории Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции [4, 45]. Подобные слои с брахиоподами, отличающиеся лишь большим разнообразием представителей рода *Atrypoides*, впервые были описаны О.И. Никифоровой из нижней толщи пржидола о-ва Вайгач [46]. По С.В. Черкесовой в Уральско-Новоземельской области обновление комплекса фауны начинается именно с аргиллитовой пачки, начало формирования которой совпадает с новым пржидольским этапом осадконакопления [47].

Конодонты нижней части белушьянского горизонта представлены преимущественно таксонами широкого географического распространения [9, 11] (рис. 4). Состав остракодовых сообществ на границе лудлова и пржидола полностью обновляется. В опорном разрезе Западного склона Урала лудловский комплекс с *Sulcyamus grandisulcatus* Abushik, *Leicyamus clausus* Abushik и *L. paulus* Zenkova сменяется пржидольским с *Schrenckia tuberculata* Abushik, *Calcaribeyrichia grebeni* Abushik, *C. angusta* Abushik и *Eokloedenia bacata* Abushik [12].

В разрезах скважин основание пржидола по ГИС принимается в подошве глинисто-мергелистой пачки. На каротажных диаграммах это выражается повышением естественной гамма-активности и понижением значений кажущегося сопротивления. На этом уровне лудловские мелководно-шельфовые неравномерно-слоистые доломитизированные известняки и доломиты и их глинистые разности, отражающие регрессивную направленность развития седиментационного бассейна, сменяются глинистыми известняками, мергелями и аргиллитами сублиторали терригенно-карбонатной платформы.

В многочисленных скважинах, пробуренных в Тимано-Печорской области, определены характерные для верхнего лудлова виды остракод – *S. grandisulcatus* Abushik, *L. clausus* Abushik, *K. Posterialveolata* Abushik, *K. calva* Abushik, *Silenis? acutus* Abushik (зона *clausus*). Выше по разрезу в скважинах эти комплексы сменяются пржидольскими комплексами зоны *grebeni* – *bacata* [48].

Падение уровня моря, широкое развитие строматолитообразующей биоты, сокращение биоразнообразия в конце лудлова, а также смена доминантов в составе биоты в начале пржидола отражают общую реакцию организмов разных иерархий (плеченогих, остракод, конодонтофорид и микробиальных) на особенности условий их обитания в позднем лудлове и раннем пржидоле [11, 36, 49]. Значительное обмеление Тимано-Североуральского морского бассейна в конце лудлова вызвало гибель большой массы микробиальных сообществ, а также обильной и разнообразной биоты лудловских рифов, в том числе брахиопод отряда Pentamerida. Разрушение рифовых экосистем и вымирание пентамерид в конце лудлова в морских бассейнах разных континентов, связанное с событием Лау, получило название «событие Пентамерид» – «Pentamerid Event» [50]. Это событие, сопровождавшееся преобразованием таксономического состава разных групп организмов, их численности, вымиранием отдельных

таксонов, имеет как региональные, так и глобальные проявления.

Изотопы $\delta^{13}\text{C}_{\text{карб}}$ пограничных отложений лудлова и пржидола характеризуются величинами в пределах от $-7,9$ до $-1,8\text{‰}$ (рис. 4). На изотопно-углеродной кривой в разрезе верхнего лудлова выделяются два интервала с резкими отрицательными пиками $\delta^{13}\text{C}_{\text{карб}}$. Пржидольская часть разреза характеризуется величинами $\delta^{13}\text{C}_{\text{карб}}$ от $-3,6$ до $-0,6\text{‰}$. В нижней части пржидола фиксируется резкое смещение кривой от отрицательных величин $\delta^{13}\text{C}_{\text{карб}}$ в сторону положительных значений с амплитудой колебаний 3‰ . Выше значения $\delta^{13}\text{C}_{\text{карб}}$ достаточно постоянны, характеризуются постепенным утяжелением изотопного состава углерода до $-1,0\text{‰}$, задающим тренд положительного направления кривой и приходится на слои известняков с характерной комковатой отдельностью, заключающих разнообразную фауну пржидольского возраста.

Таким образом, кривая изотопного состава углерода лежит в области негативных значений $\delta^{13}\text{C}_{\text{карб}}$ с двумя отрицательными экскурсами. Резкие отрицательные сдвиги и понижения значений $\delta^{13}\text{C}_{\text{карб}}$ в первом и во втором интервалах (до $-7,9$) указывают на значительные изменения в характеристике среды седиментации в морском бассейне на рубеже лудлова и пржидола.

Крупная экосистемная перестройка, связанная с событием в раннем пржидоле (Lower Pridolian Event), прослеживается в разрезах на Северо-Востоке Евразии, Арктических островах России (Вайгач, Новая Земля, Долгий) и Канады, Аляски [4, 38, 39, 46, 47, 51, 52 и др.].

Корреляция верхнеордовикских и силурийских отложений

В изученных карбонатных разрезах силура европейского Северо-Востока уровни ярусных границ отражают переломные рубежи в био-геологической истории развития Тимано-Североуральского морского бассейна. При этом все же остается достаточно условным их сопоставление со стратотипами ярусных границ в разрезах, охарактеризованных граптолитами.

Определение эвстатических маркеров глобальных трансгрессий и регрессий в опорных разрезах Приполярного Урала и разрезах скважин на территории Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции, наряду с биологическими событиями – изменениями структур палеоэкосистем, их смены во времени, позволяют уточнить объемы ранее выделенных стратиграфических подразделений и являются важными региональными реперами при корреляционных построениях.

Анализ био-хемостратиграфических и событийных данных, уточнение хроностратиграфической последовательности силурийских региональных стратонтов, которые имеют стратотипы, отражающие этапы развития региона и установленные перерывы в осадконакоплении, позволяют решить проблему корреляции силурийских разрезов Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции с Североуральскими разрезами (рис. 6).

ОСШ [14, 18]			Горизонт [1]	Северный Тиман и п-ов Канин	Ижма-Печорская синеклиза	Печоро-Ковлинский авлокаген, Хоревейская впадина, ВАЗ	Североуральский регион [4, 7, 22, 27]		Стратиграфическая схема Урала [2]	
Система	Подсистема	Отдел					Ярус	Горизонт		Зоны по брахиоподам
Силурийская	Девон		Лохковский	Овинпармский	Харисовская		Хатаяхинская	Овинпармский	<i>Pr. praecursor</i>	Овинпармский
			Пржидольский	Гребенской	Ептарминская	Пашнинская	Устьсывская	Карповский	<i>A. insignae</i> <i>Gr. parvula</i>	Карповский
	Верхняя	Лудловский	Лудфорд	Гердьюский	Великорецкая	Северосавиновская	Гердьюская	Белушьянский	<i>A. scheii</i> <i>H. pseudogibbosa</i>	Белушьянский
			Горстий					Сизимский	<i>D. didyma</i>	Сизимский
		Веплоцкий	Гомер	Седельский	Большенадтегская	Южнопальюская	Ваянская	Падимейтовисский	<i>Gr. uberis</i>	Падимейтовисский
			Шейнвуд					Войвывский	<i>S. nordensis</i>	Устьдурнаюский
	Нижняя	Лландоверийский	Телич	Филиппельский	Ельгорская	Сандивейская	Сандивейская	Маршрутинский	<i>F. flabellata</i>	Маршрутинский
			Аэрон					Лолашорский	<i>Pentamerus(?) sh.</i>	Лолашорский
		Верхний	Хирнант	Салюкинский	Салюкинская	Салюкинская	Салюкинская	Ярнейский	<i>V. barrandei</i> <i>Z. duboisi</i>	Ярнейский
			Катийский					Яптикшорские слои	<i>H. giganteus</i> <i>Pr. muesteri</i>	Кырьинский
	Орловик						Яптикшорские слои			

Рис. 6. Корреляция верхнеордовикских и силурийских отложений, разбуренных скважинами, Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции и Севера Урала.

Fig. 6. Correlation of Upper Ordovician and Silurian deposits drilled by wells in the Timan-Pechora oil and gas province and the North of the Urals.

Биостратиграфическая корреляция отдельных интервалов верхнеордовикских и нижнесилурийских отложений руддана, за счет присутствия космополитных таксонов, может быть более широкой, в отличие от отложений мелководного шельфа (телича, верхнего лудфордия и пржидола), которые характеризуют эндемичные таксоны.

Сопоставление седиментологической последовательности и данные по изотопному составу углерода в карбонатах верхнего ордовика показали, что этапы развития Тимано-Североуральского морского палеобассейна в конце ордовика и в раннем силуре совпадают с этапами развития Балтийского бассейнов. Сравнение седиментационной последовательности на рубеже ордовика и силура в разрезе Кожым-108 и в разрезе разновозрастных отложений Балтийского бассейна показывает совпадение выделенных эвстатических рубежей, подтверждая их глобальный характер [7].

Заключение

Полученные результаты свидетельствуют о глобальном характере биотических перестроек на рубежах ордовика и силура, лландовери и венлока, в конце лудлова и в самом начале пржидола, которые прослежены в опорном разрезе верхнего силура на Приполярном Урале. Смена доминантов в комплексах брахиопод, остракод и конодонтов отражает общую реакцию разных иерархий сообществ (плеченогих, конодонтофорид и микробиальных (строматолитообразующих)) на существенные изменения условий обитания на этих рубежах в Тимано-Североуральском морском палеобассейне.

На основе палеонтологических данных и результатов углеродно-изотопного анализа было осуществлено датирование толщ, слагающих пограничный интервал ордовика и силура, и определен рубеж между этими системами. Граница ордовика и силура на западном склоне Приполярного

Урала установлена по контакту яптикнырдской и ярнейской свит и впервые подтверждена палеонтологическими данными. Уровень границы определен в основании слоев с конодонтами *Oulodus? cf. pathani*, *Walliserodus cf. curvatus* и подтвержден результатами С-изотопного хемотратиграфического анализа.

На основе уточнения хроностратиграфической последовательности силурийских региональных стратонев нижнего силура получены доказательства лландоверийского возраста маршрутного и нижней части устьдурнаюского горизонтов, а не венлокского, как указано в региональных схемах Урала и Русской платформы. В венлоке выделено новое стратиграфическое подразделение – войвывский горизонт.

Особенности условий обитания биоты в позднем лудлове – падение уровня моря, широкое развитие строматолитообразующей биоты, сокращение биоразнообразия, а также прекращение силурийского рифообразования и вымирание брахиопод отряда *Pentamerida* – были обусловлены глобальным событием Лау, следы которого сохранились в западноуральском разрезе и в разрезах скважин Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции.

Определение эвстатических маркеров глобальных трансгрессий и регрессий в изученных Североуральских разрезах и многочисленных разрезах скважин на территории Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции, наряду с изменениями структуры палеозоосистем во времени, позволяют уточнить объемы ранее выделенных стратиграфических подразделений и являются важными региональными реперами при корреляционных построениях.

Существующие трудности определения границ крупных стратонев в Тимано-Североуральских разрезах нередко связаны с отсутствием четких литологических маркеров и непрерывной фаунистической охарактеризованности разновозрастных толщ, а также часто наблюдаемой плохой сохранностью ископаемых остатков фауны в широко развитых отложениях мелководных фаций.

Таким образом, на основе анализов всех полученных авторами результатов, опубликованных в последнее десятилетие, предложена обновленная схема корреляции верхнего ордовика и силура Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции и севера Урала.

Авторы выражают благодарность П. Мяннику за совместные полевые работы и обсуждение результатов, Т. Мярсс за определения позвоночных и Л.В. Соколовой за определение коноднтов пограничных отложений лудлова и пржидола. А.В. Журавлеву за ценные советы. И.В. Смолевой, инженеру ЦКП «Геонаука» Института геологии Коми НЦ УрО РАН, за определение изотопного состава углерода в карбонатных породах.

Литература

1. Решения Межведомственного стратиграфического совещания по ордовика и силуру Восточно-Европейской платформы 1984 г. с

- региональными стратиграфическими схемами. Л., 1987. 115 с.
2. Объяснительная записка к стратиграфическим схемам Урала (докембрий, палеозой)/ Сост. Н.Я. Анцыгин. Екатеринбург, 1994. 95 с.
3. Безносова Т.М. Биостратиграфия и брахиоподы силура европейского Северо-Востока России. СПб.: Наука, 1994. 128 с.
4. Безносова Т.М. Сообщества брахиопод и биостратиграфия верхнего ордовика, силура и нижнего девона северо-восточной окраины палеоконтинента Балтия. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 217 с.
5. Безносова Т.М., Мянник П. Граница ордовикской и силурийской систем // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2002. № 10. С. 3–6.
6. Безносова Т.М., Мянник П. Граница лландовери и венлока на севере палеоконтинента Балтия // Докл. АН. 2005. Т. 401, № 5. С. 1–4.
7. Безносова Т.М., Майдль Т.В., Мянник П., Мартма Т. Граница ордовика и силура на западном склоне Приполярного Урала // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2011. Т. 19. № 4. С. 21–39.
8. Жемчугова В.А., Мельников С.В., Данилов В.Н. Нижний палеозой Печорского нефтегазоносного бассейна (строение, условия образования, нефтегазоносность). М.: Изд-во Академии горных наук, 2001. 110 с.
9. Мельников С.В. Конодонты ордовика и силура Тимано-Североуральского региона. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургской картографической фабрики ВСЕГЕИ, 1999. 136 с.
10. Безносова Т.М., Лукин В.Ю., Мянник П. Возраст горизонтов нижнего силура Северо-Востока России // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2016. № 11. С. 10–14.
11. Безносова Т.М., Матеев В.А., Соколова Л.В., Канев Б.И. Региональное проявление глобального лудфордского события (Lau Event) в разрезе западного склона Урала // Геодинамика, вещество, рудоγένез Восточно-Европейской платформы и ее складчатого обрамления: Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2017. С. 19–21.
12. Abushik A.F. Silurian – earliest Devonian ostracode biostratigraphy of the Timan-Northern Ural region // Proc. Estonian Acad. Sci. Geol. 2000. Vol. 49. № 2. P. 112–125.
13. Melnikov S.V., Zhemchugova V.A. Lower Silurian stratigraphy of the Timan-northern Ural region and eustatic fluctuation // Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Geology, 2000. № 49/2. P. 85–104.
14. Постановления Межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий. Санкт-Петербург: Изд-во ВСЕГЕИ, 2013. Вып. 42. 65 с.

15. Дедеев В.А., Юдин В.В., Богацкий В.И., Беляков Л.Н. и др. Тектоническая карта Печорской плиты. Сыктывкар, 1985. 12 с. (Серия препринтов “Научные доклады” / Коми филиал АН СССР; Вып. 142).
16. Webby B.D. Steps towards a global standard for Ordovician stratigraphy // *Newslet. Stratigr.* 1998. Vol. 36. P. 1–33.
17. Gradstein F.M., Ogg J.G., Schmitz M.D., Ogg G.M. The Geologic Time Scale 2012. Elsevier, 2012. Vol. 1. 1144 p.
18. *Постановления Межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий.* Санкт-Петербург: Изд-во ВСЕГЕИ, 2012. Вып. 41. 48 с.
19. Дронов А.В. Новая международная шкала ордовикской системы и региональные шкалы ордовика России. Общая стратиграфическая шкала России: состояние и перспективы обустройства: Материалы Всероссийской конференции. М.: ГИН РАН, 2013. С. 125–126.
20. *Стратиграфический кодекс России.* Издание третье, исправленное и дополненное. СПб.: ВСЕГЕИ, 2019. 96 с
21. Beznosova T.M., Mannk P., Martma T. Ordovician – Silurian boundary in the Subpolar Urals, Russia / Satkunas J., Lazauskiene J. (eds) // *Baltic Stratigraphy—modern methods and problems: Extending Abstracts.* Vilnius, 2002. P. 21–24 (The Fifth Baltic Stratigraphic Conference Viinius, September 22–27).
22. Beznosova T.M., Majdl’ T.V., Männik P. Yartiknyrd Formation – a new stratigraphical unit recognized in the uppermost Ordovician strata in the Subpolar Urals // *The Sixth Baltic Stratigraphical Conference.* S. Petersburg, 2005. P. 17–18.
23. Beznosova T.M., Мянник П., Майдль Т.В. Стратиграфический объем и строение яптикнырдской свиты верхнего ордовика Приполярного Урала // *Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН.* 2006. № 10. С. 11–15.
24. Underwood C.J., Crowley S.F., Marshall J.D., Brenchley P.J. High-resolution carbon isotope stratigraphy of the basal Silurian stratotype (Dob’s Linn, Scotland) and its global correlation // *J. Geol. Soc. London.* 1997. Vol. 154. P. 709–718.
25. Ogg J.G., Ogg G., Gradstein F.M. A Geologic Time Scale. 2008. New York: Cambridge Univ. Press, 2008. 177 p.
26. Мартынов А.В., Мельников С.В. Граница ордовика и силура в разрезах Тимано-Печорской провинции // *Палеонтологический метод в геологии.* М.: ИГиРГИ, 1993. С. 24–26.
27. Мянник П. Конодонты ордовика и силура // *Стратиграфия силура и девона Архипелага Северная Земля / Под. ред Р.Г. Матухина, В.Вл. Меннер.* Новосибирск, 1999. С. 110–120.
28. Beznosova T.M., Лукин В.Ю. Войвывский горизонт – новое стратиграфическое подразделение // *Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: Материалы XV Геологического съезда Республики Коми.* Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2009. Т. II. С. 15–18.
29. Beznosova T.M. Морфологическая адаптация североуральских брахиопод к изменениям среды обитания в позднем ордовике–раннем силуре : Материалы LXIV сессии Палеонтологического общества при РАН. СПб., 2018. С. 16–17.
30. Буко А. Эволюция и темпы вымирания. М.: Мир, 1979. 378 с.
31. Beznosova T.M., Соколова Л.В. Пограничные отложения лландовери и венлока в опорном разрезе силура центральной части гряды Чернышева // *Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН.* 2015. № 12. С. 24–30.
32. Условия осадконакопления и биота на рубеже лландовери и венлока (поднятие Чернова) / Т.М. Beznosova, П. Мянник, Т.В. Майдль, В.Ю. Лукин, В.А. Матвеев // *Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН.* 2014. №3. С. 14–18.
33. Модзалевская Т.Л., Мярсс Т. О возрасте подошвы гребенского горизонта Урала // *Изв. АН Эстонии. Геол.,* 1991. Т. 40. №3. С. 100–103.
34. Модзалевская Т.Л. Среднелудфордское событие в эволюции силурийских брахиопод Европейской провинции // *Стратиграфия. Геологическая корреляция.* 1997. Т. 3. С. 3–9.
35. Антошкина А.И. Проявление лудфордского события Лау (верхний силур) на Северо-Востоке европейской части России // *Стратиграфия. Геологическая корреляция.* 2018. Т. 26. № 6. С. 15–40.
36. Beznosova T.M., Матвеев В.А., Соколова Л.В. Биостратиграфический и событийно-стратиграфический рубеж лудлова и пржидола на западном склоне Приполярного Урала // *Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН.* 2018. № 11. С. 31–37.
37. Матвеев В.А., Канев Б.И. Особенности строения верхнелудловских отложений в опорном разрезе силура на западном склоне Приполярного Урала // *Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН.* 2016. № 8. С. 3–8.
38. Баранов В.В., Блоджетт Р.Б. Корреляция пржидольских отложений (верхний силур) арктических регионов Евразии и Северной Америки // *Отечественная геология.* 2013. № 5. С. 52–57.
39. Баранов В.В. Глобальные события (Lower Pridolian и Klonk) в среднем палеозое северо-востока Евразии и на сопредельных территориях // *Наука и образование.* 2015. № 3 (79). С. 33–37.
40. Опорные разрезы пограничных отложений силура и девона Приполярного Урала / *Сост. В.С. Цыганко, В. А. Черных.* Сыктывкар: Коми филиал АН СССР, 1983. 136 с.
41. Мартынов А.В. Литолого-фациальные критерии прогноза нефтегазоносности ордовикско-нижнедевонских отложений Тимано-Печорской провинции : Автореф. дис. канд. геолого-минералогических наук. Санкт-Петербург, 1998. 27 с.

42. Пучков В.Н. Находки конодонтов в палеозое севера Урала и их стратиграфическое значение // Докл. АН. 1973. Т. 209. №3. С. 668–670.
43. Абушик А. Ф. Позднесилурийские остракоды Вайгача // Стратиграфия и фауна силурийских отложений Вайгача. Л.: НИИГА Мингео СССР, 1970. С. 165–194.
44. Абушик А. Ф. Силурийские и раннедевонские остракоды // Силурийские и раннедевонские отложения острова Долгого. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1980. С. 107–140.
45. Beznosova T.M. Silurian brachiopods in the Timan-Northern Ural region: zonation and palaeoecology // Proc. Estonian Acad. Sci. Geol., 2000. Vol. 4. P. 126–146.
46. Никифорова О.И. Брахиоподы гребенского горизонта Вайгача (поздний силур) // Стратиграфия и фауна силурийских отложений Вайгача. Л., 1970. С. 97–149.
47. Черкесова С.В. Гребенской горизонт силура Вайгача // Стратиграфия и фауна силурийских отложений Вайгача. Л., 1970. С. 4–24. (Тр. Научно-исследовательского института геологии Арктики).
48. Шамсутдинова Л.Л. Характерные комплексы остракод и биостратиграфия гребенского горизонта вала Гамбурцева // Геология и нефтегазоносность Тимано-Печорского бассейна: Сборник научных трудов. Ухта, 2008. С. 119–126.
49. Beznosova T.M., Matveev V.A., Sokolova L.V. Upper Ludlowian-Lower Pridolian stratigraphy, carbon isotope of the Timan-Northern Urals region // Journal of silicate Based and Composite materials. 2019. Vol. 73, № 1. P. 28–31.
50. Нехорошева Л.В., Патрунов Д.К. Гребенской горизонт Вайгачско-Новоземельского региона // Советская геология. 1981. № 4. С. 80–85.
51. Middle Palaeozoic extinction events: faunal and isotopic data / J.A. Talent, R. Mawson, A.S. Andrew, P.J. Hamilton, D.J. Whitford // Palaeoecology, Palaeoclimatology, Palaeogeography. 1993. № 104. P. 139–152.
52. Jeppsson L. Silurian oceanic events. A summary of general characteristics. In: Landing E.; Johnson M.E. (Eds.), Silurian Cycles: Linkages of Dynamic Stratigraphy with Atmospheric, Oceanic and Tectonic Changes, James Hall Centennial Volume New York State Museum Bulletin. 1998. Vol. 491. P. 239–257.
2. Obyasnitelnaya zapiska k stratigraficheskim shemam Urala (dokembrii, paleozoi) [Explanatory note to Ural stratigraphic schemes (Precambrian, Paleozoic)]. Comp. N.Ya. Antsygin. Ekaterinburg, 1994. 95 p.
3. Beznosova T.M. Biostratigrafiya i brachiopody silura evropeiskogo Severo-Vostoka Rossii [Biostratigraphy and Brachiopods of the Silurian of the European northeast of Russia]. St. Petersburg: Nauka, 1994. 128 p.
4. Beznosova T.M. Soobschestva brachiopod i biostratigrafiya verhnego ordovika, silura i nizhnego devona severo-vostochnoi okrainy paleokontinenta Baltiya [Brachiopod communities and biostratigraphy of the Upper Ordovician, Silurian and Lower Devonian of the northeastern margin of Baltica paleocontinent]. Ekaterinburg: 2008. 217 p.
5. Beznosova T.M., Männik P. Granitsa ordovikskoi i siluriiskoi sistem [Boundary of the Ordovician and Silurian systems] // Bull. of Inst. of Geology, Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS. 2002. №10. P. 3–6.
6. Beznosova T.M., Männik P. Granitsa llandovery i wenloka na severe paleokontinenta Baltica [Llandovery-Wenlock boundary in the North of Baltica paleocontinent] // Doklady Earth Sciences. 2005. Vol. 401. №5. P. 1–4.
7. Beznosova T.M., Maidl' T.V., Männik P., Martma T. Granica ordovika i silura na zapadnom sklone Pripoljarnogo Urala [Boundary between the Ordovician and Silurian on the western slope of the Circumpolar Urals] // Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyatsiya [Stratigraphy. Geological correlation]. 2011. Vol. 19. №. 4. P. 21–30.
8. Zhemchugova V.A., Mel'nikov S.V., Danilov V.N. Nizhniy paleozoy Pechorskogo neftegazonosnogo basseyna (stroenie, usloviya obrazovaniya, neftegazonosnost') [Lower Paleozoic of the Pechora oil and gas basin (structure, formation conditions, oil and gas potential)]. Moscow: Academy of Mining Sciences Publ. House, 2001. 110 p.
9. Mel'nikov S.V. Konodonty ordovika i silura TimanoSeveroural'skogo regiona [Conodonts of the Ordovician and Silurian of the Timan-North Urals region]. St.Petersburg: Publ. House of St.Petersburg map factory VSEGEI. 1999. 136 p.
10. Beznosova T.M., Lukin V.Yu., Männik P. O vozraste gorizontov nizhnego silura severo-vostoka Rossii [The age of Lower Silurian horizons of the northeastern Russia] // Bull. of Inst. of Geology, Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS. 2016. №11. P. 10–14.
11. Beznosova T.M., Matveev V.A., Sokolova L.V., Kanev B.I. Regional'noye proyavleniye global'nogo ludford'skogo sobytiya (Lau Event) v razreze zapadnogo sklona Urala [Regional traces of the global Ludfordian Event (Lau Event) from the section of the western slope of the Urals] // Geodinamika, veshchestvo, rudogenez Vostochno-Evropejskoj platformy i ee skladchatogo obramleniya [Geodynamics,

References

1. Resheniya mezhdovedstvennogo stratigraficheskogo soveschaniya po ordoviki i siluru Vostochno-Evropejskoj platformy 1984 g. s regionalnimi stratigraficheskimi shemami [Decisions of the Interdepartmental Stratigraphic Meeting on Ordovician and Silurian of the East European Platform of 1984 with regional stratigraphic schemes]. Leningrad, 1987. 115 p.

- substance, ore genesis of the East European Platform and its folded framing]: Proc. of all-Russia sci. conf. Syktывkar: Inst. of Geology, Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS, 2017. P. 19–21.
12. *Abushik A.F.* Silurian – earliest Devonian ostracode biostratigraphy of the Timan-Northern Ural region // Proc. Estonian Acad. Sci. Geol. 2000. Vol. 49. № 2. P. 112–125.
 13. *Melnikov S.V., Zhemchugova V.A.* Lower Silurian stratigraphy of the Timan-North Urals region and eustatic fluctuation // Proc. of the Estonian Academy of Sciences. Geology, 2000. № 49/2. P. 85–104.
 14. *Postanovleniya Mezhdunarodnogo stratigraficheskogo komiteta i yego postoyannykh komissiy* [Resolutions of the Interdepartmental Stratigraphic Committee and its standing commissions]. St. Petersburg: Russian Geol. Res. Inst., 2013. Issue 42. 65 p.
 15. *Dedeev V.A., Yudin V.V., Bogatsky V.I., Belyakov L.N.* et al. Tektonicheskaya karta Pechorskoj plity [Tectonic map of the Pechora plate]. Syktывkar, 1985. 12 p. (Series of preprints “Sci. reports”/ Komi Branch, USSR Ac. Sci.; Issue 142).
 16. *Webby B.D.* Steps towards a global standard for Ordovician stratigraphy // Newslet. Stratigr. 1998. Vol. 36. P. 1–33.
 17. *Gradstein F.M., Ogg J.G., Schmitz M.D., Ogg G.M.* The Geologic Time Scale 2012. Elsevier, 2012. Vol. 1. 1144 p.
 18. *Postanovleniya Mezhdunarodnogo stratigraficheskogo komiteta i yego postoyannykh komissiy* [Resolutions of the Interdepartmental Stratigraphic Committee and its standing commissions]. St. Petersburg: Russian Geol. Res. Inst., 2012. Issue 41. 48 p.
 19. *Dronov A.V.* Novaya mezhdunarodnaya shkala ordovikskoj sistemy i regional'nye shkaly ordovika Rossii [New international geologic time scale for the Ordovician system and its relation to the regional scales for the Ordovician of Russia]. Obshchaya stratigraficheskaya shkala Rossii: sostoyanie i perspektivy obustroistva. Mat-ly Vseros. konf. [General stratigraphic scale of Russia: state and prospects of development]: Materials of the All-Russian Conf. Moscow: Geological Inst., RAS. 2013. P. 125–126.
 20. *Stratigraficheskij kodeks Rossii* [Stratigraphic code of Russia]. 3rd edition, revised and updated. St. Petersburg: Russian Geol. Res. Inst., 2019. 96 p.
 21. *Beznosova T.M., Männik P., Martma T.* Ordovician – Silurian boundary in the Subpolar Urals, Russia // Satkunas J, Lazauskiene J. (eds). Baltic Stratigraphy–modern methods and problems: Extending Abstracts. Vilnius, 2002. P. 21–24 (The Fifth Baltic Stratigraphic Conference Vilnius, September 22–27).
 22. *Beznosova T.M., Maidl' T.V., Männik P.* Yaptiknyrd Formation – a new stratigraphical unit recognized in the uppermost Ordovician strata in the Subpolar Urals // The Sixth Baltic Stratigraphical Conference. St. Petersburg, 2005. P. 17–18.
 23. *Beznosova T.M., Männik P., Maidl' T.V.* Stratigraficheskij ob'yem i stroenie Yaptiknyrdskoj svity verhnego ordovika Pripoljarnogo Urala [Stratigraphical volume and composition of the Yaptiknyrd Suite of the Upper Ordovician of the Subpolar Urals] // Bull. of Inst. of Geology, Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS. 2006. №10. P. 11–15.
 24. *Underwood C.J., Crowley S.F., Marshall J.D., Brenchley P.J.* High-resolution carbon isotope stratigraphy of the basal Silurian stratotype (Dob's Linn, Scotland) and its global correlation // J. Geol. Soc. London. 1997. Vol. 154. P. 709–718.
 25. *Ogg J.G., Ogg G., Gradstein F.M.* A Geologic Time Scale. 2008. New York: Cambridge Univ. Press, 2008. 177 p.
 26. *Martynov A.V., Mel'nikov S.V.* Granitsa ordovika i silura v razrezakh Timano-Pechorskoy provintsii [Boundary between the Ordovician and Silurian in the sections of the Timan-Pechora province] // Paleontological method in Geology. Moscow: Inst. of Geology of fossil fuels development. 1993. P. 24–26.
 27. *Männik P.* Konodonty ordovika i silura [Ordovician and Silurian conodonts] // Stratigrafiya silura i devona arhipelaga Severnaya Zemlya [Silurian and Devonian stratigraphy of the Severnaya Zemlya archipelago] / Ed. R.G. Matukhin, V.V. Menner. Novosibirsk, 1999. P. 110–120.
 28. *Beznosova T.M., Lukin V.Yu.* Voyvyvskiy gorizont – novoe stratigraficheskoe podrazdelenie [The Voyvyv horizon – a new stratigraphic unit] // Geologiya i mineral'nye resursy Evropejskogo Severo-Vostoka Rossii [Geology and mineral resources of the European North-East of Russia]: Materials of XV Geol. Congress of the Komi Republic. Syktывkar: Inst. of Geology, Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS, 2009. Vol. II. P. 15–18.
 29. *Beznosova T.M.* Morfologicheskaya adaptacija severoural'skih brahiopod k izmenenijam sredy obitanija v pozdnem ordovike–rannem silure [Morphological adaptation of the North Ural brachiopods to habitat changes in the Late Ordovician – Early Silurian]: Materials of LXIV session of the Paleontological Society, RAS. St. Petersburg, 2018. P. 16–17.
 30. *Boucot A.* Evolyutsiya i tempy vymiraniya [Evolution and the rate of extinction]. Moscow: Mir. 1979. 378 p.
 31. *Beznosova T.M., Sokolova L.V.* Pogranichnye otlozheniya llandovery i wenloka v opornom razreze silura tcentral'noj chaste gryady Chernysheva [Llandovery–Wenlock boundary deposits in the Silurian key section of the central part of the Chernyshev Ridge] // Bull. of

- Inst. of Geology, Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS, 2015. №12. P. 24–30.
32. Usloviya osadkonakopleniya i biota na rubezhe llandoverti i venloka (podnyatie Chernova) [Sedimentation conditions and biota at Llandoveryan-Wenlockian boundary (Chernov swell)] / *T.M. Beznosova, P. Männik, T.V. Maidl', V.Yu.Lukin, V.A.Matveev* // Bull. of Inst. of Geology, Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS. 2014. №. 3. P. 14–17.
 33. *Modzalevskaya T.L., Myarss T.* O vozraste podshvy grebenskogo gorizonta Urala [On the age of the lower bound of the Greiben horizon of the Urals] // Proc. of the Estonian Ac. Sci. Geology, 1991. Vol. 40. №3. P. 100–103.
 34. *Modzalevskaya T.L.* Sredneludfordskoye sobytiye v evolyutsii siluriyskikh brachiopod Yevropeyskoy provincii [The middle Ludfordian event in the evolution of Silurian brachiopods of the European province] // Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyatsiya [Stratigraphy. Geological correlation]. 1997. Vol. 3. P. 3–9.
 35. *Antoshkina A.I.* Proyavleniye ludfordskogo sobytiya Lau (verkhniy silur) na Severo-Vostokeyevropeyskoy chasti Rossii [The Ludfordian Lau Event (Upper Silurian) in the Northeastern Regions of European Russia] // Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyatsiya [Stratigraphy. Geological correlation]. 2018. Vol. 26. No. 6. P. 15–40.
 36. *Beznosova T.M., Matveev V.A., Sokolova L.V.* Biostratigraficheskiy i sobytiyno-stratigraficheskiy rubezh ludlova i przhidola na zapadnom sklone Pripolyarnogo Urala [Biostratigraphical and event-stratigraphical boundary of the Ludlow and Pridoli on the western slope of Subpolar Urals] // Bull. of Inst. of Geology, Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS. 2018. №. 11. P. 31–37.
 37. *Matveev V.A., Kanev B.I.* Osobennosti stroyeniya verkhneludlovskikh otlozheniy v opornom razreze silura na zapadnom sklone Pripolyarnogo Urala [Features of the Upper Ludlow deposits in the Silurian key section on the western slope of the Subpolar Urals] // Bull. of Inst. of Geology, Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS. 2016. №. 8. P. 3–8.
 38. *Baranov V.V., Blodgett R.B.* Korrelyatsiya przhidol'skikh otlozheniy (verkhniy silur) arkticheskikh regionov Yevrazii i Severnoy Ameriki [Correlation of the Pridolian deposits (Upper Silurian) of the Arctic regions of Eurasia and North America] // Otechestvennaya geologiya. 2013. №. 5. P. 52–57.
 39. *Baranov V.V.* Global'nyye sobytiya (Nizhniy Pridol'skiy i Klontk) v srednem paleozoye severo-vostokeyevropeyskoy chasti Rossii i na sopredel'nykh territoriyakh [Global events (Lower Pridolian and Klontk) in the Middle Paleozoic in the northeast of Eurasia and in adjacent territories] // Nauka i obrazovaniye [Science and education]. 2015. №. 3 (79). P. 33–37.
 40. *Opornye razrezy pogranichnykh otlozheniy silura i devona Pripolyarnogo Urala* [Key sections of the Silurian/Devonian boundary deposits of Subpolar Urals] / Comp. V.S. Tsyganko, V.A. Chermnykh. Syktывkar: Komi Branch, USSR Ac. Sci., 1983. 136 p.
 41. *Martynov A.V.* Litologo-fatsial'nyye kriterii prognoza neftegazonosnosti ordoviksko-nizhnedevonskikh otlozheniy Timano-Pechorskoy provintsii [Lithofacial criteria for oil and gas potential forecast of the Ordovician-Lower Devonian deposits of the Timan-Pechora province]: Abstract of diss... Cand. Sci. (Geol.&Miner.). St. Petersburg, 1993. 29 p.
 42. *Puchkov V.N.* Nahodki konodontov v paleozoye severa Urala i ih stratigraficheskoye znachenie [Finds of conodonts in the Paleozoic of the north of the Urals and their stratigraphic significance] // Doklady Earth Sciences. 1973. Vol. 209. №3. P. 668–670.
 43. *Abushik A.F.* Pozdnesilurijskie ostrakody Vajgacha [Late Silurian ostracods of Vaigach] // Stratigrafiya i fauna siluriyskikh otlozheniy Vajgacha [Stratigraphy and fauna from the Silurian deposits of Vaigach]. Leningrad: Research Institute of Arctic Geology, 1970. P. 165–194.
 44. *Abushik A.F.* Silurijskie i rannedevonskie ostrakody [Silurian and Devonian ostracodes] // Silurijskie i rannedevonskie otlozheniya ostrova Dolgogo [Silurian and Early Devonian deposits of Dolgy island]. Sverdlovsk: Ural Sci. Centre, USSR Ac. Sci., 1980. P. 107–140.
 45. *Beznosova T.M.* Silurian brachiopods in the Timan-Northern Ural region: zonation and palaeoecology // Proc. Estonian Acad. Sci. Geol., 2000. Vol. 4. P. 126–146.
 46. *Nikiforova O.I.* Brachiopody grebenskogo gorizonta Vaygacha (pozdniy silur) // Stratigrafiya i fauna siluriyskikh otlozheniy Vaygacha [Brachiopods of Greiben horizon of Vaigach (Late Silurian)] // Stratigraphy and fauna of Silurian deposits of Vaigach. Leningrad, 1970. P. 97–149.
 47. *Cherkesova S.V.* Grebenskoj gorizont silura Vajgacha [Silurian Greiben horizon of Vaigach] // Stratigraphy and fauna of Silurian deposits of Vaigach. Leningrad, 1970. P. 4–24. (Proc. of Research Institute of Arctic Geology).
 48. *Shamsutdinova L.L.* Harakternyye komplekсы ostrakod i biostratigrafiya grebenskogo gorizonta vala Gamburceva [Characteristic ostracods complexes and biostratigraphy of the Greiben horizon of the Gamburtsev swell] // Geologiya i neftegazonosnost' Timano-Pechorskogo bassejna [Geology and oil and gas potential of the Timan-Pechora basin]: Collection of sci. papers. Ukhta, 2008. P. 119–126.
 49. *Beznosova T.M., Matveev V.A., Sokolova L.V.* Upper Ludlowian-Lower Pridolian stratigraphy, carbon isotope of the Timan-North Urals

- region // *J. of Silicate Based and Composite materials*. 2019. Vol. 73, № 1. P. 28–31.
50. *Nekhorosheva L.V., Patrunov D.K.* Grebenskoy gorizont Vaygachsko-Novozemel'skogo regiona [Greiben horizon of the Vaigach-Novaya Zemlya region] // *Soviet Geology*. 1981. №.4. P. 80–85.
51. Middle Palaeozoic extinction events: faunal and isotopic data / *Talent J.A., Mawson R., Andrew A.S., Hamilton P.J., Whitford D.J.* // *Palaeoecology, Palaeoclimatology, Palaeogeography*. 1993. № 104. P. 139–152.
52. *Jeppsson L.* Silurian oceanic events. A summary of general characteristics. In: Landing E.; Johnson, M.E. (Eds.), *Silurian Cycles: Linkages of Dynamic Stratigraphy with Atmospheric, Oceanic and Tectonic Changes*, James Hall Centennial Volume New York State Museum Bulletin. 1998. Vol. 491. P. 239–257.

Статья поступила в редакцию 16.12.2020

УДК 551.762: 561.2: 563.1
DOI 10.19110/1994-5655-2020-6-90-95

С.В. ЛЬЮРОВ, Л.А. СЕЛКОВА

**РАЗРЕЗ ЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ
«ЛОЙНО»
(ВЯТСКО-КАМСКАЯ КОТЛОВИНА)**

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

*LSV@geo.komisc.ru,
selkova@geo.komisc.ru*

S.V.LYUROV, L.A.SELKOVA

**SECTION OF THE “LOINO” JURASSIC
DEPOSITS (VYATKA-KAMA BASIN)**

*N.P.Yushkin Institute of Geology, Federal
Research Centre Komi Science Centre,
Ural Branch, RAS,
Syktuykar*

Аннотация

Изучено стратиграфическое положение юрских отложений естественного разреза «Лойно» (Кировская область, РФ). По составу фораминифер, спор и пыльцы установлены отложения волжского яруса верхней и средней юры (нижний келловей–бат?). Результаты по микрофитофоссилиям получены впервые. По волжским фораминиферам отмечены новые палеотемпературные данные ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$).

Ключевые слова:

юрские отложения «Лойно», волжские фораминиферы, микрофитофоссилии, палеотемпературы

Abstract

The stratigraphic position of the Jurassic deposits of the “Loino” natural section (Kirov region of the Russian Federation) was studied. According to the composition of foraminifera, spores and pollen, deposits of the Volgian stage of the Upper and Middle Jurassic (Lower Callovian - Bathonian?) are established. Results on microphytofossils were obtained for the first time. New paleotemperature data ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) were obtained for the Volgian Foraminifera.

Keywords:

Loino Jurassic deposits, Volgian foraminifera, spores, pollen, microphytofossils, paleotemperatures

Введение

В разрезе «Лойно» толща юрских отложений мощностью около 7 м вскрывается в крутом обрыве левого берега р. Камы на юго-восточной окраине пос. Лойно (Верхнекамский район Кировской области). Протяженность естественного разреза не менее 200 м.

Основная проблема, с которой сталкиваешься при изучении естественного разреза «Лойно», связана с его относительной труднодоступностью (расстояние от г.Киров около 240 км по автомобильной дороге) и с тем, что породы в нем неравномерно охарактеризованы органическими остатками. В верхней части присутствует макро- и микрофауна. Споры, пыльца и микроводоросли представлены по всему разрезу. Только по ним определен возраст его нижней части. Изучение палеотемператур по раковинам фораминифер способствует установлению условий образования юрских морских терригенных отложений.

Результаты и обсуждение

Сланценосная толща, широко распространенная в верхнеюрских отложениях на севере Русской плиты, в этом районе отсутствует, фациально замещаясь тонкоотмученными карбонатными глинами, с маломощными прослоями мергеля. Глины иногда обогащены гранулометрически более грубым

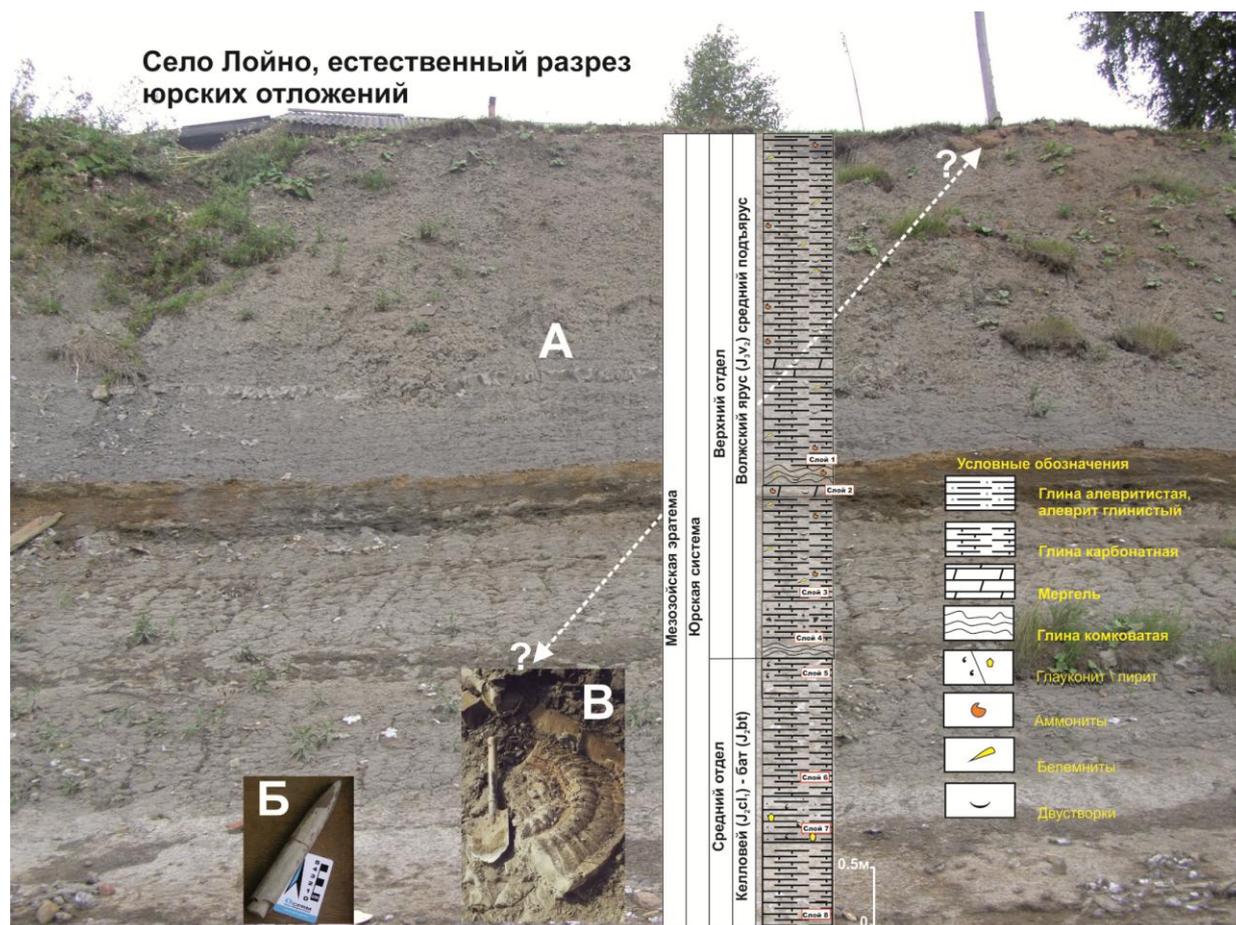


Рис. Геологический разрез отложений «Лойно» (Составил С.В. Лыуров). А – естественный разрез юрских отложений «Лойно»; Б – белемнит *Cylindroteutis* sp. с бечевника; В – аммонит с бечевника. *Dorsoplanites* aff. *primus* Callomon et Birkelund (определение М.А. Рогова (ГИН РАН) по представленному изображению)).

Fig. Geological profile of the sediments "Loino" (Compiled by S.V. Lyyurov). А – natural section of Jurassic sediments "Loino"; Б – Belemnite *Cylindroteutis* sp. from the shoreline; В – Ammonite from the shoreline. *Dorsoplanites* aff. *primus* Callomon et Birkelund (definition by M. Rogov (GIN RAS) from the presented image)).

осадочным материалом [1–4]. Отложения нижней части разреза песчано-глинистые и глинисто-алевритовые. На берегу многочисленны ростры и обломки белемнитов, изредка встречаются фрагменты аммонитов (рисунок А, Б, В).

По фораминиферам верхняя часть разреза (слои 1–5) соответствует отложениям средневожского подъяруса (лоны *Lenticulina ponderosa* – *Marginulina formosa* в верхней части и *Lenticulina infravolgaensis* – *Saracenaria pravoslavlevi* Pol. в средних слоях).

В песчано-глинистых и глинисто-алевритовых разностях отмечаются довольно многочисленные уровни с мелкими (первые см) диагенетическими пиритовыми стяжениями. Вблизи основания разреза, в наиболее грубозернистой его части, наблюдается несколько горизонтов так называемого «твердого дна» в виде непрерывных плотных ржавато-бурых плит мощностью 0.05–0.12 м, ограниченных сверху и снизу неровными бугристыми поверхностями, залегающими друг на друге с интервалом первые десятки сантиметров. Плиты сложены крепкими, сильно ожелезненными карбонатными песчаниками, пронизанными многочисленными крупными пиритизированными ходами илюедов (диаметр поперечного сечения ходов – 1–1.5 см).

Эта часть естественного разреза (слои 6–8) не охарактеризована микрофауной и по результатам спорово-пыльцевого анализа сопоставима с нижним келловеем (J_2cl_1) – батом (J_2bt ?). Вверху этой части разреза, среди более тонкоотмученных темных разностей глин отчетливо выделяется слой 8 более темной окраски, обогащенный ОВ (C_{org} до 2.5 %), с заметно повышенным содержанием тонкого и мелкого раковинного детрита. Подошва слоя (около 0.1 м) обогащена обломками белемнитовых ростров и скоплениями битой ракушки.

Естественный разрез «Лойно» (левый берег р.Камы)

(Описание обнажения сверху вниз):

Слой 1. Глина серая карбонатная плотная массивная, очень слабо пластичная с органическими остатками тонкостенных раковин двустворок, некрупных гастропод, мелких белемнитов и ювенильных форм аммонитов. Из фораминифер в указанном слое нами определены: *Haplophragmoides* aff. *volgensis* Mjatl., *Astacolus* aff. *loinoensis* Dain, *Astacolus* aff. *media* (Furs. et Pol.), *Bojarkella firma* Bass., *Bullopore* sp., *Citharina raricostata* (Furs. et Pol.), *C. heteroplevra* (Terq.), *Dentalina* sp., *Eoguttulina*

pseudocruciata Dain, *E. bifida* Dain, *Geinitzinita nodulosa* (Furs. et Pol.), *G. praelamellata* Jakovl., *Lenticulina ponderosa* Mjatl., *L. hyalina* Mjatl., *L. kovalevskii* K.Kuzn., *L. aff. kovalevskii* K.Kuzn., *L. aff. uralica* (Mjatl.), *L. cf. translucens* Dain, *L. spp.*, *Marginulina formosa* Mjatl., *M. stiatocostata* Reuss, *Marginulinita kasakhstanica* (Kasanz.), *M. zojae* Dain et K.Kuzn., *Nodosaria osinkiensis* Mjatl., *N. fontinensis* Terq., *Planularia aff. poljenovae* K.Kuzn., *P. poljenovae* K.Kuzn., *P. aff. multicosata* K.Kuzn., *Saracenaria pravoslavlevi* Furs. et Pol., *S. alfa* K.Kuzn., *Sigmolina subpanda* (Lloyd), *Tristix temirica* Dain, *T. suprajurassica* (Paalz.), *T. fursenkoi* Kapt.

Среди многочисленных водорослей много *Sirmiodinium grossii* Alb., *Chlamidophorella* sp. Присутствуют *Cribroperidinium* sp., *C. globatum* (Gitmez et Sar.) Hel., *C. longicorne* (Down.) Lent. et Will., *Rhynchodiniopsis* sp., *Ctenidodinium continium* Gocht, *Leptodinium subtile* Klem., *Dingodinium* sp., *Tubotuberella rhombiformis* Vozz., *Pareodinia ceratophora* Defl., *Chytroeisphaeridia hyaline* (Raiyn.), *Chytroeisphaeridia* sp., *Cleistosphaeridium* sp., *Prolyxosphaeridium* sp. *Pterospermella* sp., *Palambages* sp. Много смятых, разорванных форм. Споры и пыльца встречаются единично – *Stereisporites congregatus* (Bolch.), *Lycopodiumsporites subrotundum* (K.-M.), *Gleicheniidites laetus* (Bolch.), *G. umbonatus* (Bolch.), *Piceapollenites exilioides* (Bolch.), *P. variabiliformis* (Mal.) Petr., *Classopollis classoides* Pflug, *C. minor* Пос. В спектрах присутствует большое количество *Microforaminifera* sp. Видимая мощность слоя около 3.0 м.

Слой 2. Мергель серый плотный крепкий «мусорный» (из-за рассеянного раковинного детрита). Из фауны – мелкие тонкостенные двусторонки.

Из водорослей часто встречаются *Sirmiodinium grossii* Alb., обнаружены *Gonyaulacysta* sp., *Cribroperidinium* sp., *Pareodinia ceratophora* Defl., *P. halosa* (Fill.) Prauss, *Leptodinium subtile* Klem., *Paragonyalacysta* sp., *Dingodinium* sp., *Chytroeisphaeridia* sp., *C. hyalina* (Raiyn.) Lent. et Will., *Chlamidophorella* sp., *Cleistosphaeridium* sp., *Prolyxosphaeridium* sp., *Micrhystridium* sp., *Olygosphaeridium* sp. Из миоспор единичные *Cyathidites australis* Coup., *Gleicheniidites senonicus* (Ross.), *Piceapollenites exilioides* (Bolch.), *Podocarpidites major* (Naum.), *Sciadopityspollenites mesozoicus* Coup. Встречаются *Microforaminifera* sp. Мощность слоя 0.1 м.

Слой 3. Глина карбонатная серая плотная с рассеянным раковинным детритом, раковинами двусторок, рострами белемнитов, мелкими аммонитами. Из фораминифер определены: *Citharina raricostata* (Furs. et Pol.), *C. heteroplevra* (Terq.), *Eoguttulina* sp., *Geinitzinita nodulosa* (Furs. et Pol.), *Lenticulina ponderosa* Mjatl., *L. kovalevskii* K.Kuzn., *L. ex gr. infravolgaensis* (Furs. et Pol.), *L. aff. uralica* (Mjatl.), *L. aff. translucens* Dain, *L. hyalina* Mjatl., *Marginulina formosa* Mjatl., *M. stiatocostata* Reuss, *M. nupera* K.Kuzn., *Marginulinita kasakhstanica* (Kasanz.), *Nodosaria osinkiensis* Mjatl., *Saracenaria pravoslavlevi* Furs. et Pol., *S. alfa* K.Kuzn., *S. multicosata* Furs. et Pol., *Planularia* sp., *Tristix suprajurassica* (Paalz.).

В мацерации единичные зерна миоспор *Gleicheniidites laetus* (Bolch.), *Neirastrickia rotundi-*

formis (K.-M.), *Piceapollenites exilioides* (Bolch.), *Classopollis classoides* Pflug, *Callialasporites dampieri* Balme. Из диноцист часто встречаются *Sirmiodinium grossii* Alb., *Chytroeisphaeridia* sp., *C. hyalina* (Raiyn.) Lent. et Will., *Chlamidophorella* sp., В незначительных количествах обнаружены *Gonyaulacysta jurassica* (Defl.) Nor. et Sar., *Cribroperidinium* sp., *Ctenidodinium continium* Gocht, *Tubotuberella rhombiformis* Vozz., *Pareodinia ceratophora* Defl., *Lithodinia* sp., *Leptodinium subtile* Klem., *Paragonyalacysta* sp., *Dingodinium* sp., *Cleistosphaeridium* sp., из акритарх и празиофит отмечены *Micrhystridium* sp., *Tasmanites* sp. Во всех спектрах присутствует большое количество *Microforaminifera* sp. Мощность слоя 1.1 м.

Слой 4. Глина серая песчанистая слюдястая карбонатная без фауны с гнездами мелкого серого кварцевого песка. Из фораминифер определены: *Ammodisus aff. giganteus* Mjatl., *Lagena hispida* Reuss.

Небольшое количество миоспор *Gleicheniidites laetus* (Bolch.), *Cyathidites minor* Coup., *Lycopodiumsporites subrotundum* (K.-M.), *Osmundacidites jurassicus* (K.-M.), *Classopollis classoides* Pflug, *C. minor* Пос., *Piceapollenites exilioides* (Bolch.), *Podocarpidites major* (Naum.), *P. multesimus* (Bolch.), *Ginkgocycadophytus* sp. Водоросли с многочисленными *Sirmiodinium grossii* Alb., редкими *Gonyaulacysta jurassica* (Defl.) Nor. et Sar., *Dingodinium* sp., *Ctenidodinium continium* Gocht, *Cribroperidinium* sp., *Pareodinia ceratophora* Defl., *Cleistosphaeridium* sp., *Prolyxosphaeridium* sp., *Chytroeisphaeridia* sp., *C. hyalina* (Raiyn.) Lent. et Will., *Chlamidophorella* sp., *Olygosphaeridium* sp. Встречаются *Microforaminifera* sp. Мощность слоя 0.35 м.

Слой 5. Глина карбонатная серая, довольно пластичная с тонкими присыпками глауконита. Из фораминифер определены: *Ammodisus aff. giganteus* Mjatl., *Eoguttulina bifida* Dain, *Geinitzinita nodulosa* (Furs. et Pol.), *Lenticulina aff. undorica* Dain, *Marginulina aff. exilis* (Reuss), *Nodosaria tubifera* Reuss, *Pseudonodosaria* sp.

Много обрывков воздушных мешков, растительных тканей. Присутствуют миоспоры *Leiotriletes karatauensis* Timosh., *Cyathidites australis* Coup., *C. minor* Coup., *C. triangularis* Rom., *Microlepites crasinirimosus* Timosh., *Osmundacidites jurassicus* (K.-M.). В небольших количествах встречаются споры папоротников *Duplexisporites anagrammensis* (K.-M.), *Camptotriletes cerebriformis* Naum., *Klukisporites variegatus* (Coup.) Vinogr. Немногочисленны споры мхов *Stereisporites pseudoalveolatus* (Ross) Pflug, плаунов *Lycopodiumsporites subrotundum* (K.-M.), *Neirastrickia rotundiformis* K.-M. Единичны споры глейхениевых папоротников *Gleicheniidites laetus* (Bolch.), *G. senonicus* Ross, *G. umbonatus* (Bolch.). Среди пыльцы доминирует двухмешковая пыльца, среди которой *Piceapollenites exilioides* (Bolch.), *P. magnificus* (Bolch.), *P. mesophyticus* (Пocr.), *P. singularae* (Bolch.) *P. variabiliformis* (Mal.) Petr., *Podocarpidites major* (Naum.), *P. multesimus* (Bolch.), значительно количество *Sciadopityspollenites mesozoicus* Coup., единичны *Classopollis classoides* Pflug, *C. minor* Пос., *Perinopollenites elatoides* Coup. Водоросли малочис-

ленны – *Sirmiodinium grossii* Alb., *Chytroeisphaeridia* sp., *C. hyalina* (Raiyn.) Lent. et Will., *Nannoceratopsis deflandrei* Evitt. Мощность слоя 0.35 м.

Слой 6. Глина карбонатная серая плотная тонкоотмученная слоистая. Микрофауны нет.

Соотношение спор и пыльцы почти равное. В споровой части многочисленны *Leiotriletes*, *Cyathidites*, *Osmundacidites jurassicus* (К.-М.), в небольших количествах встречаются *Duplexisporites anagrammensis* (К.-М.), *Camptotriletes cerebriformis* Naum., *Klukisporites variegatus* (Coup.), *Sestroisporites pseudoalveolatus* (Coup.) Vinogr. Споры мхов *Stereisporites*, плауновых *Lycopodiumsporites subrotundum* (К.-М.), *Neiraistrickia rotundiformis* (К.-М.) немногочисленны. Единичны *Gleicheniidites laetus* (Bolch.), *G. senonicus* Ross, *G. umbonatus* (Bolch.). Среди пыльцы доминирует двухмешковая пыльца *Piceapollenites exilioides* (Bolch.), *P. magnificus* (Bolch.), *P. mesophyticus* (Почр.), *P. singularae* (Bolch.), *P. variabiliformis* (Mal.) Petr., *Podocarpidites major* (Naum.), *P. multesimus* (Bolch.), значительно количество *Sciadopityspollenites mesozoicus* Coup, единичны *Classopollis classoides* Pflug, *C. minor* Рос., *Perinopollenites elatoides* Coup. Из водорослей встречены *Nannoceratopsis deflandrei* Evitt., *Pareodinia ceratophora* Defl., *Tubotuberella rhombiformis* Vozz., *Chlamidophorella* sp., *Chytroeisphaeridia* sp. Мощность слоя 1.0 м.

Слой 7. Глина алевритистая, переходящая в глинистый алеврит, серая с едва различимым грязновато-зеленым оттенком, карбонатная с мельчайшими частицами слюды и тонкими присыпками глауконита, стяжениями пирита неправильной формы. Редкие фрагменты остатков раковин двустворок, аммонитов и белемнитов. Микрофауны нет.

Среди спор обнаружены *Stereisporites* sp., *Cyathidites australis* Coup., *C. minor* Coup., *Gleicheniidites laetus* (Bolch.), *G. senonicus* Ross, *Sestroisporites pseudoalveolatus* (Coup.) Vinogr., *Osmundacidites jurassicus* (К.-М.), *Lycopodiumsporites subrotundum* (К.-М.), *Klukisporites variegatus* (Coup.). Среди пыльцы чаще встречаются *Piceapollenites exilioides* (Bolch.), *P. magnificus* (Bolch.), *Pinuspollenites divulgatus* (Bolch.), *P. pernobilis* (Bolch.), *Podocarpidites major* (Naum.), *P. unicus* (Bolch.), многочисленны *Sciadopityspollenites mesozoicus* Coup. Единично присутствуют *Ginkgocycadophytus* sp., *Qudraeculina limbata* Mal., *Classopollis classoides* Pflug, *C. minor* Рос., среди диноцист единичны *Tubotuberella rhombiformis* Vozz., *Chytroeisphaeridia* sp., *Leiofusa* sp. Мощность слоя 0.4 м.

Слой 8. Глина серая карбонатная, тонкоотмученная без раковинного детрита растресканная пластичная неслоистая. Из микрофауны – немногочисленные *Ostracoda*.

Микрофитофоссилии присутствуют в небольших количествах. Отмечается их плохая сохранность. Среди миоспор часты двухмешковые зерна *Podocarpidites*, *Pinuspollenites*, *Piceapollenites*, значительно количество *Classopollis classoides* Pflug, *C. minor* Рос., *Sciadopityspollenites mesozoicus* Coup. В споровой части обнаружены споры папоротникообразных *Leiotriletes* sp., *L. karatauensis* Timosh., *Cyathidites australis* Coup., *C. minor* Coup., *Gleicheni-*

idites laetus (Bolch.), *G. senonicus* Ross, *G. umbonatus* (Bolch.), *Microlepidites crassirimosus* Timosh., *Duplexisporites anagrammensis* (К.-М.), *Camptotriletes cerebriformis* (Naum.), *Klukisporites variegatus* (Coup.), *Ornamentifera echinata* (Bolch.), *Sestroisporites pseudoalveolatus* (Coup.) Vinogr. Споры мхов *Stereisporites congregatus* (Bolch.), плауновых *Lycopodiumsporites subrotundum* (К.-М.), *Neiraistrickia rotundiformis* (К.-М.). Из диноцист присутствуют единичные *Nannoceratopsis deflandrei* Evitt., *Nannoceratopsis* sp., *Dichadogonyaulax sellwoodii* (Sarj.) Down. et Sarj., *Rhynchodiniopsis cladophora* (Defl.), *Fromea tornatilis* (Drugg), *Chytroeisphaeridia* sp., *C. hyalina* (Raiyn.) Lent. et Will., *Sirmiodinium grossii* Alb., а также празиофиты и акритархи *Tasmanites* sp., *Micrhistridium* sp., *Leiofusa* sp., *Palambages* sp. Видимая мощность 0.8 м.

Результаты исследования палеотемператур

Представлены палеотемпературные данные (по результатам изотопии ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$)) для фораминифер семейства лагенид (фото 1–3).

Образцы из слоя 1, см. рисунок, из естественного разреза «Лойно»

В итоге средние палеотемпературы (в юрском морском бассейне, располагавшемся на территории естественного разреза «Лойно») для отложений волжского яруса составили около 17.8 °С, что несколько ниже результатов, полученных ранее для сопредельных регионов [2]. Вероятно, это вызвано тем обстоятельством, что субмеридиональное морское течение, направляясь из Тетической области в северном направлении вдоль западного борта Палеоуральского водораздела, постепенно охлаждалось. Бореальным палеотечениям существенным препятствием на пути миграции палеофаун служил Палеотиманский водораздел.

Заключение

Отложения волжского яруса, установленные по фораминиферам, подтверждаются и ранее известными результатами [2–4]. Систематический состав спектров из нижней части разреза (слои 6–8) схож с составом палинокомплекса с *Sestroisporites pseudoalveolatus*, *Sciadopityspollenites macroverrucosus* из отложений Восточно-Европейской платформы в интервале средней бат-низы келловея, выделенным в работах [6–7], а также близок к составу комплекса миоспор и диноцист батского возраста, установленного в темно-серых глинах на р. Ижма, возраст которого подтвержден фауной [8]. Первое появление таких диноцист, как *Fromea tornatilis*, *Sirmiodinium grossii* на территории Восточно-Европейской платформы, наблюдается только в верхней части нижнего бата, а *Chytroeisphaeridia hyalina* – в среднем бате [7]. Все это позволило предположить стратиграфический диапазон нижней части разреза от верхов нижнего бата (?) до нижней части нижнего келловея. Этот вывод согласуется и с предположениями Л. Г. Дайн и С. Г. Дубековского о залегании под волжскими отложениями пород батского яруса [1].

Палиноспектры верхней части разреза имеют общие черты со спектрами из отложений волжско-

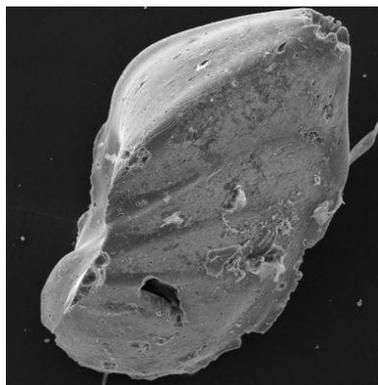


Фото 1. *Saracenaria pravoslavlevi* (Furs. et Pol.).
Photo 1. *Saracenaria pravoslavlevi* (Furs. et Pol.).

Образец	$\delta^{13}C, \text{‰}$	$\delta^{18}O, \text{‰}$	T°C (по Anderson) *
1	0.0	-1.1	16.5

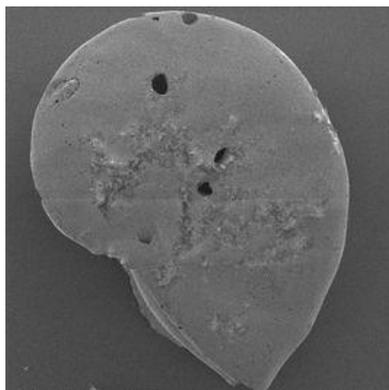


Фото 2. *Lenticulina infravolgaensis* (Furs. et Pol.).
Photo 2. *Lenticulina infravolgaensis* (Furs. et Pol.).

Образец	$\delta^{13}C, \text{‰}$	$\delta^{18}O, \text{‰}$	T°C *
2	-0.3	-3.3	17.4
3	-1.9	-3.6	18.6

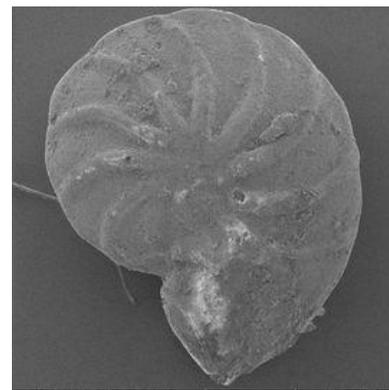


Фото 3. *Lenticulina ponderosa* Mjatl.
Photo 3. *Lenticulina ponderosa* Mjatl.

Образец	$\delta^{13}C, \text{‰}$	$\delta^{18}O, \text{‰}$	T°C*
4	0.1	-3.6	18.6
5	-0.3	-2.6	18.4
6	-0.3	-2.4	17.5

* Расчет палеотемператур по Андерсону [5].

го яруса центральной части Русской платформы [6, 7]. Этот факт, а также находки фораминифер из данной части разреза указывают на волжский возраст палиноспектров.

Литература

1. Геология СССР. Поволжье и Прикамье. Геологическое описание. М.: Недра, 1967. Т. XI, ч. 1. С.484–504.
2. Лыуров С. В., Бушнев Д. А., Ветошкина О. С. Новые данные по волжским фораминиферам (Восточная часть Русской платформы) // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2014. С.17–21.
3. Щепетова Е.В. О некоторых седиментологических особенностях волжских морских отложений северо-восточной части Русской платформы // Геология и минеральные ресурсы европейского Северо-Востока России: Материалы XIV Геол. съезда Республики Коми. Т. III. Сыктывкар: Геопринт, 2004. С.73–77.
4. Устинова М. А., Тесакова Е. М. Новые данные о микробиоте средневолжского подъяруса разреза Лойно, Кировская область // Страт. и геол. Корреляция. 2017. Т. 25. № 3. С. 61–72.
5. Anderson T. F., Arthur M. A. Stable isotopes of oxygen and carbon and their application to sedimentologic and environmental problems. In: Arthur M. A., Anderson T. F., Kaplan I. R., Veizer J., Land L. S. (Eds.). Stable Isotopes in Sedimentary Geology // SEPM Short Course, 1983. Vol. 10. P. 11–51.
6. Унифицированная региональная стратиграфическая схема юрских отложений Восточно-Европейской платформы. Объяснительная записка. М.: ПИН РАН-ФГУП «ВНИГНИ», 2012. 64 с.
7. Riding J. B., Fedorova V. A., Iljina V. I. Jurassic and Lowermost Cretaceous dinoflagellate cyst biostratigraphy of the Russian Platform

and Northern Siberia, Russia // Dallas: Publ. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundtion, AASP Contributions Series. 1999. № 36. 184 p.

8. Горячева А. А. Палинологическая характеристика батских отложений на р. Ижма // Юрская система России: Проблемы стратиграфии и палеогеографии. VI Всероссийское совещание. Махачкала, 2015. С. 68–71.

References

1. Geologiya SSSR. Povolzh'ye i Prikam'e. Geologicheskoe opisanie [Geology of the USSR. Volga and Kama regions. Geological description]. Moscow: Nedra, 1967. Vol. XI, Part 1. P. 484–504.
2. Lyyurov S.V., Bushnev D.A., Vetoshkina O.S. Novye dannye po volzhskim foraminiferam (Vostochnaya chast' Russkoj platformy) [New data on the Volgian foraminifera (Eastern part of the Russian platform)] // Bull. of Inst. of Geology, Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS. 2014. P. 17–21.
3. Shchepetova E.V. O nekotoryh sedimentologicheskikh osobennostyah volzhskih morskikh otlozhenij severo-vostochnoj chasti Russkoj plity [About some sedimentological features of the Volgian marine deposits of the north-eastern part of the Russian plate] // Geology and mineral resources of the European north-east of Russia: Materials of XIV Geol. Congress of the Komi Republic. Vol. III. Syktyvkar: Geoprint, 2004. P. 73–77.
4. Ustinova M.A., Tesakova E.M. Novye dannye o mikrobiote srednevolzhskogo pod'yarusa razreza Lojno, Kirovskaya oblast' [New data on microbiota of the Middle Volgian substage of the Loino section, Kirov region] // Stratigraphy and geological correlation. 2017. Vol. 25. № 3. P. 61–72.

5. *Anderson T.F., Arthur M.A.* Stable isotopes of oxygen and carbon and their application to sedimentologic and environmental problems. In: Arthur M.A., Anderson T.F., Kaplan I.R., Veizer J., Land L.S. (Eds.). *Stable Isotopes in Sedimentary Geology // SEPM Short Course, 1983. Vol. 10. P. 11–151.*
6. *Unificirovannaya regional'naya stratigraficheskaya skhema yurskih otlozhenij Vostochno-Evropeskoj platformy. Ob'yasnitel'naya zapiska.* [Unified regional stratigraphic scheme of the Jurassic deposits of the East European Platform. Explanatory note]. Moscow: Paleontological Inst., RAS – Russian Oil Res. Geol. Prospecting Inst., 2012. 64 p.
7. *Riding J.B., Fedorova V.A., Ilyina V.I.* Jurassic and Lowermost Cretaceous dinoflagellate cyst biostratigraphy of the Russian Platform and Northern Siberia, Russia // Dallas: Publ. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, AASP Contributions Series. 1999. № 36. 184p.
8. *Goryacheva A.A.* Palinologicheskaya harakteristika batskih otlozhenij na r. Izhma [Palynological characteristics of the Bathonian deposits on the river Izhma] // Jurassic system of Russia: Problems of stratigraphy and paleogeography. VI all-Russian meeting. Makhachkala, 2015. P. 68–71.

Статья поступила в редакцию 20.05.2020

УДК 553.98: 551.762(470.13)
DOI 10.19110/1994-5655-2020-6-96-107

О.С. КОТИК, В.А. САЛДИН, О.В. ВАЛЯЕВА

**ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО
ВЕРХНЕЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ
ИЖЕМСКОГО СЛАНЦЕНОСНОГО РАЙОНА
ТИМАНО-ПЕЧОРСКОГО БАССЕЙНА**

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

procko@geo.komisc.ru

O.S. KOTIK, V.A. SALDIN, O.V. VALYAЕVA

**ORGANIC MATTER OF THE UPPER JURASSIC
DEPOSITS OF THE IZHMA SHALE-BEARING
REGION OF THE TIMAN-PECHORA BASIN**

*N.P. Yushkin Institute of Geology, Federal
Research Centre Komi Science Centre,
Ural Branch, RAS,
Syktyvkar*

Аннотация

В статье приводятся результаты комплексных геохимических и углепетрографических исследований органического вещества верхнеюрских отложений Ижемского сланценосного района Тимано-Печорского бассейна. В горючих сланцах и глинах волжского яруса выявлено преобладание незрелого смешанного сапропелево-гумусового состава (II, II–III типов) с высоким начальным углеводородным потенциалом.

Ключевые слова:

юрские отложения, горючие сланцы, органическое вещество, тип керогена, углеводородный потенциал, битумоиды

Abstract

The results of complex geochemical and coal-petrographic studies of the organic matter of clays and oil shales of the middle substage of the Volgian (Tithonian) stage in the Izhma shale-bearing region of the Timan-Pechora basin are presented. The studied section of the Volgian deposits on the Aiyuva river is represented by alternating layers of oil shales, clays and single interlayers of clayey limestones. The deposits under consideration are characterized by an uneven distribution of organic matter across the section. The minimum content of organic carbon (C_{org}) is found in clayey limestone (less than 1%) and clays (2.2%), while the maximum content is found in oil shale (34%). Oil shales and clays contain immature mixed marine and terrigenous organic matter (types II and II-III kerogens), which has a high hydrocarbon potential ($T_{max} - 407-410^{\circ}C$, HI – 519-600 mg of HC/g TOC). Organic matter is mainly represented by bituminite, there are inclusions of sporinite, alginite, vitrinite and inertinite. The distribution of *n*-alkanes and isoprenoids in the saturated fraction of bitumen also indicates the predominance of marine organic matter with a small contribution of the terrigenous component. The Volgian deposits with a high initial oil generation potential were formed in relatively shallow marine conditions with low hydrodynamics.

Keywords:

Jurassic deposits, oil shales, organic matter, kerogen type, hydrocarbon potential, bitumen

В пределах Тимано-Печорского бассейна волжские отложения позднеюрского возраста включают большое количество пластов горючих сланцев. На данной территории выделяются три сланценосных района – Сысольский, Яренгский и Ижемский, характеризующиеся различной степенью изученности по строению и вещественному составу отложений, включая и геохимические особенности горючих сланцев [1, 2]. Наименее исследованными

остаются строение разрезов и условия осадконакопления горючих сланцев Ижемского района. Нами представлены материалы по органической геохимии верхнеюрских отложений Айювинского месторождения данного района.

Сланценозные отложения Айювинского месторождения (рис. 1.) изучались Н. Н. Гавриловым, И. Г. Добрыниным, П. М. Клевенским, Б. К. Лихаревым и многими другими. Материалы по Ижемскому сланценосному району представлены А. М. Павловым в обобщающей коллективной монографии по горючим сланцам Северо-Востока европейской части России [1]. На этой территории был установлен,

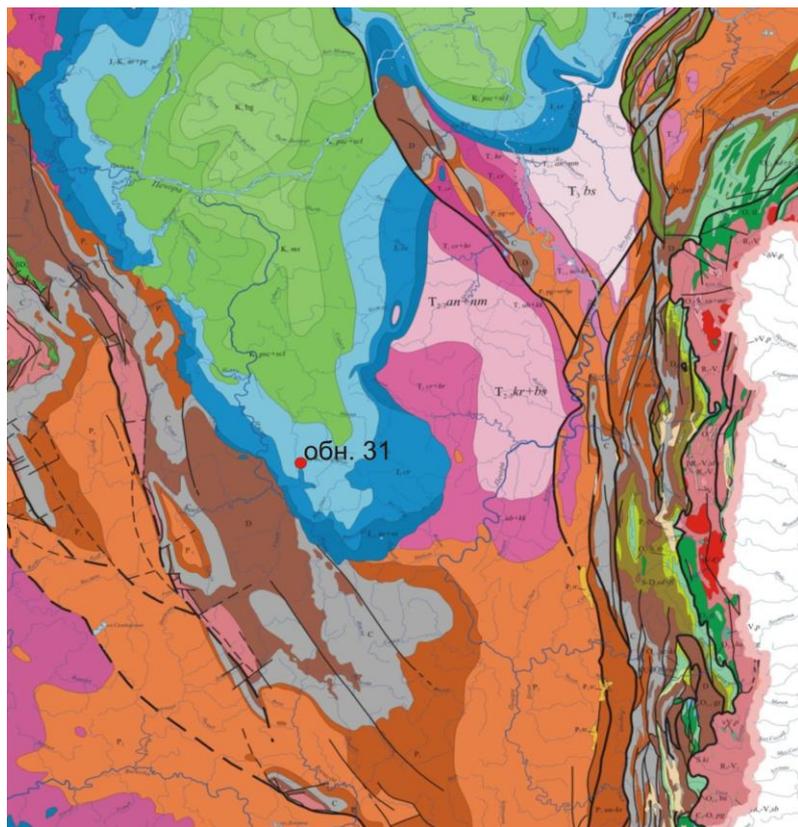


Рис. 1. Геологическая карта района исследований (по [3]).
Fig. 1. Geological map of the study area (according to [3]).

также как и в других районах, средневожский (среднетитонский) возраст горючих сланцев, среди них выделены четыре промышленных пласта (в отличие от трех пластов в разрезах Притиманья), определены их качественная и количественная характеристики и подсчитаны запасы. Основываясь на составе пород и органических остатков, характере строения разрезов верхнеюрских отложений Притиманья, С. В. Лыуровым предложена версия об образовании горючих сланцев в относительно неглубоководных водоемах [2]. В последние десятилетия верхнеюрские отложения Айювинского месторождения на р. Айюва дополнительно охарактеризованы органическими остатками [4]. Вопросы геохимии органического вещества (ОВ) горючих сланцев, химического состава керогена и особенностей его преобразования в искусственных условиях рассматривались в работах Д. А. Бушнева с соавторами [5, 6].

Органическое вещество волжских отложений на данной территории является малопреобразованным, что позволяет провести оценку начального генерационного потенциала нефтематеринских толщ. Особенности состава, содержание и тип ОВ позволяют охарактеризовать нефтегазоматеринские свойства верхнеюрских отложений, которые в пределах более северных районов Баренцевоморского шельфа являлись генераторами углеводородов [7–9]. Достаточно большой объем геохимических исследований, проводимый на территории Баренцевоморского региона, свидетельствует о среднем и высоком начальном углеводородном потенциале и возможности верхнеюрских отложений генерировать жидкие углеводороды в наиболее погруженных частях Южно-Баренцевской впадины [7].

Комплексные исследования малопреобразованного ОВ верхнеюрских пород способствуют выявлению особенностей захоронения и изменения свойств исходного ОВ, что важно для установления эволюционных изменений ОВ при последующей катагенетической трансформации. Кроме того, эти изучения позволяют оценить генерационные свойства ОВ потенциально нефтегазоматеринских толщ Тимано-Печорского бассейна.

В рамках данного исследования были проведены детальные литологические исследования, углепетрографическое и пиролитическое изучение типа ОВ и его генерационного потенциала. Также были проанализированы и обобщены все имеющиеся материалы по данному разрезу волжских отложений.

Объект исследований

Каменный материал для исследований ОВ отобран из трех разрезов, включая самый представительный на р. Айюва (правый приток р. Ижма). Строение верхнеюрских отложений Айювинского месторождения дается по наиболее последовательному разрезу в обн. № 31 (нумерация по П. М. Клевенскому), который находится на левом берегу р. Айюва приблизительно в 3.5 км от д. Керки ниже по течению. Высота берега здесь достигает 15 м. Коренные выходы прослеживаются на расстоянии первых сотен метров. Выходы выступают небольшими фрагментами на крутом склоне от уреза воды до бровки. Слои залегают почти горизонтально. Юрские отложения расчленены нами на 11 пачек (рис. 2). Далее приводится описание снизу вверх по разрезу:

Пачка 1. Смешанная известково-глауконитово-глинисто-песчаная порода зеленовато-серого цвета с линзами пирита и включениями редкого гравия и мелких галек. Встречены остатки двустворок, аммонитов и белемнитов. Наблюдаются псевдоморфозы пи-

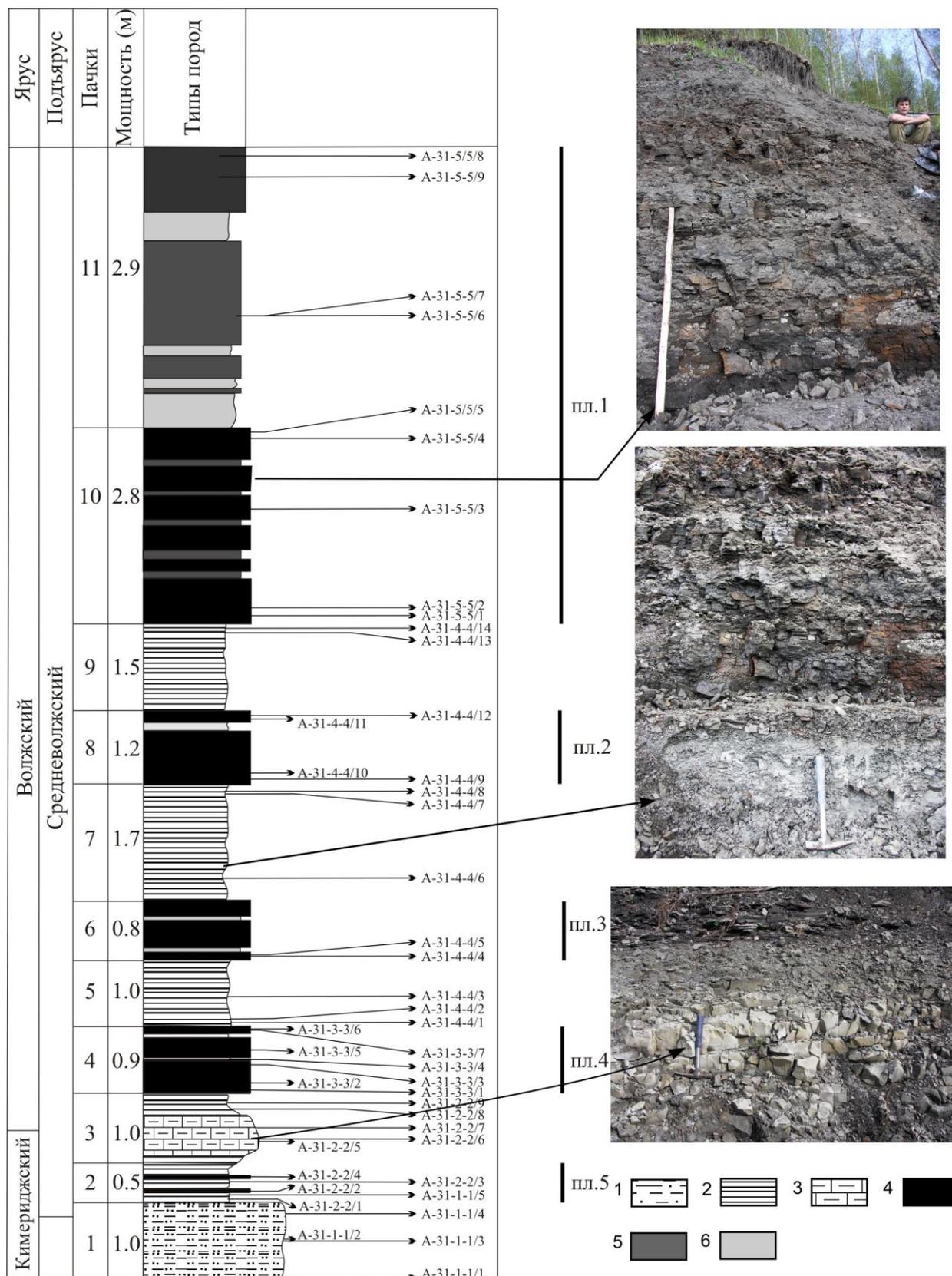


Рис. 2. Литолого-стратиграфическая колонка верхнеюрских отложений в обн. 31 на р. Айюва. (1 – кварц-глюконитовые пески; 2 – голубовато-серые известковые глины; 3 – известняки глинистые (мергели); 4 – горючие сланцы; 5 – углеродистые глины и глинистые горючие сланцы; 6 – темно-серые глины).

Fig. 2. Lithological-stratigraphic column of the Upper Jurassic deposits in outcrop № 31 on the Aiyuva River. (1 – quartz-glaucanite sands; 2 – bluish-gray calcareous clays; 3 – clayey limestones (marls); 4 – oil shale; 5 – carbonaceous clays and argillaceous oil shales; 6 – dark gray clays).

рита по головоногим моллюскам. В подошве пачки определены раннекимериджские (?) фораминиферы: *Astacolus aff. suprajurassicus* (Mjatl.), *A. sp.*, *Lenticulina aff. nodulosa* Jak., *L. sp.*, *Citharina aff. lepida* (Schwag.), *Marginulina cf. robusta* Reuss, *Guttulina* (?) *sp.*, а в кровле встречены фораминиферы средневожского подъяруса: *Lenticulina infravolgaensis* (Furss. et Pol.), *L. aff. kaschpurica* (Mjatl.), *L. media* (Furss. et Pol.), *L. sp.*, *Saracenaria pravoslavlevi* Furss. et Pol., *S. ex.gr. alta* K.Kuzn., *Planularia poljenovae* K.Kuzn., *Astacolus obliteratus* (Furss.), *Marginulina robusta* Reuss, *Vaginulinopsis embaensis* (Furss. et Pol.), *Citharina raricostata* (Furss. et Pol.), *Dentalina sp.* [4]. Можно предположить на этом интервале или присутствие стратиграфического перерыва, или переотложение фораминифер кимериджского возраста. В настоящее время вопрос остается не решенным –1.0 м.

Пачка 2. Переслаивание серых известковых глин (0.07–0.50 м) с маломощными (0.05 м) горючими сланцами. Наблюдается резкая граница между глиной серого цвета и залегающим сверху черным глинистым горючим сланцем, а переходы снизу вверх по разрезу от горючего сланца к серой глине происходят постепенно. Во всех слоях встречены остатки двустворок, обломки ростров белемнитов и единичные включения аммонитов –0.5 м.

Пачка 3. Глинистый известняк зеленовато-светло-серого цвета (0.6 м) с остатками белемнитов, со следами илоедов и многочисленными конкрециями дисульфидов железа подстилается и перекрывается маломощными (0.1–0.3 м) прослоями известковых глин с остатками двустворок и белемнитов –1.0 м.

Пачка 4. Переслаивание горючих сланцев (0.27–0.45 м) и серых глин (0.03 м). Горючий сланец коричневого цвета с тонкой горизонтальной слоистостью с остатками двустворок и их отпечатков. В середине пачки имеется слой горючего сланца (0.27 м) с текстурами оседания глины (или текстуры биотурбации?) – 0.9 м.

Пачка 5. Глина серого до темно-серого цвета с многочисленными остатками белемнитов и двустворок –1.0 м.

Пачка 6. Переслаивание горючих сланцев (0.08–0.35 м) и темно-серых глин (0.05 м). Горючий сланец с отпечатками мелких (первые сантиметры) аммонитов и двустворок. Последние встречаются в виде отдельных створок, некоторые из них достигают 10 см – 0.8 м.

Пачка 7. Глина светло-серого цвета с многочисленными остатками двустворок, а в верхней части интервала встречаются ростры белемнитов –1.7 м.

Пачка 8. Переслаивание горючих сланцев (0.2–0.85 м) с остатками двустворок и глин (0.15 м) темно-серых с голубоватым оттенком –1.2 м.

Пачка 9. Глина серого цвета –1.5 м.

Пачка 10. Переслаивание горючих сланцев, углеродистых и темно-серых глин. Горючий сланец глинистый с обилием остатков аммонитов и двустворок, образующих светло-серые слои до 1.5 мм толщиной (0.2–1.15 м). Глина темно-серая иногда почти черная (керогеновая) с повышенным со-

держанием органического вещества, нередко с остатками двустворок (0.05–0.2 м) –2.8 м.

Пачка 11. Переслаивание черных высокоуглеродистых (керогеновых) и темно-серых глин с глинистыми горючими сланцами. Глины темно-серые (0.15–0.45 м) с разрозненными обломками двустворок. В нижней части пачки встречаются единичные раковины гастропод (1 см). В черных глинах (керогеновых) с высоким содержанием ОВ наблюдаются остатки двустворок, ориентированных по напластованию. Отмечаются неотчетливые постепенные переходы темных глин в вышелегающие серые глины. В глинистых горючих сланцах (до 3 м) видны отпечатки аммонитов и двустворок. Выходы этой пачки наблюдаются у самой бровки склона –2.9 м.

По комплексам фораминифер, миоспор и диноцист отложения верхних 10 пачек отнесены к среднему подъярису вожского (титонского) яруса [4]. Наши пачка 4 соответствует промышленному пласту IV, пачка 6 – пласту III, пачка 8 – пласту II, а пачки 10 и 11 – пласту I.

Методы исследования

Углететрографические компоненты сланцев и глин исследовались в аншлифах-брикетах и тонких шлифах. Изучение шлифов проводилось в проходящем свете при увеличении $\times 10$ –50 раз на микроскопе MeF-2, а аншлифов-брикетов в отраженном свете при увеличении $\times 20$ –50 раз на микроскопе Nikon Eclipse E400Pol. Дополнительно проводилось исследование в ультрафиолетовом свете шлифов и аншлифов при увеличении $\times 20$ –50 раз на микроскопе ЛОМО Люмам. Препараты керогена и мацерации исследовались при увеличении $\times 20$ –100 раз на биологическом микроскопе OptiTech. Также проводилось исследование на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) JSM 6400.

Для определения содержания органического углерода ($C_{орг}$) использовался экспресс-анализатор на углерод АН-7529. Выделение хлороформенного битумоида (ХБА) проводилось методом горячей экстракции хлороформом в аппарате Сокслета. Анализ нормальных и изопреноидных алканов насыщенной фракции битумоидов выполнен методом газовой хроматографии на хроматографе Кристалл-2000 М (капиллярная колонка DB-5, 30 м \times 0.32 мм \times 0.25 мкм). Охарактеризованный комплекс методов выполнялся на базе ЦКП «Геонаука» в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар).

Пиролитические исследования методом Rock-Eval проводились во ВНИГНИ (г. Москва). Элементный анализ керогена был проведен в Институте биологии Коми НЦ УрО РАН с использованием элементного анализатора EA 1110 (CHNSO) CE Instruments.

Состав и содержание органического вещества

Проведенные ранее А.И. Гинзбургом петрографические исследования ОВ горючих сланцев Европейского Севера СССР (в т.ч. Айювинского месторождения) [10] показали, что их кероген состоит в основном из бесструктурного сапропелевого вещества – коллоальгинита. Также присутствуют

микрокомпоненты таломоальгинита, липтодетритита, витринита, фузинита и псевдовитринита [10]. Наши комплексные исследования помогут оценить изменение химических свойств исходного вещества в зависимости от его микрокомпонентного состава.

Геохимические исследования пород показали изменение содержания органического углерода в зависимости от литологических типов пород. Наименьшее содержание $C_{орг}$ отмечено в глинистом известняке (менее 1 %) и глинах (2.2–10.4 %), наибольшее – в глинистых и горючих сланцах (5–34 %). В рассматриваемом разрезе волжских отложений р. Айюва по содержанию $C_{орг}$, карбонатной и глинистой составляющей можно выделить несколько литотипов пород: горючие сланцы ($C_{орг}$ – 13.5–33.94 %, НОП – 56.8–64 %), глинистые горючие сланцы ($C_{орг}$ – 5.4–8 %, НОП – 47.5–55.6 %), черносереые глины (керогеновые) ($C_{орг}$ – 3–10.4 %, НОП – 53.5–57.3 %), серые глины ($C_{орг}$ – 0.4–2.2 %, НОП – 48.39–55.94 %), известняк глинистый ($C_{орг}$ – 0.36–0.9 %, НОП – 28–35.03 %).

Наиболее обогащенные ОВ породы, составляющие более 40 % изученного разреза, вызывают повышенный интерес (таблица, рис. 3). По данным пиролиза Rock-Eval содержание уже сгенерированных ОВ углеводородов (S_1) невысокое и изменяется от 1 до 4.5 мг УВ / г породы, что указывает на крайне низкую катагенетическую преобразованность ОВ пород. Низкая преобразованность ОВ подтверждается данными пиролиза. Параметр S_2 , оценивающий остаточный генерационный потенциал, в зависимости от содержания $C_{орг}$ варьирует от 20 до 140 мг УВ / г породы (единично до 235), T_{max} – 407–410°C, что, в целом, свидетельствует о наличии незрелого ОВ (градация катагенеза ПК). Значения водородного индекса (НІ) находятся в пределах 500–600 мг УВ / г $C_{орг}$ как для горючих сланцев, так и

для высокоуглеродистых глин. Светло-серые глинистые разности характеризуются более низкими значениями НІ, не превышающими 100–120 мг УВ / г $C_{орг}$. В большинстве исследованных образцов ОВ обладает высоким начальным углеводородным потенциалом (рис. 3).

Аналогичные высокие значения НІ – 519–690 мг УВ / г $C_{орг}$ характерны и для горючих сланцев и высокоуглеродистых глин Удорской площади Яренгского сланценосного района (рис. 3). В керогене горючих сланцев зачастую наблюдается небольшое повышение содержания водорода и серы. В целом горючие сланцы данного района часто характеризуются высокой сернистостью и представлены керогеном II и II-S типов [6, 11].

Органическое вещество юрских горючих сланцев формировалось за счет фитопланктона и высших водорослей (max НІ–596 мг УВ/г $C_{орг}$) с различной (но нередко значимой) примесью аллохтонного гумусового материала (min НІ – 40 мг УВ/г $C_{орг}$). Сапропелевая составляющая преимущественно представлена бесструктурным веществом – битуминитом (Lt_{bit}). В породах он распространен в виде линз, включений и небольших скоплений темно-серого цвета в отраженном свете (рис. 4, e-m), иногда комковатого строения. Вокруг включений битуминита видно большое количество битуминозного вещества (Bit), зачастую пропитывающего всю породу. Основная часть сапропелевого вещества, исследованная в препаратах керогена и мацератах, бесструктурная и имеет губчатое и комковатое сложение.

Ранее в препаратах мацератов Л.А. Сельковой диагностированы одноклеточные водоросли (в том числе цисты динофлагеллят), споры папоротников, пыльца хвойных, углистый детрит [4]. Углетрографическим методом нами были определены различные форменные элементы – включения таломоальгинита, споринита, липтодетритита, небольшие линзы и включения витринита и инертинита (рис. 4).

При исследовании на СЭМ были найдены реликты кокколитофоридовых водорослей, имеющих кольцевую форму, диаметром 3–8 мкм (рис. 4, d). В целом, органическое вещество исследованных пород имеет сапропелевый состав с примесью гумусового ОВ (II, II–III типы).

Верхнеюрские (в том числе и волжские) отложения, широко распространенные на шельфе Баренцева моря, согласно опубликованным данным [7–9], имеют, аналогичное рассматриваемым, незрелое ОВ и смешанный сапропелево-гумусовый состав (II, II – III типы). Наиболее высокими содержаниями $C_{орг}$ – 8.3 – 10 %, превосходным генерационным потенциалом (31.67 – 42.13 мг УВ/г породы) и высоким НІ (362 – 404 мг УВ/г $C_{орг}$) характеризуются породы Штокмановской и Ферсмановской площадей (рис. 3). Более низкие значения НІ (83–207 мг УВ/г $C_{орг}$) выявлены в породах с ост-

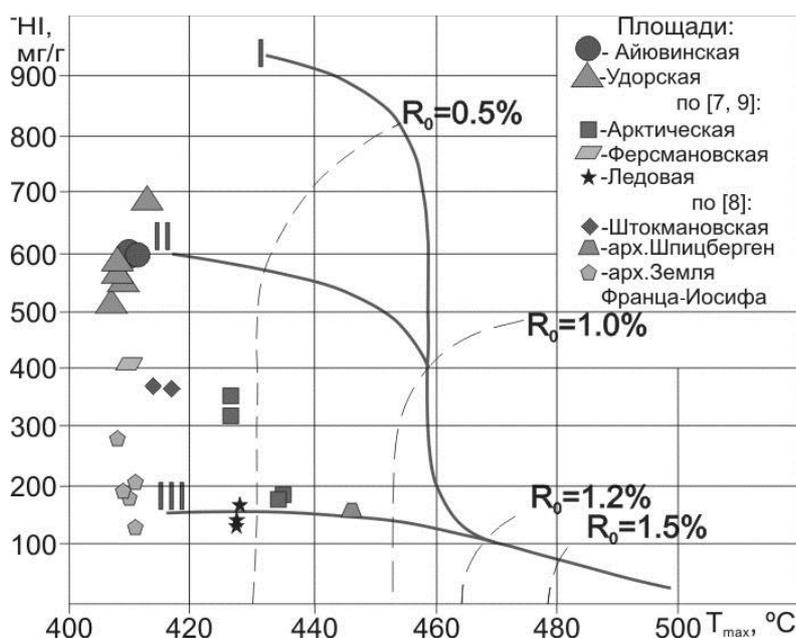


Рис. 3. Типы органического вещества и его катагенетическая преобразованность в верхнеюрских отложениях (с дополнением по [7–9]).
Fig. 3. Types of organic matter and its catagenetic transformation of the Upper Jurassic deposits (with the addition according to [7–9]).

Геолого-геохимическая характеристика волжских отложений, обнажение № 31, р. Айюва
Geological and geochemical characteristics of the Volgian deposits, outcrop № 31, Aiyuva River

Показатели	А-31-3-3/6	А-31-4-4/4	А-31-4-4/11	А-31-2-2/2	А-31-1-1/5	А-31-5-5/9	А-31-4-4/3	А-31-5-5/2	А-31-2-2/4	А-31-2-2/5
Литоология	Горючий сланец	Горючий сланец	Горючий сланец	Горючий сланец	Глина	Глинистый горючий сланец	Глинистый горючий сланец	Глинистый горючий сланец	Глинистый горючий сланец	Глинистый известняк
Сорг, %	16,89	16,34	13,6	13,35	10,44	8,3	8,01	6,95	5,44	0,36
ХБ, %	0,141	0,153	0,061	0,130	0,245	0,109	0,083	0,077	0,058	0,007
$\beta^{ХБ}$, %	0,83	0,94	0,45	0,97	2,35	1,31	1,04	1,11	1,07	1,94
Выход УВ, %	16,67	8,06	13,16	7,34	11,11	17,19	3,61	10,94	9,52	7,14
$\frac{C_{17}}{C_{29}}$, %	Н-С13-С18	38,35	36,57	81,82	27,12	70,08	33,03	51,89	73,01	95,44
	Н-С19-С24	34,74	36,65	38,41	10,91	46,00	30,40	33,26	15,02	3,42
	Н-С25-С33	22,86	25,00	25,02	7,27	26,88	13,30	14,85	11,97	1,13
изо/н-алканы	0,42	0,47	0,36	0,18	0,41	0,13	0,33	0,51	0,17	0,07
* $K_{n+1}C_{17}$	1,55	1,67	1,71	0,44	1,74	1,15	1,49	1,58	1,18	1,01
** $K_{n+2}C_{29}$	2,77	2,86	1,88	1,73	0,90	0,95	3,03	3,19	1,48	3,26
***СРІ	2,11	2,49	2,19	0,77	1,16	0,89	3,11	2,15	2,03	3,86
Pr/Ph	0,59	0,57	0,65	1,12	0,35	0,75	0,84	0,57	1,07	1,34
Pr/C17	0,90	1,02	0,83	1,28	0,79	0,25	1,06	0,89	0,31	0,12
Ph/C18	2,63	2,91	1,97	1,93	2,63	1,08	2,09	2,76	1,11	0,84
Pr+Ph/C17+C18	1,53	1,74	1,28	1,45	1,64	0,47	1,45	1,56	0,47	0,19

$$^{*}K_{n+1}C_{17} = 2^{n-17} \frac{C_{17}}{C_{29}} / \left(\frac{C_{16}}{C_{18}} + \frac{C_{18}}{C_{20}} \right)$$

$$^{**}K_{n+2}C_{29} = 2^{n-29} \frac{C_{29}}{C_{31}} / \left(\frac{C_{25}}{C_{27}} + \frac{C_{27}}{C_{29}} \right)$$

$$^{***}СРІ = S^{1/2} \frac{C_{17}}{C_{29}} / \left(\frac{C_{16}}{C_{18}} + \frac{C_{18}}{C_{20}} + \frac{C_{25}}{C_{27}} + \frac{C_{27}}{C_{29}} + \frac{C_{31}}{C_{33}} \right) / \left(\frac{C_{24}}{C_{26}} + \frac{C_{26}}{C_{28}} + \frac{C_{28}}{C_{30}} + \frac{C_{30}}{C_{32}} \right)$$

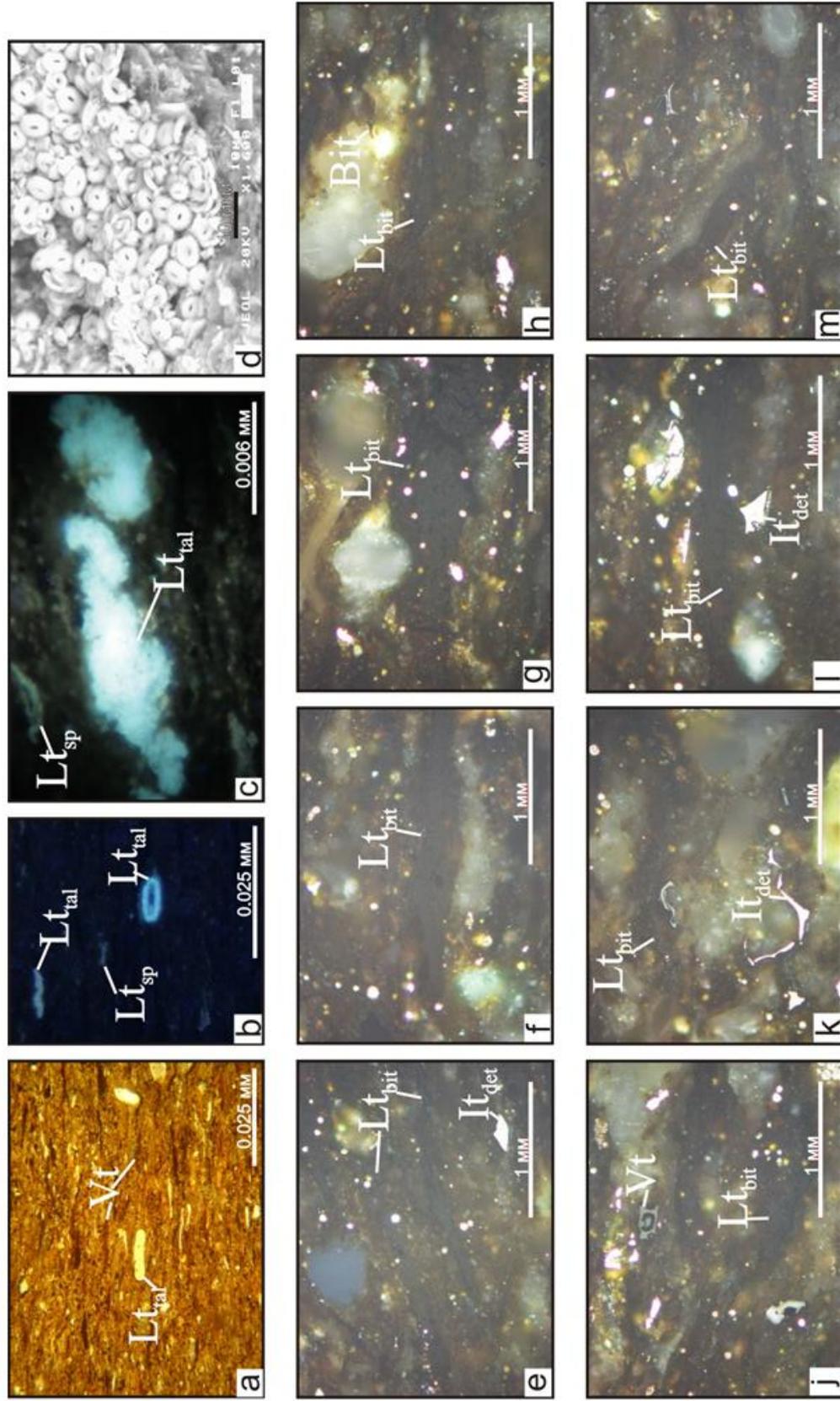


Рис. 4. Органическое вещество волюжских горячих сланцев: а - проходящий ультрафиолетовый свет, ув. 10-50; б, в - проходящий ультрафиолетовый свет, ув. 10-50; д - электронный микроскоп, ув. 500; е-м - отраженный свет, масляная иммерсия, ув. 50. Условные обозначения: Vt - витринит, It - инертинит (id - инертотринит), Lt - (al - таломоалгинит, bit - битуминит), Bit - битуминозное вещество.
 Fig. 4. Organic matter of the Volgian oil shales: а - transmitted ultraviolet light, magnification x 10-50; б, в - transmitted ultraviolet light, magnification x 10-50; д - electron microscope, magnification x 500; е-м - reflected light, oil immersion, magnification x 50. Legend: Vt - vitrinite, It - inertinite (id - inertotritinite), Lt - (al - thalomoalginite, bit - bituminite), Bit - bituminous matter.

ровов архипелага Земля Франца-Иосифа, содержащих ОВ III и II–III типов [7, 8].

В более западных районах Арктического региона на архипелаге Шпицберген и на месторождении Сновит (Норвегия) верхнеюрские отложения содержат смешанное сапропелево-гумусовое (II–III типа) и более катагенетически зрелое ОВ, характеризующееся низкими значениями HI (63–171 мг УВ/г $C_{орг}$) [8]. Максимальные содержания ОВ преимущественно сапропелевого типа в верхнеюрских породах приурочены к наиболее глубоким участкам Южно-Баренцевской впадины и прогибам Норвежского шельфа [8]. Верхнеюрские отложения вошли в главную зону нефтеобразования лишь в центральной части Южно-Баренцевской впадины и прогибах Норвежского шельфа, где они могли генерировать жидкие углеводороды.

Геохимические особенности органического вещества

Результаты геохимических исследований образцов из волжских отложений р. Айюва обн. № 31 приведены в таблице. Содержание ХБА варьирует от 0.028 до 0.63% и достигает максимальных значений в глинистых (0.05–0.6) и горючих (0.06–0.5) сланцах, причем содержание спиртобензольного битумоида (СББ) – 0.3–0.5 % превышает ХБА (ХБ/СББ – 0.6–1.9). Значения битумоидного коэффициента ($\beta_{ХБ}$) низкие и изменяются от 0.22 до 2.35%, что свидетельствует о том, что битумоид является автохтонным. Выход углеводородной фракции достигает 17.19%.

В ХБА горючих сланцев, содержащих компоненты как сапропелевого, так и гумусового ОВ, установлены два типа распределения углеводородов ряда *n*-алканов (рис. 5).

Первый тип характеризуется высоким содержанием *n*- C_{13} - C_{18} относительно *n*-алканов (до 95 %), одномодальным распределением с максимумом на C_{17} . В высокомолекулярной области наблюдается небольшое преобладание нечетных соединений, что подтверждает результаты пиролиза и свидетельствует о незрелости ОВ. В составе исходной биомассы отмечается преобладание водорослевой составляющей [13, 14].

Для второго типа – распределение бимодальное с появлением второго небольшого максимума в высокомолекулярной области C_{25} – C_{27} (относительная концентрация *n*- C_{25} - C_{33} возрастает до 36.57 %) и доминированием нечетных *n*-алканов. Такое распределение характерно для незрелого ОВ горючих сланцев и глин и высоком содержании континентальной органики в исходном ОВ смешанного (II–III) типа.

Сходное бимодальное распределение *n*-алканов с преобладанием нечетных гомологов над четными в высокомолекулярной области характерно для глинистых пород титонского яруса Ледовой площади и архипелага Земля Франца-Иосифа Баренцевоморского региона [7]. Проведенные ранее исследования полициклических биомаркеров и ациклических УВ битумоидов горючих сланцев Айювин-

ского разреза также свидетельствуют о присутствии смешанного (сапропелево-гумусового) органического вещества и его крайне низкой зрелости [6].

Отношение Pr/Ph для большинства образцов варьирует от 0.35 до 0.84, что указывает на восстановительные условия в диагенезе. Имеющиеся единичные повышенные значения этого отношения (более 1) характерны для контакта слоев горючих сланцев и глин, что может свидетельствовать либо о смене условий осадконакопления, либо говорить о большем вкладе гумусовой составляющей при одновременном доминировании нечетных высокомолекулярных УВ [8, 9].

Волжские горючие сланцы и глины Ижемского сланценосного района содержат незрелое, преимущественно сапропелевое ОВ с небольшой долей гумусовой составляющей. Полученные данные органической геохимии подтверждают результаты пиролитических и углепетрографических исследований.

Условия захоронения органического вещества

Накопление большого количества ОВ в осадках, формирующих циклическую толщу волжских отложений, напрямую зависит от биопродуктивности бассейна седиментации. Участки накопления большого количества ОВ распространены в различных зонах моря: от лагун и морских заливов до их центральных частей, в связи с чем глубина их образования оценивается неодинаково: в диапазоне от мелководья до относительного глубоководья.

Обилие организмов в волжских отложениях со значительным преобладанием бентоса говорит об относительном мелководье. Накопление собственно глинистых осадков указывает на низкоэнергетическую обстановку морского бассейна. В целом, палеоэкологические данные указывают на бореальные области и низкоэнергетическую обстановку морского бассейна.

Различия в составе слоев циклитов обусловлены неодинаковым поступлением трех основных составляющих – глинистой, карбонатной и органической (содержанием ОВ). Вероятно, прерывистое поступление ОВ является главным процессом, приводящим к ритмичному строению цикла. По мнению ряда исследователей [15,16], образование сланценосной толщи происходило на фоне частых короткопериодных колебаний уровня моря. На этапах трансгрессии осуществлялся вынос биогенного материала в бассейн, что служило причиной вспышки биопродуктивности и накопления углеродистых осадков.

При рассмотрении полученных данных по составу ОВ установлено, что в пределах Ижемского сланценосного района волжские отложения включают глинистые породы и горючие сланцы, содержащие ОВ II и II–III типов. Формирование пород, богатых ОВ, происходило в относительно мелководных морских обстановках с преимущественно спокойными динамическими условиями. Геохимические показатели свидетельствуют о морской восстановительной обстановке осадконакопления. Привнос

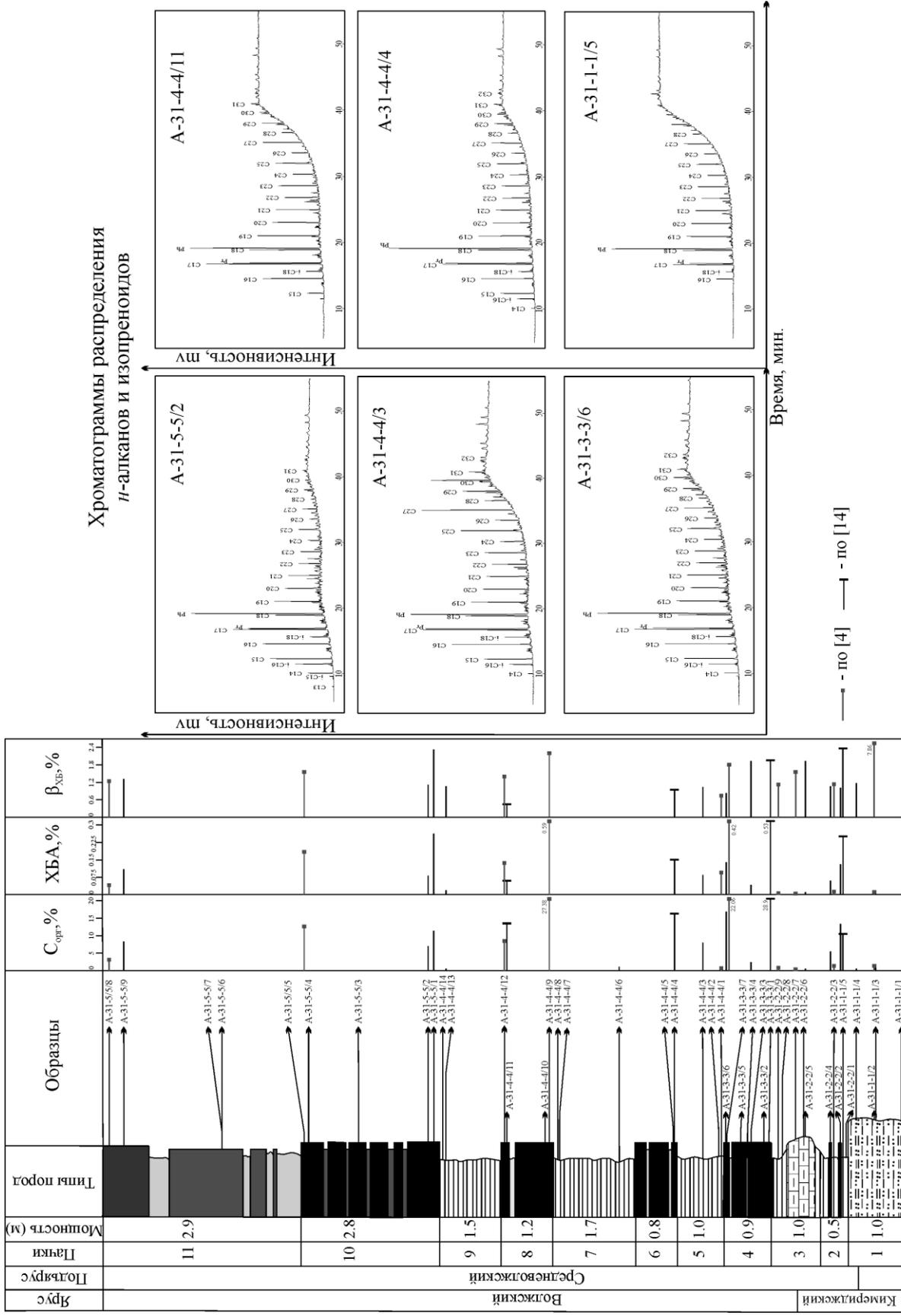


Рис. 5. Литолого-геохимическая характеристика волжских отложений, р. Айюва (с дополнением по: [4, 14]).
 Fig. 5. Lithological and geochemical characteristics of the Volgian deposits, Aiyyu River (with the addition according to: [4, 14]).

гумусового ОВ в целом незначительный, что подтверждается данными петрографических и пиролитических исследований. Более высокая доля гумусового ОВ [8] отмечается в мелководно-морских волжских отложениях островов архипелага Земля Франца-Иосифа Баренцева моря, что, вероятно, связано с обилием поступления терригенного материала [17].

Заключение

В результате проведенных комплексных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Разрез волжских отложений Ижемского сланценосного района (р. Айюва) сложен из чередования пяти основных литотипов пород: горючие сланцы, глинистые горючие сланцы, черно-серые глины (керогеновые), серые глины, глинистые известняки. Максимальные содержания до 30 % характерны для горючих сланцев и черно-серых глин. В составе верхнеюрской сланценосной толщи на р. Айюва отмечаются циклиты, обусловленные постепенным переходом от горючих сланцев к серым глинам, через глинистые горючие сланцы и темно-серые глины.

2. Результаты геохимических и углепетрографических исследований свидетельствуют, что в волжских отложениях содержится незрелое (градация катагенеза ПК) ОВ смешанного сапропелево-гумусового состава (II, II–III типов). Высокие значения HI (590–600 мг УВ/г Сорг) свидетельствуют, что ОВ обладает высоким начальным углеводородным потенциалом.

3. Формирование богатых ОВ пород произошло в относительно мелководных морских обстановках с преимущественно спокойными гидродинамическими условиями.

Дальнейшее комплексное (литолого-фациальное, палеонтологическое, углепетрографическое и геохимическое) изучение позволит выявить особенности осадконакопления верхнеюрских отложений и наметить участки распространения пород с высоким содержанием органического вещества и повышенным генерационным потенциалом.

Авторы выражают искреннюю благодарность сотрудникам лаборатории геологии нефтегазоносных бассейнов Института геологии Коми НЦ УрО РАН И. Л. Мочаловой, В. А. Рябовой за помощь в оформлении результатов исследований, а также И. С. Котик, Н. Н. Рябкиной, С. В. Льюрову за помощь в обсуждении полученных результатов, ценные консультации и замечания.

В работе использованы данные, полученные на аналитическом оборудовании ЦКП «Геонаука».

Литература

1. Горючие сланцы европейского Севера СССР / Л.Ф. Васильева, В.А. Дедеев, Л.А. Дурагина, В.М.Капитанов, Н.А.Колода, Н.В.Конанова, Н.С.Лавренко, С.В.Льюров, Л.А.Мельникова, В.А.Молин, А.М.Павлов, А.И. Птушко. Сыктывкар, 1989. 152 с.
2. Льюров С.В. Юрские отложения севера Русской плиты. Екатеринбург: УрО РАН, 1996. 138 с.
3. Атлас Республики Коми / Науч. ред. Э. А. Савельева. М., 2011. 448 с.
4. Льюров С.В., Селькова Л.А. Геолого-стратиграфическая характеристика Айювинского месторождения горючих сланцев // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2008. № 12. С. 3–5.
5. Генерация углеводородных и гетероатомных соединений высокосернистым горючим сланцем в процессе водного пиролиза / Д.А.Бушнев, Н.С.Бурдельная, С.Н.Шанина, Е.С.Макарова // Нефтехимия. 2004. Т. 44. № 6. С. 1–13.
6. Органическое вещество горючих сланцев Айювинского месторождения / Д.А. Бушнев, Н.С. Бурдельная, С.В. Льюров, И.Н. Бурцев // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2016. № 2(26). С. 53–58.
7. Кирюхина Н. М. Нефтегазогенерационный потенциал юрских отложений шельфа Баренцева моря: Дис. канд. геол.-мин. наук. М.: МГУ, 2013. 24 с.
8. Мезозойские нефтегазоматеринские отложения Баренцевоморского нефтегазоносного бассейна / Т.А. Кирюхина, А.В. Ступакова, М.А. Большакова, Н.М. Кирюхина, Д.А. Норина // Геология нефти и газа. 2012. №3. С. 24–35.
9. Большакова М. А. Геолого-геохимические условия формирования нефтегазоносности Штокмановско-Луниной мегаседловины: Дис. канд. геол.-мин. наук. М.: МГУ, 2008. 24 с.
10. Гинзбург А. И. Атлас петрографических типов горючих сланцев. Л.: Недра, 1991. 116 с.
11. Бурдельная Н. С. Моделирование химической структуры керогена и ее трансформации при катагенезе средневожских и доманиковских углеродистых пород Восточно-Европейской платформы: Дис. докт. геол.-мин. наук. Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2017. 37 с.
12. Литолого-геохимическая характеристика волжских отложений Ижемского района (р. Айюва, обн. 31) / О. С. Котик, В. А. Салдин, Д. Н. Шеболкин, Д. А. Груздев, С. В. Льюров, Л. А. Селькова, А. Ю. Михеева, О. В. Валяева // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента. Сыктывкар: Геопринт, 2019. С. 72–74.
13. Хант Д. Геология и геохимия нефти и газа. М.: Мир, 1982. 706 с.
14. Тиссо Б., Вельте Д. Образование и распространение нефти. М.: Мир, 1981. 501 с.
15. Ю. О. Гаврилов, Е. В. Щепетова, М. А. Рогов, Е. А. Щербинина. Седиментология, геохимия и биота волжских углеродистых отложений северной части Среднерусского моря (Костромская область) // Литология и полезные ископаемые. 2008. №43. С. 354–379.
16. Щепетова Е.В. Палеоклиматические реконструкции по данным о распределении глинистых минералов в верхнеюрских отло-

жениях Русской плиты: возможности и ограничения // Юрская система России; проблемы стратиграфии и палеогеографии. Саратов: Издательский центр «Наука», 2009. С. 257–259.

17. Эволюция обстановок осадконакопления Баренцево-Северо-Карского палеобассейна в фанерозое / В. А. Басов, Л. В. Василенко, К. Г. Вискунова, Е. А. Кораго, М. В. Корчинская, Н. В. Куприянова, Л. Г. Повышева, Э. Н. Преображенская, Т. М. Пчелина, Н. М. Столбов, Е. Б. Суворова, О. И. Супруненко, В. В. Сулова, Н. В. Устинов, В. И. Устрицкий, Л. А. Фефилова // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2009. №4. 44 с.

References

- Goryuchie slancy evropejskogo severa SSSR [Oil shales of the European North of the USSR] / L.F. Vasilyeva, V.A. Dedeev, L.A. Duryagina, V.M. Kapitanov, N.A. Koloda, N.V. Konanova, N.S. Lavrenko, S.V. Lyyurov, L.A. Melnikova, V.A. Molin, A.M. Pavlov, A.I. Ptushko. Syktyvkar, 1989. 152 p.
- Lyyurov S. V. Yurskie otlozheniya severa Russkoj plity. [Jurassic deposits of the north of the Russian plate]. Ekaterinburg: Ural Branch, RAS, 1996. 138 p.
- Atlas Respubliki Komi [Atlas of the Komi Republic] / Sci. ed. E.A.Savelyeva. Moscow, 2011. 448 p.
- Lyyurov S.V., Sel'kova L.A. Geologo-stratigraficheskaya karakteristika Ajuvinskogo mestorozhdeniya goryuchih slancev [Geological and stratigraphic characteristics of the Aiyuva oil shale deposit] // Bull. of Inst. of Geology, Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS. 2008. №12. P. 3–5.
- Generacija uglevodorodnyh i geteroatomnyh soedinenij vysokosernistym gorjuchim slancem v processe vodnogo piroliza [Generation of hydrocarbon and heteroatomic compounds by sulfur-rich oil shale during hydrous pyrolysis] / D.A.Bushnev, N.S.Burdel'naya, S.N.Shanina, E.S.Makarova // Neftehimija [Petroleum Chemistry]. 2004. Vol. 44. № 6. P. 1–13.
- Organicheskoe veshchestvo goryuchih slancev Ajuvinskogo mestorozhdeniya [Organic matter of Aiyuva oil shale deposit] / D.A. Bushnev, N.S. Burdel'naya, S.V. Lyyurov, I.N. Burtsev // Proc. of the Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS. 2016. № 2(26). P. 53–58.
- Kiryukhina N.M. Neftgazogeneracionnyj potencial yurskih otlozhenij shelfa Barenceva morya [Oil and gas generation potential of Jurassic deposits of the Barents sea shelf]: Diss... Cand. Sci. (Geol.&Miner.). Moscow: Moscow State Univ., 2013. 24 p.
- Mezozojskie neftegazomaterinskie otlozheniya Barencevomorskogo neftegazonosnogo bassejna [Mesozoic oil and gas source deposits of the Barents sea oil and gas basin] / T.A. Kiryukhina, A.V.Stupakova, M.A.Bolshakova, N.M.Kiryukhina, D.A.Norina // Oil and gas geology. 2012. №3. P. 24–35.
- Bolshakova M.A. Geologo-geohimicheskie usloviya formirovaniya neftegazonosnosti Shtokmanovsko-Luninskoj megasedloviny [Geological and geochemical conditions for the formation of oil and gas content of the Shtokman-Lunin megasaddle]: Diss... Cand. Sci. (Geol.&Miner.). Moscow: Moscow State Univ., 2008. 24 p.
- Ginzburg A.I. Atlas petrograficheskikh tipov goryuchih slancev [Atlas of petrographic types of oil shales]. Leningrad: Nedra, 1991. 116 p.
- Burdel'naya N.S. Modelirovanie himicheskoy struktury kerogena i ee transformacii pri katageneze srednevolzhskih i domanikovyh uglevodistyh porod Vostochno-Evropejskoj platformy. [Modeling the chemical structure of kerogen and its transformation during catagenesis of the Middle-Volgian and Domanic carbonaceous rocks of the East European platform]: Diss... Dr. Sci. (Geol.&Miner.). Novosibirsk: Inst. of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch, RAS. 2017. 37 p.
- Litologo-geohimicheskaya karakteristika volzhskih otlozhenij Izhemskogo rajona (r. Ajuva, obn. 31) [Lithological and geochemical characteristics of the Volgian deposits of the Izhma region (Aiyuva river, outcrop 31)] / O.S. Kotik, V.A. Saldin, D.N. Shebolkin, D.A. Gruzdev, S.V. Lyyurov, L.A. Selkova, A.Yu. Mikheeva, O.V. Valyaeva // Struktura, veschestvo, istoriya litosfery Timano-Severo-ural'skogo segmenta [Structure, matter, and history of the lithosphere of the Timan-North Urals segment]. Syktyvkar: Geoprint, 2019. P. 72–74.
- Hunt J.M. Petroleum geochemistry and geology. San Francisco: W.H. Freeman and Company, 1979. 617 p.
- B.P.Tissot, D.H.Welte. Petroleum formation and occurrence (a new approach to oil and gas exploration). Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1978. 699 p.
- Yu.O.Gavrilov, E.P.Shchepetova, M.A.Rogov, E.A.Shcherbinina. Sedimentologiya, geohimiya i biota volzhskih uglevodistyh otlozhenij severnoj chasti Srednerusskogo morya (Kostromskaya oblast) [Sedimentology, geochemistry and biota of the Volgian carbonaceous deposits in the northern part of the Central Russian Sea (Kostroma region)] // Lithology and Mineral Resources. 2008. №43. P. 354–379.
- Shchepetova E. V. Paleoklimaticheskie rekonstrukcii po dannym o raspredelenii glinistykh mineralov v verhneyurskih otlozheniyah Russkoj plity: vozmozhnosti i ogranicheniya [Paleoclimatic reconstructions based on data on the distribution of clay minerals in the Upper Jurassic deposits of the Russian plate: possibilities and limitations] // Jurassic system of Russia; problems of stratigraphy and

- paleogeography. Saratov: “Nauka” Publ. Center, 2009. P. 257–259.
17. *Evolyuciya obstanovok osadkonakopleniya Barentsevo-Severo-Karskogo paleobassejna v fanerozoe* [Evolution of sedimentary environments of the Barents-North Kara palaeobasins in the Phanerozoic] / *V.A. Basov, L.V. Vasilenko, K.G. Viskunova, E.A. Korago, M.V. Korchinskaya, N.V. Kupriyanova, L.G. Povyshcheva, E.N. Preobrazhenskaya, T.M. Pchelina, N.M. Stolbov, E.B. Suvorova, O.I. Suprunenko, V.V. Suslova, N.V. Ustinov, V.I. Ustritsky, L.A. Fefilova* // Oil and gas geology. Theory and practice. 2009. №4. 44 p

Статья поступила в редакцию 01.10.2020

УДК 622.276.55(470.13)
DOI 10.19110/1994-5655-2020-6-108-112

Р.А. ЖАНГАБЫЛОВ

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ШАХТНОГО МЕТОДА РАЗРАБОТКИ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ЯРЕГЕ: ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПОДЗЕМНЫХ СКВАЖИН

*ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный
технический университет»,
г. Ухта*

rzhangabylov@mail.ru

R.A. ZHANGABYLOV

THE FIRST RESULTS OF THE APPLICATION OF THE MINE METHOD FOR OIL FIELDS DEVELOPMENT IN YAREGA: UNDERGROUND WELLS EXPLOITATION

*Ukhta State Technical University,
Ukhta*

Аннотация

В статье рассмотрены первые результаты промышленного применения шахтного метода добычи нефти в условиях Ярегского месторождения в 1939–1944 гг. На основании анализа литературных источников, архивных материалов изучены основные предпосылки для применения шахтного метода добычи нефти, развитие технологий и технических средств при шахтном методе разработки. В работе представлены особенности эксплуатации подземных скважин шахтным методом, основные механизмы добычи нефти, а также своеобразие геологического строения месторождения, которые оказывали влияние на процессы добычи нефти.

Ключевые слова:

шахтный метод добычи нефти, подземные скважины, высоковязкая нефть, система разработки, эксплуатация подземных скважин

Abstract

The series of papers discusses the first results of industrial application of the mine method of oil production in the conditions of the Yarega oil field in the period of 1939–1944.

Based on the analysis of literary sources and archival materials, the basic prerequisites for the use of the mine method of oil production, and the development of technologies and technical means for the mine method of development were studied.

This paper discusses the features of underground wells exploitation by the mine method, the main mechanisms of oil production, as well as the features of the geological structure of the field that influenced the processes of oil production.

The data on the first observations of oil mine specialists on the geological structure of the Yarega field, which established the presence of disjunctive disturbances and intense fracturing, that changed the nature of the wells operation when hitting them, are presented. The role of the Geological Service of Oil Mine №1 during the trial operation of a new mine method of oil production, which has specially developed a method of structural analysis to determine the spatial position of fractured oil accumulations, is noted.

Information on the choice of the field development system and the introduction of a new for that time “Ukhta method of mine oil production” is presented. It was found that the main methods of exploiting the first underground wells were such as fountain, airlift, bailing. The dynamics of the main indicators of field development during experimental application of the mine method of oil production was also given.

Keywords:

mine method of oil production, underground wells, high-viscosity oil, development system, underground wells operation.

Введение

Ярегское месторождение расположено в 18 км юго-западнее г. Ухты и является единственным в мире, где в промышленных масштабах применяется уникальная термощахтная технология добычи нефти.

В работе [1] дана краткая история открытия месторождения и предпосылки выбора шахтного метода добычи нефти для разработки Ярегского месторождения высоковязкой и тяжелой нефти, а также отражены вопросы бурения первых подземных скважин.

В данной статье рассмотрены особенности геологического строения месторождения, выбора системы разработки и эксплуатации подземных скважин на Ярегском нефтяном месторождении в период 1939–1944 гг.

Особенности геологического строения месторождения

Район Ярегского месторождения располагается на северо-восточном склоне южного Тимана и приурочен к одной из складок третьего порядка в сводовой части Ухтинской брахиантиклинали. Нефтяная залежь имеет такие размеры: 36,6 км по протяженности и 4–4,5 км по ширине. Она состоит из Ярегской, Лыаельской и Вежавожской структур. Промышленные запасы нефти находятся в третьем пласте, залегающем на глубине 130–220 м в песчаниках среднего и верхнего девона [2].

Средняя эффективная нефтенасыщенная толщина пласта 26 м. Нижняя его часть на большей площади месторождения содержит подошвенную воду. Эффективная средняя пористость третьего пласта – 25%, проницаемость в среднем составляет 2,0 мкм². Пласт разбит многочисленными тектоническими нарушениями и густой сетью мелких трещин. Нефть, насыщающая третий пласт, тяжелая, плотность 945 кг/м³. Она обладает вязкостью от 5 до 20 Па·с в пластовых условиях. Температура пласта 6–8 °С, начальное пластовое давление 1–1,3 МПа. Попутный газ содержит 95–98% метана. Месторождение характеризуется режимом растворенного газа, переходящим при эксплуатации в гравитационный. Запасы месторождения большие и по этому признаку относятся к крупным залежам [2,3].

В процессе опытной эксплуатации в 1939–1944 гг. геологической службой нефтешахты установлено наличие на месторождении дизъюнктивных нарушений и интенсивной трещиноватости III пласта [4]. Пересеченность пласта трещинами различного размера и характера обусловили наличие в самом пласте особого вида коллектора – трещинного коллектора, образующего в пласте так называемую трещинную залежь. Эта особенность строения коллектора, с одной стороны, способствовала улучшению дренирующих свойств пласта и повышению нефтеотдачи, с другой – привела к усложнению условий эксплуатации пласта, вследствие разрывания тектоническими нарушениями сплошности подстилающих пласт водонепроницаемых покрышек [4]. Об этой особенности залежи отмечено следующее: «Частые тектонические нарушения с сопровождающими их зонами разлома

относительно густая, неравномерная в разных участках сеть мелких трещин, разбивающих III пласт, создают в нем своеобразный трещинный коллектор, характерный сверхнормальным объемом пор. При подходящих физико-химических условиях, на том или ином этапе геологической истории месторождения, этот дополнительный коллектор аккумулировал в себе газ, нефть и воду, участками раздельно, участками в их различном сочетании» [5]. Это свойство строения коллектора, в свою очередь, способствовало более высокой производительности скважин, вскрывших трещинные коллектора, что позволило добывать тяжелую ярегскую нефть рентабельно. В работе [5] также подчеркивается следующее: «Исключительную, если не основную роль в эксплуатации Ярегского месторождения подземными скважинами сыграла трещинная тектоника. Основное питание скважин идет по трещинам. Наиболее крупные из них заключают в себе так называемые трещинные залежи нефти высокой нефтеотдачи».

Для исследования специфических особенностей геолого-тектонического строения каждого участка геологической службой Нефтешахты №1 был специально разработан метод структурного анализа, который с достаточно высокой степенью достоверности позволил определять пространственное положение трещинных скоплений нефти. Это дало возможность не только предупреждать буровиков о месте пересечения трещин скважинами, но и проектировать специальные «трещинные скважины» [4–6]. Начиная со второй половины 1943 г. за счет применения метода структурного анализа на Нефтешахте №1 стали регулярно добывать дополнительную нефть [5].

Выбор системы разработки месторождения

Объектом разработки и эксплуатации был выбран пласт средней мощностью около 15 м. Хотя пласт состоял из двух нефтеносных пачек, разделенных между собой 2–3-метровой толщей аргиллита и отличающихся друг от друга различной нефтенасыщенностью и проницаемостью [4, 7].

При проектировании шахт специалисты из-за наличия в пласте газа метана не решились опускать подземный нефтяной промысел непосредственно на кровлю нефтяного пласта, а остановились в пустых надпластовых породах так называемого «туфитового горизонта». В статье С.Ф. Здоров отмечает: «Бурение подземных скважин, начатое с туфитового горизонта в 1939 г. – целиком оправдало предположение о возможности промышленной эксплуатации месторождения подобным вариантом шахтного способа. Этот горизонт показал и достаточную надежность горных выработок от внезапных и бурных водонефтепроявлений в них, при пересечении тектонических трещин» [7].

Добыча нефти на Нефтешахте №1 осуществлялась при помощи подземных скважин, пробуренных из буровых камер, расположенных в горных выработках в 10–22 м над кровлей нефтеносного пласта [1, 4, 8].

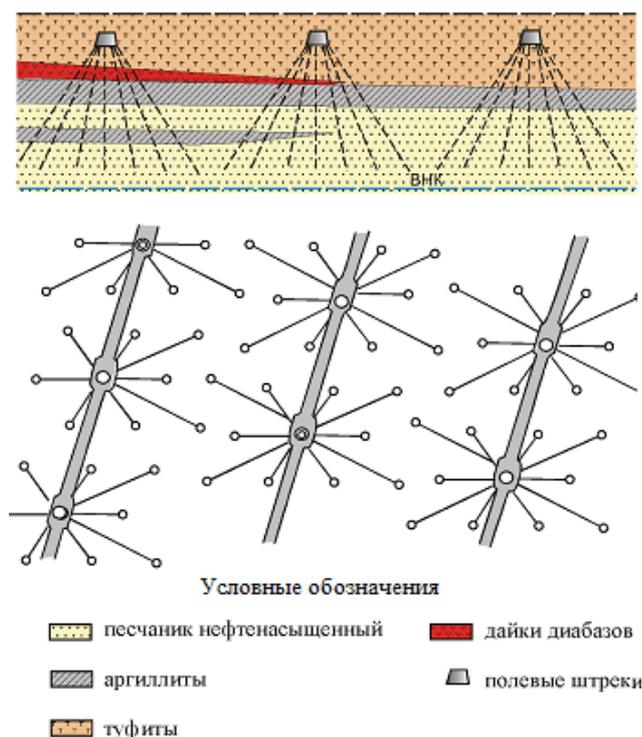


Рис. 1. Схема расположения скважин, пробуренных с туфитового горизонта [3].
Fig. 1. Layout of wells drilled from the tuffite horizon [3].

Первоначально глубина вскрытия пласта составляла всего лишь 4–8 м [4, 5]. Но в дальнейшем, после установления отсутствия восходящей миграции пластовых флюидов из-за наличия в пласте непроницаемых пропластков, вскрытие пласта осуществлялось на всю мощность продуктивных пропластков. При этом для предохранения продуктивной части пласта от проникновения воды из ниже-расположенного водоносного горизонта оставалась 3–5-метровая толща пород [4].

В то же время в порядке эксперимента было решено провести скважины с так называемого «аргиллитового горизонта», который располагался в 0–5 м над кровлей нефтеносного пласта [8].

Выбор системы разработки месторождения был обусловлен необходимостью предварительного проведения горных выработок, в связи с этим система разработки определена как ползущая. По темпу ввода скважин в эксплуатацию система определена как сплошная для отдельных тектонических полей и участков разрабатываемого поля [5, 7].

Начиная с 1939 г. на нефтешахте применялась ухтинская система разработки, которая заключалась в следующем [9]. Шахтное поле делили откачными и вентиляционными штреками по простиранию продуктивного пласта на подэтажи шириною 150 м. Подэтажи перпендикулярного простирания через 50 м рассекали горными выработками, называемыми полевыми штреками, в каждом из которых сооружали по три–пять буровых камер (рис. 1).

Форма сетки была принята треугольная (рис. 1). Что касается расстояния между забоями скважин, то в этом плане нефтешахтой была про-

ведена большая экспериментально-аналитическая работа, учитывающая показатели производительности скважин, коэффициенты отдачи пласта при разных сетках, с разных горизонтов бурения скважин, с объемом и стоимостью горных и буровых работ на 1 т добываемой нефти и на одну скважину [4].

Из каждой буровой камеры бурилась группа скважин, из которых одна скважина вертикальная, а остальные наклонные, под определенным углом к вертикали [7, 8, 11]. Бурение наклонных подземных скважин осуществлялось с максимальным углом наклона к горизонту – 45° [7]. Причем бурение выполнялось таким образом, что забои скважин (вертикальных и наклонных) располагались строго по сетке [8, 11].

Первоначально, в порядке опыта, из каждой буровой камеры бурилось самое разнообразное количество скважин – 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 и больше [8, 11]. По результатам анализа данных по практическому применению всех систем установлено, что наиболее оптимальным вариантом является семилучевая система, при которой достигаются лучшие условия дренирования пласта и разбуривания камеры [4, 5].

В широких производственных масштабах были опробованы сетки с расстояниями 12,0 и 18,5 м с туфитового горизонта. С 1943 г. Нефтешахта №1 перешла на сетку 25,0 м [4, 5, 10].

Опыт по освоению нового шахтного метода можно было считать успешным, так как себестоимость нефти, добытой шахтным способом, была в два раза ниже по сравнению с поверхностным способом [10].

Приказом начальника Ухткомбината С.Н. Бурдакова №224-л от 29 мая 1942 г. шахтный метод добычи нефти следовало именовать «Ухтинский метод шахтной добычи нефти». С помощью ухтинской системы разработки с 1939 г. по 1954 г. было добыто 2 886 тыс. т нефти [13].

За разработку и внедрение шахтной добычи нефти в 1947 г. группа инженеров получила звание лауреатов Государственной премии: С.М. Бондаренко (начальник участка подземного бурения), М.М. Зоткин (главный инженер Ухтинского комбината НКВД СССР), П.З. Звягин (главный инженер Нефтешахты №1), С.Ф. Здоров (главный геолог Нефтешахты №1), А.И. Адамов (первый руководитель подземного нефтепромысла, секретарь партийной организации в годы войны), Е.Я Юдин (начальник четвертого горнопроходческого участка Нефтешахты № 1 в годы войны) [12]. Это далеко не полный список имен людей, кто своим героическим трудом участвовал в освоении Ярегского месторождения шахтным методом добычи нефти в те годы в условиях Европейского Севера России.

Эксплуатация подземных скважин

В период опытной эксплуатации бурение скважин производилось в основном со следующими диаметрами по пласту: 66, 72, 86 и 96–98 мм [4, 7]. Широкое применение получили диаметры бурения 86 и 66 мм, хотя применение обсадных труб конкретного диаметра зависело от их наличия [4, 6].

По своим эксплуатационным особенностям все подземные скважины были подразделены на две категории: поровые и трещинные. Поровые скважины характеризовались спокойным фонтанированием, устойчивым пульсирующим режимом работы, низким начальным дебитом нефти (до 1 т/сут), малым количеством попутной воды и низким значением газового фактора. Трещинные скважины отличались весьма бурным фонтанированием, высокими значениями начального дебита, значительными выделениями попутных газа и воды [5–7].

Суммарная производительность одной трещинной скважины была в четыре–пять раз выше производительности поровой скважины. Удельный вес добываемой из трещинных скважин нефти составлял 20–25% от общей добычи нефти по шахте в целом [4].

Способ эксплуатации скважин как поровых, так и трещинных, был фонтанным [4, 7]. При таком способе эксплуатации в качестве подъемника использовалась обсадная колонна. Оборудование при этом сводилось к установке на устье скважины отвода меньшего диаметра, но на трещинных скважинах для возможности регулирования отбора жидкости из скважины монтировались кран, задвижка или штуцер [7]. Однако в процессе разработки участка, по мере ослабления фонтанирования скважин, применялись механизированные способы [4, 6, 7, 10, 11].

В 1943 г. за счет механизированных способов было добыто 20,5% нефти по шахте в целом. Такая добыча осуществлялась при помощи эрлифта и тартания [4, 10]. Эрлифт применялся как непрерывного, так и периодического действия, причем периодическим эрлифтом эксплуатировались скважины, подающие безводную нефть или нефть с малым количеством воды, а непрерывным – подающие большое количество воды вместе с нефтью трещинные скважины [4, 6, 11].

Эрлифтная эксплуатация в подземных скважинах осуществлялась при помощи однорядного лифта [6, 11]. Поначалу эрлифт применялся по системе Саундерса (нагнетание в скважины воздуха по межтрубному пространству, а подъем нефти по центральной трубке), а затем перешли на эрлифт по центральной системе (подача воздуха в скважину по центральной трубке, а подъем нефти по кольцеобразному межтрубному пространству) [6]. Эрлифтная эксплуатация непрерывного действия по существу ничем не отличалась от таковой у обычных поверхностных скважин, а эрлифт периодического действия отличался от обычного процесса эрлифта и сводился к извлечению нефти из скважин обычным путем «продувки» ее сжатым воздухом.

Регулирование подачи воздуха в эрлифтные скважины осуществлялось вручную [4, 6]. При этом способе регулировки подачи воздуха установление режима работы скважины и расход воздуха во мно-

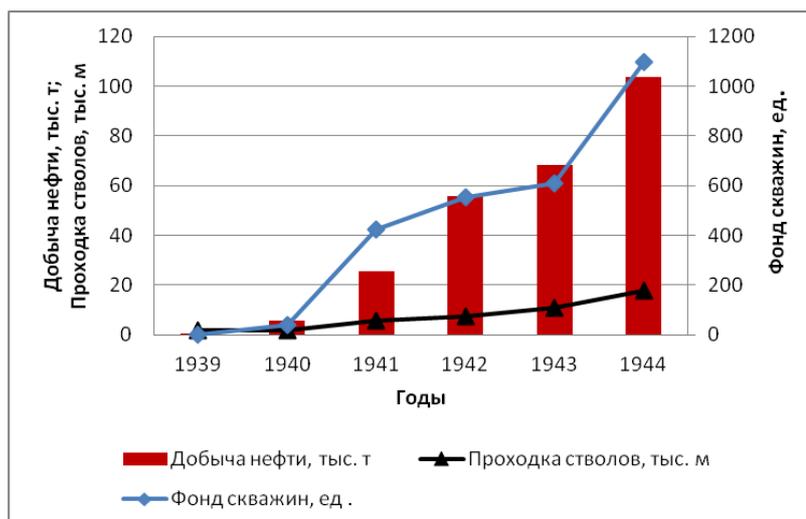


Рис. 2. Динамика показателей разработки Нефтешахты №1.
Fig. 2. Dynamics of development indicators of oil mine №1.

гом зависели от опыта и добросовестности обслуживающего персонала [4].

Тартание скважин производилось при помощи специально изготовленных лебедок (пневматических и ручных) и поршня-сваба. Процесс тартания ничем не отличался от тартания в обычных поверхностных скважинах. Способ тартания скважин, получивший вначале широкое применение в шахте, по мере улучшения техники регулирования подачи воздуха на эрлифтные скважины был вытеснен эрлифтом. Но при этом способ тартания оказался наиболее эффективным для поддержания добычи старых скважин. Удельный вес этого способа к концу опытной эксплуатации составил около 3,5% от всех механизированных скважин [4, 7].

В начале 1944 г. Нефтешахта №1, построенная на одном из участков Ярегского нефтяного месторождения, сдана в промышленную эксплуатацию [10]. Динамика показателей разработки нефтешахты по годам за период опытной эксплуатации приводится на рис. 2.

9 июня 1944 г. приказом №263 Главк МВД СССР утвердил акт комиссии по приемке Нефтешахты №1 в число действующих предприятий.

Приказом начальника Ухткомбината С.Н. Бурдакова от 22 июня 1944 г., в связи с завершением основных работ по строительству и освоением шахтного метода добычи нефти, Нефтешахта №1 вступила в число действующих предприятий СССР с проектной производительностью 125 тыс. т. К концу года добыча нефти на Нефтешахте №1 составила 101,7 тыс. т [2].

Заключение

На основании анализа имеющихся данных из музеев, а также архивных материалов были изучены исторические аспекты внедрения шахтного метода добычи нефти. Приведены данные о первых наблюдениях специалистов нефтешахты о геологическом строении Ярегского месторождения, которые установили наличие дизъюнктивных нарушений и интенсивной трещиноватости, что меняло

характер работы скважин при попадании в них. Отмечена роль геологической службы Нефтешахты №1 в период опытной эксплуатации нового шахтного метода добычи нефти, специально разработавшей метод структурного анализа для определения пространственного положения трещинных скоплений нефти. Представлены сведения по выбору системы разработки месторождения и внедрению нового для того времени «Ухтинского метода шахтной добычи нефти». Установлено, что основными способами эксплуатации первых подземных скважин являлись: фонтанный, эрлифт, тартание. Приведена динамика основных показателей разработки на Ярегском месторождении в период опытной эксплуатации.

Литература

1. *Жангабылов Р. А.* Первые результаты применения шахтного метода разработки нефтяных месторождений на Яреге: бурение подземных скважин // Ресурсы Европейского Севера. Технологии и экономика освоения. 2019. № 2 (16). С. 12–19.
2. *Гуров Е. И.* Ярегские нефтяные шахты: Страницы истории. Ухта, 2004. 48 с.
3. *Ружин Л. М., Чупров И. Ф.* Технологические принципы разработки залежей аномально вязких нефтей и битумов. Ухта: УГТУ, 2007. 244 с.
4. *Звягин П. З., Шейн П. Н.* Предварительные итоги строительства и основания эксплуатации Н-Ш-№ 1 : отчет о НИР. Ухта, 1944. 37 с.
5. *Пути повышения производительности подземных скважин и отдачи пласта : отчет о НИР.* Ухта, 1945. 152 с.
6. *Кремс А. Я., Здоров С. Ф., Бондаренко С. М., Адамов А. И.* Шахтная разработка нефтяных месторождений. М.: ГОСТОПТЕХИЗДАТ, 1955. 274 с.
7. *Здоров С. Ф.* Опыт разработки и эксплуатации НШ №1 : отчет о НИР. Ухта, 1942. 35 с.
8. *Цукерник З. Г.* Бурение подземных скважин : отчет о НИР. Ухта, 1942. 76 с.
9. *Нефтедобывающая промышленность СССР. 1917–1967 / Под общей ред. В. Д. Шашина.* М. : Издательство «Недра», 1968. 320 с.
10. *Пятнадцать лет работы Ухтинского комбината НКВД СССР: Сборник.* Ухта, 1944. 70 с.
11. *Кремс А. Я.* История советской геологии нефти и газа : Научно-исторические очерки. Ленинград : Недра, Ленинградское отделение, 1964. 379 с.
12. *Круковский В. С.* Шаги в неведомое : Ярега – вчера, сегодня, завтра... . Сыктывкар : Коми книжное издательство, 1979. 176 с.
13. *Табаков В. П., Малафеев Г. Е., Гуров Е. И.* Термощахтная разработка нефтяных и битумных месторождений. М. : ОАО «Всерос. нефтегаз. науч.-исслед. ин-т», 2010. 406 с.

References

1. Zhangabylov R.A. Pervyye rezul'taty primeneniya shahtnogo metoda razrabotki neftyanykh mestorozhdenij na Yarege: burenie podzemnykh skvazhin [First results of application of

- the mine method of oil fields development in Yarega: underground wells drilling] // Resources of the European North. Technologies and economics of development. 2019. № 2 (16). P. 12–19.
2. *Gurov E.I.* Yaregskie neftyanye shahty: Stranicy istorii [Yarega oil mines: Pages of history]. Ukhta, 2004. 48 p.
 3. *Ruzin L.M., Chuprov I.F.* Tehnologicheskie principy razrabotki zalezhej anomal'no vjazkih neftej i bitumov [Technological principles for the development of deposits of abnormally viscous oils and bitumen]. Ukhta: Ukhta State Techn. Univ., 2007. 244 p.
 4. *Zvyagin P.Z., Shein P.N.* Predvaritel'nye itogi stroitel'stva i osnovanija jeksploatacii N-Sh-№ 1: otchet o NIR [Preliminary results of construction and grounds for operation of oil mine No. 1: research report]. Ukhta, 1944. 37 p.
 5. *Puti povysheniya proizvoditel'nosti podzemnykh skvazhin i otdachi plasta: otchet o NIR* [Ways to improve the productivity of underground wells and reservoir recovery: research report]. Ukhta, 1945. 152 p.
 6. *Krems A.Ya., Zdorov S.F., Bondarenko S.M., Adamov A.I.* Shahtnaja razrabotka neftyanykh mestorozhdenij [Mine development of oil fields]. Moscow: GOSTOPTHEIZDAT, 1955. 274 p.
 7. *Zdorov S.F.* Opyt razrabotki i jeksploatacii NSh №1: otchet o NIR [Experience in the development and operation of oil mine No. 1: research report]. Ukhta, 1942. 35 p.
 8. *Tsukernik Z.G.* Burenie podzemnykh skvazhin: otchet o NIR [Drilling underground wells: research report]. Ukhta, 1942. 76 p.
 9. *Neftedobyvajushhaja promyshlennost' SSSR. 1917-1967* [Oil industry of the USSR. 1917-1967] / Ed. V.D. Shashin. Moscow: "Nedra" Publ., 1968. 320 p.
 10. *Pjatanadcat' let raboty Uhtinskogo kombinata NKVD SSSR* [Fifteen years of work of the Ukhta Combine of the NKVD of the USSR]: Collection. Ukhta, 1944. 70 p.
 11. *Krems A.Ya.* Istorija sovetskoj geologii nefti i gaza: Nauchno-istoricheskie ocherki [History of Soviet oil and gas geology: scientific and historical essays]. Leningrad: Nedra, Leningrad division, 1964. 379 p.
 12. *Krukovskiy V.S.* Shagi v nevedomoe: Jarega – vchera, segodnja, zavtra... [Steps into the unknown: Yarega – yesterday, today, tomorrow ...]. Syktyvkar: Komi Book Publ. House, 1979. 176 p.
 13. *Tabakov V.P., Malafeev G.E., Gurov E.I.* Termoshahtnaja razrabotka neftyanykh i bitumnykh mestorozhdenij [Thermal mining development of oil and bitumen deposits]. Moscow: All-Russian Oil and Gas Research Inst., JSC, 2010. 406 p.

Статья поступила в редакцию 28.10.2020

**ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ ЖУРНАЛА
«Известия Коми НЦ УрО РАН»
серии «Науки о Земле»**

Журнал публикует научно-аналитические обзоры (объем до 1,5 п.л.), оригинальные статьи (до 0,8 п.л) и краткие сообщения (до 0,3 п.л.) теоретического и экспериментального характера по различным направлениям наук о Земле.

25.00.01 Общая и региональная геология

25.00.02 Палеонтология и стратиграфия

25.00.03 Геотектоника и геодинамика

25.00.04 Петрология, вулканология

25.00.05 Минералогия, кристаллография

25.00.06 Литология

25.00.11 Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения

25.00.12 Геология, поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений

25.00.13 Обогащение полезных ископаемых

25.00.24 Экономическая, социальная, политическая и рекреационная география

Статьи должны отражать результаты законченных и методически корректно выполненных исследований. Изложение материала должно быть ясным, лаконичным и последовательным.

Направляя статью в наш журнал, Вы соглашаетесь с нашим **Положением о публикационной этике журнала** (приведено на сайте журнала). Решение о публикации принимается редакционной коллегией журнала после рецензирования, с учетом новизны, научной значимости и актуальности представленных материалов. Статьи, отклоненные редакционной коллегией, повторно не рассматриваются.

К публикации также принимаются комментарии к ранее опубликованным работам, информация о научных конференциях, рецензии на книги, хроника событий научной жизни.

Общие требования к оформлению рукописей

Статьи должны сопровождаться направлением того научного учреждения, где была выполнена работа, а также экспертным заключением о возможности опубликования в открытой печати. В случае отсутствия возможности представить экспертное заключение, автор (авторы) статьи могут подать заявление на проведение экспертизы в ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. Статья должна быть подписана всеми авторами (автором) с указанием (полностью) фамилии, имени, отчества, места работы, служебного телефона и e-mail. Рекомендуется указать автора, который будет вести переписку с редколлегией журнала.

В редакцию подается рукопись статьи в двух экземплярах – в печатном и электронном вариантах (WinWord под Windows). 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** или ответственному секретарю серии **izvestia@geo.komisc.ru**. Текст набирается шрифтом 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 устанавливаются следующими: левое – 25 мм, верхнее – 20 мм, правое – 10 мм, нижнее – 25 мм. **Текстовый редактор:** Microsoft Word for Windows. Текст статьи набирается без принудительных переносов, разрядки слов не допускаются. В числовых значениях десятичные разряды отделяются запятой (например, 102,5). Для специальных символов, таких как греческие буквы, степень, умножение и т. д., используется стандартная кодировка, которая обеспечивается сочетанием клавиш в программе Word [Вставка | Символ].

Не рекомендуется пользоваться при работе со статьей программой Microsoft Graph и программами Paint из Windows 95, Microsoft Draw.

Сокращение следует проводить по ключевым буквам слов в русском написании. При первом упоминании терминов, неоднократно используемых в статье, необходимо давать их полное наименование и сокращение в скобках, в последующем применяя только сокращение. В заголовке статьи и аннотации сокращения не используются.

Все используемые, включая общепринятые, аббревиатуры должны быть расшифрованы при первом упоминании. Не допускаются сокращения, кроме стандартных. Необходимо использовать исключительно единицы СИ. Все названия видов флоры и фауны даются на латыни с указанием авторов, родовое и видовое названия выделяются курсивом. Объем иллюстраций (таблицы, рисунки, фото) в статье не должен превышать 5-7 шт. Количество иллюстраций в кратких сообщениях не должно превышать 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, информационно ёмким и не содержать сокращений; далее следуют инициалы и фамилии авторов. Отдельной строкой дается название учреждения и города (для иностранных авторов – также страны). Далее приводится электронный адрес для переписки. При наличии авторов из нескольких организаций необходимо арабскими цифрами указать их принадлежность. Через один полуторный интервал далее следует краткая аннотация (8-10 строк), в которой кратко описываются основные результаты работы. После аннотации через полуторный интервал

приводятся ключевые слова (до 10). Далее идут название статьи, аннотация и ключевые слова на английском языке. Английская аннотация объемом (до 2000 печатных знаков или 1 машинописная страница) для читателей, не владеющих русским языком, должна стать независимым источником информации (пересказом статьи). В тех случаях, когда текст статьи поделен на разделы, автор может подобным образом разделить и текст аннотации. Редколлегия проверяет качество английского текста и вносит необходимые правки. Во избежание разночтений автор в отдельном файле представляет русский текст, по которому был произведен перевод расширенной аннотации.

Текст статьи состоит, как правило, из введения, основного текста, заключения (резюме) и списка литературы. В статье, описывающей результаты экспериментальных исследований, рекомендуется выделить разделы: «Материал и методы», «Результаты и обсуждение».

Во введении должны быть изложены цель, суть и новизна рассматриваемой задачи с обязательным кратким анализом данных наиболее важных и близких работ других авторов. В разделе «Материал и методы» должны быть четко и кратко описаны методы и объекты исследования. Подробно описываются только оригинальные методы исследования, в других случаях указывается суть метода и дается ссылка на источник заимствования, а в случае модификации – указывается, в чем конкретно она заключается.

В разделе «Результаты и обсуждение» 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.

Таблицы должны быть составлены в соответствии с принятым стандартом, без включения в них легко вычисляемых величин. Таблицы должны быть отформатированы одинаковым образом, пронумерованы в порядке их появления в тексте, иметь тематический заголовок. Каждая таблица предоставляется на отдельной странице. 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 должны быть заменены условными знаками, которые объясняются в примечании. Единицы измерения даются через запятую: масса, г. Если таблица в статье одна, то 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. Подрисуночные подписи прилагаются отдельно. Каждый рисунок должен сопровождаться подписью на русском и английском языках (английская подпись должна соответствовать русской).

Графика должна быть подготовлена в форматах EPS, PSD, TIFF или JPG и представлена отдельными файлами. Допускается векторный формат CDR. Расширения файлов должны соответствовать их типу. Рисунки в тексте упоминаются как „рис.“ с указанием номера (рис.1).

Растровые рисунки должны сохраняться только в формате TIFF с разрешением не менее 300 dpi (точек на дюйм) для фотографий и не менее 600 dpi (точек на дюйм) 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).

Ширина рисунков должна быть либо 90 мм, либо 185 мм, а высота – не более 240 мм. Шрифт буквенных и цифровых обозначений на рисунках – Times New Roman, кегль –9-10. Линии должны быть яркими (4-5 pixel). Следует избегать оттеночных заливок 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 карты). Транскрипции географических названий должны быть сверены с последней редакцией Государственного каталога географических наименований Росреестра (<https://rosreestr.ru/site/activity/gosudarstvennyy-katalog-geograficheskikh-nazvaniy/naimenovaniya-geograficheskikh-obektovna-territorii-rossiyskoy-federatsii>), атласов, изданных Роскартографией (ГУГК СССР), с данными ОКАТО или с данными из официальных актов российских государственных/муниципальных органов управления. Масштаб необходимо указывать графически (в виде линейки). Следует избегать присутствия на микрофотографиях технической информации, не представляющей интереса для читателей или уже приведенной в тексте.

В тексте цитированную литературу следует 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) и 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, независимо 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.

Список литературы и References оформляется по нижеприведенным примерам (следует обратить особое внимание на знаки препинания):

Список литературы:

1. *Иванов И.И.* Название статьи // Название журнала. 2005. Т.41. № 4. С. 18–26.
2. *Петров П.П.* Название книги. М.: Наука, 2007. Общее число страниц в книге (например, 180 с.) или конкретная страница (например, С. 75.).
3. *Казakov К.К.* Название диссертации: Дис. канд. биол. наук. М.: Название института, 2002. 164 с.

References:

1. Ivanov I.I. Nazvanie stat'i [Article title] // Nazvanie zhurnala [Journal title]. 2005. T.41. № 4. S. 18–26.
2. Petrov P.P. Nazvanie knigi [Book title]. M.: Nauka, 2007. Obshchee chislo stranic v knige (naprimer, 180 p.) ili konkrernaya stranica (naprimer, p. 75.).
3. Kazakov K.K. Nazvanie dissertatsii [Dissertation title]: Dis. kand. biol. nauk. M.: Nazvanie instituta, 2002. 164 p.

При наличии большого количества авторов в списке литературы указываются все.

Для транслитерации списка литературы удобно использовать интернет-ресурс <http://translitoline.ru/>

При несоблюдении этих перечисленных правил, статья не рассматривается редакционной коллегией, а возвращается авторам на доработку.

Редакция принимает для опубликования статьи на английском языке (оригинальные, либо переведенные на английский язык профессиональным переводчиком). Такие рукописи следует сопровождать аннотацией, подписями к рисункам и названиям таблиц на русском языке.

Все статьи проходят рецензирование и, в случае необходимости, возвращаются авторам на доработку. Рецензирование статьи закрытое. 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 коллегия 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 коллегия или передать правку по указанному телефону или электронному адресу редакционной коллегии.

В случае отклонения материала рукописи, приложения и диски не возвращаются.

Материалы, опубликованные в научном журнале «Известия Коми НЦ УрО РАН» серии «Науки о Земле», размещаются в РИНЦ, и на сайтах ФИЦ Коми НЦ УрО РАН и ИГ Коми НЦ УрО РАН (раздел: Публикации). Статьям присваивается DOI.

Рукописи статей **только простым письмом** направлять по адресу:

Ответственному секретарю серии «Науки о Земле»

журнала «Известия Коми НЦ УрО РАН»

167982, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54

Тел. (8212) 24-53-53

E-mail: izvestia@geo.komisc.ru

Научный журнал

ИЗВЕСТИЯ
Коми научного центра
Уральского отделения РАН
Серия «Науки о Земле»

Вып. 6 (46)

Выпуск подготовили:

Ответственный редактор серии д.г.- м.н. А.М. Пыстин
Ответственный секретарь серии к.г.- м.н. Е.В. Антропова
Редактор Т.В.Цветкова
Компьютерное макетирование Е.Н. Старцева
Корректурa английского перевода Т.А. Искакова

Лицензия № 0047 от 10.01.1999.
Компьютерный набор. Подписано в печать 16.12.2020.
Формат бумаги 60x84¹/₈. Печать офсетная.
Уч.-изд. л. 14. Усл.-печ.л. 14,5. Тираж 300. Заказ №42.
Свободная цена.

Подготовлено к изданию редакцией журнала «Известия Коми НЦ УрО РАН».
167982, ГСП, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 24.
Отпечатано в редакционно-издательском отделе ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.
167982, ГСП, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, 48.

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.