

ISSN 1994-5655

2 (60) • 2023



ИЗВЕСТИЯ

КОМИ НАУЧНОГО ЦЕНТРА
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

www.izvestia.komisc.ru

Серия
«Науки о Земле»



Научный журнал

Основан в 2010 г.

Выходит восемь раз в год

Учредитель

Федеральное государственное бюджетное

учреждение науки

Федеральный исследовательский центр

«Коми научный центр УрО РАН»

ИЗВЕСТИЯ

КОМИ НАУЧНОГО ЦЕНТРА
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

№ 2 (60)

Серия «НАУКИ О ЗЕМЛЕ»

2023

Главный редактор – акад. РАН А.М. Асхабов

Зам. главного редактора – чл.-корр. РАН С.В. Дёгтева

Зам. главного редактора – чл.-корр. РАН В.Н. Лаженцев

Ответственный секретарь – к.и.н. Д.В. Милохин

Редакционный совет:

акад. РАН В.В. Алексеев, акад. РАН А.А. Барях, акад. РАН В.И. Бердышев, д.м.н. Е.Р. Бойко, чл.-корр. РАН И.Н. Болотов, акад. РАН В.Н. Большаков, Ph.D. (Есop.) К. Борисова-Маринова (Болгария), д.ф.-м.н. Т.М. Бречко (Польша), к.г.-м.н. И.Н. Бурцев, акад. РАН А.Д. Гвишиани, д.ф.-м.н. Н.А. Громов, д.и.н. И.Л. Жеребцов, д.б.н. В.Г. Зайнуллин, чл.-корр. РАН В.А. Ильин, акад. РАН С.В. Кривовичев, И.В. Курляк, акад. РАН А.В. Кучин, чл.-корр. РАН Ю.Б. Марин, акад. РАН В.П. Матвеев, д.и.н. В.И. Меньковский (Беларусь), акад. РАН Г.А. Месяц, чл.-корр. РАН А.А. Москалев, д.э.н. Л.А. Попова, чл.-корр. РАН В.Н. Пучков, д.г.-м.н. А.М. Пыстин, чл.-корр. РАН И.М. Рощевская, акад. РАН М.П. Рощевский, д.х.н. С.А. Рубцова, д.и.н. Э.А. Савельева, д.и.н. Т.С. Садыков (Казахстан), чл.-корр. РАН А.Ф. Титов, д.б.н. С.Н. Харин, к.б.н. И.Ф. Чадин, акад. РАН В.Н. Чарушин, д.т.н. Ю.Я. Чукреев, д.б.н. Е.В. Шамрикова, акад. РАН В.С. Шацкий, д.э.н. А.Г. Шеломенцев, к.э.н. А.А. Юдин

Редакционная коллегия серии «Науки о Земле»:

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

Адрес редакции:

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

ISSN 1994-5655

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

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

Подписной индекс в каталоге «Почта России» 52047

Журнал включен в перечень рецензируемых научных изданий ВАК

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
«Коми научный центр УрО РАН», 2023

Science Journal

Founded in 2010

Published 8 times a year

Established by

Federal State Budgetary

Institution of Science

Federal Research Centre

«Komi Science Centre, Ural Branch, RAS»

PROCEEDINGS

OF THE KOMI SCIENCE CENTRE
URAL BRANCH
RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

№ 2 (60)

«EARTH SCIENCES» series

2023

Editor-in-chief – RAS acad. A.M. Askhabov

Deputy editor-in-chief – RAS corresp. member S.V. Degteva

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

Executive secretary – Cand. Sci. (Hist.) D.V. Milokhin

Editorial Council:

RAS acad. V.V. Alekseev, RAS acad. A.A. Baryakh, RAS acad. V.I. Berdyshev, Dr. Sci. (Med.) E.R. Bojko, RAS corresp. member I.N. Bolotov, RAS acad. V.N. Bolshakov, Ph.D. (Econ.) K. Borisova-Marinova (Bulgaria), Dr. Sci. (Phys.-Math.) T.M. Brechko (Poland), Cand. Sci. (Geol.-Mineral.) I.N. Burtsev, RAS acad. A.D. Gvishiani, Dr. Sci. (Phys.-Math.) N.A. Gromov, Dr. Sci. (Hist.) I.L. Zhrebtsov, Dr. Sci. (Biol.) V.G. Zainullin, RAS corresp. member V.A. Ilyin, RAS acad. S.V. Krivovichev, I.V. Kurlyak, RAS acad. A.V. Kuchin, RAS corresp. member Yu.B. Marin, RAS acad. V.P. Matveenko, Dr. Sci. (Hist.) V.I. Men'kovsky (Belarus), RAS acad. G.A. Mesyats, RAS corresp. member A.A. Moskalev, Dr. Sci. (Econ.) L.A. Popova, RAS corresp. member V.N. Puchkov, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.) A.M. Pystin, RAS corresp. member I.M. Roshchevskaya, RAS acad. M.P. Roshchevsky, Dr. Sci. (Chem.) S.A. Rubtsova, Dr. Sci. (Hist.) E.A. Savelyeva, Dr. Sci. (Hist.) T.S. Sadykov (Kazakhstan), RAS corresp. member A.F. Titov, Dr. Sci. (Biol.) S.N. Kharin, Cand. Sci. (Biol.) I.F. Chadin, RAS acad. V.N. Charushin, Dr. Sci. (Tech.) Yu.Ya. Chukreev, Dr. Sci. (Biol.) E.V. Shamrikova, RAS acad. V.S. Shatsky, Dr. Sci. (Econ.) A.G. Shelomentsev, Cand. Sci. (Econ.) A.A. Yudin

Editorial Board of the series «Earth Sciences»:

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

Editorial Office:

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

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 -
ПМ № ФС 77-26969 dated 11 January, 2007

The "Russian Post" catalogue subscription index 52047

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

© Federal State Budgetary Institution
of Science Federal Research Centre
"Komi Science Centre, Ural Branch, RAS", 2023

СОДЕРЖАНИЕ

Д.Д. Коровин, В.Н. Смирнов
Первая U-Pb (SHRIMP-II) датировка гранитоидов Рефтинского массива (Восточная зона Среднего Урала)..... 5

В.В. Удоратин, Ю.Е. Езимова, А.Ш. Магомедова
Разломная тектоника Ухтинской складки Тиманской гряды15

О.В. Удоратина, А.М. Шмакова, А.В. Травин, А.С. Шуйский
Ультраосновные породы рудных полей Среднего Тимана: петрогеохимические
и геохронологические данные26

Н.Н. Зинчук
О геолого-поисковых типах кимберлитовых трубок.....43

**В.И. Силаев, И.В. Смолева, В.Н. Филиппов, С.Н. Шанина, А.Ф. Хазов, Б.А. Макеев,
Д.В. Киселева, А.К. Фокина, Й. ван дер Плихт**
Плейстоценовый морж на реке Печоре: минералого-геохимические данные
и палеоэкологические реконструкции57

В.А. Салдин, И.Н. Бурцев, Ю.С. Симакова, Д.Н. Шеболкин, Д.А. Груздев
Изъюрьельское проявление нижнекаменноугольных каолинов Южного Тимана:
характер залегания, текстурные особенности68

С.В. Фёдорова
Изучение термостойкости минеральных видов слюд81

Ю.В. Титов, С.Л. Кузнецов, И.В. Серебренников
Цеолитовая минерализация пород-коллекторов севера Западной Сибири:
литолого-геофизические аспекты и особенности разработки86

И.М. Беляев, П.В. Истомин, Е.И. Истомина, А.В. Надуткин, В.Э. Грасс
Лейкоксеновый концентрат как эффективное сырье
для получения высокотемпературных керамических композитов на основе МАХ-фаз 97

Юбилей

Лидия Александровна Анищенко (к 90-летию со дня рождения)106

Михаил Иванович Сумгин – основоположник науки «Мерзлотоведение»
(к 150-летию со дня рождения)108

CONTENTS

D.D. Korovin, V.N. Smirnov The first U-Pb (SHRIMP-II) dating of the Reftinsky massif granitoids (Eastern zone of the Middle Urals).....	5
V.V. Udoratin, Yu.E. Ezimova, A.Sh. Magomedova Fault tectonics of the Ukhta fold in the Timan Ridge	15
O.V. Udoratina, A.M. Shmakova, A.V. Travin, A.S. Shuisky Ultrabasic rocks of ore fields of the Middle Timan: petrogeochemical and geochronological data	26
N.N. Zinchuk Geological-searching and petrography of kimberlite pipes	43
V.I. Silaev, I.V. Smoleva, V.N. Filippov, S.N. Shanina, A.F. Khazov, B.A. Makeev, D.V. Kiseleva, A.K. Fokina, J. van der Plicht Pleistocene walrus on the Pechora River: mineralogical and geochemical data and paleoecological reconstructions	57
V.A. Saldin, I.N. Burtsev, Yu.S. Simakova, D.N. Shebolkin, D.A. Gruzdev Izyuryel occurrence of Lower Carboniferous kaolins of the South Timan: occurrence mode, textural features	68
S.V. Fedorova Heat resistance study of mineral mica species.....	81
Yu.V. Titov, S.L. Kuznetsov, I.V. Serebrennikov Zeolite mineralization of reservoir rocks in the north of Western Siberia: lithological and geophysical aspects and features of development.....	86
I.M. Belyaev, P.V. Istomin, E.I. Istomina, A.V. Nadutkin, V.E. Grass Leucoxene concentrate as an effective source for synthesizing MAX phase high-temperature ceramic composites.....	97
Anniversaries	
Lidia Alexandrovna Anishchenko (to the 90th anniversary)	106
Mikhail Ivanovich Sumgin - a founder of cryopedology as a science (to the 150th anniversary)	108

Первая U-Pb (SHRIMP-II) датировка гранитоидов Рефтинского массива (Восточная зона Среднего Урала)

Д.Д. Коровин, В.Н. Смирнов

Институт геологии и геохимии
имени академика А.Н. Заварицкого УрО РАН,
г. Екатеринбург
korovin@igg.uran.ru
smirnov@igg.uran.ru

Аннотация

В статье приводятся результаты U-Pb датирования (SHRIMP-II, Центр изотопных исследований ВСЕГЕИ) зерен циркона из лейкогранита завершающего этапа формирования Рефтинского габбро-гранитоидного массива, являющегося одним из наиболее крупных ареалов магматизма этого типа на Урале. Интрузивные образования датированного эпизода магматизма образуют вытянутую в субмеридиональном направлении цепочку небольших по размеру (до 5 км в поперечнике) тел, которые прорывают плагиоклазовые гранитоиды силурийского возраста, слагающие большую часть массива. В этих телах преобладают гранодиориты, граниты и лейкограниты, а также присутствуют габбро, габбронориты, диориты и кварцевые диориты. По химическому составу значительная часть пород относится к умеренно калиевой известково-щелочной серии, наиболее богатые кремнеземом разновидности имеют высококалиевый состав. Конкордантный возраст цирконов из лейкогранитов составляет 396 ± 3 млн лет. Это подтверждает, что их формирование соответствует по времени крупному эпизоду эндогенной активности – период существования в пределах Среднего Урала девонской островной дуги (со второй половины эмса до начала франского века включительно).

Ключевые слова:

Урал, гранитоиды, U-Pb-SIMS датирование

Введение

Расположенный в пределах восточной окраины Среднего Урала Рефтинский габбро-гранитоидный массив является одним из наиболее крупных интрузивных тел этого состава на Урале. В его составе резко преобладают габбро, диориты и плагиоклазовые гранитоиды рефтинского комплекса, кроме того, в значительном количестве присутствуют породы офиолитовой ассоциации (рис. 1). В западной части массива кварцевые диориты и тоналиты рефтинского комплекса прорваны небольшими по размеру плутонами, сложенными калиево-натриевыми гранитоидами. Наряду с ними в некоторых телах присутствуют петрографические

The first U-Pb (SHRIMP-II) dating of the Reftinsky massif granitoids (Eastern zone of the Middle Urals)

D.D. Korovin, V.N. Smirnov

Institute of Geology and Geochemistry named after academician
A.N. Zavaritsky of the Ural Branch of the Russian Academy of
Sciences, Ekaterinburg
korovin@igg.uran.ru
smirnov@igg.uran.ru

Abstract

The article presents the results of U-Pb dating (SHRIMP-II, the Center for Isotope Research of the A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute) of zircon grains from leucogranite dating back to the final formation stage of the Reftinsky gabbro-granitoid massif, which is one of the largest magmatism areas of this type in the Urals. The intrusive formations of the dated magmatism episode form a sub-meridionally elongated chain of small (up to 5 km in diameter) bodies, which intrude the Silurian plagioclase granitoids building up the main part of the massif. These bodies are dominated by granodiorites, granites, and leucogranites with some gabbro, gabbronorites, diorites, and quartz diorites. By the chemical composition, the study rocks belong mainly to the moderate-potassium calc-alkaline series. The silica-rich petrographic rock varieties have a high-potassium composition. The concordant age of zircons from leucogranites is 396 ± 3 Ma. So, the formation of zircons falls in the same time interval with a significant episode of endogenous activity, i.e. the existence of the Devonian island arc within the Middle Urals (from the second half of the Emsian through the beginning of the Frasnian).

Keywords:

Urals, granitoids, U-Pb-SIMS dating

разновидности основного и среднего составов. Изотопными методами установлено, что возраст пород рефтинского комплекса раннесилурийский [1]. Надежной информации о возрасте прорывающих их тел до настоящего времени нет. Геологические наблюдения, позволяющие оценить возраст таких тел, отсутствуют, а изотопно-геохронологические данные ограничиваются единичными анализами, полученными недостаточно точными K-Ar и $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ методами. В работе Г.Б. Ферштатера с соавторами [2] говорится о наличии датировки 405 ± 8 млн лет, полученной $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ методом (метод Кобера, Университет г. Гранады,

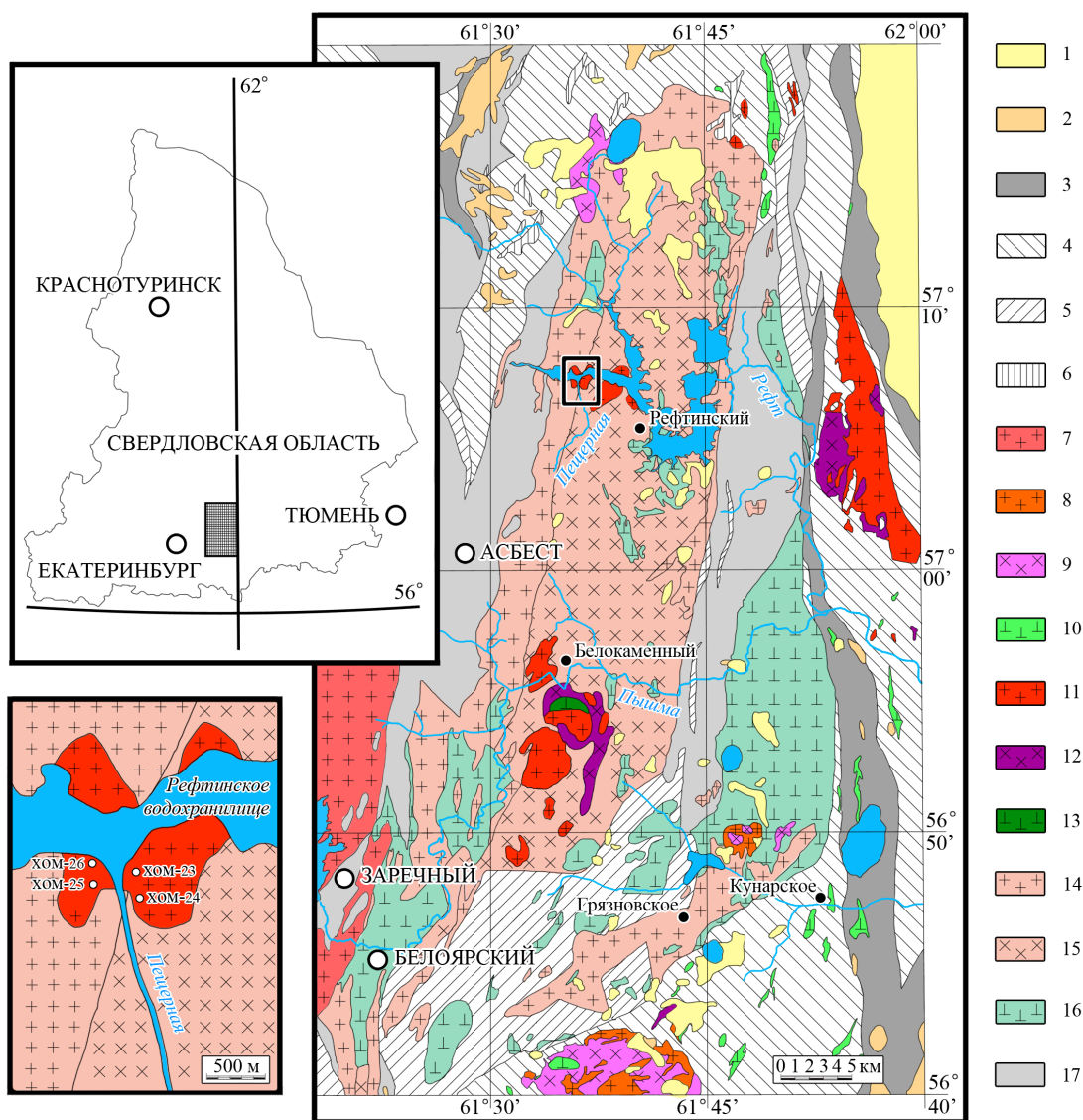


Рисунок 1. Геологическая карта Рефтинского массива (по [3] с уточнениями авторов).

Условные обозначения: 1 – осадочные породы палеогенового возраста (P_{1-3}); 2 – мелового возраста (K_{1-2}); 3 – раннекаменноугольного возраста (C_1); 4 – девонские вулканогенные и вулканогенно-осадочные толщи (D_{1-3}); 5 – вулканогенные толщи ордовикского возраста (O_3); 6 – риолиты пермского урукульско-покровского гипабиссального риолит-трахириолитового комплекса (P); 7 – гранитоиды каменского гранит-гранодиоритового комплекса (C_{2-3}); 8–10 – plutonic rocks of the Nekrasov complex: 8 – гранитоиды (C_1), 9 – диориты (C_1), 10 – габбро (C_1); 11–13 – девонские интрузии: 11 – гранитоиды (D_2), 12 – диориты (D_2), 13 – габбро (D_2); 14–16 – рефтинский комплекс: 14 – плагиограниты (S_2), 15 – кварцевые диориты и тоналиты (S_2), 16 – габбро (S_2); 17 – породы офиолитовой ассоциации, алапаевский дунит-гарцбургит-габбровый комплекс (V).

Figure 1. Geological map of the Reftinsky massif (compiled according to [3] with the authors' corrections).

Legend: 1 – sedimentary rocks of the Paleogene age (P_{1-3}); 2 – the Cretaceous age (K_{1-2}); 3 – the Early Carboniferous age (C_1); 4 – the Devonian volcanogenic and volcanogenic-sedimentary strata (D_{1-3}); 5 – volcanogenic strata of the Ordovician age (O_3); 6 – rhyolites of the Permian Urukul-Pokrovsky hypabyssal rhyolite-trachyrhyolite complex (P); 7 – granitoids of the Kamensky granite-granodiorite complex (C_{2-3}); 8–10 – plutonic rocks of the Nekrasov complex: 8 – granitoids (C_1), 9 – diorites (C_1), 10 – gabbro (C_1); 11–13 – the Devonian intrusions: 11 – granitoids (D_2), 12 – diorites (D_2), 13 – gabbro (D_2); 14–16 – the Reftinsky complex: 14 – plagiogranites (S_2), 15 – quartz diorites and tonalites (S_2), 16 – gabbro (S_2); 17 – rocks of ophiolite association, the Alapaevka dunit-harzburgite-gabbro complex (V).

Испания) по циркону из гранодиорита одного из таких тел (Южно-Хомутинская интрузия, юго-западная часть Рефтинского массива), но сами результаты датирования не приводятся. В объяснительной записке к Геологической карте масштаба 1:200 000 последней редакции [3] имеется ссылка на полученные ранее раннекаменноугольные K-Ar датировки по валовым пробам плагиогранитоидов рефтинского комплекса из экзоконтактной зоны Хомутинской габбро-гранитоидной интрузии (юго-западная часть Рефтинского массива). По мнению авторов записки, эти возрасты являются результатом термального воздействия

интрузии и, следовательно, отражают время ее внедрения. В соответствии с приведенными данными часть таких тел в этой работе отнесена к раннекаменноугольному некрасовскому габбро-диорит-гранитовому комплексу, а другая часть – к ранне-среднедевонскому алтынайскому диорит-плагиогранитовому комплексу. В настоящей работе приводятся первые надежные изотопно-геохронологические данные, полученные U-Pb методом (SHRIMP-II, ВСЕГЕИ), по цирконам из лейкогранитов одного из таких тел – Пещернинского штока, прорывающего тоналиты рефтинского комплекса в северо-западной части массива.

Геологическое строение района

Рефтинский габбро-гранитоидный массив расположен в пределах среднеуральского сегмента Восточной зоны, которая представляет собой полосу палеозойских вулканогенных, вулканогенно-осадочных и осадочных толщ, а также комагматичных вулканитам интрузивных тел, протягивающуюся параллельно главной вулканогенной зоне Среднего Урала – Тагильской – на расстоянии 80–100 км к востоку [4]. С запада эта зона ограничена крупным разрывным нарушением левосдвигового характера – Баженовской шовной зоной [5, 6], в восточном направлении погружается под чехол Западно-Сибирской плиты. Обрамление массива представлено широким спектром преимущественно вулканогенных и вулканогенно-осадочных толщ палеозойского возраста. Контакты с ними большею частью тектонические, но были описаны и рвущие взаимоотношения плагиоклазовых гранитоидов с ультраосновными породами Баженовского массива [7, 8].

Массив состоит из нескольких тектонических блоков (см. рис. 1). Преобладающим типом пород являются плагиоклазовые гранитоиды: кварцевые диориты, тоналиты и плагиограниты (трондьемиты), включенные на карты масштаба 1:200 000 и 1:1 000 000 [3, 9] в состав рефтинского плутонического комплекса, хотя, по мнению авторов настоящей публикации, плагиограниты (трондьемиты) следует отнести к выделенному на смежной к югу площади аверинскому диорит-трондьемитовому комплексу, породам которого они полностью идентичны по петро- и геохимическим особенностям [10, 11]. Плагиоклазовые гранитоиды слагают блок размером 60×15 км в западной части массива, на долю которого приходится более половины его площади. Роговообманковые габбро и диориты рефтинского комплекса образуют два относительно небольших по размеру блока (2×15 и 8×25 км), вытянутых вдоль восточного края массива. От сложенного гранитоидами блока они отделены субмеридиональной полосой пород офиолитовой ассоциации (комплексом параллельных долеритовых даек и габброидами расслоенной части офиолитового разреза). Гранитоидные и габбро-гранитоидные тела, прорывающие плагиоклазовые гранитоиды силурийского возраста, протягиваются в виде цепочки, вытянутой в субмеридиональном направлении вблизи западной границы Рефтинского массива. Размер этих тел на современном эрозионном срезе варьирует от сотен метров до 5–6 км, форма – от субизометричной до неправильной. Значительная часть таких тел, по всей вероятности, соединяется на глубине, образуя достаточно крупные плутоны. Контакты рассматриваемых тел с вмещающими тоналитами резкие, рвущие, с хорошо выраженными зонами закалки, кварц-полевошпатовыми роговиками и роговиковоподобными породами, местами с мощными ореолами метасоматических изменений.

Более детальная характеристика Рефтинского массива дана в работах [1, 12–15].

Для проведения изотопно-геохронологических исследований, результаты которых изложены в настоящей работе, был выбран относительно небольшой по размерам шток, расположенный в северо-западной части Рефтин-

ского массива (устье р. Пещерной). Выбор Пещернинского штока обусловлен тем, что в отличие от большинства интрузивных тел рассматриваемого типа он расположен за пределами зоны наиболее интенсивных метаморфических преобразований, связанных с Баженовской сутурой, что исключает или, по крайней мере, минимизирует возможность влияния этих процессов на результаты датирования.

Краткая характеристика Пещернинского штока

Гранитоидная интрузия (Пещернинский шток) расположена в районе впадения р. Пещерной в Рефтинское водохранилище. На современном эрозионном срезе она имеет неправильную форму и небольшие (около 2.5 км в поперечнике) размеры (см. рис. 1). Однако ввиду того, что на незначительном удалении к востоку от нее расположено еще одно аналогичное по составу гранитное тело, есть все основания предполагать, что на глубине они сливаются, образуя достаточно крупный массив. Выходы гранитоидов Пещернинского штока наблюдаются по обоим берегам р. Пещерной на протяжении около 200 м от ее устья.

Слагающие Пещернинский шток породы является однородными по составу лейкогранитами, содержащими маломощные (до нескольких десятков сантиметров) жилы аплитов. Лейкограниты представляют собой массивные полнокристаллические породы белого, желтого или светло-бежевого цвета. По размеру зерен они варьируют от мелко- до среднезернистых. Главными породообразующими минералами являются кварц (40–45 %), олигоклаз (30–35), ортоклаз (12–18) и биотит (~4 %). Акцессорные минералы – магнетит, ильменит, апатит, циркон, монацит, ксенотим; вторичные (~1 %) – титанит, рутил, серицит, хлорит, эпидот. Лейкограниты характеризуются гранобластовой структурой с плохо сохранившимися реликтами гипидиоморфнозернистой гранитовой, размер зерен варьирует от 0.2 до 2.2 мм. Ненарушенная первичная структура гранитов не наблюдалась. Аплиты по минеральному и химическому составу близки лейкогранитам, отличаясь более мелкозернистой структурой (размер зерен – менее 0.5 мм), незначительно повышенным содержанием кремнезема и пониженной фемичностью. Метаморфические изменения заключаются в интенсивном катаклазе пород, обусловившем потерю первичных магматических структур, и слабо проявленных зеленокаменных преобразованиях.

Химический состав пород Пещернинского штока приведен в табл. 1. Гранитоиды представляют собой нормальнощелочные породы (рис. 2): величина суммы щелочей ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) в них колеблется от 6.69 до 7.79 мас. %. Лейкограниты характеризуются натриевым типом щелочности ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 1.2–1.7$), аплит – калиево-натриевым типом ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 0.9$) [17]. Положение точек пород Пещернинского штока на диаграмме AFM [18] указывает на их принадлежность известково-щелочной серии (рис. 3, а). По классификации А. Печерилла и С.Р. Тейлора [19] лейкограниты Пещернинского штока соответствуют породам умеренно-калиевой, а аплит – высококалиевой известково-щелочной серии (рис. 3, б).

Таблица 1
Химический состав пород Пещернинского штока, мас. %
Table 1
Chemical composition of rocks of the Peshcherninsky stock, wt. %

Оксиды	XOM-24	XOM-23	XOM-26	XOM-25
SiO ₂	76.4	77.7	78.0	79.0
TiO ₂	0.18	0.14	0.12	0.09
Al ₂ O ₃	12.6	12.3	12.1	12.0
Fe ₂ O ₃	1.09	0.40	0.34	0.12
FeO	0.40	0.40	0.40	0.40
MnO	0.04	0.03	0.03	0.01
MgO	0.24	0.11	0.08	0.00
CaO	1.67	0.89	0.78	0.40
Na ₂ O	4.22	4.35	4.23	3.63
K ₂ O	2.47	3.18	3.56	4.26
P ₂ O ₅	0.02	0.01	0.01	0.01
П.п.п.	0.54	0.44	0.34	0.34
Сумма	100.00	100.01	100.00	100.02

Примечание. XOM-24, XOM-23, XOM-26 – лейкограниты; XOM-25 – аплит.
Note. HOM-24, HOM-23, HOM-26 – leucogranites; HOM-25 – aplite.

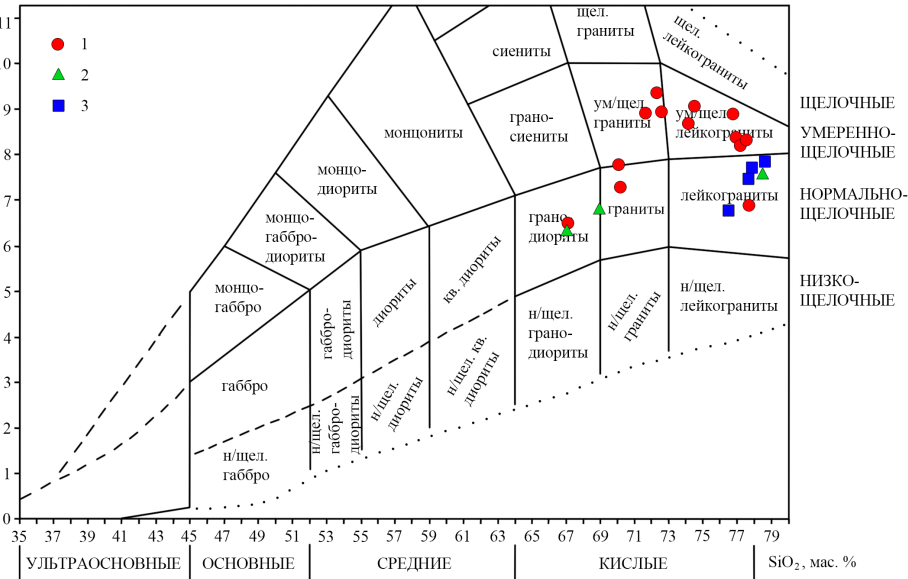


Рисунок 2. Положение гранитоидов Хомутинского, Южно-Хомутинского массивов, Пещернинского штока на классификационной диаграмме $K_2O+Na_2O-SiO_2$ (TAS) [16]. Условные обозначения: 1 – породы Хомутинского массива, 2 – породы Южно-Хомутинского, 3 – породы Пещернинского штока.
Figure 2. The position of granitoids of the Khomutinsky massif, the Yuzhno-Khomutinsky massif, and the Peshcherninsky stock on the alkali sum – silica TAS classification diagram [16]. Symbols: 1 – rocks of the Khomutinsky massif, 2 – rocks of the Yuzhno-Khomutinsky massif, 3 – rocks of the Peshcherninsky stock.

Содержания элементов-примесей Пещернинского штока показаны в табл. 2, характер их распределения иллюстрируют рис. 4 и 5. Общее количество редкоземельных элементов варьирует в лейкогранитах от 64.19 до 72.66 г/т и понижается в аплите до 21.68 г/т. Графики распределения РЗЭ (рис. 4) во всех породах Пещернинского штока характеризуются преобладанием легких элементов спектра над тяжелыми (отношение La_n/Yb_n имеет величину 13,63–17,42 в лейкогранитах и 2.15 – в гранитах) и наличием хорошо выраженной отрицательной европиевой аномалии (величина Eu/Eu^* равна 0.57–0.61 в лейкогранитах и 0.22 – в аплите). Мультикомпонентные спайдер-диаграммы гранитоидов Пещернинского штока (рис. 5) характеризуются отчетли-

выми минимумами высоkozарядных элементов Nb, Ta и Ti при положительной аномалии K и Zr. График распределения элементов в аплите показывает заметно пониженное по сравнению с лейкогранитами содержание Ba, Sr и легких лантаноидов.

Материал и методы

Для проведения изотопно-геохронологических исследований из коренного выхода типичного для датированной интрузии лейкогранита на правом берегу р. Пещерной, в непосредственной близости от ее устья, была отобрана проба XOM-24. Координаты точки отбора – 57°07,069' с.ш., 61°36,286' в.д. Выделение циркона проводилось с использованием обычного набора методов, включающего дробление пробы, промывку издробленного материала в воде до серого шлиха, магнитную сепарацию, разделение в тяжелых жидкостях и ручной отбор зерен циркона под бинокулярным микроскопом. При выборе точек для датирования использовались оптические и катодолюминесцентные изображения зерен. Анализ U-Pb изотопной системы цирконов выполнялся на вторично-ионном микрозонде SHRIMP-II (Центр изотопных исследований ВСЕГЕИ) по стандартной методике [22, 23].

Результаты и их обсуждение

Все наблюдавшиеся в изученной пробе лейкогранита зерна циркона представляют собой идиоморфные короткопризматические кристаллы, имеющие огранку в виде тетрагональной призмы {100} с развитыми гранями двух дипирамид по {111} и {331} (рис. 6). Как правило, они бледно-желтой окраски, в виде исключения встречаются также бесцветные зерна. Размер варьирует от 100 до 450 мкм по длинной оси и от 50 до 200 мкм в поперечнике. Коэффициент удлинения зерен практически постоянен – 2–2,5. Катодолюминесцентные снимки демонстрируют отчетливо выраженное ритмично-зональное строение зерен. Некоторые из них имеют черную незональную кайму. Измерения изотопного состава преимущественно выполнены в центральных частях кристаллов, в некоторых зернах дополнительно проведены замеры и во внешних зонах. Результаты изучения U-Pb изотопной системы цирконов приведены в табл. 3. На изотопной диаграмме $^{206}Pb/^{238}U - ^{207}Pb/^{235}U$ (рис. 7), построенной по этим данным, семь из 10 проанализированных точек образуют компактную группу, среднее значение конкордантного возраста по которой составляет 396 ± 3 млн лет при $СКВО=0.49$ и вероятности

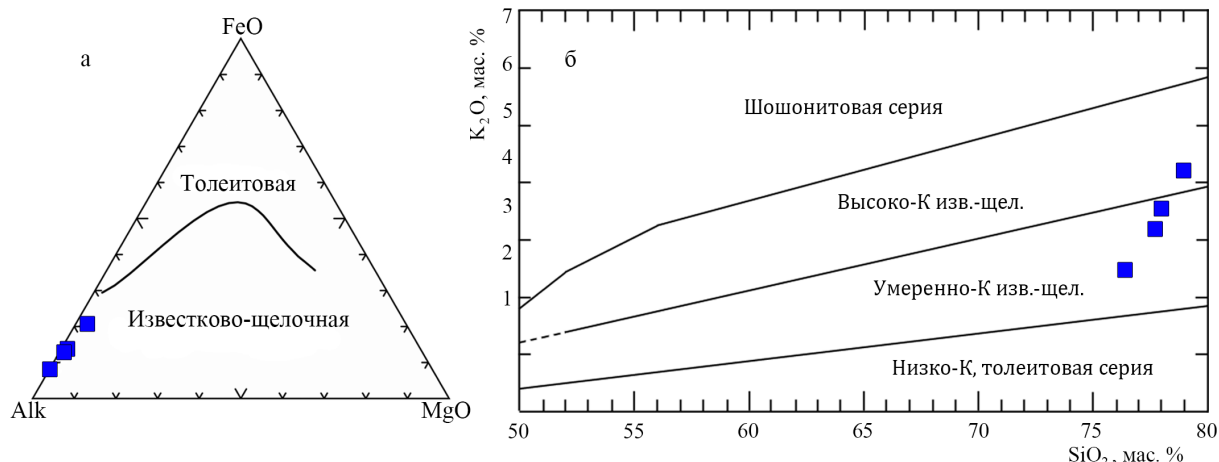


Рисунок 3. Положение гранитоидов Пещернинского штока (отмечены фигуративными точками) на классификационных диаграммах: а – диаграмма AFM [18] для разделения пород толеитовой и известково-щелочной серий; б – диаграмма А. Печерилла и С.Р. Тейлора [19] для разделения пород по содержанию калия.

Figure 3. The position of granitoids of the Peshcherninsky stock (marked with figurative dots) on the classification diagrams: а – AFM diagram [18] for division of rocks to tholeiitic and calc-alkaline series; б – diagram of A. Peccerillo and S.R. Taylor [19] for division of rocks by potassium content.

Таблица 2

Микроэлементный состав гранитоидов Хомутинского массива и Пещернинского штока, г/т

Table 2

Trace element composition of granitoids of the Khomutinsky massif and the Peshcherninsky stock, ppm

Образец	ХОМ-19	ХОМ-17-1	ХОМ-24	ХОМ-23	ХОМ-26	ХОМ-25
1	2	3	4	5	6	7
№	1	2	3	4	5	6
Li	0.8	2.0	5.0	4.0	4.0	0.9
Be	1.10	0.38	0.60	0.44	0.90	0.60
Sc	11.0	3.4	6.0	4.4	5.0	4.0
Ti	1200	600	1000	700	800	400
V	5.0	0.9	17.0	7.0	6.0	1.9
Cr	1.8	1.0	1.0	0.9	16.0	0.9
Mn	130	130	360	230	250	90
Co	0.60	0.3	1.70	0.80	0.90	0.31
Ni	1.7	1.4	1.7	1.4	12.0	1.5
Cu	7.0	6.0	2.9	2.6	35.0	3.0
Zn	22	19	13	9	18	9
Ga	18	11	13	12	12	11
Ge	1.5	1.4	1.8	1.8	2.0	2.4
As	0.78	0.06	0.32	0.28	0.36	0.17
Se	0.56	0.31	0.46	0.42	0.44	0.41
Rb	20	7	50	67	67	69
Sr	140	180	230	140	150	100
Y	14	7	15	10	11	13
Zr	180	56	92	97	110	110
Nb	19	5	5.9	7.0	8.0	7.0
Mo	0.70	0.16	0.17	0.31	0.25	1.80
Ag	0.25	0.05	0.06	0.07	0.09	0.07
Cd	0.13	0.06	0.07	0.07	0.08	0.09
Sn	0.9	0.7	0.70	0.70	0.70	0.34
Sb	0.05	0.02	0.03	0.03	0.04	0.02

конкордантности 0.48. Очевидно, что этот возраст может рассматриваться как время образования породы. Для двух точек (1.1 и 3.1) получены более молодые, по сравнению с преобладающей частью циркона, возрасты (приблизительно на 20 млн лет). Скорее всего, они объясняются

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
Te	0.06	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Cs	0.03	0.03	0.18	0.31	0.29	0.09
Ba	270	330	700	800	800	160
La	7	7	19	17	14	3
Ce	17	15	35	33	29	8
Pr	2.2	1.9	3.7	3.4	3.1	1.0
Nd	9.0	7.0	13.0	12.0	11.0	3.8
Sm	1.8	1.5	2.1	2.1	1.9	1.1
Eu	0.30	0.26	0.42	0.37	0.37	0.08
Gd	2.0	1.3	2.1	1.9	1.8	1.1
Tb	0.30	0.15	0.22	0.19	0.19	0.17
Dy	1.9	0.9	1.3	1.0	1.1	1.1
Ho	0.40	0.18	0.26	0.19	0.20	0.23
Er	1.3	0.6	0.8	0.6	0.6	0.8
Tm	0.20	0.09	0.13	0.09	0.10	0.13
Yb	1.4	0.7	1.0	0.7	0.7	1.0
Lu	0.22	0.12	0.16	0.12	0.13	0.17
Hf	2.3	1.2	1.6	1.7	1.9	2.4
Ta	0.70	0.16	0.25	0.25	0.33	0.26
W	0.10	0.10	0.05	0.21	0.17	0.06
Tl	0.17	0.06	0.14	0.18	0.20	0.18
Pb	9	10	8	11	11	12
Th	3.3	3.9	9.0	10.5	10.0	7.0
U	0.41	0.49	2.1	1.8	2.5	2.9
Eu/Eu*	0.48	0.57	0.61	0.57	0.61	0.22
Lan/Ybn	3.58	7.17	13.63	17.42	14.35	2.15
Σ REE	45.02	36.70	79.19	72.66	64.19	21.68

Примечание. ХОМ-19 – гранит Хомутинского массива, ХОМ-17-1 – лейкогранит Хомутинского массива; ХОМ-23, ХОМ-24, ХОМ-26 – лейкограниты Пещернинского штока; ХОМ-25 – аплит Пещернинского штока.

Note. HOM-19 – granite of the Khomutinsky massif; HOM-17-1 – leucogranite of the Khomutinsky massif; HOM-23, HOM-24, HOM-26 – leucogranites of the Peshcherninsky stock; HOM-25 – aplite of the Peshcherninsky stock.

нарушением U-Pb изотопной системы циркона. Наиболее молодое значение возраста – около 174 млн лет (точка измерения – 4.2) – получено по циркону поздней генерации, который нарастает на зерно циркона главной возрастной группы (рис. 6). От циркона, преобладающего в изученной

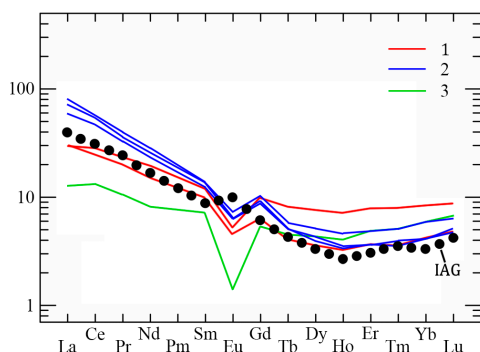


Рисунок 4. Нормированное по хондриту [20] распределение редкоземельных элементов в гранитоидах Хомутинского массива и Пещернинского штока, сравнение с гранитами островных дуг (IAG) [28].

Условные обозначения: 1 – граниты Хомутинского массива; 2 – лейкограниты Пещернинского штока; 3 – аплит Пещернинского штока.

Figure 4. Chondrite normalized [20] distribution of rare earth elements in granitoids of the Khomutinsky massif and the Peshcherninsky stock, comparison with island arc granites (IAGs) [28].

Symbols: 1 – granites of the Khomutinsky massif; 2 – leucogranites of the Peshcherninsky stock; 3 – aplite of the Peshcherninsky stock.

пробе, этот циркон отличается отсутствием зональности, а также значительно повышенным содержанием Pb, U и Th (табл. 3).

Многочисленные мелкие гранитоидные и габбро-гранитоидные интрузии западной части Рефтинского массива, к числу которых относится датированный гранитный шток, имеют одинаковое геолого-структурное положение [27]. Они прорывают зеленокаменно измененные и в разной степени деформированные плагиоклазовые гранитоиды силурийского возраста, образуя цепочку, вытянутую в субмеридиональном направлении в западной части Рефтинского массива (см. рис. 1). Гранитоиды всех этих тел обладают общими особенностями состава: представляют собой породы с нормальным или слабо повышенным содержанием щелочей при незначительном преобладании натрия над калием и обратным их соотношением в наиболее кислых петрографических разновидностях. Это де-

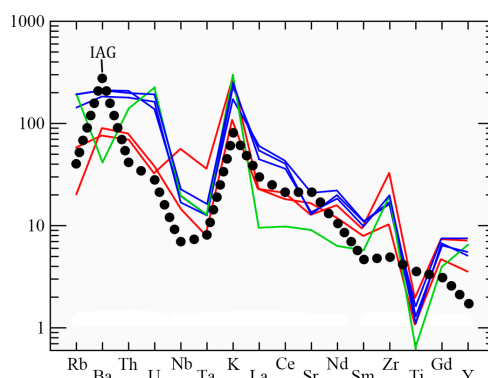


Рисунок 5. Нормированное по хондриту [21] распределение редких и рассеянных элементов в гранитоидах Хомутинского массива и Пещернинского штока, сравнение с гранитами островных дуг (IAG) [28].

Условные обозначения: см. рис. 4.

Figure 5. Chondrite normalized [21] distribution of rare and trace elements in granitoids of the Khomutinsky massif and the Peshcherninsky stock, comparison with island arc granites (IAGs) [28].

The symbols are the same as in Fig. 4.

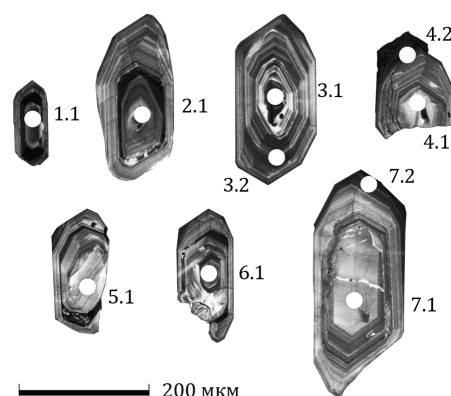


Рисунок 6. Католюминесцентное изображение зерен циркона из лейкогранита пробы ХОМ-24. Кругами показано местоположение точек замеров, цифры соответствуют номерам анализов в табл. 3.

Figure 6. The cathodoluminescence images of zircon grains from HOM-24 leucogranite sample. Circles designate the measurement points. Figures correspond to the numbers of analyses in Table 3.

Данные изотопного U-Pb анализа цирконов Пещернинского штока

Таблица 3

Data of the U-Pb isotopic analysis of zircons from the Peshcherninsky stock

Table 3

Номера точек измерений	$^{206}\text{Pb}/\text{Pb}^*$, %	U, ppm	Th, ppm	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*$, ppm	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ Age, (t)	Total $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$	±%	Total $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	±%	(1) $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}^*$	±%	(1) $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}^*$	±%
Хом 24-4.2	12.62	3575	2032	0.59	95.9	173.6 ± 2.0	32.01	1.0	0.1469	1.6	36.64	1.1	0.0458	10.0
Хом 24-1.1	0.41	974	646	0.68	50.1	373.2 ± 4.0	16.71	1.1	0.0579	1.3	16.78	1.1	0.0546	2.1
Хом 24-3.1	0.24	738	343	0.48	38.3	377.4 ± 4.1	16.55	1.1	0.0564	1.5	16.59	1.1	0.0545	2.1
Хом 24-7.2	0.00	1383	421	0.31	73.5	386.8 ± 4.0	16.17	1.1	0.0544	1.1	16.17	1.1	0.0544	1.1
Хом 24-3.2	0.00	1031	470	0.47	55.3	390.6 ± 4.0	16.01	1.1	0.0542	1.2	16.01	1.1	0.0542	1.2
Хом 24-2.1	0.00	379	111	0.30	20.4	392.5 ± 4.4	15.93	1.2	0.0546	2.1	15.93	1.2	0.0546	2.1
Хом 24-6.1	0.00	450	153	0.35	24.4	394.5 ± 4.4	15.85	1.1	0.0545	2.0	15.85	1.1	0.0545	2.0
Хом 24-5.1	0.00	341	83	0.25	18.7	399.1 ± 4.7	15.66	1.2	0.0546	2.2	15.66	1.2	0.0546	2.2
Хом 24-4.1	0.00	179	51	0.29	10.0	405.9 ± 5.1	15.39	1.3	0.0540	3.1	15.39	1.3	0.0540	3.1
Хом 24-7.1	0.00	285	81	0.29	16.0	408.8 ± 5.0	15.28	1.3	0.0545	2.4	15.28	1.3	0.0545	2.4

Примечания. # – U-Pb SRIMP-II данные, исключенные из соответствующих возрастных расчетов; погрешности $\pm 1\sigma$; Pbс и Pb* – обычный и радиогенный свинец соответственно; (1) – обычный Pb, скорректированный с использованием измеренного ^{204}Pb ; D – дискордантность; Rho – коэффициент корреляции. В качестве эталона использовались стандарты Темора и 91 500 [24–26], для которых по усредненным отношениям $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ были получены 416.26±8.06 млн лет, СКВО=1.4, n=47, 1059±21 млн лет, СКВО=1.8, n=53 соответственно.

Note. # – U-Pb SRIMP-II data excluded from the corresponding age calculations; errors $\pm 1\sigma$; Pbс and Pb* denote common and radiogenic lead, respectively; (1) conventional Pb corrected using measured ^{204}Pb ; D – discordance; Rho – correlation coefficient. The Temora and 91500 standards were used as a reference [24, 25, 26]. According to the average $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ratios, we obtained 416.26±8.06 Ma, MSWD=1.4, n=47 and 1059±21 Ma, MSWD=1.8, n=53 for the Temora and 91500 standards, respectively.

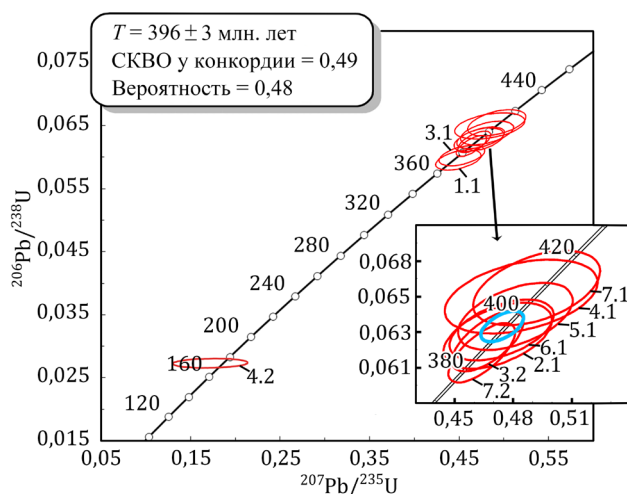


Рисунок 7. Изотопная U–Pb диаграмма с конкордией, построенная по результатам микрозондового изучения цирконов из лейкогранита Пещернинского штока (проба ХОМ-24). На конкордии отображены эллипсы с номерами замеренных точек в соответствии с табл. 3.

Figure 7. The U–Pb isotope diagram with a concordia based on the study results of microprobe zircons from leucogranite of the Peshcherninsky stock (НОМ-24 sample). The concordia has ellipses with numbers of the measurement points according to Table 3.

монстрирует рис. 2, на котором наряду с фигуративными точками пород Пещернинского штока показано положение точек гранитоидов Хомутинского и Южно-Хомутинского массивов, расположенных в южной части этой полосы. Однотипным является также поведение редких и рассеянных элементов в гранитоидах рассматриваемых интрузий. На рис. 4 показан характер распределения редкоземельных элементов в лейкогранитах Пещернинского штока и Хомутинского габбро-гранитного массива. Лейкограниты этих интрузивных тел обладают общими особенностями состава РЗЗ: легкие элементы спектра преобладают над тяжелыми, наблюдается отчетливо выраженная отрицательная Eu аномалия. Спайдер-диаграммы распределения редких и рассеянных элементов данных пород характеризуются наличием максимумов по К и Zr и минимумов по Nb, Ta и Ti (см. рис. 5). По характеру распределения и содержанию большинства элементов изученные гранитоиды близки к островодужным гранитам (IAG), описанным С.Н. Рудневым с соавторами [28]. Это позволяет считать, что формирование рассматриваемых интрузивных тел является результатом единого эпизода магматизма, и полученный для лейкогранитов Пещернинского штока возраст 396 ± 3 млн лет, соответствующий второй половине эмского века, отражает время формирования всех этих образований.

Интрузивные породы, близкие по составу и времени формирования рассматриваемым в настоящей публикации, достаточно широко распространены в пределах территории Восточной зоны Среднего Урала. Для кварцевых диоритов Алтынайского массива U–Pb–SIMS методом получены две близкие по величине датировки – 405.9 ± 3.8 млн лет и 405.7 ± 2.5 млн лет, а для гранитов Артемовского массива – возраст 404.2 ± 2.4 млн лет [29]. Возраст гранитов Брусянского массива, по результатам U–Pb LA–ICP–MS датирования, составляет 386.9 ± 3.3 млн лет [3]. Перечисленные данные указывают на наличие в восточной части Среднего Урала достаточно продолжительного эпизода

интрузивного магматизма, охватывавшего промежуток времени от 406 до 387 млн лет назад, т. е. с конца эмского века до начала живетского. Фиксируемый эпизод интрузивного магматизма соответствует времени существования на Среднем Урале девонской островной дуги. Возрастные рамки этого этапа развития – со второй половины эмса до начала франского века включительно – были надежно установлены на основе биостратиграфического датирования островодужных вулканогенно-осадочных толщ [30]. Это согласуется с полученными ранее данными о том, что по геохимическим особенностям породы рассматриваемых в настоящей работе интрузивных тел близки аналогичным петрографическим разновидностям (см. рис. 2, 4, 5), формировавшимся в островодужной обстановке [27].

Литература

1. Смирнов, В.Н. Результаты изотопного датирования пород Рефтинского габбро-диорит-тоналитового комплекса, Восточная зона Среднего Урала / В.Н. Смирнов, Е.В. Наставко, К.С. Иванов, Т.Б. Баянова, Н.В. Родионов [и др.] // Литосфера. – 2014. – № 5. – С. 3–18.
2. Ферштатер, Г.Б. Этапы палеозойского интрузивного магматизма Уральского орогена и их геодинамическая интерпретация / Г.Б. Ферштатер, А.А. Краснобаев, Ф. Беа, П. Монтеро, Н.С. Бородина [и др.] // Геодинамика, магматизм, метаморфизм и рудообразование: сборник научных трудов. – Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2007. – С. 89–120.
3. Казаков, И.И. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000 (издание второе). Серия Средне-Уральская. Лист О-41-XXVI (Асбест). Объяснительная записка / И.И. Казаков, Е.В. Стороженко, И.Н. Харитонов, В.В. Стефановский, Ю.Н. Кошевой [и др.]. – Санкт-Петербург: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2017. – 284 с.
4. Смирнов, В.Н. Схема тектоно-магматического районирования территории восточного склона Среднего Урала / В.Н. Смирнов, Г.Б. Ферштатер, К.С. Иванов // Литосфера. – 2003. – № 2. – С. 40–56.
5. Смирнов, В.Н. Структурные связи Урала и Западной Сибири: единый этап формирования на границе перми и триаса / В.Н. Смирнов, К.С. Иванов // Доклады Академии наук. – 2019. – Т. 488, № 3. – С. 65–68.
6. Смирнов, В.Н. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -возраст деформаций пород в Баженовской шовной зоне (восточная окраина Среднего Урала) / В.Н. Смирнов, К.С. Иванов, А.В. Травин // Литосфера. – 2019. – Т. 19, № 2. – С. 242–249.
7. Золотов, К.К. Баженовское месторождение хризотил-асбеста / К.К. Золотов, Б.А. Попов. – Москва: Недра, 1985. – 271 с.
8. Ерохин, Ю.В. Раннесилурийский возраст даек плагиогранита из Баженовского офиолитового комплекса, Средний Урал (по данным Th–U–Pb-датирования монацита) / Ю.В. Ерохин, В.В. Хиллер, К.С. Иванов // Вестник Воронежского государственного университета. – 2021. – № 3. – С. 17–21.
9. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (новая серия). Лист О-40,

- (41). – Екатеринбург. Объяснительная записка. СПб: Роскомнедра, ВСЕГЕИ, Уралгеолком, УГСЭ, 1997. – 252 с.
10. Смирнов, В.Н. Аверинский диорит-трондьемитовый комплекс востока Урала: новые геолого-геохронологические данные (TIMS и SHRIMP-II) / В.Н. Смирнов, К.С. Иванов, Е.В. Лобова, Т.Б. Баянова, А.Н. Ларионов // Доклады Академии наук. – 2012. – Т. 442, № 5. – С. 668–672.
 11. Лобова, Е.В. Аверинский диорит-трондьемитовый комплекс Восточной зоны Среднего Урала / Е.В. Лобова, В.Н. Смирнов, Т.Б. Баянова // Литосфера. – 2012. – № 3. – С. 49–64.
 12. Смирнов, В.Н. Габбро-гранитоидные серии Восточной зоны Урала / В.Н. Смирнов // Доклады АН СССР. – 1981. – Т. 259, № 6. – С. 1453–1457.
 13. Ферштатер, Г.Б. Эвгеосинклинальные габбро-гранитоидные серии / Г.Б. Ферштатер, Л.В. Малахова, Н.С. Бородин, М.С. Рапапорт, В.Н. Смирнов. – Москва: Наука, 1984. – 264 с.
 14. Лобова, Е.В. Силурийский интрузивный магматизм Восточной зоны Среднего Урала: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Лобова Е.В.; Минерально-сырьевой ун-т «Горный». – Санкт-Петербург, 2013. – 20 с.
 15. Смирнов, В.Н. Изотопный состав Sr, Nd и Hf в породах рефтинского габбро-диорит-тоналитового комплекса (восточный склон Среднего Урала): петрологические и геологические следствия / В.Н. Смирнов, К.С. Иванов, Ю.Л. Ронкин, П.А. Серов, А. Гердес // Геохимия. – 2018. – № 6. – С. 499–513.
 16. Шарпенко, Л.Н. TAS-диаграмма сумма щелочей – кремнезем для химической классификации и диагностики plutonических пород / Л.Н. Шарпенко, А.Е. Костин, Е.А. Кухаренко // Региональная геология и металлогения. – 2013. – № 56. – С. 40–50.
 17. Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. – 2-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург: Издательство ВСЕГЕИ, 2008. – 200 с.
 18. Irvine, T.N. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks / T.N. Irvine, W.R.A. Baragar // Canadian Journal of Earth Sciences. – 1971. – Vol. 8. – № 5. – P. 523–548.
 19. Peccerillo, A. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu Area, Northern Turkey / A. Peccerillo, S.R. Taylor // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 1976. – Vol. 58. – P. 63–81.
 20. Sun, S.S. Chemical and isotopic systematics of ocean basalts: Implications for mantle composition and processes. In: Magmatism in Ocean Basins. Edited by A. D. Saunders and M. J. Norry / S.S. Sun, W.F. McDonough // Geol. Soc. Spec. Publ. – 42. – 1989. – P. 313–345.
 21. Sun, S.S. Lead isotopic study of young volcanic rocks from mid-ocean ridges, ocean islands and island arcs, Philos. / S.S. Sun // Trans. R. Soc. London. – 1980. – Ser. A, 297. – P. 409–445.
 22. Williams, I.S. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe / I.S. Williams // Reviews in Economic Geology. – 1998. – № 7. – P. 1–35.
 23. Larionov, A.N. The Vendian alkaline igneous suite of northern Timan: ion microprobe U-Pb zircon ages of gabbros and syenite / A.N. Larionov, V.A. Andreichev, D.G. Gee // The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica. Geological Society, London, Memoirs. – 2004. – Vol. 30. – P. 69–74.
 24. Black, L.P. TEMORA 1: a new zircon standard for Phanerozoic U-Pb geochronology / L.P. Black, S.L. Kamo, C.M. Allen, J.N. Aleinikoff, D.W. Davis [et al.] // Chemical Geology. – 2003. – 200. – P. 155–170.
 25. Wiedenbeck, M. Further characterisation of the 91500 zircon crystal / M. Wiedenbeck, J.M. Hanchar, H. William, W.H. Peck, P. Sylvester [et al.] // Geostand. Geoanal. Res. – 2004. – Vol. 28. – P. 9–39.
 26. Wiedenbeck, M. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses / M. Wiedenbeck, P. Allé, F. Corfu, W.L. Griffin, M. Meier [et al.] // Geostandards Newsletter. – Vol. 19. – № 1. – 1995. – P. 1–23.
 27. Korovin, D.D. Geochemical features of the Devonian plutonic rocks of the Reftinsky massif (Middle Urals) / D.D. Korovin // News of the Ural State Mining University. – 2022. – Issue 1(65). – P. 13–21.
 28. Руднев, С.Н. Ранние этапы островодужного плагиогранитоидного магматизма Горной Шории и Западного Саяна / С.Н. Руднев, Г.А. Бабин, В.П. Ковач, В.Ю. Киселева, П.А. Серов // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54, № 1. – С. 27–44.
 29. Грабежев, А.И. Артемовско-Алтынайский рудно-магматический ареал медно-порфирового типа (Средний Урал): U-Pb SHRIMP-II возраст, петрохимия гранитоидов и генетическая специфика / А.И. Грабежев, В.Н. Смирнов // Литосфера. – 2012. – № 6. – С. 78–89.
 30. Смирнов, В.Н. Основные этапы магматизма восточного склона Среднего Урала / В.Н. Смирнов // Литосфера. – 2012. – № 5. – С. 4–15.

References

1. Smirnov, V.N. Rezultaty izotopnogo datirovaniya porod Reftinskogo gabbro-diorit-tonalitovogo kompleksa, Vostochnaya zona Srednego Urala [Results of isotopic dating of rocks of the Reftinsky gabbro-diorite-tonalite complex, the Eastern zone of the Middle Urals] / V.N. Smirnov, E.V. Nastavko, K.S. Ivanov, T.B. Bayanova, N.V. Rodionov [et al.] // Litosfera [Lithosphere]. – 2014. – № 5. – P. 3–18.
2. Fershtater, G.B. Etapy paleozojskogo intruzivnogo magmatizma Uralskogo orogena i ih geodinamicheskaya interpretaciya [Stages of Paleozoic intrusive magmatism of the Ural orogen and their geodynamic interpretation] / G.B. Fershtater, A.A. Krasnobaev, F. Bea, P. Montero, N.S. Borodina [et al.] // Geodynamics, magmatism, metamorphism and ore formation: Collection of scientific papers. – Ekaterinburg: IGG UB RAS. – 2007. – P. 89–120.
3. Kazakov, I.I. State geological map of the Russian Federation, scale 1:200000 (second edition). Middle Ural series. Sheet O-41-XXVI (Asbestos). Explanatory note / I.I. Kazakov, E.V. Storozhenko, I.N. Kharitonov, V.V. Stefanovsky,

- Yu.N. Koshevoy [et al.] // Sankt-Petersburg: Cartographic factory VSEGEI. – 2017. – 284 p.
4. Smirnov, V.N. Skhema tektono-magmaticheskogo rajonirovaniya territorii vostochnogo sklona Srednego Urala [Tectonic-magmatic zonation scheme of the eastern slope of the Middle Urals / V.N. Smirnov, G.B. Fershtater, K.S. Ivanov // *Litosfera* [Lithosphere]. – 2003. – № 2. – P. 40–56.
 5. Smirnov, V.N. Strukturnye svyazi Urala i Zapadnoj Sibiri: edinyj etap formirovaniya na granice permi i triasa [Structural links between the Urals and Western Siberia: a common formation stage at the border between the Permian and Triassic] / V.N. Smirnov, K.S. Ivanov // *Proceedings of the Academy of Sciences*. – 2019. – Vol. 488. – № 3. – P. 65–68.
 6. Smirnov, V.N. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -vozrast deformatsij porod v Bazhenovskoj shovnoj zone (vostochnaya okraina Srednego Urala) [$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -age of rock deformations in the Bazhenov suture zone (the eastern margin of the Middle Urals)] / V.N. Smirnov, K.S. Ivanov, A.V. Travin // *Litosfera* [Lithosphere]. – 2019. – Vol. 19. – № 2. – P. 242–249.
 7. Zoloev, K.K. Bazhenovskoe mestorozhdenie hrizotil-asbesta [The Bazhenov deposit of chrysotile-asbestos] / K.K. Zoloev, B.A. Popov. – Moscow: Nedra. – 1985. – 271 p.
 8. Erokhin, Yu.V. Rannesilunijiskij vozrast daek plagiogranita iz Bazhenovskogo ofiolitovogo kompleksa, Srednij Ural (po dannym Th-U-Pb-datirovaniya monacita) [The early Silurian age of plagiogranite dikes from the Bazhenov ophiolite complex, the Middle Urals (according to the Th-U-Pb dating of monazite)] / Yu.V. Erokhin, V.V. Hiller, K.S. Ivanov // *Bulletin of the Voronezh State University*. – 2021. – № 3. – P. 17–21.
 9. State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1000000 (new series). Sheet O-40, (41) – Ekaterinburg. Explanatory note. – Sankt-Petersburg: Roskomnedra, VSEGEI, Uralgeolcom, UGSE. – 1997. – 252 p.
 10. Smirnov, V.N. Averinskij diorit-trondyemitovyy kompleks vostochno Urala: novye geologo-geohronologicheskie dannye (TIMS i SHRIMP-II) [The Averinsky diorite-trondhjemite complex of the Eastern Urals: new geological and geochronological data (TIMS and SHRIMP-II)] / V.N. Smirnov, K.S. Ivanov, E.V. Lobova, T.B. Bayanova, A.N. Larionov // *Proceedings of the Academy of Sciences*. – 2012. – Vol. 442. – № 5. – P. 668–672.
 11. Lobova, E.V. Averinskij diorit-trondyemitovyy kompleks Vostochnoj zony Srednego Urala [The Averinsky diorite-trondhjemite complex of the Eastern zone of the Middle Urals] / E.V. Lobova, V.N. Smirnov, T.B. Bayanova // *Litosfera* [Lithosphere]. – 2012. – № 3. – P. 49–64.
 12. Smirnov, V.N. Gabbro-granitoidnye serii Vostochnoj zony Urala [Gabbro-granitoid series of the Eastern zone of the Urals] / V.N. Smirnov // *Proceedings of the Academy of Sciences of the USSR*. – 1981. – Vol. 259. – № 6. – P. 1453–1457.
 13. Fershtater, G.B. Evgeosinklinalnye gabbro-granitoidnye serii [Eugeosynclinal gabbro-granitoid series] / G.B. Fershtater, L.V. Malakhova, N.S. Borodina, M.S. Rapaport, V.N. Smirnov. – Moscow: Nauka. – 1984. – 264 p.
 14. Lobova, E.V. Silurijskij intruzivnyj magmatizm Vostochnoj zony Srednego Urala [Silurian intrusive magmatism in the Eastern zone of the Middle Urals]: extended abstract of Candidate's thesis (Geology and Mineralogy) / Lobova Ekaterina V.; Mineral and Raw Materials University "Gorny". – Sankt-Petersburg. – 2013. – 20 p.
 15. Smirnov, V.N. Izotopnyj sostav Sr, Nd i Hf v porodah reftinskogo gabbro-diorit-tonalitovogo kompleksa (vostochnyj sklon Srednego Urala): petrologicheskie i geologicheskie sledstviya [Isotopic composition of Sr, Nd, and Hf in the rocks of the Reftinsky gabbro-diorite-tonalite complex (eastern slope of the Middle Urals): petrological and geological consequences] / V.N. Smirnov, K.S. Ivanov, Yu.L. Ronkin, P.A. Serov, A. Gerdes // *Geokhimiya* [Geochemistry]. – 2018. – № 6. – P. 499–513.
 16. Sharpenok, L.N. TAS-diagramma summa shchelochej – kremnezem dlya himicheskoy klassifikacii i diagnostiki plutonicheskikh porod [Alkali sum – silica TAS-diagram for chemical classification and diagnostics of plutonic rocks] / L.N. Sharpenok, A.E. Kostin, E.A. Kukhareenko // *Regionalnaya geologiya i metallogeniya* [Regional Geology and Metallogeny]. – 2013. – № 56. – P. 40–50.
 17. Petrographic code of Russia. Magmatic, metamorphic, metasomatic, impact formations. – 2nd edition, revised and enlarged. – Sankt-Petersburg: VSEGEI Publishing House. – 2008. – 200 p.
 18. Irvine, T.N. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks / T.N. Irvine, W.R.A. Baragar // *Canadian Journal of Earth Sciences*. – 1971. – Vol. 8. – № 5. – P. 523–548.
 19. Peccerillo, A. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu Area, Northern Turkey / A. Peccerillo, S.R. Taylor // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. – 1976. – Vol. 58. – P. 63–81.
 20. Sun, S.S. Chemical and isotopic systematics of ocean basalts: Implications for mantle composition and processes. In: *Magmatism in Ocean Basins*. Edited by A. D. Saunders and M. J. Norry / S.S. Sun, W.F. McDonough // *Geol. Soc. Spec. Publ.* – 42. – 1989. – P. 313–345.
 21. Sun, S.S. Lead isotopic study of young volcanic rocks from mid-ocean ridges, ocean islands and island arcs, Philos. / S.S. Sun // *Trans. R. Soc. London*. – 1980. – Ser. A, 297. – P. 409–445.
 22. Williams, I.S. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe / I.S. Williams // *Reviews in Economic Geology*. – 1998. – № 7. – P. 1–35.
 23. Larionov, A.N. The Vendian alkaline igneous suite of northern Timan: ion microprobe U-Pb zircon ages of gabbros and syenite / A.N. Larionov, V.A. Andreichev, D.G. Gee // *The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica*. Geological Society, London, Memoirs. – 2004. – Vol. 30. – P. 69–74.
 24. Black, L.P. TEMORA 1: a new zircon standard for Phanerozoic U-Pb geochronology / L.P. Black, S.L. Kamo, C.M. Allen, J.N. Aleinikoff, D.W. Davis [et al.] // *Chemical Geology*. – 2003. – 200. – P. 155–170.
 25. Wiedenbeck, M. Further characterisation of the 91500 zircon crystal / M. Wiedenbeck, J.M. Hanchar, H. William,

- W.H. Peck, P. Sylvester [et al.] // *Geostand. Geoanal. Res.* – 2004. – Vol. 28. – P. 9–39.
26. Wiedenbeck, M. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses / M. Wiedenbeck, P. Allé, F. Corfu, W.L. Griffin, M. Meier [et al.] // *Geostandards Newsletter.* – Vol. 19. – № 1. – 1995. – P. 1–23.
27. Korovin, D.D. Geochemical features of the Devonian plutonic rocks of the Reftinsky massif (Middle Urals) / D.D. Korovin // *News of the Ural State Mining University.* – 2022. – Issue 1(65). – P. 13–21.
28. Rudnev, S.N. Rannie etapy ostrovoduzhnogo plagiogranitoidnogo magmatizma Gornoj Shorii i Zapadnogo Sayana [Early stages of island-arc plagiogranitoid magmatism in Gornaya Shoria and Western Sayan] / S.N. Rudnev, G.A. Babin, V.P. Kovach, V.Yu. Kiseleva, P.A. Serov // *Geology and Geophysics.* – 2013. – Vol. 54. – № 1. – P. 27–44.
29. Grabezhev, A.I. Artemovsko-Altynajskij rudno-magmaticheskiy areal medno-porfirovogo tipa (Srednij Ural): U-Pb SHRIMP-II vozrast, petrohimiya granitoidov i geneticheskaya specifika [The Artyomov-Altynai ore-magmatic area of copper-porphyry type (the Middle Urals): U-Pb SHRIMP-II age, petrochemistry of granitoids and genetic specificity] / A.I. Grabezhev, V.N. Smirnov // *Litosfera [Lithosphere].* – 2012. – № 6. – P. 78–89.
30. Smirnov, V.N. Osnovnye etapy magmatizma vostochnogo sklona Srednego Urala [Main magmatism stages of the eastern slope of the Middle Urals] // *Litosfera [Lithosphere].* – 2012. – № 5. – P. 4–15.

Благодарность (госзадание)

Статья подготовлена в рамках государственной бюджетной темы ИГГ УрО РАН АААА-А18-118052590 032-6 «Палеогеодинамика и эволюция структурно-вещественных комплексов при формировании земной коры континентального типа (на примере Урало-Монгольского складчатого пояса и Западно-Сибирской платформы)».

Информация об авторах:

Коровин Дмитрий Дмитриевич – аспирант Института геологии и геохимии имени академика А.Н. Заварицкого УрО РАН (Российская Федерация, 620110, г. Екатеринбург, ул. Академика Вонсовского, д. 15; e-mail: korovin@igg.urun.ru).

Смирнов Владимир Николаевич – кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Института геологии и геохимии имени академика А.Н. Заварицкого УрО РАН; Scopus Author ID: 7403516946 (Российская Федерация, 620110, г. Екатеринбург, ул. Академика Вонсовского, д. 15; e-mail: smirnov@igg.urun.ru).

About the authors:

Dmitry D. Korovin – Post-Graduate Student, Institute of Geology and Geochemistry named after academician A.N. Zavaritsky UB RAS (Institute of Geology and Geochemistry named after academician A.N. Zavaritsky of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 15 Academician Vonsovsky st., Ekaterinburg, Russian Federation, 620110; e-mail: korovin@igg.urun.ru).

Vladimir N. Smirnov – Leading Researcher, Candidate of Sciences (Geology and Mineralogy); Scopus Author ID: 7403516946, Institute of Geology and Geochemistry named after academician A.N. Zavaritsky UB RAS (Institute of Geology and Geochemistry named after academician A.N. Zavaritsky of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 15 Academician Vonsovsky st., Ekaterinburg, Russian Federation, 620110; e-mail: smirnov@igg.urun.ru).

Для цитирования:

Коровин, Д.Д. Первая U-Pb (SHRIMP-II) датировка гранитоидов Рефтинского массива (Восточная зона Среднего Урала) / Д.Д. Коровин, В.Н. Смирнов // *Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия «Науки о Земле».* – 2023. – № 2 (60). – С. 5–14.

For citation:

Korovin, D.D. Pervaya U-Pb (SHRIMP-II) datirovka granitoidov Reftinskogo massiva (vostochnaya zona Srednego Urala) [The first U-Pb (SHRIMP-II) dating of the Reftinsky massif granitoids (Eastern zone of the Middle Urals)] / D.D. Korovin, V.N. Smirnov // *Proceedings of the Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Series "Earth Sciences".* – 2023. – № 2 (60). – P. 5–14.

Дата поступления статьи: 02.06.2022

Прошла рецензирование: 19.07.2022

Принято решение о публикации: 09.03.2023

Received: 02.06.2022

Reviewed: 19.07.2022

Accepted: 09.03.2023

Разломная тектоника Ухтинской складки Тиманской гряды

В.В. Удоратин, Ю.Е. Езимова, А.Ш. Магомедова

Институт геологии имени академика Н.П. Юшкина
ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
г. Сыктывкар
udoratin@geo.komisc.ru
ezimova89@mail.ru
asmagomedova@geo.komisc.ru

Аннотация

В статье приводится модель разломной тектоники Ухтинской складки Тиманской гряды, составленная на основе переинтерпретации сейсморазведочных данных. Результаты построений по кровле верхнепротерозойского фундамента показали, что большинство разломов имеет северо-западное направление и протягивается как непрерывно, так и фрагментарно по всей структуре. По поверхности девонских отложений отчетливо прослеживаются разломы только северо-западного направления. Наложение полученной схемы на карту аномального магнитного поля показало, что основная часть выделенных разломов не находит отражения в магнитном поле при съемке масштаба 1:50 000. Для детальной привязки разломов на местности и дальнейшего изучения геодинамической обстановки необходимо выполнение комплекса полевых геофизических работ.

Ключевые слова:

Ухтинская складка, Тиманская гряда, разломная тектоника, сейсмические материалы, магнитная съемка

Введение

Территория исследования расположена в Ухтинском районе Республики Коми, где находятся Чибьюское, Нижнечутинское, Ярегское нефтяные месторождения, Верхнечутинская залежь гелиеносного газа и Водненское месторождение радиоактивных вод.

В 1926 г. А.А. Черепенниковым и Л.Н. Богоявленским была открыта высокая радиоактивность (7,6-10-9 г радия на литр) пластовых вод Ухтинского нефтяного месторождения. Водоносные горизонты протерозоя и девона Тиманского артезианского бассейна трещинных вод имеют повышенные содержания урана и тория (и продуктов их распада). Радиоактивные воды протерозоя использовались для извлечения радия на заводе «Водный промысел», расположенном в пос. Водный Ухтинского района. Высокое содержание радона наблюдается в рыхлых четвертичных отложениях [1, 2].

Существует несколько гипотез о происхождении Ухтинского месторождения радиоактивных вод. Л.Н. Богоявленский и А.А.Черепенников (1928), В.И. Баранов и

Fault tectonics of the Ukhta fold in the Timan Ridge

V.V. Udoratin, Yu.E. Ezimova, A.Sh. Magomedova

Institute of Geology named after academician N.P. Yushkin, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar
udoratin@geo.komisc.ru
ezimova89@mail.ru
asmagomedova@geo.komisc.ru

Abstract

The article deals with a model of the fault tectonics of the Ukhta fold in the Timan Ridge, created on the basis of reinterpretation of seismic data. By the results of constructions along the top of the Upper Proterozoic basement, the majority of the faults have a northwestern direction and extend both continuously and fragmentarily throughout the entire structure. Only north-west-directed faults are clearly traced over the surface of the Devonian deposits. The overlay of the obtained scheme onto the map of the anomalous magnetic field indicates that the identified faults are normally missed in the magnetic field when surveying at a scale of 1:50 000. For the detail site location of the faults and the continuous research of the geodynamic situation, a complex of field geophysical works is required to be conducted in the future.

Keywords:

the Ukhta fold, the Timan Ridge, fault tectonics, seismic data, magnetic survey

И.Д. Курбатов (1933), В.А. Вернадский (1934) отмечали, что Ухтинские воды принадлежат к типу богатых радием вод нефтеносных месторождений.

По мнению Ф.А. Торопова (1933), происхождение радиоактивных Ухтинских вод связано с «выщелачиванием радиоактивных веществ, дисперсно-рассеянных в омываемых водами метаморфических сланцах, подстилающих нефтеносную свиту».

С.М. Воинов (1939) полагал, что радий опустился из верхних пачек нефтеносной свиты в более нижние и далее «проник вместе с морской водой в трещины сланцев, которые уже имелись к моменту трансгрессии девонского моря».

И.Н. Стрижов (1939) в целом придерживается точки зрения А.Ф. Торопова, дополняя ее. В основных чертах его теория генезиса Ухтинского месторождения радия заключается в следующем: 1. Сланцы и кварциты Ухтинского района состоят из продуктов разрушения древнего гранитного хребта. Граниты содержали мелкорассеянный

уран и торий и урановые и ториевые минералы. Все это в виде мельчайших обломков и мелкорассеянных частиц перешло в сланцы и кварциты. 2. При внедрении гранитного батолита поднимающиеся по трещинам и разломам горячие растворы и газы, содержащие уран и торий, минерализовали сланцы. Соединения урана и тория осели в сланцах в мелкорассеянном виде. Радиоактивный распад урана и тория дал радий, растворившийся в соленой воде. 3. Нефть девонских отложений и протерозоя послужила одним из факторов создания Ухтинского месторождения радия. Нефть и асфальт, концентрируя ванадий, собирали и уран, который являлся родоначальником радия.

Г.А. Ерема и др. [3] полагают, что Ухтинское месторождение радиоактивных вод (руд) так же, как и известное Комбриельское урано-фосфорное рудопроявление, малоинтенсивные урановые аномалии на р. Ухте, приурочено к Северо-Ухтинскому поперечному разлому. Все эти ураноносные участки располагаются в узлах пересечения разломов северо-восточного и тиманского направлений. Разломы являются проводниками, по которым флюиды, обогащенные радиоактивными элементами, поступали из фундамента (гранитного батолита?), и изотопы урана и тория осаждались из этих вод (флюидов).

Сложное геологическое строение Ухтинской складки, близкое расположение поверхности фундамента, наличие разновозрастных разломов, секущих фундамент и осадочный чехол, представляют интерес для детального изучения зон разломов в физических полях и их возможной приуроченности к зонам транспортировки радона.

Цель настоящей работы – анализ и обобщение существующих моделей геологического строения Ухтинской складки. Основное внимание уделено разломной тектонике, имеющей важное значение для предстоящих детальных геофизических исследований, направленных на понимание геодинамической обстановки территории.

Состояние изученности

Район исследований полностью покрыт геологической (Леонова М.Ю. и др., 1961, 1965 гг.; Колокольцев В.Г., 1972 г.), гравиметрической (Струнин А.В., 1962–1964 гг.), аэромагнитной (Залипухин М.И., 1960 г.) съемками масштаба 1:200 000.

В пределах Ухтинской складки проводилась аэрогамма-магнитная съемка масштаба 1:25 000, в результате построены карты аномального магнитного поля, карта результатов комплексной интерпретации материалов масштаба 1:50 000 [3]. Выполнялись электроразведочные работы методом вертикального электрического зондирования (далее – ВЭЗ) и магнитная съемка масштаба 1:50 000 [4].

Первые сейсморазведочные работы методом отраженных волн (далее – МОВ) и корреляционным методом преломленных волн (далее – КМПВ) были проведены в 1968 г. на севере Ухтинской складки. В условиях небольшой толщины осадочного чехла эти исследования оказались малоэффективными [5]. Выполненные в 1992 г. региональные работы методом общей глубинной точки (далее – МОГТ) по профилю 22-РС с использованием невзрывных источников возбуждения колебаний с шагом наблюдений $\Delta x = 50$ м по-

зволили рассмотреть глубинное строение, но не дали положительных результатов в изучении строения осадочного чехла [6].

Новый этап исследования Ухтинской складки начался в 1992–1994 гг. с постановки опытно-методических работ по методике высокоразрешающей сейсморазведки с применением буровзрывного способа возбуждения колебаний [7]. В результате был получен интерпретируемый сейсмический материал практически для всей толщи девонских образований, позволяющий достаточно уверенно картировать тектонические нарушения и выделять в осадочном чехле перспективные объекты небольшой мощности. Опытные-методические работы послужили основанием для постановки в северной части Ухтинской антиклинали поисковых сейсморазведочных работ МОГТ: Чутинской с/п 10196, Крохальской с/п 198, Верхнечутинской с/п 199 и Западно-Чутинской с/п 100.

В результате проведенных исследований были установлены основные черты строения северной части Ухтинской складки; протрассированы тектонические нарушения типа взбросов и сбросов различной амплитуды в основном в северо-западного и субмеридионального простираний, закартировать которые ранее не представлялось возможным; подтверждены и уточнены Верхнечутинская, Водненская, Крохальская структуры. По редкой сети профилей намечена Сюзьюская и выявлена Северо-Крохальская структуры [8]. В 2005 г. выполнена переинтерпретация переработанных сейсмических материалов в комплексе с результатами бурения скважин и данными ГИС [9].

С целью уточнения геологического строения Нижнечутинского месторождения проведены сейсморазведочные работы МОГТ 2D в объеме 200 пог. км, в результате которых изучены детали геологического строения продуктивных пластов и кровли фундамента [10].

В 1993–1997 гг. для построения тектонических карт по фундаменту и осадочному чехлу проводилось обобщение геолого-геофизических материалов для территории северо-востока Русской плиты и Тиманской гряды [11, 12].

Тектоника

Территория исследования охватывает фрагменты двух крупнейших структур: юго-восточную часть Восточно-Тиманского мегавала Тиманской гряды и юго-западный борт Ижма-Печорской впадины Печорской синеклизы, являющихся главными (надпорядковыми) структурами Тимано-Печорской эпибайкальской платформы (рис. 1). Граница между Печорской синеклизой и Тиманской грядой проходит по региональному Восточно-Тиманскому разлому [13].

Восточно-Тиманский мегавал Тиманской гряды (А) по осадочному чехлу состоит из двух структур II порядка – Ухта-Ижемского вала и Тобысского прогиба. Ухта-Ижемский вал – это пологая, асимметричная положительная структура, разбитая многочисленными тектоническими нарушениями различной амплитуды, большая часть которых прослеживается и в нижних горизонтах осадочного чехла. Простирание вала северо-западное (тиманское),

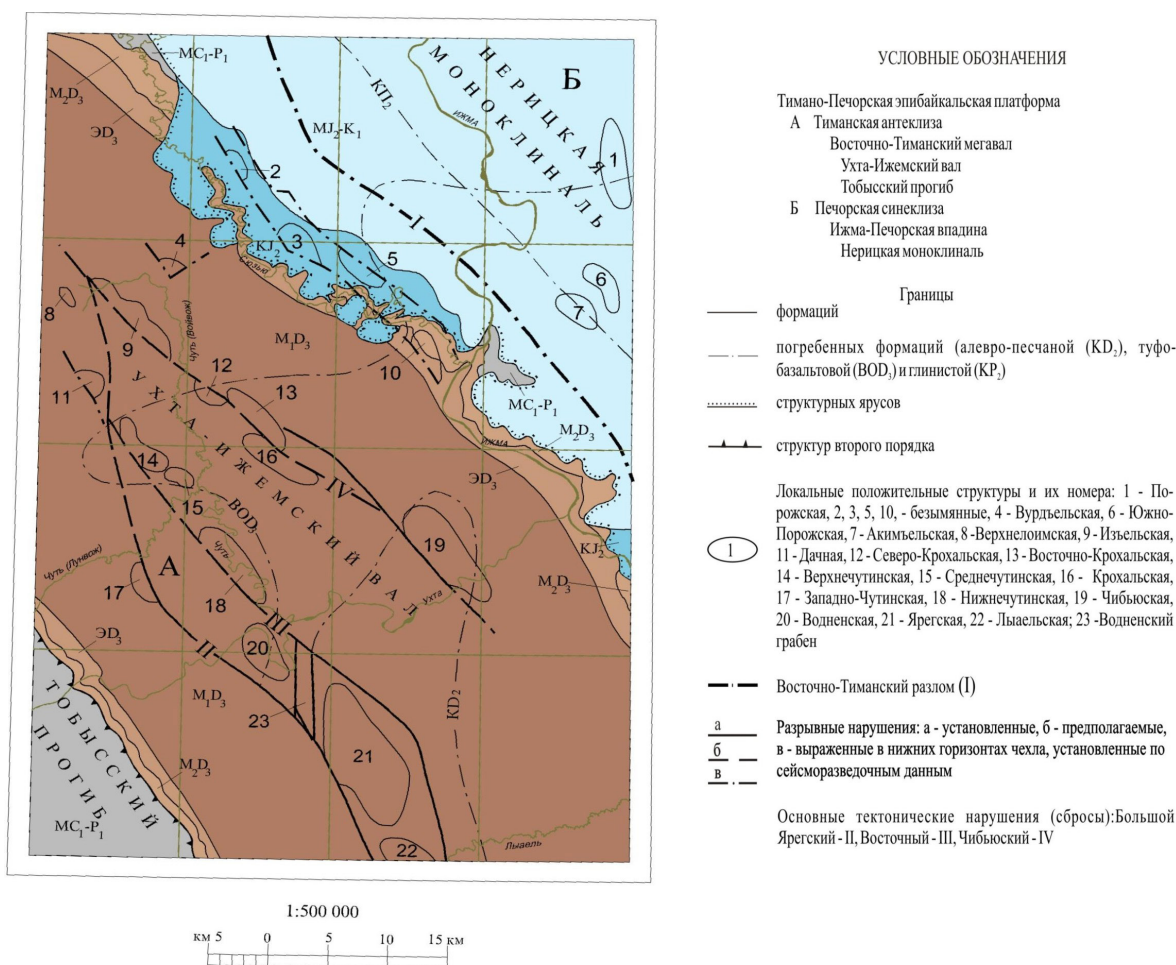


Рисунок 1. Схема структурно-тектонического районирования осадочного чехла Восточно-Тиманского мегавала [13].
Figure 1. Tectonic structures of the sedimentary cover in the East-Timan megaswell [13].

размеры – около 260 x 10–50 км, амплитуда по поверхности фундамента – не менее 800 м [13, 14].

На северо-восточном склоне вала выделяется Ухтинская складка (положительная структура III порядка), представляющая собой крупную брахиантеклинали северо-западного простирания, осложненную в осадочном чехле структурами IV и V порядков. Размеры Ухтинской складки: 77 x 20 км, амплитуда по подошве верхнего девона – 240 м. В своде этой наиболее приподнятой структуры Ухта-Ижемского вала под четвертичный покров выведены тиманские и саргаевские отложения ниже- и среднефранского подъярусов, а минимальная толщина осадочного чехла составляет около 100–130 м. Как по фундаменту, так и по осадочному чехлу четко выделяются три линейных тектонических блока – Ярегский, Западно-Ухтинский и Чибьюский северо-западного простирания. Все блоки рассечены тектоническими нарушениями субширотного и северо-восточного простирания на отдельные микроблоки, расположенные на различных гипсометрических уровнях. Ярегский блок, к которому приурочена исследуемая территория, располагается на западе. Гипсометрически занимает более высокое положение. Западная его часть взброшена относительно примыкающей Тобысской впадины на 40 м по Ярегскому разлому. К Ярегскому блоку приурочены (с юга на север) Вежавожская, Лыаельская,

Южно-Ярегская, Ярегская, Водненская и Верхнечутинская структуры. В пределах Ярегского блока расположены Ярегское и Нижнечутинское месторождения нефти. Восточные крылья крупных Водненского и Ярегского поднятий осложнены серией мелких малоамплитудных осложнений размерами до 3 x 1,4 км и амплитудой от 5 до 15 м [13, 14].

Основными разрывными нарушениями являются Большой Ярегский, Восточный и Чибьюский сбросы, развитые в сводовой части Ухтинской антиклинали.

Большой Ярегский сброс (II) представляет собой сложную систему нарушений с рядом оперяющих трещин общей шириной до 1 км. Суммарные смещения фундамента по разлому в северо-западной его части достигают 100–140 м. Меньшие по амплитуде смещения (10–30 м) устанавливаются в юго-восточной части зоны. Нарушение имеет ступенчатый сбросовый, местами взбросовый характер.

Восточный сброс (III), видимо, также представляет собой зону нарушений типа ступенчатого сброса. Амплитуда смещений по фундаменту по этому сбросу достигает 50–80 м, уменьшаясь на северо-западе до 10–20 м. Протяженность разломов составляет 50–60 км. Предполагается, что Большой Ярегский и Восточный сбросы приурочены к глубинному разлому, секущему Ухтинскую складку в ее сводовой части.

Чибьюский сброс (IV) имеет северо-западное простирание протяженностью 50–52 км. Амплитуда смещения

в нижнем течении р. Чибью составляет 30–40 м, на северо-западе уменьшается до 10–20 м. Нарушение также представляет собой сложную систему. На Крохальской структуре, по данным сейсморазведки, ширина зоны с оперяющимися трещинами составляет 2–2.5 км. В юго-западной части Восточно-Тиманского мегавала расположен Тобысский прогиб, сложенный образованиями каменноугольной системы с пологим (до 3–5°) падением пород на юго-запад. Северо-западнее смыкание Ухта-Ижемского вала и Тобысского прогиба происходит по тектоническому нарушению. Северо-восточную часть территории занимает Ижма-Печорская впадина Печорской синеклизы (Б), которая представлена фрагментом юго-восточной части Нерицкой моноклинали (структура II порядка). Границей Ижма-Печорской впадины и Восточно-Тиманского мегавала является Восточно-Тиманский разлом. Восточно-Тиманский разлом (I) – это граница Тиманского и Ижемского мегаблоков. По геофизическим данным он имеет коромантийное или коровое заложение. В зоне этого разлома поверхность фундамента ступенчато, по серии разломов, погружается на северо-восток. В осадочном комплексе среднего девона – нижней перми на временных сейсмических разрезах в зоне разлома фиксируются широкие (до 5 км) участки потери корреляции [13, 14].

В геологическом строении района принимают участие породы верхнего протерозоя, слагающие фундамент, и фанерозойский осадочный чехол. Верхнепротерозойский комплекс пород метаморфизован в зеленосланцевой фации и вскрывается лишь буровыми скважинами. Фанерозой представлен породами палеозойской и кайнозойской систем. Отложения кайнозоя плащеобразно перекрывают все верхнедевонские образования (рис. 2). Верхний протерозой представлен отложениями верхнего рифея и нижнего венда и подразделяется на *Пижемскую свиту Кислоручейской серии*, *Покъюскую* и *Лунвожскую свиты Вымской серии*. Породы фундамента перекрываются отложениями нижнефранского подъяруса верхнего девона с глубоким разрывом и угловым несогласием. Девонская система палеозойской группы представлена средним и верхним отделами. Нижний отдел на изучаемой территории отсутствует. Отложения среднего отдела выделены в объеме эйфельского и живетского ярусов. Наиболее существенную роль в геологическом строении изучаемой территории имеют отложения верхнего отдела, нижнефранского подъяруса Джьерской и Тиманской свит, среднефранского подъяруса Устьярегской и Доманиковой свит и верхнефранского подъяруса Ветласянской и Сирачойской свит. Отложения четвертичной системы формируют русла, склоны и террасы речных долин и слагают низкие водоразделы. Четвер-

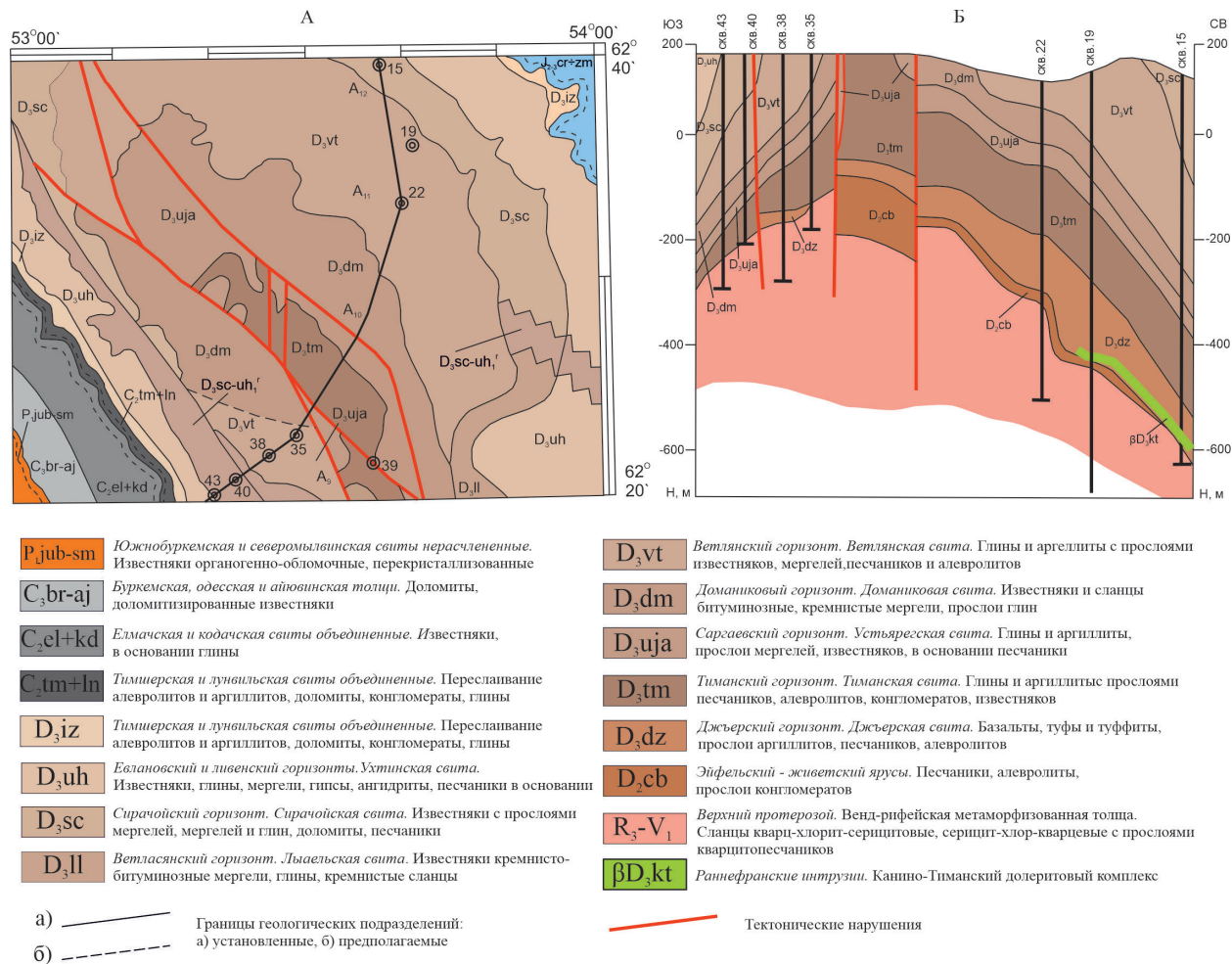


Рисунок 2. А – фрагмент геологической карты Ухтинской складки Тиманской гряды; Б – геологический разрез по линии скважин [13].
Figure 2. Fragment of the geological map of the Ukhita fold in the Timan ridge (A) and the geological profile downwards the boreholes (B) [13].

тичные образования представлены породами озерно-морского, озерно-аллювиального и аллювиального генезиса мезоплейстоцена, неоплейстоцена и голоцена [13–16].

Интрузивные образования канино-тиманского долеритового комплекса представлены послойными пластовыми внедрениями – силлами и корневыми дайками долеритов. Пластовые тела долеритов встречены между кровлей фундамента и подошвой чибьюской свиты среднего девона, внутри чибьюской свиты. Долериты внутри туфов залегают в виде караваяобразных и линзовидных тел, вытянутых в северо-западном направлении, с волнистой кровлей, с инъецированием расплава во вмещающие отложения в виде мелких апофиз и штоков высотой до 1 м. Подошва их более ровная, слабоволнистая. В терригенных отложениях границы силлов более выдержаны, почти параллельны границам слоев. Мощность долеритов изменяется от 0.2–0.5 до 30–40, реже 50 м. Протяженность достигает 4 км и более [13, 14].

Выделение разломов по данным сейсморазведки

Для выделения разломов нами использовались временные разрезы, полученные на исследуемой территории в разные годы, материалы с/п 13293, 13294, 10196, 198, 199, 100, а также результаты бурения (рис. 3).

Сложное геологическое и тектоническое строение региона, а возможно и метод наблюдения, не позволили получить материалы высокого качества. В связи с этим перед нами стояла задача выделить на временных разрезах лишь те зоны, где четко отражаются признаки обнаружения элементов дизъюнктивной тектоники в волновом поле:

- разрыв и скачкообразное смещение осей синфазности во времени;
- локальное anomальное изменение динамических характеристик по латерали или вертикали;
- резкое изменение наклонов горизонтов;
- резкая смена характера волновой картины;
- осложнение волновой картины дифракционными эффектами;
- наличие зон дробления с «хаотичной» некоррелируемой, динамически ослабленной записью в виде вертикальных «столбов» (рис. 4).

Трассировка тектонических нарушений по разрезу осуществлялась по крайевым точкам изгибов, сопровождающихся разрушением осей синфазности и их «скачками» во временах регистрации. В отдельных случаях основные нарушения осложнены серией малоамплитудных сбросов более мелкого ранга, трассирование их по профилям, особенно в субмеридиональном направлении, затруднено. С целью трассирования элементов разрывной тектоники в плане

вначале были протрассированы основные, так называемые генерализованные направления разломов, а затем выделены нарушения более мелкого ранга, согласованные с основными. Линии дизъюнктивных дислокаций в плане имеют криволинейную форму с преобладающим субмеридиональным направлением.

Выделение разломов проводилось по поверхностям рифейского фундамента и девонским отложениям, чтобы проследить, какие разломы трассируются через весь осадочный чехол. Поверхности рифейского фундамента и девонских отложений были проанализированы по материалам отчетных работ [8–10] и сведены в единую карту (рис. 5). Необходимо отметить, что существенных различий в рассмотренных схемах изолиний не имеется. Также сравнивались и разломы, выделенные разными авторами. Так, зоны генеральных разломов в целом не отличаются. Возможны лишь отдельные участки, в пределах которых строение самой зоны описано по-разному, особенно между сейсмическими профилями.

Полученные материалы подтвердили распространение в осадочном чехле многочисленных дизъюнктивных дислокаций, которые были выделены и протрассированы в

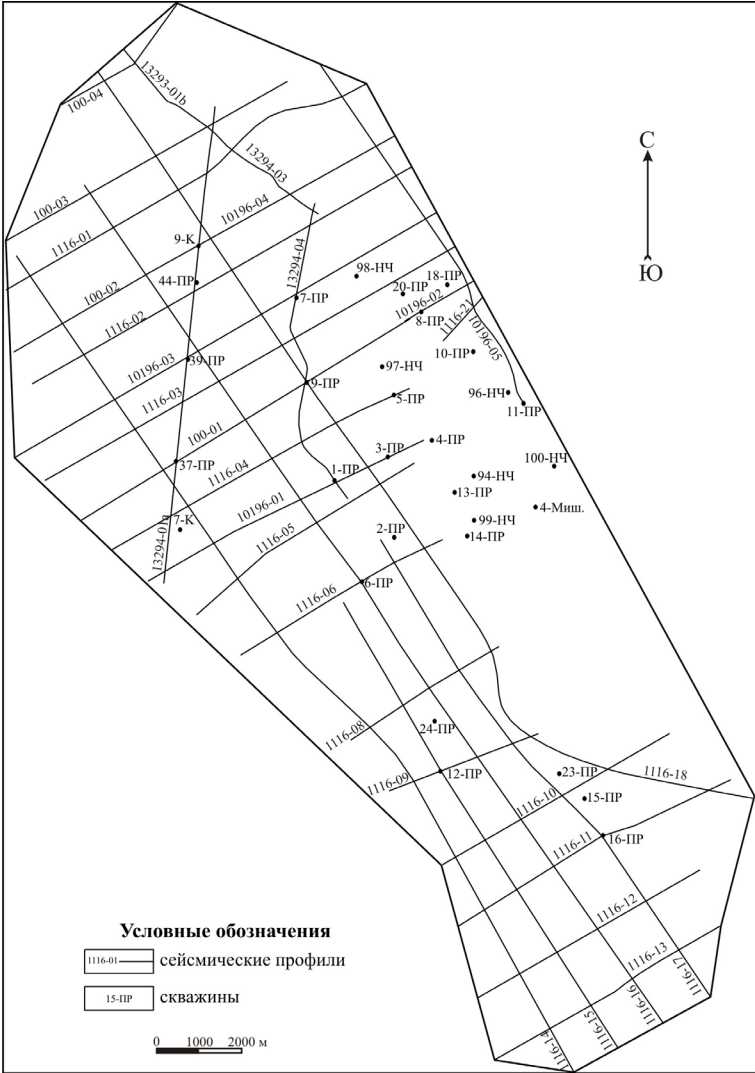


Рисунок 3. Схема изученности территории сейсмическими методами и бурением [10].
Figure 3. Exploration state of the study area by the seismic methods and drilling [10].

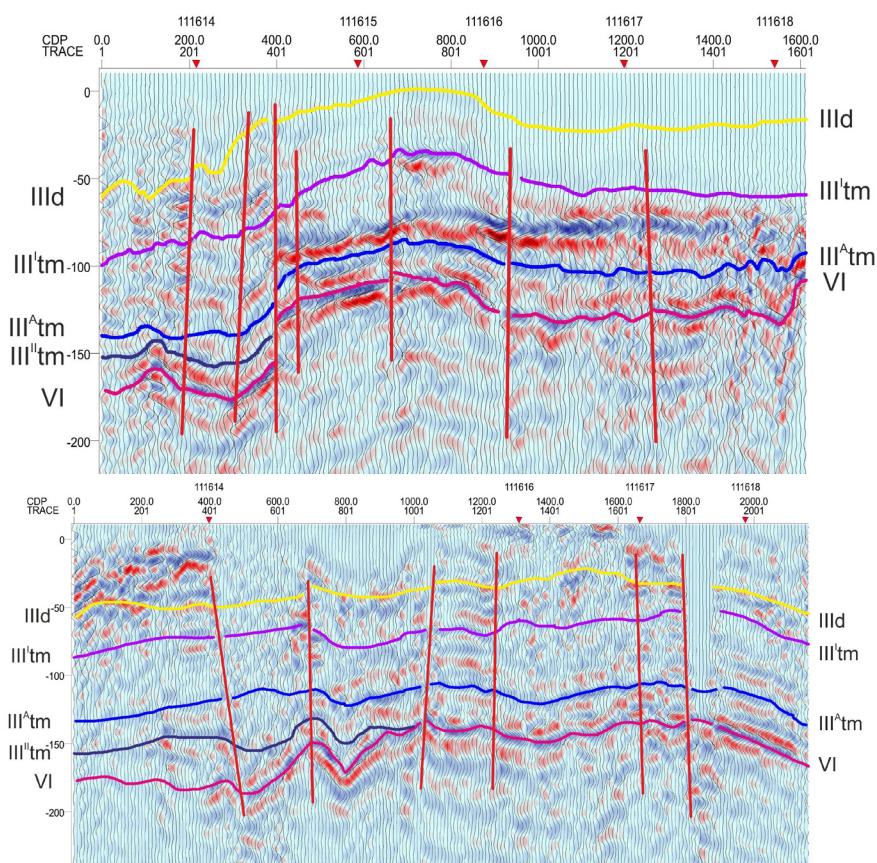


Рисунок 4. Фрагменты временных разрезов по профилям 1116-08 (сверху), 1116-06 (снизу) с выделением зон предполагаемых разломов [10]; местоположение профилей см. на рис. 3.

Figure 4. Fragments of time sections for 1116-08 (top) and 1116-06 (bottom) profiles with zones of inferred faults [10]; for location of profiles see Fig. 3.

пределах Ухтинской складки. Однако ряд малоамплитудных опоясывающих нарушений, отмеченных на временных разрезах, не удалось выделить в связи с недостаточной плотностью сейсмических профилей.

Наиболее глубоким отражающим горизонтом является кровля верхнепротерозойских отложений. Структурный план кровли метаморфического фундамента характеризуется в пределах Ухтинской складки наибольшей дислоцированностью по сравнению с перекрывающими его с угловым и стратиграфическим несогласием девонскими отложениями. Заложение большей части нарушений, осложняющих фундамент, произошло в раннерифейское и раннепалеозойское время. Метаморфический фундамент был перекрыт со стратиграфическим и угловым несогласием трансгрессивно залегающими нижнефранскими отложениями, заполнившими неровности рельефа рифейских отложений. Большая часть тектонических нарушений прослеживается в разрезе вплоть до подошвы доманика, затухая в верхнефранской части разреза.

Разломы, выделенные по рифейскому фундаменту, в большинстве случаев имеют северо-западную ориентировку, которая совпадает с положением Ухтинской складки. По всей структуре протягиваются два основных нарушения: Ярегский сброс (Большой Ярегский сброс) на западе и Восточный сброс на востоке (рис. 5, А). В оси складки прослеживаются разрывные нарушения непрерывного и фрагментарного простирания.

По поверхности девонских отложений четко выражены разломы только северо-западного направления, хотя в общем плане видны как ступенчатое погружение горизонта на север и юг складки, так и отдельные блоки в ее оси. На временных разрезах хорошо прослеживается Ярегский сброс и отдельные фрагменты разломов в северной части складки (рис. 5, Б).

Магнитное поле.

Выделение линеаментов

Магнитное поле на карте масштаба 1:1 000 000 [17] отрицательное и однородное, значение аномального магнитного поля территории исследования одинаковое. В 1978 г. на территории Ухта-Ижемского вала были проведены гамма-магнитные исследования масштаба 1:50 000 [3]. С использованием материалов выполненных работ нами выделены линеаменты аномального магнитного поля (рис. 6).

Аномальное магнитное поле характеризуется значительной неоднородностью, что связано с наложением полей фундамента и осадочного чехла, а также наличием в чехле пород основного (ультраосновного?) состава.

Большую часть территории занимают региональные аномалии преимущественно северо-западного простирания, характеризующие комплексы пород рифейского фундамента. Линеаменты северо-западного направления выделяются достаточно условно. Они параллельны тектоническим структурам, и отождествление их с разломами неоднозначно, так как это, возможно, просто границы геологических комплексов. Поскольку нет резкого горизонтального градиента магнитного поля, нами выделяются линеаменты по максимумам и минимумам поля, в отдельных случаях – по зоне их разделения.

В восточной части участка карты отмечается изометричная область разнопеременных магнитных аномалий, где можно увидеть и локальные изометричные, и узкие линейные формы аномалий. Авторы отчета [3] связывают эту область с распространением «туффитовой» пачки пород девона. Линеаменты меридиональной, отчасти северо-восточной ориентировки располагаются в основном в восточной части карты. Аномальные магнитные поля представляют линейные, узкие, интенсивные градиентные зоны положительного знака. Эти линеаменты, скорее всего, связаны с дайками диабазов, внедренных по трещинам разломов. Резкие градиенты поля говорят о неглубоком залегании объектов, создающих их. Подобные разломы, контролируемые дайками диабазов, известны на Среднем Тимане, где они рвут сланцевую толщу фундамента. Эти

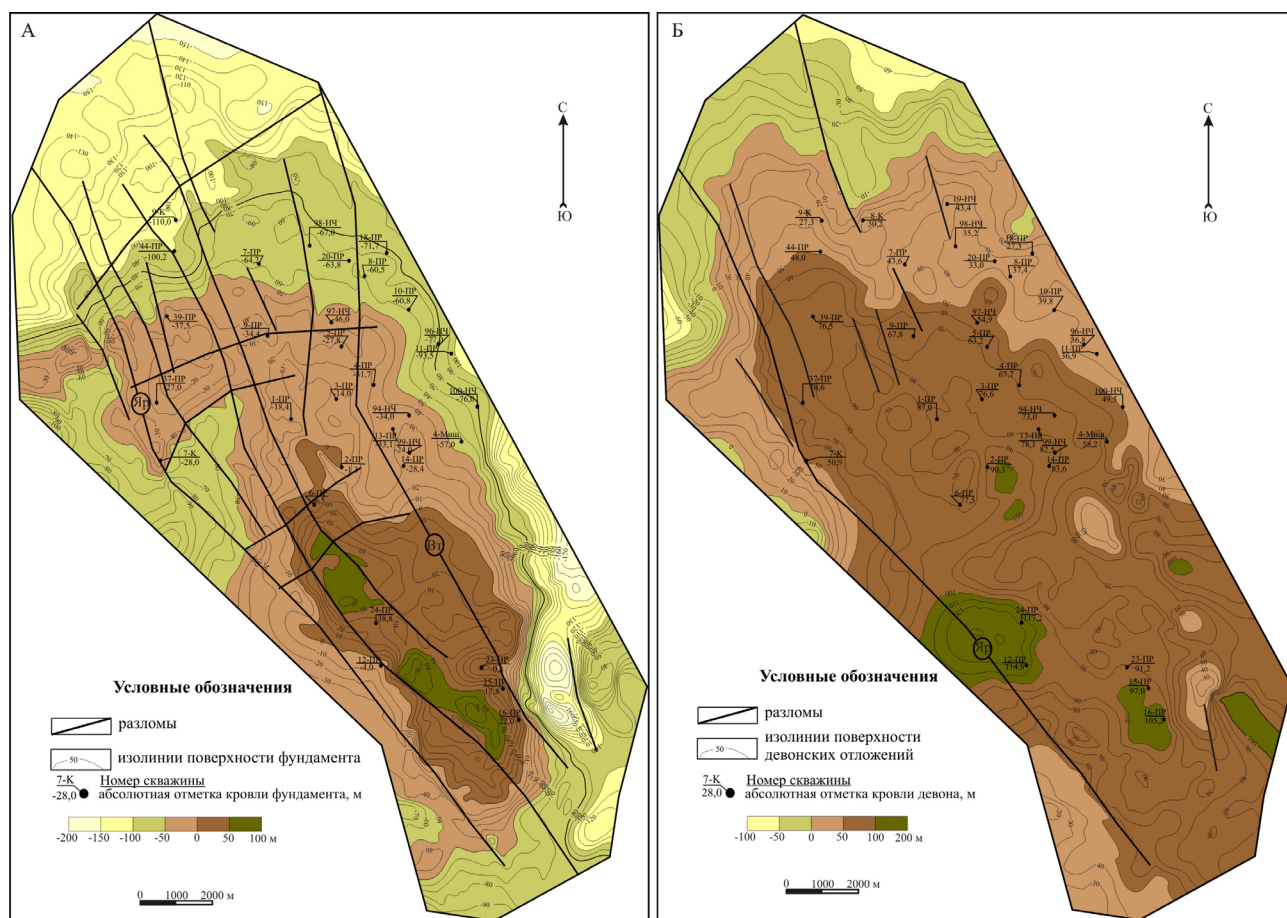


Рисунок 5. А – схема изолиний поверхностей рифейского фундамента; Б – девонских отложений (по [8–10] с дополнениями авторов).
Figure 5. Isolines of the surfaces of the Riphean basement (A) and Devonian deposits (B) (according to [8–10] with the authors' additions).

разломы имеют наложенный (секущий) характер. Длина этих зон варьирует от 5 до 25 км и более при ширине до 1.5 км.

В северной части карты по изгибам и резким ограничениям отдельных аномалий магнитного поля выделяется линеамент северо-восточного направления, располагающийся по направлению и вблизи русла р. Ухты. Он назван Северо-Ухтинским поперечным разломом [3].

Границу изометричной области «туффитовой» пачки также можно отделить широтным линеаментом.

В результате сопоставления основных разломов, выделенных по материалам сейсморазведки, и линеаментов, соответствующих данным магниторазведки в центральной части Ухтинской складки, можно сделать соответствующие выводы: Ярегский сброс тяготеет к линейной зоне пониженных значений магнитного поля, где эта зона является градиентной; Восточный сброс находится в поле пониженных значений магнитного поля; Северо-Ухтинский поперечный разлом не находит своего полного отображения по материалам сейсморазведки (рис. 6).

Выводы

Полученные результаты позволили детализировать разломно-блоковую модель района исследования и уточнить морфологию разломов.

Анализ выделенных разломов по поверхности рифейского фундамента показывает, что основная их часть имеет

северо-западное направление, соответствующее положению Ухтинской складки, протягивается как непрерывно, так и фрагментарно по всей структуре. На западе выделяется Ярегский сброс (Большой Ярегский сброс), на востоке – Восточный сброс. Между ними, в оси складки, прослеживается серия разломов, количество которых увеличивается в северной части складки. Разломы северо-восточного и близ широтного направлений делят складку на разновысотные блоки. По поверхности девонских отложений большая часть рифейских разломов затухает, прослеживается только Ярегский сброс и отдельные фрагменты разломов в северной части складки.

Сопоставление разломов, выделенных по данным сейсморазведочных работ, с картой аномального магнитного поля показывает, что разломы в основном не находят своего отражения в магнитных полях при съемке масштаба 1:50 000.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на выполнение профильных магниторазведочных, электроразведочных, малоглубинных сейсморазведочных работ масштаба 1:5000 и площадной радоновой съемки.

Литература и источники

1. Кичигин, А.И. «Водный промысел»: история производства радия в Республике Коми (1931–1956) /А.И. Кичигин, А.И. Таскаев // ВИЕТ. – 2004. – С. 3–30.

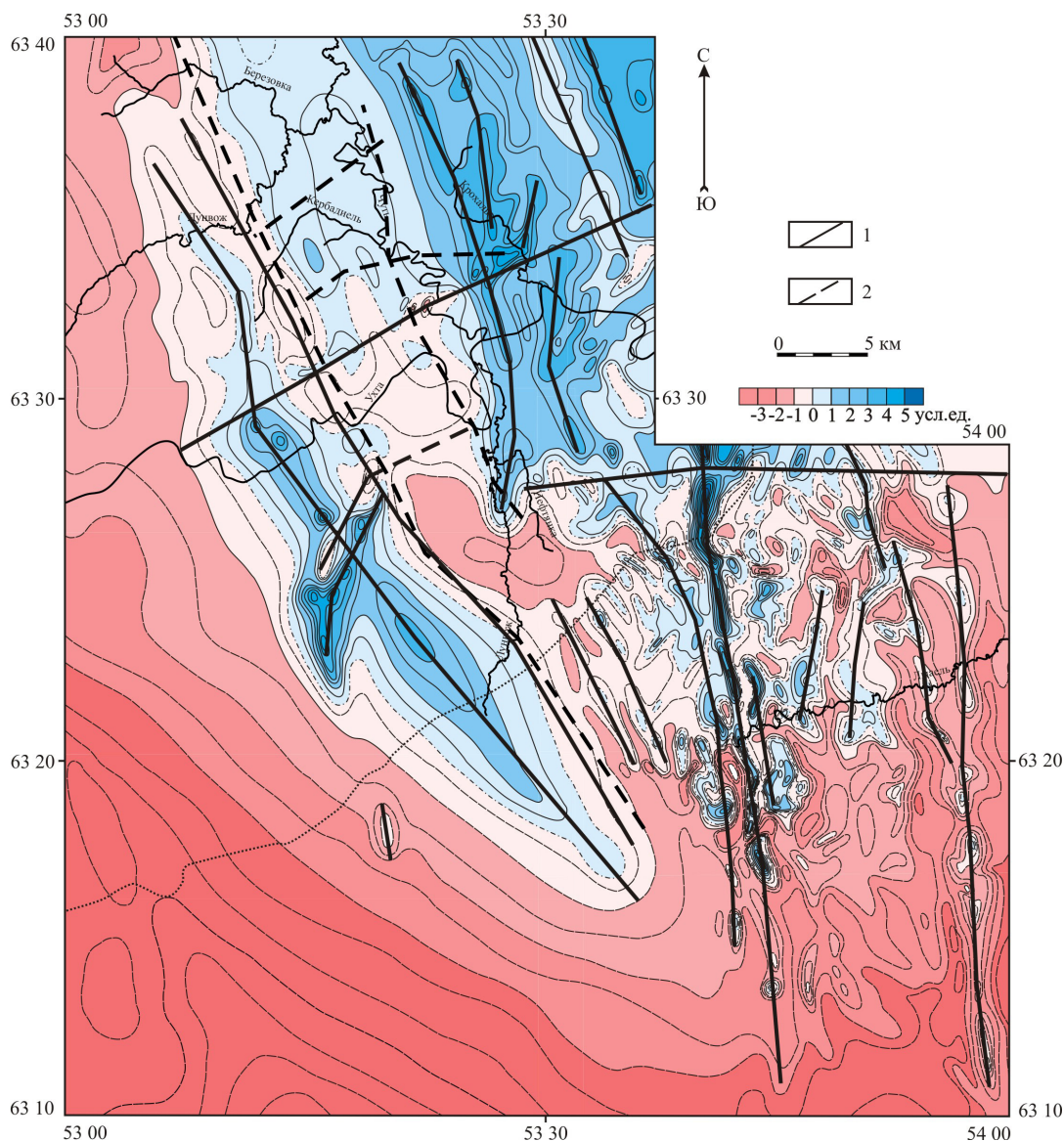


Рисунок 6. Карта аномального магнитного поля масштаба 1:50 000 (составлена по [3] с дополнениями авторов).
 Условные обозначения: 1 – линеаменты аномального магнитного поля; 2 – разломы, выделенные по данным сейсморазведки.
 Figure 6. Map of the anomalous magnetic field at a scale of 1:50 000 (compiled according to [3] with the authors' additions).
 Symbols: 1 – lineaments of the anomalous magnetic field, 2 – faults identified according to the seismic data.

2. Удоратин, В.В. Локальная радоновая аномалия в зоне Вычегодско-Локчимского разлома / В.В. Удоратин, А.Ш. Магомедова, Ю.Е. Езимова // Известия Коми научного центра УрО РАН. – 2019. – № 1 (37). – С. 76–82. DOI 10.19110/1994-5655-2019-1-76-82.
3. Ерема, Г.А. Отчет о результатах аэрогамма-магнитной съемки масштаба 1:25 000 на восточном склоне Южного Тимана за 1977–1978 гг. / Г.А. Ерема, В.Г. Полевина, Д.С. Рывин, В.А. Тарутин. – Ленинград, 1978.
4. Шишков, В.А. Опережающие геофизические работы по площади листов Р-39-23-Б, Г; 24-В. Отчет комплексной геофизической партии 1989–1991 гг. на Ухтинской площади. Лист Р-39-VI. Коми АССР / В.А. Шишков, Н.С. Сиваш, В.М. Трофимов. – Ухта, 1991.
5. Грицкевич, Г.И. Отчет о работах Тиманской опытно-методической сейсморазведочной партии № 91/68 в Ухтинском районе летом 1968 г. / Г.И. Грицкевич, И.К. Илюкевич. – Ухта, 1969.
6. Дохсаньянц, Э.П. Отчет Емвинской сейсморазведочной партии 10393 о результатах региональных работ масштаба 1:200 000 в 1992–1993 гг. Листы: Р-39-IX, X, XV, XVI, XVII / Э.П. Дохсаньянц, Н.В. Юница. – Ухта, 1995.
7. Путимцев, Г.Н. Отчет о результатах опытно-методических сейсморазведочных работ на Тиманской площади за 1992–1994 гг. (ОМП 13293 и 13294). Листы: Р-39-V-VI / Г.Н. Путимцев, Н.И. Канев, Е.М. Барина. – Ухта, 1995.
8. Мингалеева, И.Х. Сейсморазведочные работы на Верхнечутинской и Западно-Чутинской площадях. Отчет Верхнечутинской сейсморазведочной партии 199 и Западно-Чутинской сейсморазведочной партии 100 о результатах поисковых сейсморазведочных работ масштаба 1:50 000 в 1999–2000 гг. ОАО «Севергеофизика» / И.Х. Мингалеева, С.А. Школьник. – Ухта, 2001.
9. Федотов, А.Л. Отчет по теме «Уточнение цифровой геологической модели северной части Ухтинской складки на основе переинтерпретации сейсморазведочных ма-

териалов 2D прошлых лет после переобработки в системе ProMAX при поисках нефтеперспективных объектов в отложениях девона в пределах Нижнечутинской площади» / А.Л. Федотов, С.А. Школьник, Т.И. Федотова. – Ухта, 2005.

10. Кычкин, Д.А. Отчет по теме «Проведение обработки и комплексной интерпретации материалов сейсморазведки 2D и скважинных данных в пределах Нижнечутинской площади. Лицензия СЫК 01028 НР от 29.03.1999 г. Отчет по договору с ООО «Нефтегазпромтех» № СГП-05/17 от 21.02.2017 / Д.А. Кычкин. – Тюмень, 2017.
11. Семенова, Е.А. Отчет по теме 9347 «Обобщение геолого-геофизических материалов Вычегодского прогиба с целью построения тектонических схем по фундаменту и осадочному чехлу» / Е.А. Семенова. – Ухта, 1993.
12. Вельтистова, О.М. Отчет по теме 9647 «Обобщение геолого-геофизических материалов северо-востока Русской плиты и Тимана с целью построения тектонических схем по фундаменту и осадочному чехлу» / О.М. Вельтистова, Н.А. Айбабин. – Ухта, 1997.
13. Юманов, Ф.Л. Геологическое доизучение м-ба 1:200 000 листа Р-39-VI (Ухтинская площадь) / Ф.Л. Юманов, Н.С. Сиваш, Н.Ф. Иванов [и др.]. – Ухта, 2004.
14. Юманов, Ф.Л. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Серия Тиманская. Лист Р-39-VI (Ухта). Объяснительная записка / Ф.Л. Юманов, Н.С. Сиваш, Н.Ф. Иванов. – Москва: МФ ВСЕГЕИ, 2013.
15. Гецен, В.Г. Тектоника Тимана / В.Г. Гецен. – Ленинград: Наука, 1987. – 172 с.
16. Сиваш, Н.С. Информационный отчет о групповой комплексной геологической, гидрогеологической и инженерно-геологической съемке масштаба 1:50 000 на листах Р-39-23-А, Б, Г; 24-А, В / Н.С. Сиваш, Б.П. Богданов, А.В. Бармин. – Ухта, 1999.
17. Кострикина, С.М. Карта аномального магнитного поля СССР масштаба 1:1 000 000. Лист Р-39 / С.М. Кострикина, Р.М. Антонович. – ВСЕГЕИ, 1967.

References

1. Kichigin, A.I. "Vodnyj promysel": istoriya proizvodstva radiya v Respublike Komi (1931–1956) ["Water industry": the history of radium production in the Komi Republic (1931–1956)] / A.I. Kichigin, A.I. Taskaev // VIET [Questions of the history of natural science and technology]. – 2004. – P. 3–30.
2. Udoratin, V.V. Lokalnaya radonovaya anomalija v zone Vychegodsko-Lokchimskego razloma [Local radon anomaly in the area of the Vycheгда-Lokchim fault] / V.V. Udoratin, A.Sh. Magomedova, Yu.E. Ezimova // Proceedings of the Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. – 2019. – №1(37). – P. 76–82.
3. Erema, G.A. Otchet o rezultatah aerogamma-magnitnoj syemki masshtaba 1:25 000 na vostochnom sklone Yuzhnogo Timana za 1977–1978 gg. [Report on the results of an airborne gamma-magnetic survey at a scale of 1:25 000 on the eastern slope of the South Timan for 1977–1978] /

G.A. Erema, V.G. Polevina, D.S. Ryvin, V.A. Tarutin. – Leningrad, 1978.

4. Shishkov, V.A. Operezhayushchie geofizicheskie raboty po ploshchadi listov Р-39-23-Б, Г; 24-В. Otchet kompleksnoj geofizicheskoy partii 1989–1991 gg. na Uhtinskoj ploshchadi. List Р-39-VI. Komi ASSR [Advanced geophysical works on the area of sheets Р-39-23-Б, Г; 24-В. Integrated Geophysical Party Report for 1989–1991 on the Ukhta area. Sheet Р-39-VI. Komi ASSR] / V.A. Shishkov, N.S. Sivash, V.M. Trofimov. – Ukhta, 1991.
5. Gritskevich, G.I. Otchet o rabotah Timanskoj opytно-metodicheskoy sejsmorazvedochnoj partii № 91/68 v Ukhbinskom rajone letom 1968 [Report on the work of the Timan experimental and methodological seismic survey party № 91/68 in the Ukhta region in the summer of 1968] / G.I. Gritskevich, I.K. Ilyukevich. – Ukhta, 1969.
6. Dokhsanyants, E.P. Otchet o Emvinskoj sejsmorazvedochnoj partii 10393 o rezultatah regionalnyh rabot masshtaba 1:200 000 v 1992–1993 gg. Listy: R-39-IX, X, XV, XVI, XVII [Report on the Emva seismic prospecting crew 10393 on the results of regional works at a scale of 1:200 000 for 1992–1993. Sheets: Р-39-IX, X, XV, XVI, XVII] / E.P. Dokhsanyants, N.V. Yunitsyna. – Ukhta, 1995.
7. Putimtsev, G.N. Otchet o rezultatah opytно-metodicheskikh sejsmorazvedochnykh rabot na Timanskoj ploshchadi za 1992–1994 gg. (OMP 13293 i 13294). Listy: R-39-V-VI [Report on the results of experimental and methodological seismic surveys on the Timan area for 1992–1994 (OMP 13293 and 13294). Sheets: Р-39-V-VI] / G.N. Putimtsev, N.I. Kanev, E.M. Barinova. – Ukhta, 1995.
8. Mingaleeva, I.H. Sejsmorazvedochnye raboty na Verkhnechutinskoj i Zapadno-Chutinskoj ploshchadyah. Otchet Verkhnechutinskoj sejsmorazvedochnoj partii 199 i Zapadno-Chutinskoj sejsmorazvedochnoj partii 100 o rezultatah poiskovykh sejsmorazvedochnykh rabot masshtaba 1:50 000 v 1999–2000 gg. OAO "Severgeofizika" [Seismic exploration at the Verkhnechutinsk and Zapadno-Chutinsk areas. Report of the Verkhnechutinsk seismic team 199 and the Zapadno-Chutinsk seismic team 100 on the results of prospecting seismic surveys at a scale of 1:50 000 for 1999–2000. OAO "Severgeofizika"]. – Ukhta. – 2001.
9. Fedotov, A.L. Otchet po teme "Utochnenie tsifrovoj geologicheskoy modeli severnoj chasti Uhtinskoj skladki na osnove pereinterpretacii sejsmorazvedochnykh materialov 2D proshlykh let posle pereobrabotki v sisteme ProMAX pri poiskah nefteperspektivnykh obyektov v otlozheniyakh devona v predelakh Nizhnechutinskoj ploshchadi [Report on the topic "Refining the digital geological model of the northern part of the Ukhta fold based on the reinterpretation of 2D seismic data of previous years after reprocessing in the ProMAX system when searching for oil-promising objects in the Devonian deposits within the Nizhnechutinsk area"] / A.L. Fedotov, S.A. Shkolnik, T.I. Fedotova. – Ukhta, 2005.
10. Kychkin, D.A. Otchet po teme «Provedenie obrabotki i kompleksnoj interpretacii materialov sejsmorazvedki 2D i skvazhinnykh dannykh v predelakh Nizhnechutinskoj ploshchadi. Licenziya SYK 01028 NR ot 29.03.1999. Otchet

- по договору с ООО "Нефтегазпромтекс" № SGP-05/17 от 21.02.2017 [Report on the topic "Processing and integrated interpretation of 2D seismic data and well data within the Nizhne-Chutinsk area. License SYK 01028 NR dated March 29, 1999. Report under the contract with ООО "Нефтегазпромтекс" № SGP-05/17 dated February 21, 2017] / D.A. Kychkin. – Tyumen, 2017.
11. Semenova, E.A. Otchet po teme 9347 "Obobshchenie geologo-geofizicheskikh materialov Vychegodskogo progiba s tselyu postroeniya tektonicheskikh shem po fundamentu i osadochnomu chehlu" [Report on topic 9347 "Generalization of geological and geophysical materials on the Vychegda trough to make tectonic schemes on the basement and the sedimentary cover"] / E.A. Semenova. – Ukhta, 1993.
 12. Veltistova, O.M. Otchet po teme 9647 "Obobshchenie geologo-geofizicheskikh materialov severo-vostoka Russkoj plity i Timana s tselyu postroeniya tektonicheskikh shem po fundamentu i osadochnomu chehlu" [Report on topic 9647 "Generalization of geological and geophysical materials on the north-east of the Russian Plate and the Timan Ridge to make tectonic schemes on the basement and the sedimentary cover"] / O.M. Veltistova, N.A. Ajbabin. – Ukhta, 1997.
 13. Yumanov, F.L. Geologicheskoe doizuchenie m-ba 1:200 000 lista P-39-VI (Uhtinskaya ploschad) [Additional geological survey of Sheet P-39-VI (Ukhta area) at a scale 1:200 000] / F.L. Yumanov, N.S. Sivash, N.F. Ivanov. – Ukhta, 2004.
 14. Yumanov, F.L. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1:200 000. Seriya Timanskaya. List P-39-VI (Ukhta). Obyasnitelnaya zapiska [State geological map of the Russian Federation. Scale 1:200 000. Timan series. Sheet P-39-VI (Ukhta). Explanatory letter] / F.L. Yumanov, N.S. Sivash, N.F. Ivanov. – Moscow: Moscow Branch of VSEGEI, 2013.
 15. Getsen, V.G. Tektonika Timana [Timan tectonics] / V.G. Getsen. – Leningrad: Nauka, 1987. – 172 p.
 16. Sivash, N.S. Informatsionnyj otchet o gruppovoj kompleksnoj geologicheskoy, gidrogeologicheskoy i inzhenerno-geologicheskoy syemke masshtaba 1:50 000 na listah R-39-23-A, B, G; 24-A, V [Information report on the group complex geological, hydrogeological and engineering-geological survey at a scale of 1:50 000 on sheets P-39-23-A, B, G; 24-A, B] / N.S. Sivash, B.P. Bogdanov, A.V. Barmin. – Ukhta, 1999.
 17. Kostrikina, S.M. Karta anomal'nogo magnitnogo polya SSSR masshtaba 1:1 000 000. List R-39 [Map of the anomalous magnetic field of the USSR, scale 1:1 000 000. Sheet R-39] / S.M. Kostrikina, R.M. Antonovich. – VSEGEI, 1967.

Информация об авторах:

Удоратин Валерий Вячеславович – доцент, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий геофизической обсерваторией «Сыктывкар»; ведущий научный сотрудник Института геологии имени академика Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Российская Федерация, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54; e-mail: udoratin@geo.komisc.ru).

Езимова Юлия Евгеньевна – младший научный сотрудник Института геологии имени академика Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Российская Федерация, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54; e-mail: ezimova89@mail.ru).

Магомедова Александра Шамильевна – младший научный сотрудник Института геологии имени академика Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Российская Федерация, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54; e-mail: asmagomedova@geo.komisc.ru).

About the authors:

Valery V. Udoratin – Candidate of Sciences (Geology and Mineralogy), Associate Professor, Head of the Syktывkar Geophysical Observatory, Institute of Geology named after academician N.P. Yushkin FRC Komi SC UB RAS (Institute of Geology named after academician N.P. Yushkin, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 54 Pervomaiskaya st., Syktывkar, Komi Republic, Russian Federation, 167982; e-mail: udoratin@geo.komisc.ru).

Yulia E. Ezimova – Junior Researcher, Institute of Geology named after academician N.P. Yushkin FRC Komi SC UB RAS (Institute of Geology named after academician N.P. Yushkin, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 54 Pervomaiskaya st., Syktывkar, Komi Republic, Russian Federation, 167982; e-mail: ezimova89@mail.ru).

Aleksandra Sh. Magomedova – Junior Researcher, Institute of Geology named after academician N.P. Yushkin FRC Komi SC UB RAS (Institute of Geology named after academician N.P. Yushkin, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 54 Pervomaiskaya st., Syktывkar, Komi Republic, Russian Federation, 167982; e-mail: asmagomedova@geo.komisc.ru).

Для цитирования:

Удоратин, В.В. Разломная тектоника Ухтинской складки Тиманской гряды / В.В. Удоратин, Ю.Е. Езимова, А.Ш. Магомедова // Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия «Науки о Земле». – 2023. – № 2 (60). – С. 15–25.

For citation:

Udoratin, V.V. Razlomnaya tektonika Uhtinskoj skladki Timanskoj gryady [Fault tectonics of the Ukhta fold in the Timan Ridge] / V.V. Udoratin, Yu.E. Ezimova, A.Sh. Magomedova // Proceedings of the Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Series "Earth Sciences". – 2023. – № 2 (60). – P. 15–25.

Дата поступления статьи: 28.03.2023

Прошла рецензирование: 10.04.2023

Принято решение о публикации: 11.05.2023

Received: 28.03.2023

Reviewed: 10.04.2023

Accepted: 11.05.2023

Ультраосновные породы рудных полей Среднего Тимана: петрогеохимические и геохронологические данные

О.В. Удоратина¹, А.М. Шмакова¹, А.В. Травин^{2,3},
А.С. Шуйский¹

¹ Институт геологии имени академика Н.П. Юшкина
ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
г. Сыктывкар

² Институт геологии и минералогии имени В.С. Соболева СО РАН,
г. Новосибирск

³ Новосибирский государственный университет,
г. Новосибирск

udoratina@geo.komisc.ru

Аннотация

Ультраосновные дайковые образования, развитые в пределах редкометалльно-редкоземельных рудных полей Косьюского, Новобобровского и Октябрьского, на основании петрографических, петрохимических и геохимических характеристик отнесены к щелочным пикритам. Породы отличаются высоким содержанием V, Cr, Ni, характерных для ультраосновных пород. При проявлении процессов фенитизации в породах увеличивается содержание Th, REE, Y, Pb, что подтверждается появлением рудных минералов (монацита, ксенотима, фосфатов и сульфидов Th и Pb). Установленный возраст $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом по флогопиту составил 598.1 ± 6.2 млн лет. В это время на Среднем Тимане в пределах Четласского Камня реконструируется плюмовый импульс.

Ключевые слова:

ультраосновные породы, щелочные пикриты, хромшпинелиды, Ar-Ar метод, Средний Тиман

Введение

В южной части Четласского Камня на Среднем Тимане известны редкометалльно-редкоземельные проявления (Косьюский рудный узел) (рис. 1). Породы, слагающие рудные поля, представлены метатерригенными отложениями четласской свиты, прорываемыми дайками ультраосновных пород четласского комплекса, а также жильными образованиями [1–8]. В пределах всех рудных полей (с юга на север): Косьюского, Нижне-Мезенского, Новобобровского, Октябрьского, вскрыты дайки ультраосновного состава. С ними и карбонатитами (развитыми в пределах Косьюского рудного поля) связывается рудная минерализация, хотя и сами ультраосновные породы весьма сильно изменены в различной степени в разных рудных полях. Выделяется несколько этапов становления даек, эволюционирующих в калиевую серию пород.

Ultrabasic rocks of ore fields of the Middle Timan: petrogeochemical and geochronological data

O.V. Udoratina¹, A.M. Shmakova¹, A.V. Travin^{2,3},
A.S. Shuisky¹

¹Institute of Geology, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktывkar

²Institute of Geology and Mineralogy of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk

³Novosibirsk State University,
Novosibirsk

udoratina@geo.komisc.ru

Abstract

Ultrabasic dike formations developed within the Kosyuskoe, Novobobrovskoe and Oktyabrskoe rare-metal-to-rare-earth ore fields, are attributed to alkaline picrites by the petrographic, petrochemical and geochemical characteristics. The rocks contain high amounts of V, Cr, Ni being typical of ultrabasic rocks. The processes of fenitization increase the content of Th, REE, Y, Pb in the rocks and so cause the appearance of ore minerals (monazite, xenotime, phosphates, and Th and Pb sulfides). The age identified by the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ method by phlogopite is 598.1 ± 6.2 Ma. This time period is reconstructed for the plume impulse within the Chetlas Kamen of the Middle Timan.

Keywords:

ultrabasic rocks, alkaline picrites, chromespinelides, Ar-Ar method, Middle Timan

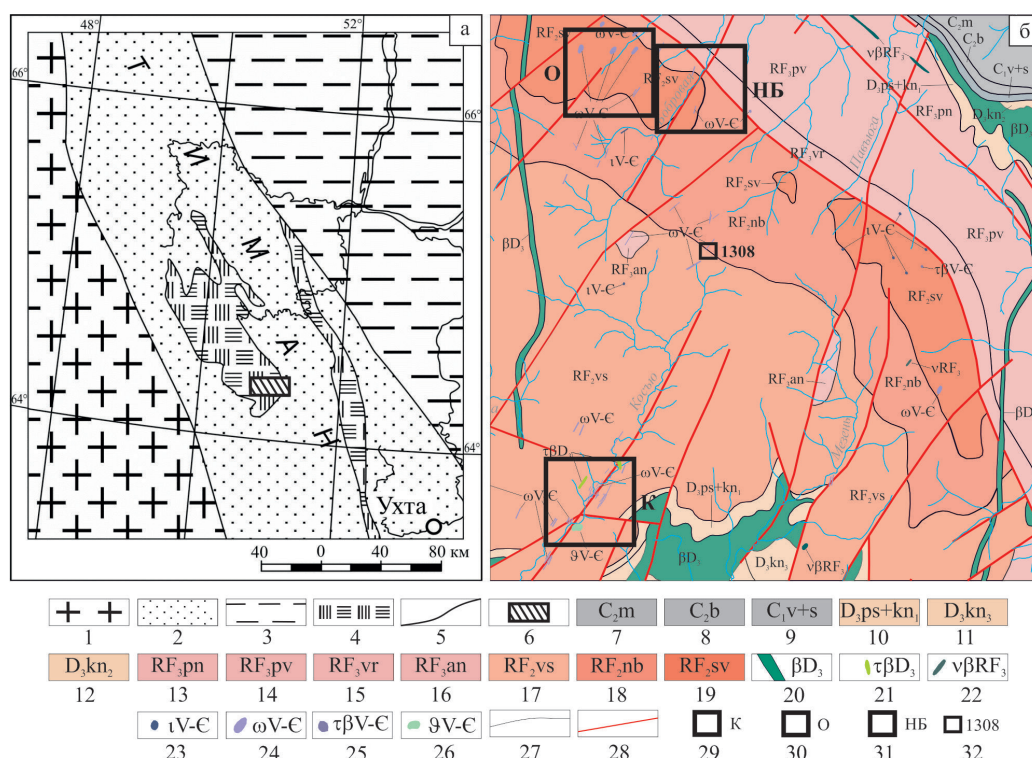


Рисунок 1. Геологическая позиция района исследований на Среднем Тимане. А – схема тектонического строения Среднего Тимана. В левом верхнем углу показано положение Среднего Тимана: 1 – Восточно-Европейский кратон; 2 – Тиман; 3 – Ижемская зона; 4 – выходы на поверхность комплексов фундамента; 5 – границы зон; 6 – район развития опробованных пород визингской и светлинской свит. Б – фрагмент геологической карты района отбора проб (м-б 1:200 000) [9]: 7 – московский ярус, известняки; 8 – башкирский ярус, известняки; 9 – визейский и серпуховской ярусы, аргиллиты, глины, алевролиты, известняки, доломиты; 10 – пашийский горизонт и нижний подгоризонт кыновского горизонта, песчаники, алевролиты, аргиллиты; 11 – кыновский горизонт, верхний подгоризонт, песчаники, алевролиты, аргиллиты, глины; 12 – кыновский горизонт, средний подгоризонт, туфы, туффиты; 13 – паунская свита, сланцы, алевролиты, известняки, доломиты; 14 – павьюгская свита, доломиты, известняки, часто со строматолитами; 15 – ворыквинская свита, доломиты, известняки, сланцы, мергели, редко алевролиты и кварцитопесчаники; 16 – аныюгская свита, гравелиты, кварцитопесчаники, сланцы; 17 – визингская свита, кварцитопесчаники, сланцы, алевролиты, редко туффиты; 18 – новобобровская свита, сланцы, алевролиты; 19 – светлинская свита, кварцитопесчаники, алевролиты, сланцы, редко гравелиты; 20 – среднетиманский метадолеритовый комплекс, метадолериты, дайки; 21–24 – четласский кимберлит-пикритовый комплекс: 21 – кимберлиты, кимберлитоподобные породы, трубки, дайки, 22 – пикриты, дайки, 23 – щелочные базальтоиды, дайки, 24 – карбонатиты, шток; 25, 26 – канино-тиманский долеритовый комплекс: 25 – базальты, долериты, покровы, силы, 26 – трахибазальты, дайки, силлы; 27 – границы между разновозрастными образованиями; 28 – тектонические контакты; 29 – Косьюское рудное поле, 30 – Октябрьское рудное поле, 31 – Новобобровское рудное поле, 32 – обр. 1308 (участок Рассохи).

Figure 1. Geological position of the study area in the Middle Timan. а – sketch-map of the tectonic structure of the Middle Timan. The position of the Middle Timan is shown in the upper left corner of the sketch-map: 1 – East European craton; 2 – Timan; 3 – Izhma zone; 4 – outcrops of the basement complexes; 5 – boundaries of the zones; 6 – development area of the sampled rocks of the Vizingskaya and Svetlinskaya Formations. б – fragment of the geological map of the sampling area (scale 1:200 000) [9]: 7 – Moscovian Stage, limestones; 8 – Bashkirian Stage, limestones; 9 – Visean and Serpukhovian Stages, mudstones, clays, siltstones, limestones, dolomites; 10 – Pashian horizon and lower subhorizon of the Kynovsky horizon, sandstones, siltstones, mudstones; 11 – Kynovsky horizon, upper subhorizon, sandstones, siltstones, mudstones, clays; 12 – Kynovsky horizon, middle subhorizon, tuffs, tuffites; 13 – Paun Formation, shales, siltstones, limestones, dolomites; 14 – Pavyug Formation, dolomites, limestones, often with stromatolites; 15 – Vorykva Formation, dolomites, limestones, shales, marls, rarely siltstones and quartzite sandstones; 16 – Anyug Formation, gravel stones, quartzite sandstones, shales; 17 – Vizingskaya Formation, quartzite sandstones, shales, siltstones, rarely tuffites; 18 – Novobobrovskaya Formation, shales, siltstones; 19 – Svetlinskaya Formation, quartzite sandstones, siltstones, shales, rarely gravel stones; 20 – Middle Timan metadolerite complex, metadolerites, dikes; 21–24 – Chetlas kimberlite-picrite complex: 21 – kimberlites, kimberlite-like rocks, pipes, dikes; 22 – picrites, dikes; 23 – alkaline basalts, dikes; 24 – carbonatites, stock; 25, 26 – Kanino-Timansky dolerite complex: 25 – basalts, dolerites, covers, sills; 26 – trachybasalts, dikes, sills; 27 – boundaries between different-aged formations; 28 – tectonic contacts; 29 – Kosyu ore field; 30 – Oktyabrskoe ore field; 31 – Novobobrovskoe ore field; 32 – sample 1308 (Rassokhi area).

В работах предшественников можно найти следующие названия: пикрит, лампрофир, харизит, анкарамит, уачитит, минетта, альнеит, мончикит, вогезит, монтечиллит-нефелиновый базальт, камптонит, керсантит, спессартит [2–8]. Такое разнообразие связано с неоднородным составом магматического материала, наблюдаемого в отдельных образцах, не полностью сохраненного минералого-петрографического состава породы, изменения породы и соответственно нестандартного петрохимического состава.

При этом согласно классификации, породы группы пикрита и лампрофира определенного ряда, минералого-петрографические черты которых схожи, – это породы

ультраосновные. Нередко первичный минерально-петрографический состав породы настолько изменен, что исследователь не может использовать наиболее предпочтительную петрографическую классификацию и вынужден оперировать петрохимической.

Обогащенные слюдой породы многие исследователи называют лампрофирами. Бывает, что слюда не всегда первична, поэтому представлена не вкрапленниками, а образующимися при более поздних процессах пойкилобластами, пойкилокристаллами.

Лампрофиры – это породы гипабиссальные порфировой или порфировидной структуры (табл. 1), с вкраплен-

Таблица 1
Классификация ультраосновных пород лампрофиров и пикритов нормального, умереннощелочного, щелочного семейств и рудных полей
Table 1
Classification of ultrabasic rocks of lamprophyres and picrites of normal, moderate-alkaline, and alkaline groups, as well as of rocks of ore fields

Семейства горных пород [10]		Лампрофиды		[9]			Косьюское				Новооборское		Октябрьское	
				MgO>18%	Пикриты		A/15	KO3/15	МТГ6-41ц-1	МТГ6-41ц	A14-1	A14-1a	836	
Виды горных пород		Лампрофиды		Пикриты			щелочные		Пикриты		Фенит		Пикриты щелочные	Фенит
Виды горных пород		Полевощла- товые	Фельдшлато- идные	Мелилитовые	умеренно-ще- лочные	щелочные	F пикрит		Phl пикрит		Q-Hem-Fsp		Phl пикрит	Q-Hy-Fsp
Модальный минеральный состав, об. %		Спессартит Pl>Ort, Hbl, Aug, ±Ol	Уацитит F, ±стекло, Bt, Aug, ±Ol	Польценит F, Me1, Bt, Ol, ±Mnt	Ol>25, Cpx 20-60, Bt+(Phl) 10-30 Am 0-10, F 0-5 ±стекло Tint до 10	Ol>25, Cpx 20-50 ±Ne±Lc±Anc 5-20 Me1 0-5 Bt+(Phl)+Am 0-15 Tint до 10	Ol-22 Cpx-22 An-21 Lc-11 Fsp-8 Ne-6 Fsp-4 Mt-6 Il-2 Ap-1.3 Cc-5	Ol-20 Cpx-22 An-17 Lc-16 Fsp-9 An-4 Cpx-0.3 Ab-2 Mt-7 Il-4 Mt-0.2 Hm-20 Ap-18 Cc-0.3	Ol-30 Cpx-19 An-25 Fsp-8 Ab-1.4 Ne-0.4 Il-2.5 Hm-10.5 Ap-1.4 Cc-2	Hy-36 An-20 Q-12 Ab-5 Fsp-9 An-4 Cpx-0.3 Ab-2 Mt-7 Il-4 Mt-0.2 Hm-20 Ap-18 Cc-0.3	Fsp-34 Ol-25 Hy-20 Q-14 Hy-13 Co-13 Co-10 Ab-5 Mt-11 Il-5 Ap-0.5 Cc-2		Fsp-34 Hy-20 Q-14 Co-10 Ab-5 Mt-11 Il-5 Ap-0.5 Cc-2	
		Керсантит Pl>Ort, Bt, Aug, ±Ol	Саннаит Ort>Pl, Am, TAug, Ol, Bt	Альенит ±F, Me1, Bt, Aug, Ol	Осн. масса: Cpx, Ol 0-5, Pl 0-20, Mt, стекло, ± Hbl, Phl		Ap-1.2 Cc-5	Cc-3	Cc-2	Ap-1				
		Минетта Ort>Pl, Bt, Aug, ±Ol	Мончикит F, ±стекло, Am, TAug, Ol, Bt				Лампрофиды (номенклатура)				полевощла- товые			
					Pl>Fsp, F>Fsp, Ol+Crpx кампитонит	Pl=F, Ol+Crpx кампто- нит	Pl>Fsp, Fsp>F, Ol+Crpx кампитонит	Pl=Fsp, Hy, Q спессартит	Fsp>Pl, Q	Fsp, Ol, Hy, Co минетта			Fsp, Hy, Q, Co, Pl, минетта	
Граничные содержания породобразующих оксидов, мас. %														
SiO ₂ (масс. %), TiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , FeO, MgO, CaO, Na ₂ O, K ₂ O	-	38-45* 0.5-1.7 4.5-8.5 1.9-9.0 3.5-9.2 18-35 2.5-6.5 0.1-0.4 0.05-0.4	37-41 1-4.5 4-7 4-8 6-12 18-30 6-10 0.1-1 1-2.5	39-41 1-4.5 4-7 4-8 6-12 18-30 6-10 1-2.5 0.5-3.5	40.24 1.55 11.46 3.0 6.27 13.74 13.25 1.4 2.52	39.81 0.8 12.74 3.61 6.08 13.31 12.75 1.32 2.93	39.03 1.31 10.45 4.71 4.04 14.18 16.46 0.5 3.34	35.32 1.91 9.64 9.17 0.84 17.99 10.62 0.22 1.15	46.57 1.6 10.81 8.95 0.68 12.97 5.13 0.54 1.39	51.3 1.4 11.0 18.8 0 0.5 1.9 0.6 8.1	36.38 2.01 17.39 4.24 8.75 13.97 1.37 0.21 5.13	46.3 2.4 16.0 7.1 6.1 6.2 0.3 0.5 5.4		
Тип щелочности	-	Калиевый и калиево-натриевый			Калиевый			Калиевый и калиево-на- триевый			Калиевый			
Подотряд	-	0≤(Na ₂ O+K ₂ O)≤2.0			1≤(Na ₂ O+K ₂ O)≤14			1≤(Na ₂ O+K ₂ O)≤14			1≤(Na ₂ O+K ₂ O)≤14			
Отряд	-	Ультраосновные вулканические породы												
Интервал	-	35≤ SiO ₂ ≤ 45												

Примечание. Для пересчета химического состава (масс. %) породы на нормативный состав использовалась программа «Magma».

Условные обозначения: Ol – оливин, Cpx – клинопироксен, Aug – авгит, Hy – гиперстен, Am – анфибол, Hbl – анфибол, Pl – флогопит, Bt – биотит, An – анортит, Ab – альбит, Fsp – калиевый полевой шпат, F – фельдшпатидный, Lc – лейцит, Ne – нефелин, Me1 – мелилит, Tint – титаномегнетит, Mt – магнетит, Ru – рутил, Il – ильменит, Hm – гематит, Co – корунд, Q – кварц, Ap – апатит, Cc – кальцит. «-» – нет данных.

Note. To recalculate the chemical composition (wt. %) of rock to the normative composition, the Magma program was used.

Abbreviations: Ol – olivine, Cpx – clinopyroxene, Aug – augite, Hy – hypersthene, Am – amphibole, Hbl – hornblende, Pl – phlogopite, Bt – biotite, An – anorthite, Ab – albite, Fsp – potassium feldspar, F – leucite, Ne – nepheline, Me1 – mellite, Tint – titanomagnetite, Mt – magnetite, Ru – rutile, Il – ilmenite, Hm – hematite, Co – corundum, Q – quartz, Ap – apatite, Cs – calcite. "-" – no data.

никами темноцветных минералов (биотита, амфибола и пироксена) и полевыми шпатами в основной массе, часто измененные под действием более поздних постмагматических или гидротермальных процессов. Вкрапленниками, кроме слюд (биотита, флогопита), амфибола (роговой обманки, могут также являться клинопироксен (авгит, титан-авгит), оливин или мелилит. В основной массе кроме полевых шпатов могут находиться и фельдшпатоиды [9, 10]. Для отнесения пород к лампрофирам используются структурно-текстурные признаки и соотношение калиево-магматических и мафических минералов. Однако указанные типичные признаки размываются при любых изменениях породы, камуфлирующих первичный магматический состав, структуру, текстуру.

Пикриты дайковых тел – это породы черного, темно-зеленого цвета, массивные (миндалекаменные), порфировидные с вкрапленниками оливина с микролитовой или витрофировой основной массой. Минеральный состав вкрапленников состоит из оливина, клинопироксена, роговой обманки, флогопита; основной массы – из оливина, клинопироксена, роговой обманки, биотита, кальцита, акцессорного апатита, рудных магнетита и ильменита [10, 11].

Приведенные из петрографического кодекса описания пород (табл. 1) показывают, что две большие группы пород имеют конвергентные структурно-текстурные и минерально-петрографические характеристики, появление одних или других названий пород у магматических пород Четласского Камня связано именно с каменным материалом, имеющимся в распоряжении исследователей, и зависит от того, насколько характеристики пород соответствуют классификации. Из чего следует, что породы можно называть по одной классификации лампрофирами, по другой – умеренно-щелочными и щелочными пикритами.

Наибольшее количество материала было доступно при разведочном бурении проявлений Косьюского рудного узла, но тогда аналитические методы еще не были совершенны. Описание пород у разных исследователей различается в частности, что связано с фрагментарным каменным материалом, доступным для исследований на территории Среднего Тимана, и отсутствием естественных коренных обнажений.

Несмотря на достаточно большое количество накопленных аналитических (геохимических) данных об этих породах, основной объем приведен для даек Косьюского рудного поля. В последние годы нами получены новые данные как для даек Косью, так и для даек других рудных полей. Как правило, на поверхности встречаются рыхлые дезинтегрированные породы, реже наблюдаемые в консолидированном виде. Все породы характеризуются темным, почти черным, или темно-зеленым цветом и наличием типоморфной для них слюды (флогопита, магнезильного флогопита) и многочисленных ксенолитов, а также нередки брекчированные.

Вмещающими породами для даек в пределах рудных полей являются метапесчаники позднерифейской четласской серии (Косьюское поле – визингская свита, Новобобровское поле – светлинская и новобобровская свиты, Октябрьское поле – светлинская свита). Относительно воз-

раста этих свит получены новые данные, подтверждающие их позднерифейский возраст [11, 12].

Для ультраосновных дайковых пород Четласского Камня известно два возрастных рубежа: установленный В.Л. Андреичевым К-Аг методом по флогопитам – $600 \pm 15(30)$ млн лет [13], имеются и более древние данные Rb-Sr по валу (скв. 55), возраст – 827 ± 31 млн лет, А.Б. Макеевым предполагались локальные посткристаллизационные события на уровне 530 млн лет [14].

Материалы и методы

Объектами исследования являются образцы ультраосновных пород Косьюского, Новобобровского и Октябрьского рудных полей Среднего Тимана, которые были отобраны в ходе экспедиционных работ 2015, 2016 гг. (рис. 1, 2), проводимых в пределах редкометалльно-редкоземельных рудных полей, а также привлечен материал из рабочих коллекций В.И. Степаненко (камнехранилище ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, шлифы, монофракции минералов, дубликаты химических проб (обр. 836, 1308)).

Исследования проведены на базе ЦКП «Геонаука» ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар). Описание и фотографирование шлифов – на поляризационном микроскопе Olympus BX51, состав минералов и растровые снимки получены с помощью сканирующего микроскопа Tescom Vega 3 LMN с энергодисперсным спектрометром X-Max. Химический состав пород – классическим химическим методом. Для определения элементов-примесей в породах был использован метод ICP-MS ЦЛ ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург). $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирование проводилось методом ступенчатого нагрева образца слюды обр. 1308 (ИГМ СО РАН, г. Новосибирск) по методике, приведенной в работе [15]. Пересчет химических составов пород произведен с использованием программы K Ware Magma, пересчет химических (микрозондовых) составов минералов произведен с применением программы PetroExplorer.

Косьюское рудное поле

Геологическое положение, петрогеохимическая характеристика. Многочисленные дайки, закартированные в пределах этого рудного поля, описаны в работах Ю.П. Ивенсена Н.А. Довжикова, В.И. Степаненко, А.Б. Макеева, И.И. Голубевой, И.Л. Недосековой с соавторами [2–8]. Как правило, дайки имеют северо-восточное простирание и различный состав. Как отмечают все авторы, породы имеют темный цвет (черный, темно-зеленый), рыхлые или консолидированные, обязательно отмечается присутствие слюды (флогопита), имеющей облик вкрапленников. Минеральный состав: слюда (флогопит, биотит), пироксен (авгит, эгирин), амфибол (роговая обманка, актинолит, гастингсит), оливин (серпентинизированный оливин), КПШ (микроклин), плагиоклаз (альбит), шпинель, циркон, апатит, эпидот, цоизит, карбонаты, титаномагнетит, хромит, гематит, гетит. Макеев с соавторами [4, с. 18] приводит список обнаруженных минералов: 22 сульфида и сульфосолей, 33 силиката, 9 карбонатов, 6 самородных минералов.

По своему химическому составу дайковые породы Косьюского рудного поля (опубликованные данные Ю.П. Ивен-

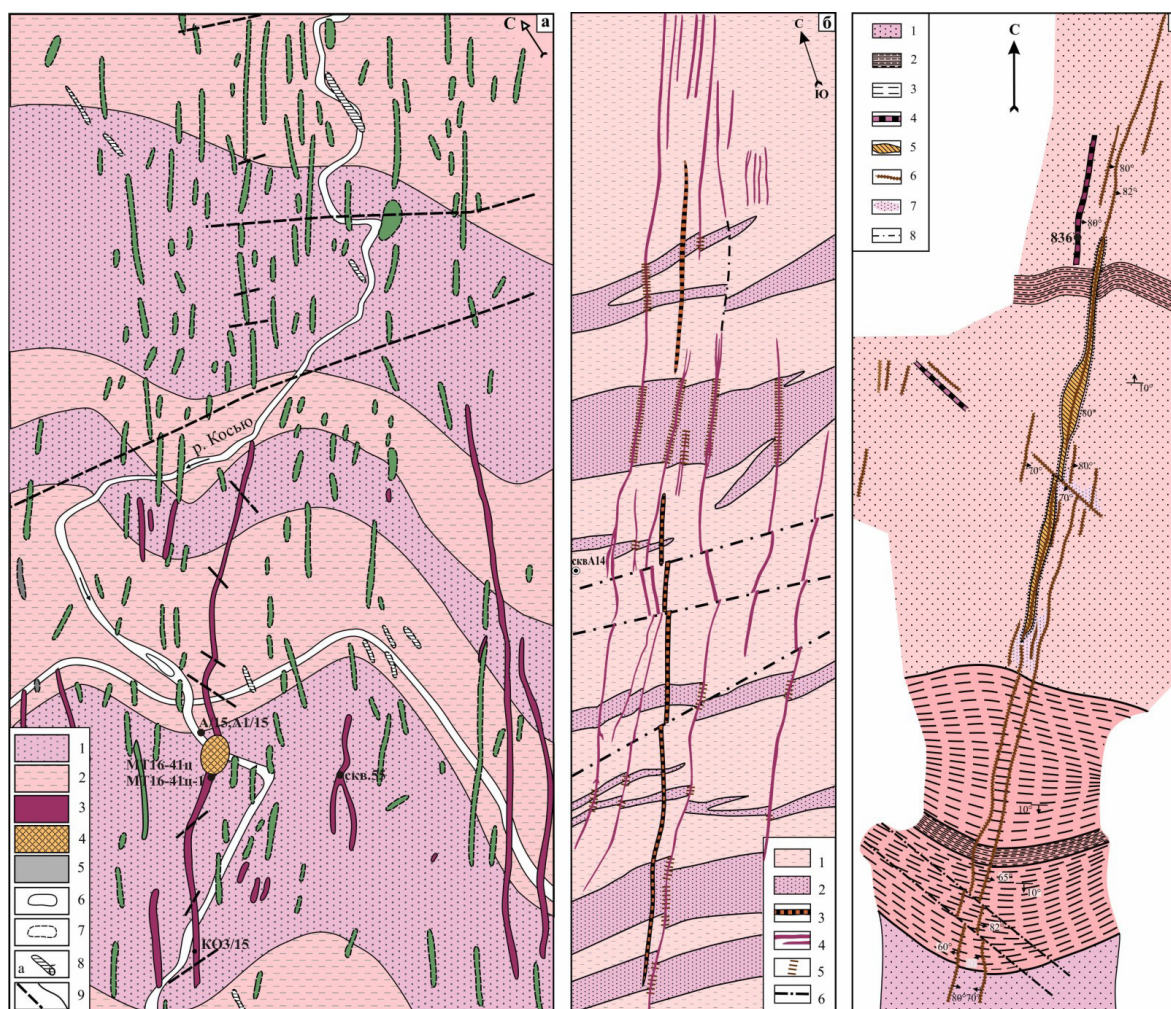


Рисунок 2. Геологические схемы: а – четласского комплекса (в центральной части Косьюского поля), составлена по материалам Ухтинской ГРЭ. Условные обозначения: 1, 2 – терригенные отложения четласской свиты (PR₂ct₂): 1 – кварцевые и полевошпат-кварцевые песчаники и фенитизированные кварциты, 2 – аргиллиты и алевролиты; 3–5 – магматиты четласского комплекса: 3 – пикриты, лампрофиты и брекчии, 4 – карбонатиты Косьюского массива; 5 – щелочные и субщелочные габбро. Интрузивные тела: 6 – тела, выходящие на поверхность, 7 – тела, не выходящие на поверхность, 8 – тела, предполагаемые по геофизическим данным; 9 – разломы, 10 – геологические границы; б – строения Нижнего Бобровского участка, составлена по материалам Ю.П. Ивенса с добавлением В.И. Степаненко [2, 3]. Условные обозначения: 1 – сланцы, 2 – кварцито-песчаники, 3 – кварц-гетитовые жильные зоны, 4 – щелочные пикриты, 5 – лейкократовые фениты, 6 – тектонические трещины северозападного простирания; в – Октябрьского участка, составлена по материалам Ю.П. Ивенса с добавлением В.И. Степаненко [2, 3]. Условные обозначения: 1 – кварциты, 2 – алевролиты, 3 – сланцы, 4 – щелочные пикриты, 5 – лейкократовые фениты альбитовые (альбититы), 6 – лейкократовые фениты альбит-эгириновые, 7 – альбитизированные кварциты, 8 – тектонические трещины северозападного простирания.

Figure 2. Geological sketch-map: а – Chetlas complex (in the central part of the Kosyu field), compiled using the materials of the Ukhta Geological Survey. Legend: 1, 2 – terrigenous deposits of the Chetlas Formation (PR₂ct₂): 1 – quartz and feldspar-quartz sandstones and fenitized quartzites, 2 – mudstones and siltstones; 3–5 – magmatites of the Chetlas complex: 3 – picrites, lamprophyres and breccias, 4 – carbonatites of the Kosyu massif; 5 – alkaline and subalkaline gabbro. Intrusive bodies: 6 – bodies that come to the surface, 7 – bodies that do not come to the surface, 8 – bodies assumed to exist by the geophysical data; 9 – faults, 10 – geological boundaries.

Geological sketch-map: б – formations of the Lower Bobrovsky section, compiled by the materials of Yu.P. Ivensen with addition of V.I. Stepanenko [2, 3]. Legend: 1 – shales, 2 – quartzite-sandstones, 3 – quartz-goethite vein zones, 4 – alkaline picrites, 5 – leucocratic fenites, 6 – tectonic cracks of north-western strike; в – Oktyabrsky site, compiled according to [2–3]. Legend: 1 – quartzites, 2 – siltstones, 3 – shales, 4 – alkaline picrites, 5 – albite leucocratic fenites (albitites), 6 – albite-aegirine leucocratic fenites, 7 – albitized quartzites, 8 – tectonic cracks of north-western strike.

сена, В.И. Степаненко, И.И. Голубевой, А.Б. Макеева, И.Л. Недосековой с соавторами) широко варьируют. Особенно-стями являются, несомненно, ультраосновной состав пород, достаточно высокое содержание оксида магния и калие-вость пород. На классификационных диаграммах точки составов образуют поля (рис. 3, а) в поле щелочных пи-критов, смещаясь в поле мелилитолитов и мелилититов, а также в поле монцогаббро. На других диаграммах точки составов попадают частично в поле неалмазоносных и

убогоалмазоносных кимберлитов и пикритов (кимпикри-тов) и большая часть – в поле пикритов, ассоциирующих с щелочно-ультраосновными комплексами (альпикритов) (рис. 3, б-г). Спектры распределения РЗЭ показывают не-значительное обогащение легкими РЗЭ, а на мультиэле-ментных спектрах наблюдается небольшое преобладание крупноионных над высокозарядными элементами с макси-мумами Cs, Th, La, Nd и минимумами Ta, Sr, Zr, Ti, Y (рис. 3, д-е).

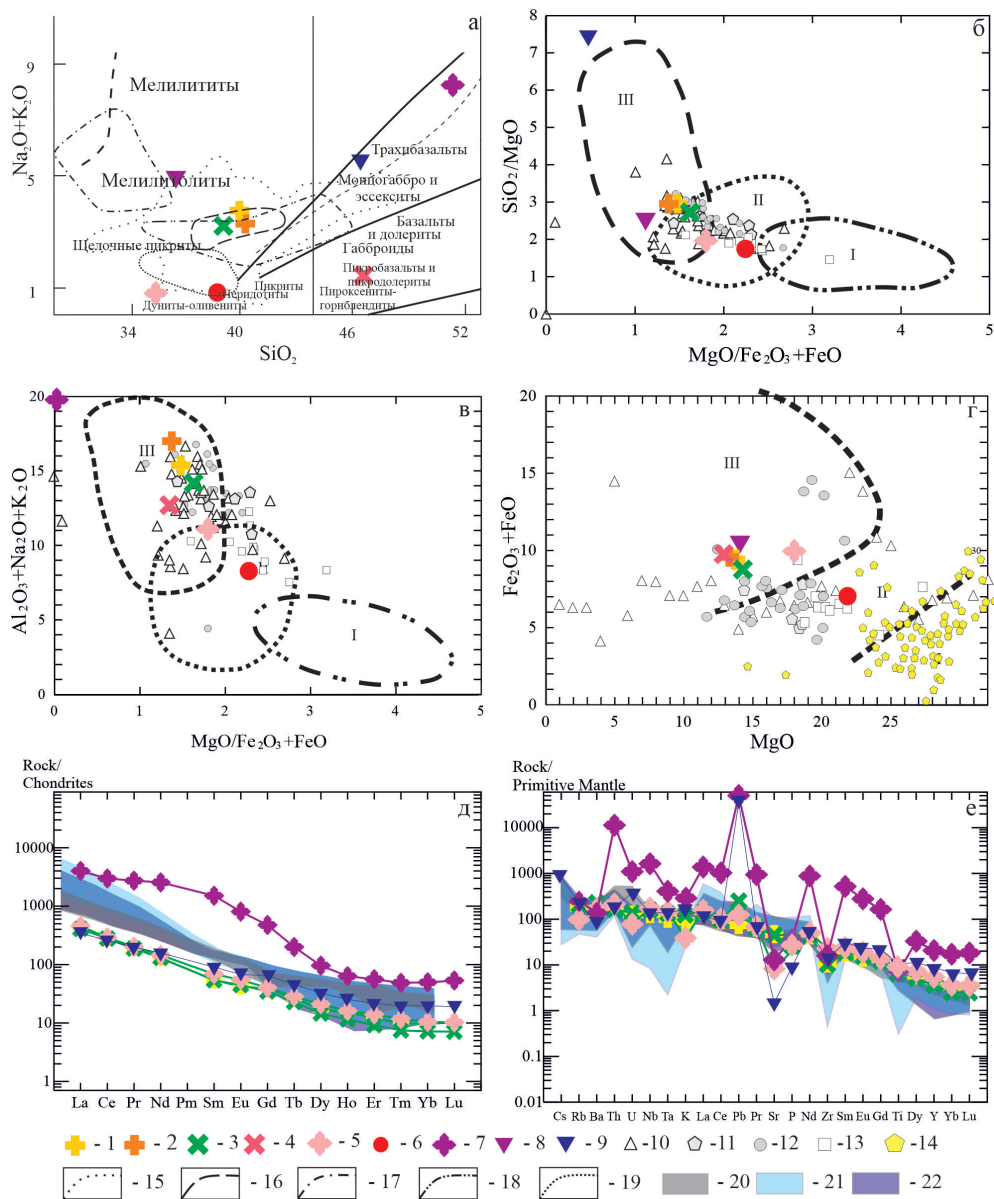


Рисунок 3. Классификационные диаграммы для ультраосновных пород рудных полей Среднего Тимана: а – $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$, б – $\text{SiO}_2/\text{MgO}-\text{MgO}-\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}$; в – $(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})-\text{MgO}/\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}$; г – $(\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3)-\text{MgO}$, д – спектры распределения РЗЭ, е – мультиэлементные спектры (нормировано по [17]).
Условные обозначения, рудные поля: Косьюское 1 (А/15), 2 (А1/15), 3 (К03/15), 4 (МТ16-41ц), 5 (МТ16-41ц-1), 6 (1308); Новобобровское 7 (А14-1), 8 (А14-1а); Октябрьское 9 (836), 10 – лампрофилы [4], 11 – эксплозивные ультрамафиты дайкового комплекса [8], 12 – лампрофилы [6], 13 – пикриты [6], 14 – алмазоносные кимберлиты [6], 15 – лампрофилы [7], 16 – лампрофилы [4], 17 – пикриты [7], 18 – лампрофилы [2], 19 – эксплозивные ультрамафиты дайкового комплекса [8], 20 – ультрамафиты [8], 21 – айликиты [6], 22 – ультрабазиты [6].

Примечание. I – область составов алмазоносных кимберлитов, II – область составов неалмазоносных и убогоалмазоносных кимберлитов и пикритов (кимпикритов), III – область составов пикритов, ассоциирующихся с щелочно-ультраосновными комплексами (альпикритов).

Figure 3. Classification diagrams for ultrabasic rocks of the Middle Timan ore fields: а – $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$, б – $\text{SiO}_2/\text{MgO}-\text{MgO}-\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}$; в – $(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})-\text{MgO}/\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}$; г – $(\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3)-\text{MgO}$, д – rare-earth elements' distribution spectra, е – multielement spectra (normalized according to [17]).

Symbols, ore fields: Kosyuskoe 1 (A/15), 2 (A1/15), 3 (K03/15), 4 (MT16-41ts), 5 (MT16-41ts-1), 6 (1308); Novobobrovskoe 7 (A14-1), 8 (A14-1a); Oktyabrskoe 9 (836), 10 – lamprophyres [4], 11 – explosive ultramafic rocks of the dike complex [8], 12 – lamprophyres [6], 13 – picrites [6], 14 – diamondiferous kimberlites [6], 15 – lamprophyres [7], 16 – lamprophyres [4], 17 – picrites [7], 18 – lamprophyres [2], 19 – explosive ultrabasic rocks of the dike complex [8], 20 – ultrabasic rocks [8], 21 – aillikites [6], 22 – ultrabasites [6]. Note. I – composition area of diamond-bearing kimberlites, II – composition area of non-diamond-bearing and poor-diamond-bearing kimberlites and picrites (kypikrites), III – composition area of picrites associated with alkali-ultrabasic complexes (alpicrites).

Нами опробованы породы, выходящие в коренном обнажении в русле р. Косью, А/15, А1/15 (участок Алмазная горка), вскрытые шурфом близ собственно карбонатитового штока (МТ16-41ц, МТ16-41ц-1) и канавами на левом берегу Косью ниже по течению (в 1.5 км) от карбонатитового штока (К03/15, участок Горелая горка) (рис. 1, 2а). Также привлечен материал из коллекции В.И. Степаненко (обр. 1308, участок Рассохи, скв. 101, глубина – 35.5–37.6 м) как

наименее измененный. На графики и диаграммы внесены дополнительно точки составов (поля), полученные предшественниками.

Коренные выходы (А/15, А1/15) размером первые метры (рис. 4, а) представлены породами черного цвета, массивными, насыщенными ксенолитами кварцитопесчаников. Микроструктура: порфировая (порфировидная), пойкилитовая, глобулярная; микротекстура: пятнистая (широ-

вая). Минеральный состав, об. %: пойкилобласты слюды (флогопит, биотит) 2–15, амфибол (чермакит-магнезио-гастингсит-магнезиальная роговая обманка) 1–10, клинопироксен (диопсид-авгит) 0–3, апатит 1, серпентин, карбонат. Основная масса породы сложена агрегатом мусковита, клинопироксена, микрокристаллического агрегата титанистых минералов, карбоната, альбита, эпидота, актинолита, хлорита, серпентина. Рудный минерал представлен хромшпинелидом.

Пойкилобласты – чешуйки бурого, зеленовато-бурого флогопита (рис. 4, в) и бледно-коричневого амфибола размером до 4 мм, а также редкие зерна карбоната и зонального клинопироксена. Минералы часто содержат включения более мелких зерен клинопироксена, флогопита, серицитизированного или оталькованного минерала, карбонат. Флогопит плеохроирует от бесцветного до коричневого или бурого, зеленовато-бурого. Призматические зерна амфибола плеохроируют от бледно-желтого до бледно-коричневого. Основная масса породы представлена микрокристаллами бесцветного карбоната, бледно-зеленого серицита, полевых шпатов, темно-коричневых титанистых минералов, а также мелкозернистыми клинопироксеном, флогопитом, апатитом, эпидотом. Клинопироксен представлен длиннопризматическими шестоватыми бесцветными или слабо-зеленоватыми кристаллами, часто в нем наблюдаются двойники. Встречаются призматические кристаллы, полностью замещенные серицитом или тальком, а также удлиненно-призматические зерна с дипирамидами, полностью замещенные волокнистым актинолитом, хлоритом, серпентином. Бесцветный апатит имеет шестоватые игольчатые длиннопризматические зерна. Призматический бледно-зеленый эпидот ассоциируется с карбонатом.

Глобулы представлены: 1) скоплением удлиненных табличек полевого шпата, серицита, карбоната, окаймленные более мелкими зернами клинопироксена; 2) обособлениями удлиненной формы, выполненные актинолит-карбонатной породой и окаймленные веерообразными табличками плагиоклаза; 3) обособлениями изометричной формы, выполненные веерообразным плагиоклазом, окаймленные микрокристаллами клинопироксена; 4) обособлениями удлиненной формы, выполненные клинопироксен-плагиоклаз (альбит)-карбонатной породой и окаймленные тонкой пироксеновой оболочкой; 5) обособлениями четырехугольной формы, выполненные мелкозернистой карбонат-амфибол-полевошпатовой породой, окаймленные клинопироксеновой.

По данным микрозондового анализа, слюда порфиروбласт (пойкилобласт) – как правило, флогопит ($\#Mg_{0.73-0.79}$) и магнезиальный биотит ($\#Mg_{0.66-0.74}$) (рис. 5, а). Составы клинопироксена – диопсид с высоким волластонитовым миналом ($Wo_{50-52}En_{37.5-44}Fs_{5.5-12}$ и $\#Mg_{0.79-0.96}$), диопсид ($Wo_{46.8-49.9}En_{37.8-45.7}Fs_{5.4-13.6}$ и $\#Mg_{0.78-0.95}$), авгит ($En_{51-66.7}Wo_{24-29}Fs_{9-24.4}$ и $\#Mg_{0.68-0.88}$), эгирин-авгит ($Aug_{62-77}Ac_{11-34}Jd_{0.4-1.6}$ и $\#Mg_{0.93-1.0}$) (рис. 5, б). Пироксен зональный в центральных зонах диопсид с высоким волластонитовым миналом в краевых с меньшим. Амфибол представлен широким рядом чермакит ($\#Mg_{0.35}$), магнезиогастингсит ($\#Mg_{0.42}$), магнезиальная ро-

говая обманка ($fMg_{0.37-0.38}$), паргасит ($\#Mg_{0.41-0.49}$) (рис. 5, в). Хромшпинелид в центральных частях представлен: 1) суббальмоферрихромитом с каймой магнетита; 2) пикотитом с каймой магнетита (рис. 4, е, ж; рис. 5, г). Карбонат – кальцит, светлая слюда – ферроалюмоселадонит, хлорит представлен пикнохлорит и пеннитом ($\#Mg_{0.78-0.86}$) (рис. 5, д).

Проба (КОЗ/15) отобрана в полотне канавы, вскрытой по магнитной аномалии в 1.5 км ниже по течению р. Косью на левом берегу. Наблюдается тело (первые метры по мощности и десятки метров по простираанию), сложенное породами темно-зеленого цвета, массивными, крепкими, крупнозернистыми, в составе которых также отмечается слюда (флогопит) размером до 1 см. Микроструктура под микроскопом порфириовидная, пойкилитовая, глобулярная, текстура – пятнистая. Минеральный состав, об. %: порфиробласты слюды (флогопита) 25–30, псевдоморфно оталькованный или серицитизированный (+хлоритизированный) минерал 5, предположительно, по форме оливин, изометричной формы выделения карбоната. Основная масса: клинопироксен, слюда (флогопит, биотит), агрегат титанистых минералов, карбонат, апатит, хлорит, серпентин, эпидот. Акцессорный апатит, рудный хромшпинелид, титаномagnetит.

Порфиробласты представлены крупными чешуйками флогопита размером до 2–4 мм, а также полностью псевдоморфно замещенным серпентином – минералом удлиненно-призматической формы. Флогопит часто содержит включения более мелких зерен клинопироксена и слюди-зированного минерала, плеохроирующего от бесцветного до коричневого или бурого, зеленовато-бурого (рис. 4, г). Основная масса представлена микрокристаллами слюды (мелкочешуйчатым агрегатом флогопита), мелкозернистым клинопироксеном, флогопитом и апатитом, карбонатом, хлоритом, эпидотом. Призматический эпидот, скорее всего, замещает клинопироксен. Пятнами неправильной формы встречаются агрегаты титанистых минералов, видимо, замесившие ранний рудный минерал, также отмечаются минералы удлиненной формы, полностью замещенные серпентином. Клинопироксен представлен длиннопризматическими шестоватыми бесцветными или слабо-зеленоватыми кристаллами без четкого плеохроизма, часто в нем наблюдаются двойники (C_{Ng} 40–47 °). Апатит также имеет шестоватые тонкоигольчатые длиннопризматические зерна. В породе встречаются участки вытянутой формы (0.3 x 1 см), выполненные мелкозернистым клинопироксеном, карбонатом и эпидотом. Также в породе встречаются изометричные глобулы, в ядерной части с крупнозернистым карбонатом, титанитом, флогопитом, а по краям с клинопироксеновой оторочкой.

По своему химическому составу слюды порфиробласт соответствуют магнезиальному биотиту ($\#Mg_{0.73-0.74}$) и флогопиту ($\#Mg_{0.75-0.86}$) (рис. 5, а), мелкочешуйчатый агрегат чаще представлен флогопитом. Составы клинопироксена: диопсид с высоким волластонитовым миналом ($Wo_{51.1-53.4}En_{37.2-42.5}Fs_{6.5-10.4}$ и $\#Mg_{0.88-0.93}$) и диопсид ($Wo_{49.3-50}En_{38.5-46.2}Fs_{3.8-11.8}$ и $\#Mg_{0.77-0.93}$) (рис. 5, б). Хромшпинелид в оторочке титаномagnetита соответствует по составу хромпикотиту (рис. 4, з; 5, г). Карбонат – кальцит, хлорит с высоким

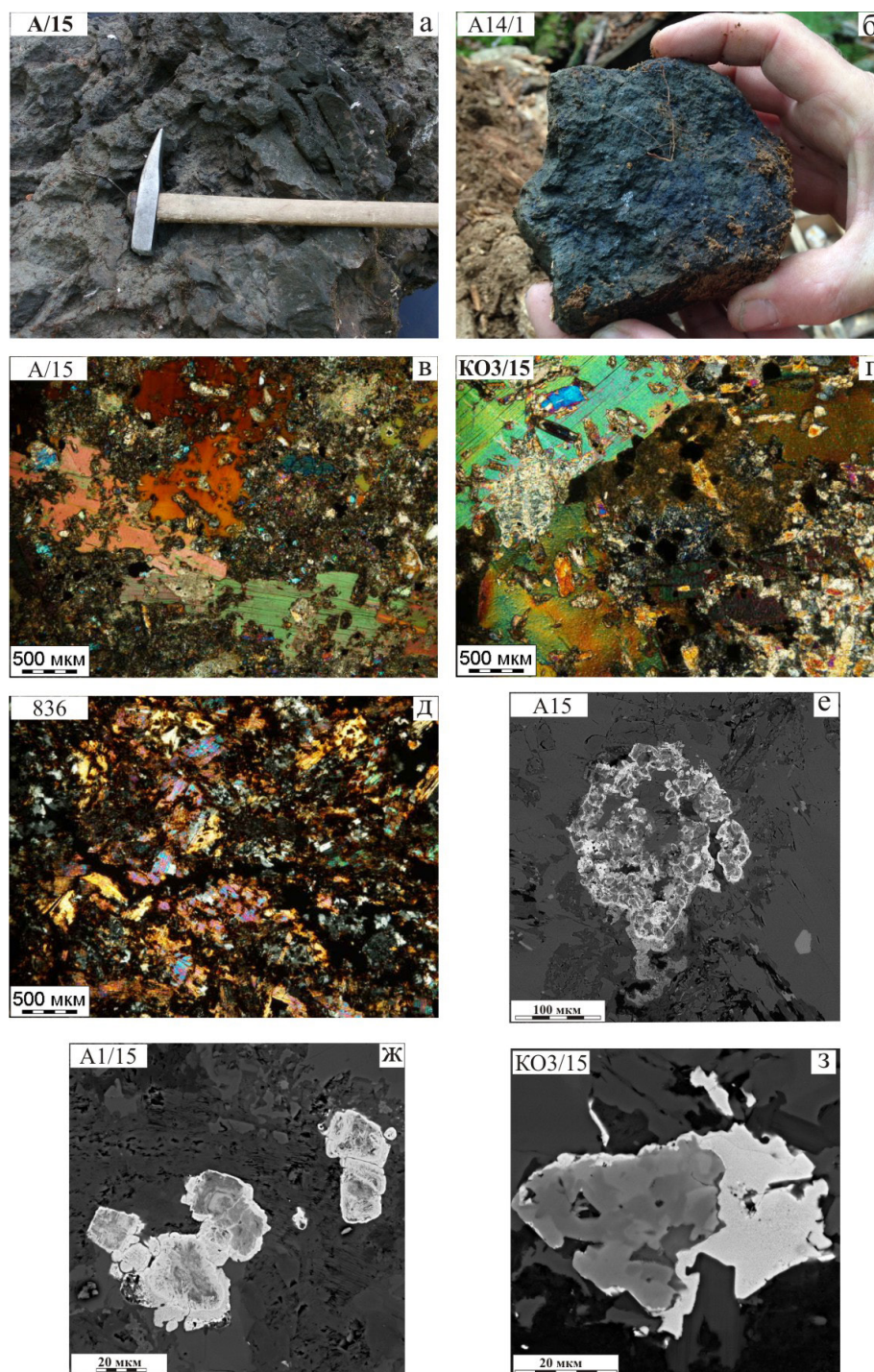


Рисунок 4. Примеры макро- и микроособенностей ультраосновных пород рудных полей Среднего Тимана: а – коренное обнажение А/15 (Косьюское), б – штуф обр. А14-1а (Новобобровское); порфиробласты флогопита, микрофотографии шлифов с анализатором (в-д): в – обр. А/15 (Косьюское), г – обр. КО3/15 (Косьюское), д – обр. 836 (Октябрьское); зональные хромшпинелиды, изображения в обратных электронах (е-з): е – обр. А1/15 (Косьюское, центр – субалюмоферрихромит, кайма – магнетит), ж – обр. А1/15 (Косьюское, центр – субалюмоферрихромит, кайма – магнетит), з – обр. КО3/15 (Косьюское, центр – субалюмоферрихромит, кайма – магнетит).

Figure 4. Examples of macro- and microfeatures of ultrabasic rocks of the ore fields of the Middle Timan: а – bedrock outcrop А/15 (Kosyuskoe), б – ore sample А14/1 (Novobobrovskoe); phlogopite porphyroblasts, microphotographs of thin sections with an analyzer (в-д): в – sample А/15 (Kosyuskoe), г – sample КО3/15 (Kosyuskoe), д – sample 836 (Oktjabrskoe); zonal chromspinelides, reverse electron images (е-з): е – sample А1/15 (Kosyuskoe, core – subalumoferrichromite, rim – magnetite), ж – sample А1/15 (Kosyuskoe, core – chromepicotite, rim – magnetite), з – sample КО3/15 (Kosyuskoe, core – subalumoferrichromite, rim – magnetite).

содержанием хрома представлен пикнохлоритом ($\#Mg_{0.97}$) (рис. 5, д).

Химический состав образцов А/15, А15/1, КО3/15 (табл. 1, 2, здесь и далее мас., %): содержание SiO_2 39.03–40.24, MgO 13.31–14.18, Al_2O_3 10.45–12.74, CaO 12.75–16.46, сумма ще-

лочей (Na_2O+K_2O) – 3.8–4.3 при устойчивом преобладании оксида калия (K_2O/Na_2O) 1.8–6.7. В нормативном составе рассчитываются оливин, пироксен, плагиоклаз, калиевый полевой шпат и фельдшпатоиды (нефелин, лейцит), магнетит, ильменит, апатит (табл. 1, 2). На классификационный

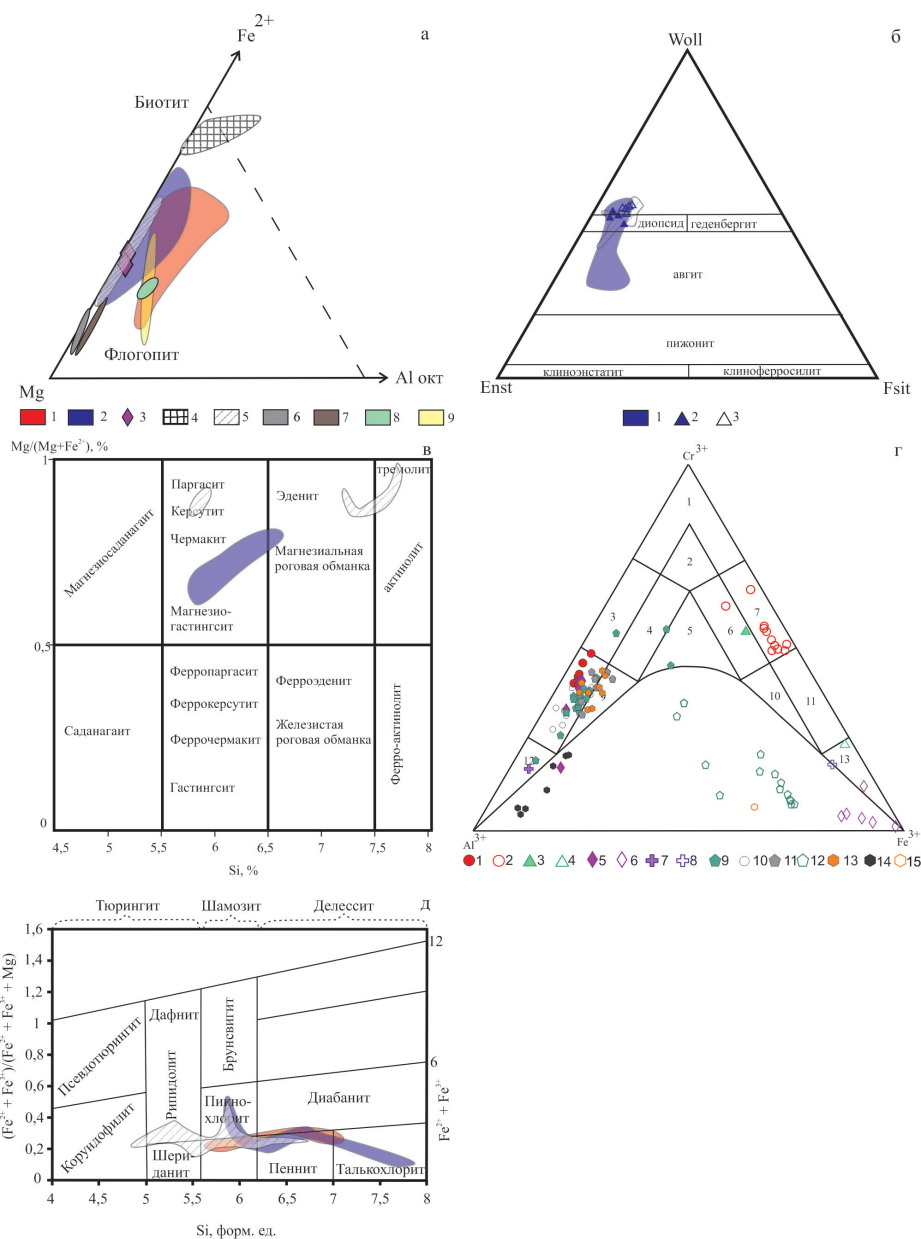


Рисунок 5. Диаграммы минерального состава ультраосновных пород рудных полей Среднего Тимана. Составы: а – слюды (соотношение октаэдрических катионов в слюдах [18]), б – пироксенов (соотношение Enst-Woll-Fsit), в – амфиболов (Mg/(Mg+Fe²⁺)-Si ф.ед), г – хромшпинелидов (соотношение Al³⁺ – Cr³⁺ – Fe³⁺), д – хлоритов (Fe²⁺+Fe³⁺)/(Fe²⁺+Fe³⁺+Mg)-Si ф.ед.

Условные обозначения: (а, в, д): 1 – Новобобровское рудное поле, 2 – Косьюское рудное поле, 3 – 1308, 4 – слюда из метасоматитов [4], 5 – слюда из лампрофиров [4], 6 – слюда магматической стадии [3], 7 – слюда аутометасоматической стадии [3], 8 – флогопитовые слюдиты [3], 9 – карбонатиты [3]; (б): 1 – Косьюское рудное поле (A1/15), 2 – центр, 3 – край; (г): 1 – Новобобровское рудное поле (A-14): 1 – центр, 2 – край; Косьюское рудное поле: (A1/15): 3 – центр, 4 – край; (K03/15): 5 – центр, 6 – край; (A/15): 7 – центр, 8 – край; 9 – обломочный хромшпинелид [8], 10 – обломочный хромшпинелид [4], 11 – реакционная кайма обломков [8], 12 – магнетитовая кайма на обломках хромшпинелида [8], 13 – кристаллы хромшпинелидов из пироксенитового ксенолита [8], 14 – реакционная зона кристаллов хромшпинелида из пироксенитовых ксенолитов [8], 15 – магнетитовая кайма кристаллов хромшпинелида из пироксенитовых ксенолитов [8]. Поля: 1 – хромит, 2 – субферрихромит, 3 – алюмохромит, 4 – субферриалюмохромит, 5 – ферриалюмохромит, 6 – субалюмоферрихромит, 7 – феррихромит, 8 – хромпикотит, 9 – субферрихромпикотит, 10 – субалюмохроммагнетит, 11 – хроммагнетит, 12 – пикотит, 13 – магнетит.

Figure 5. Mineral composition diagrams of ultrabasic rocks in the ore fields of the Middle Timan. Compositions: а – micas (ratio of octahedral cations in micas [18]), б – pyroxenes (Enst-Woll-Fsit ratio), в – amphiboles (Mg/(Mg+Fe²⁺)-Si facies units), г – chromspinelides (Al³⁺-Cr³⁺-Fe³⁺ ratio), д – chlorites (Fe²⁺+Fe³⁺)/(Fe²⁺+Fe³⁺+Mg)-Si facies units.

Symbols: (а, в, д): 1 – Novobobrovskoe ore field, 2 – Kosyuskoe ore field, 3 – 1308, 4 – mica from metasomatites [4], 5 – mica from lamprophyres [4], 6 – magmatic stage mica [3], 7 – autometasomatic stage mica [3], 8 – phlogopite glimmerites [3], 9 – carbonatites [3]. (б): 1 – Kosyuskoe ore field (A1/15), 2 – center, 3 – edge; (г): 1 – Novobobrovskoe ore field (A/14): 1 – center, 2 – edge; Kosyuskoe ore field: (A1/15) 3 – center, 4 – edge, (K03/15) 5 – center, 6 – edge, (A/15) 7 – center, 8 – edge; 9 – detrital chromspinelide [8], 10 – detrital chromspinelide [4], 11 – reaction rim of fragments [8], 12 – magnetite rim on chromspinelide fragments [8], 13 – chromspinelide crystals from pyroxenite xenolith [8], 14 – reaction zone of chromspinelide crystals from pyroxenite xenoliths [8], 15 – magnetite rim of chromspinelide crystals from pyroxenite xenoliths [8]. Fields: 1 – chromite, 2 – subferrichromite, 3 – alumochromite, 4 – subferrialumochromite, 5 – ferrialumochromite, 6 – subalumoferrichromite, 7 – ferrichromite, 8 – chromepicotite, 9 – subferrichromepicotite, 10 – subalumochromemagnetite, 11 – chromemagnetite, 12 – picotite, 13 – magnetite.

Химический состав (мас., %) ультраосновных пород рудных полей Среднего Тимана

Table 2

Chemical composition (wt., %) of ultrabasic rocks of ore fields of the Middle Timan

Компо- нент	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	A/15	A-1/15	MT16- 41ц	MT16- 41ц-1	KO3/15	1308	A14-1	A14-1a	836
SiO ₂	40.24	39.81	46.57	35.32	39.03	38.44	51.3	36.38	46.26
TiO ₂	1.55	0.8	1.6	1.91	1.31	1.15	1.42	2.01	2.36
Al ₂ O ₃	11.46	12.74	10.81	9.64	10.45	6.75	11.03	17.39	16.03
Fe ₂ O ₃	3.02	3.61	8.95	9.17	4.71	6.53	18.84	4.24	7.09
FeO	6.27	6.08	0.68	0.84	4.04	3.08	0	8.25	6.09
MnO	0.18	0.19	0.11	0.2	0.18	0.24	1.32	0.15	0.095
MgO	13.74	13.31	12.97	17.99	14.18	21.81	0.46	13.97	6.2
CaO	13.25	12.75	5.13	10.62	16.46	12.86	1.93	1.37	0.29
Na ₂ O	1.4	1.32	0.54	0.22	0.5	0.54	0.59	0.21	0.52
K ₂ O	2.52	2.93	1.39	1.15	3.34	0.95	8.14	5.13	5.38
P ₂ O ₅	0.51	0.56	0.42	0.58	0.55	0.31	0.77	0.99	0.22
п.п.п.	4.38	4.42	10.04	11.12	4.08	6.52	4.18	7.84	9.53
Сумма	99.21	99.19	99.28	98.85	99.27	99.78	99.98	98.85	100.73
H ₂ O ⁻	0.37	0.4	4.82	5.37	0.55	0.54	0.66	1.57	0.46
CO ₂	2.13	1.98	0.76	0.82	1.32	0.81	0.13	0.11	0.65
Na ₂ O+K ₂ O	3.92	4.25	1.93	1.37	3.84	1.49	8.73	5.34	5.9
K ₂ O/Na ₂ O	1.8	2.2	2.6	5.2	6.7	1.8	13.8	13.8	10.3

Примечание. Рудные поля: 1-6 – Косьюское, участок Алмазная горка (1-2), участок раздува Косью (3-4), участок Горелая горка (5), участок Рассохи (6), 7-8 – Новобобровское, 9 – Октябрьское.

Note. Ore fields: 1-6 – Kosyuskoe, Almaznaya Gorka area (1-2), Kosyu swell area (3-4), Gorelay Gorka area (5), Rassokhi area (6), 7-8 – Novobobrovskoe, 9 – Oktyabrskoe.

диаграмме Na₂O+K₂O-SiO₂ точки составов исследованных пород попадают в поля щелочных пикритов, граничные с мелилитами (рис. 3, а), а также группируются на границе неалмазонасных и убогалмазонасных кимберлитов и пикритов (кимпикритов) и пикритов, ассоциирующих с щелочно-ультраосновными комплексами (альпикритов) (рис. 3, б-г). Содержания РЗЭ в исследуемых породах, г/т: A/15-381, KO3/15-371 (табл. 3). Спектры распределения показывают преобладание легких РЗЭ над тяжелыми La_N/Yb_N = 45.1, 56.9 без каких либо аномалий по элементам Eu* – 0.91, 1.03 (рис. 3, д), на мультиэлементных спектрах наблюдается незначительное преобладание крупноионных элементов над высокозарядными (рис. 3, е), отмечаются незначительные аномалии, отрицательные по U, Sr, Zr, положительные по Th, Pb, Nd.

Серия образцов MT16-41ц и MT16-41ц-1 отобрана в поверхностной горной выработке близ раздува дайки (карбонатитового штока Косью) (рис. 2, а). Вскрытое шурфом дайковое тело, сложенное дезинтегрированной ультраосновной породой, содержащей катаклазированные блоки кварцитопесчаников (ксенолит с продатированным ⁴⁰Ar/³⁹Ar методом альбитом с возрастом 845±8 млн лет) [19]. Обломки кварцитопесчаников как бы плавают в сыпучем насыщенном слюдой цементе. Рыхлая масса зеленовато-голубого, табачного или коричневого цвета, глиноподобная, в ней содержится значительное количество чешуек слюды (флогопита) размером первые миллиметры. Из этой массы выделены более крепкие кусочки (MT16-41ц-1) и собственно рыхлая масса (MT16-41ц).

По данным микрозондового анализа, слюда представлена флогопитом (#Mg_{0.73-0.79}) и магнезиальный биотитом (#Mg_{0.66-0.76}) (рис. 5, а), пироксен – диопсидом с высоким волластонитовым миналом (Wo_{50.1}En₄₅Fs_{4.9} и #Mg_{0.96}), эгирин-авгитом (Ac₅₅₋₇₂Aug₂₈₋₄₅ и #Mg_{0.78-0.95}) и эгирином (Ac₇₉₋₈₃Aug₁₁₋₂₁ и #Mg_{0.68-0.88}) (рис. 5, б). Карбонат-кальцит, хлорит – диабантинном и талькхлоритом (#Mg_{0.66-0.96}) (рис. 5, д).

Химический состав образцов (здесь и далее мас., %, табл. 1, 2) различен, в более крепких кусочках (MT16-41ц-1) содержание кремнезема – 46.57, оксида магния – 13, глинозема – 10.81, оксида кальция – 12.97, сумма щелочей ниже в два раза (1.93), но по-прежнему калий преобладает над натрием. Нормативные минералы: оливин (30), клинопироксен (19), плагиоклаз (26.4) (табл. 1), калиевый полевой шпат (8), фельдшпатоиды (1.8), гематит (10). На диаграмме Na₂O+K₂O-SiO₂ точка составов попадает в поле пикродолеритов (рис. 3, а). Содержания РЗЭ в образце MT16-41ц-1 – 405.6 г/т (табл. 3). Спектры распределения показывают преобладание легких РЗЭ над тяжелыми La_N/Yb_N – 43.4, также без каких либо аномалий Eu* – 1.04 (рис. 3, д), мультиэлементный спектр совпадает со спектрами A/15, A1/15, KO3/15 (рис. 3, е).

Химический состав более рыхлого образца (MT16-41ц) более близок неизменной породе и описанным выше образцам A/15, A1/15, KO3/15: содержание кремнезема (мас., %) составляет 35.32, оксида магния – 18, оксида кальция – 10.62, сумма щелочей – 1.37, при преобладании калия над натрием (табл. 1, 2). Пересчет на нормативные минералы не отражает наблюдаемые минеральные парагенезисы (табл. 1). Точка состава породы попадает на диаграмме в поле оливинитов – щелочных пикритов (рис. 3, а).

Таким образом, образцы ультраосновных пород из даек близки друг другу и опубликованным данным А.Б. Макеева, И.И. Голубевой, И.Л. Недосековой с соавторами по Косьюскому рудному полю по минералого-петрографическому, петрохимическому и геохимическому составам.

Поскольку в пределах рудного поля дайковые породы претерпевают значительные изменения, вследствие длительной эволюции расплава и позднемагматических процессов, доказательством чего служат зональность пироксенов, присутствие нескольких генераций слюд, нами отобраны для датирования наиболее свежие неизменные породы, развитые на участке Рассохи (рис. 1). Образцы взяты из коллекции В.И. Степаненко (Каменный архив ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН).

Образец 1308 (Ан114, участок Рассохи, скв. 101, глубина – 35.5–37.6 м). Дайковая темно-серая массивная порфировидная порода с ксенолитами кварцитопесчаников (до 3 см) с реакционными каймами. Порода разбита неровными извилистыми трещинами, выполненными тальк-каль-

Таблица 3
Содержание элементов-примесей (г/т) в ультраосновных породах рудных полей Среднего Тимана

Table 3
Content of impurity elements (ppm) in ultrabasic rocks of ore fields of the Middle Timan

Компонент	1			2	3
	A/15	KO3/15	MT16-41ц-1	A14-1	836
Be	1.51	1.56	1.69	4.55	3.3
Sc	-	-	36.1	19	-
V	203	241	212	148	295
Cr	661	617	713	648	1010
Co	5207	47.8	54	40.4	68.7
Ni	228	171	382	99.6	319
Cu	36.2	38.6	63.8	46.3	201
Zn	56.8	58.3	73.2	634	3010
Ga	13.4	12.5	15.2	87.3	20.8
Rb	113	128	62	156	140
Sr	994	943	173	271	31.1
Y	21.1	16.3	24.5	94	39.7
Zr	120	113	257	178	151
Nb	92.8	113	124	1160	98.1
Mo	-	-	-	-	1.83
Sn	-	-	-	-	1.27
Cs	-	-	-	-	6.7
Ba	991	1600	1160	976	592
La	103	96.8	107	947	81.6
Ce	171	170	178	1820	158
Pr	18.2	17.8	19.1	259	18.9
Nd	60.1	60.7	67.7	1190	74
Sm	8.31	8.26	10.5	230	13.8
Eu	2.43	2.58	3.17	46.7	3.92
Gd	8	7.12	8.22	97.5	13.2
Tb	1	0.85	1.06	7.46	1.71
Dy	4.36	3.68	5.32	24.3	8.26
Ho	0.85	0.65	0.91	3.58	1.43
Er	2.03	1.52	2.32	9.25	3.6
Tm	0.25	0.19	0.3	1.24	0.5
Yb	1.64	1.22	1.77	8.42	3.35
Lu	0.26	0.18	0.26	1.35	0.48
Hf	2.5	2.34	6.55	5.75	3.97
Ta	4.16	5.38	5.96	16.5	5.65
W	-	-	-	-	9.95
Ti	-	-	-	-	0.81
Pb	5.27	17.7	8.7	3570	2590
Th	15.9	13.7	18.2	960	15.8
U	2.61	2.87	1.63	22.9	7.84
ΣREE	381.43	371.55	405.63	4645.8	382.75

Примечание. Рудные поля: 1 - Косьюское, 2 - Новобобровское, 3 - Октябрьское.

Note. Ore fields: 1 - Kosyuskoe, 2 - Novobobrovskoe, 3 - Oktyabrskoe.

цитовым агрегатом либо лимонитом. В породе наблюдается существенное количество вкрапленников от 2–3 до 10 мм замещенного амфиболом клинопироксена удлиненной призматической формы с квадратным сечением. Вкрапленники погружены в голубовато-серую матрицу. Также наблюдаются пакеты слюды (флогопита) до 6 мм и редкие зерна хромшпинелида размером до 3 мм. Минераль-

ный состав, об., %: оливин (19), клинопироксен (11), слюда (флогопит) (28), амфибол (4), карбонат (3), основная масса сложена мелкозернистым агрегатом этих же минералов. В химическом составе (здесь и далее мас., %, табл. 1, 2) содержание кремнезема – 38.44, оксида магния – 22, глинозема – 6.75, оксида кальция – 12.86, сумма щелочей низкая (1.8), но по-прежнему калий преобладает над натрием. Нормативные минералы: оливин (30), клинопироксен (32), плагиоклаз (14), Ne (2.6), Lc (4.7) (табл. 1). На диаграмме $Na_2O+K_2O-SiO_2$ точка составов попадает в поле пикродолеритов (рис. 3, а).

Для установления возраста пород нами проведено $^{40}Ar/^{39}Ar$ датирование слюды (флогопита) как типоморфного минерала из этой пробы. Флогопит является одним из породообразующих минералов, он формирует пойкилокристаллы (нередко зональные) в породе, сложенной вкрапленниками оливина и клинопироксена, минералами основной массы и аксессуориями. По предыдущим данным исследователей выделяется несколько генераций флогопита, различающихся цветом и химическим составом, сформированных при различных процессах. Магматический флогопит характеризуется бледной желтовато-коричневой окраской, автотермально-метасоматический – зеленый. Оптические показатели преломления разных генераций изменяются незначительно. Химический состав фиксирует уменьшение глиноземистости, увеличение железистости и увеличение содержания кремнезема при метасоматическом преобразовании магматического флогопита [3, 4]. Поскольку слюда – типоморфный минерал пород, все исследователи уделяли пристальное внимание не только определению первичности и вторичности его формирования, но и химическому составу. Введенная А.Б. Макеевым аббревиатура «ФАСИ» отражает флогопит-аннит-сидерофиллит-истонитовый состав слюд. Однако по нашим немногочисленным данным, измеренные составы соотносятся с составами флогопита и магнезиального биотита.

Химический (микрондовый) состав продатированного флогопита щелочных пикритов приведен в табл. 4 и изображен на рис. 5, а, также показаны поля точек составов предшественников.

Результаты геохронологического датирования даны в табл. 5 и на рис. 6. В возрастном спектре выделяется плато с возрастом 598.1 ± 6.2 млн лет. Авторы рассматривают близодновременное образование флогопита в ходе эволюции единого процесса кристаллизации ультраосновного расплава. Полученные данные согласуются с данными, полученными для пород четласского комплекса [20].

Новобобровское рудное поле

Ранее в работах Ю.П. Ивенсена и В.И. Степаненко на Новобобровском проявлении (рис. 2, б) ультраосновные породы в лежащем и висячем боку, измененные постмагматическими процессами и насыщенные ксенолитами кварцитопесчаников, описаны как пикриты в скв. 18 (глубина 26.65–96.10 м) [2, 3]. Как уже отмечалось, первичный состав пород практически не сохранен, наблюдается амфиболизация, биотитизация, хлоритизация и карбонатизация по-

Таблица 4

Состав (мас., %) и формульные коэффициенты продатированной слюды

Table 4

Composition (wt., %) and formula coefficients of dated mica

№ обр.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	BaO	Cr ₂ O ₃	NiO	ZnO	Rb ₂ O	F	Cl	Σ
1308	37.56	3.77	15.63	8.92	0.04	16.87	0.16	0.71	10.44	2.10	0.16	0.11	0.00	0.03	1.34	0.04	93.27
	35.24	3.19	15.29	8.54	0.14	18.14	0.13	1.08	10.05	1.40	0.16	0.11	0.00	0.00	1.53	0.04	95.03
	Si	Ti	Al _{IV}	Al _{VI}	Cr	Fe ²⁺	Mn	Mg	Ca	Ba	Zn	Ni	Na	K	F	Cl	Σ
	2.57	0.22	0.43	1.00	0.01	0.58	0.00	1.96	0.01	0.06	0.00	0.01	0.11	1.04	0.33	0.01	8.34
	2.67	0.18	0.33	1.03	0.01	0.54	0.01	2.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.16	0.97	0.37	0.01	8.37

Примечание. Монофракция слюды из коллекции В.И. Степаненко.
Note. Mica monofraction from the collection of V.I. Stepanenko.

род, серпентинизированные псевдоморфозы по оливину, обрастание титаноавгита биотитом, мелкие кристаллики пироксена пойкилитово включенные в биотит [2, с. 92]. Отмечались оливин, замещаемый серпентином, амфибол (роговая обманка), замещаемый тремолитом и биотитом, плагиоклаз (альбит), матрикс тремолит, хлорит, карбонат, акцессорные минералы – апатит, рудные минералы – хромит.

Опробованы ультраосновные породы в пределах рудного поля, вскрытые скважиной А14. Образцы, отобранные из дайковых пород Новобобровского рудного поля (рис. 2, б

(А14-1, глубина 33.9–35 м)), рыхлые, темно-зеленого цвета, более крепкие кусочки (А14-1а, глубина 39.70–40.85 м, рис. 4, б) неоднородной текстуры, порфировидной структуры и насыщенные мелкими ксенолитами вмещающих пород (до 10–15 об., %). Минеральный состав породы представлен, об., %: флогопитом (порфиробласты) – 20, хлоритом – 40, кварцем – 10, апатитом – 5, реликтовыми темноцветными минералами (не диагностируются, вероятно, первичные ортопироксены) – 5–7, калиевым полевым шпатом. Из акцессорных минералов установлены: монацит (Th-монацит), циркон, колумбит, сложные фосфаты

и алюмофосфаты свинца, марганца и бария; из рудных: хромшпинелиды, рутил и высокониобиевый рутил вплоть до ильменорутила, ильменит, титаномагнетит, пирротин, пирит, халькопирит, (гидро)оксиды железа – гематит, гидрогетит. Вторичные минералы представлены сидеритом. Ксенолиты – кварцитами. Первичными минералами являются хромшпинелид, ильменорутил и титаномагнетит. Остальные минералы (в том числе редкометалльные и редкоземельные) – вторичные и сформированные в процессе наложенного метасоматоза, а также при контакте с захваченными ксенолитами кварцито-песчаниками.

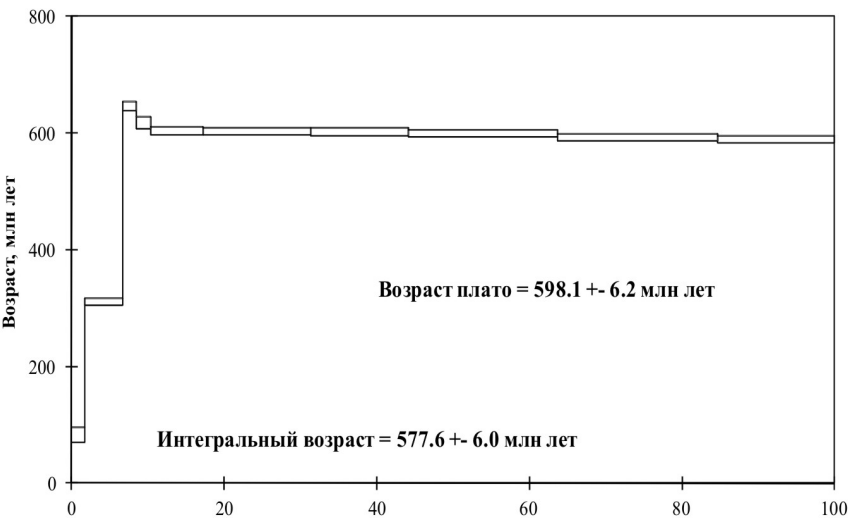


Рисунок 6. Возрастной спектр.
Figure 6. Age spectrum.

Таблица 5

Результаты ⁴⁰Ar/³⁹Ar датирования

Table 5

⁴⁰Ar/³⁹Ar dating results

T°С	t (мин)	⁴⁰ Ar(STP)	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	±1σ	³⁸ Ar/ ³⁹ Ar	±1σ	³⁷ Ar/ ³⁹ Ar	±1σ	³⁶ Ar/ ³⁹ Ar	±1σ	Ca/K	Σ ³⁹ Ar (%)	Возраст (млн лет)±1σ	±1σ
500	10	5.9*е ⁻⁹	20.021	0.111	0.02136	0.00686	0.5128	0.0600	0.03324	0.00534	1.85	1.7	82.9	12.6
650	10	36.4*е ⁻⁹	43.330	0.089	0.02374	0.00080	0.8870	0.0213	0.00862	0.00205	3.19	6.7	310.7	5.5
700	10	30.3*е ⁻⁹	99.336	0.247	0.01836	0.00325	0.1601	0.0119	0.01972	0.00246	0.58	8.5	646.5	8.0
750	10	28.9*е ⁻⁹	93.262	0.465	0.02325	0.00270	0.2140	0.0209	0.01572	0.00496	0.77	10.3	617.9	11.1
800	10	105.5*е ⁻⁹	89.550	0.124	0.01730	0.00113	0.0585	0.0154	0.01147	0.00136	0.21	17.3	603.3	6.7
850	10	208.0*е ⁻⁹	86.957	0.090	0.01464	0.00055	0.0353	0.0025	0.00272	0.00091	0.13	31.4	603.3	6.5
900	10	188.9*е ⁻⁹	86.919	0.061	0.01439	0.00080	0.0383	0.0014	0.00322	0.00057	0.14	44.2	602.2	6.3
975	10	287.9*е ⁻⁹	86.685	0.076	0.01442	0.00036	0.0466	0.0064	0.00418	0.00065	0.17	63.7	599.1	6.3
1040	10	302.5*е ⁻⁹	85.264	0.058	0.01366	0.00020	0.0541	0.0046	0.00308	0.00048	0.19	84.6	592.5	6.2
1130	10	222.2*е ⁻⁹	85.134	0.072	0.01392	0.00014	0.1912	0.0028	0.00437	0.00068	0.69	100.0	589.5	6.2

По данным микрозондового анализа, хромшпинелиды зональные в центральной части сложены хромпикотитом, а в краевых зонах – феррихромитом. В каймах увеличивается содержание оксида цинка до 4.2 мас. %. Слюда представлена флогопитом ($\#Mg_{0.64-0.89}$), амфибол – актинолит-тремолитом, карбонат – кальцитом, хлорит – клинохлоритом и пеннином. Детальное описание особенностей петрографо-минералогического состава приведено в работе [21].

По химическому составу образец (A14-1a) является ультраосновной породой (мас. %): содержание кремнезема составляет 36.38, MgO – 14, глинозема – 17.39, CaO – 1.37, сумма щелочей – 5.34 (K>>Na) (табл. 1, 2). Пересчет на нормативные минералы не отражает парагенезисы (табл. 1). В химическом составе более рыхлого образца (A14-1) содержание кремнезема увеличивается до 51.3, глинозем – 11, CaO – 1.9, практически отсутствует MgO – 0.5, возрастает сумма щелочей – 8.7 (Na₂O – 0.6). В нормативном составе: калиевый полевой шпат (50), кварц (15), плагиоклазы (9), гематит (20), все это подтверждает, что порода фенитизирована и дезинтегрирована в коре выветривания [21]. Точки составов пород в результате занимают поле фонотефритов (рис. 3, а), что связано с фенитизацией первичных пород. Для дайковых пород Новобобровского рудного поля (A14-1) наблюдается значительное содержание P3Э по сравнению с остальными породами (4645.8 г/т) (табл. 3), породы выделяются высоким содержанием Nb – 1160, La – 947, Ce – 1820, Nd – 1190, Pb – 3570, Th – 960 (табл. 3), это связано с развитием минерализации – колумбита, Th-монацита и сульфидов цинка и свинца. Спектры распределения P3Э демонстрируют преобладание легких лантаноидов над тяжелыми $La_N/Yb_N = 80.7$, $Eu^* = 0.95$ (рис. 3, д). На мульти-диаграмме элементов-примесей ультраосновных пород Новобобровского рудного поля (A14-1) наблюдаются положительные аномалии крупноионных элементов Th и Pb, Nd и Sm, отрицательные аномалии установлены у Ba, Sr и Ta, Zr, Hf (рис. 3, е).

Октябрьское рудное поле

Дайки ультраосновных пород на Октябрьском проявлении подчинены двум направлениям северо-восточного и северо-западного простираний [2, 3]. В северной части проявления с востока на запад в поверхностной горной выработке вскрыта ультраосновная жильная порода мощностью 15–30 см, вмещающие породы – кварцитопесчаники (рис. 2, в). Породы – дайки рыхлые, представлены буровато-желтой глинисто-слюдистой массой. В более крепких кусочках структура: порфировидная, текстура однородная. Минеральный состав, об. %: пойкилобласты флогопита (50); основная масса: оксиды железа (20), полевые шпаты (альбит в сростании с калиевым полевым шпатом). Порода состоит из чешуек флогопита размером до 0.8–1 мм, плеохроирует от бесцветного до бледно-коричневого (рис. 4, д). Содержит включения оксидов железа, окаймляющих чешуйки слюды. Между чешуйками флогопита расположены таблитчатые зерна полевых шпатов (сростания альбита и калиевого полевого шпата). В них наблюдается неравно-

мерное погасание, похожее на погасание пертитов. Размеры зерен варьируют от 0.3 до 0.5 мм, редко – до 1 мм.

Жильная порода (836) слюдит Октябрьского рудного поля (мас. %), содержание $SiO_2 = 46.26$, сумма щелочей – $Na_2O+K_2O = 5.9$, при преобладании калия ($K_2O/Na_2O = 10$), на классификационной диаграмме точка состава занимает поле щелочных базальтов (рис. 3, а), что может быть связано с проявлением метасоматических процессов. Содержание (мас. %) оксида титана довольно высокое (2.36), глинозема (16.03), при очень низком содержании CaO (0.29) (табл. 1, 2). Нормативный состав породы: калиевый полевой шпат (34), гиперстен (20), кварц (14), корунд (10), плагиоклазы (5).

Суммарное содержание P3Э в породах Октябрьского рудного поля – 382.75 г/т, что близко к содержанию P3Э в породах рудного поля Косью. Спектры распределения P3Э недифференцированные и также близки к спектрам пород Косью, наблюдается преобладание легких лантаноидов над тяжелыми $La_N/Yb_N = 17.5$, $Eu^* = 0.89$ (рис. 3, д). Мульти-элементный спектр демонстрирует преобладание крупноионных элементов над высокозарядными, положительные аномалии Cs, Pb и отрицательные Ba, Sr, Ti, Zr (рис. 3, е). В породах Октябрьского рудного поля отмечаются самые высокие содержания, г/т: Cr (1010), Zn (3010) и Pb (2590) (табл. 3).

Заключение

На основании петрогеохимических характеристик ультраосновных пород Среднего Тимана рассмотрены дайковые образования в пределах (редкометалльно-редкоземельных) рудных полей Косьюское, Новобобровское и Октябрьское. Породы отнесены к щелочным пикритам, характеризующимся первичным минеральным парагенезисом замещенного оливина, ассоциирующего с клинопироксеном (диопсид, авгит) и хромшпинелидами (субальюмоферрихромитом или пикотитом с каймами магнетита), развитием амфибола (чермакит, магнезиальная роговая обманка, паргасит), карбоната (кальцита) и обязательным присутствием поздней слюды флогопита и магнезиального биотита (являющейся типоморфной для них), развивающейся при эволюции и охлаждении (кристаллизации) расплава. Отмечается фенитизация дайковых пород, выражающаяся в развитии пироксена (эгирина), амфибола (магнезигастингсита), альбит-микроклиновых агрегатов, появлением мусковита (ферроалюмоселадонит), карбоната (кальцита), широкой группы хлоритов (пикнохлорит, пеннит, диабанит, талькхлорит) и рудных минералов Nb (колумбит) и REE (монацит, ксенотим, F-REE-карбонаты). Химический состав пород (мас. %) характеризуется низким содержанием кремнезема (35–40) и высоким содержанием оксида магния (13–21) и преобладанием оксида калия (1.2–3.4), при фенитизации пород содержание кремнезема возрастает (46–50), оксида магния – уменьшается (0.5–6), оксида калия – увеличивается (1.4, 5.1, 5.4, 8.1). Точки составов щелочных пикритов располагаются в поле на границе полей щелочных пикритов и мелилитолитов, а также в поле монцогаббро. Также точки составов занимают частично

поле неалмазонасных и убогалмазонасных кимберлитов и пикритов (кимпикритов) и большая часть – поле пикритов, ассоциирующих с щелочно-ультраосновными комплексами (альпикритов). Спектры распределения РЗЭ недифференцированные при слабом преобладании легких РЗЭ над тяжелыми без каких либо аномалий. Порода отличается высоким содержанием V, Cr, Ni, характерных для ультраосновных пород, при проявлении процессов фенитизации в породах увеличивается содержание Th, REE, Y, Pb, что выражается в появлении рудных минералов (монацита, ксенотима, фосфатов и сульфидов Pb). Для пород типично незначительное преобладание крупноионных элементов над высокозарядными при положительных аномалиях по рудным элементам. Проведенными изотопно-геохронологическими $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ исследованиями подтверждено, что магматические породы, а именно щелочные пикриты щелочно-ультраосновного комплекса, связанного с карбонатитами, были сформированы 598.1±6.2 млн лет назад. Возрастной уровень формирования комплекса подтверждается и более ранними K-Ar исследованиями пород. На Среднем Тимане на это время реконструируется проявление импульса глубинного (плюмового) магматизма.

Литература и источники

1. Довжиков, Н.А. Клинопироксены из щелочно-ультраосновных пород Дайкового комплекса Среднего Тимана / Н.А. Довжиков, Е.Г. Довжикова, С.А. Смыслов // Записки ВМО. – 1985. – Ч. 114, № 5. – С. 599–605.
2. Ивенсен, Ю.П. Магматизм Тимана и полуострова Канин / Ю.П. Ивенсен. – Москва–Ленинград: Наука, 1964. – 126 с.
3. Костюхин, М.Н. Байкальский магматизм Канино-Тиманского региона / М.Н. Костюхин, В.И. Степаненко. – Ленинград: Наука, 1987. – 232 с.
4. Макеев, А.Б. Магматиты Среднего Тимана / А.Б. Макеев, В.А. Лебедев, Н.И. Брянчанинова. – Екатеринбург: УрО РАН. – 2008. – 348 с.
5. Недосекова, И.Л. Карбонатиты четласского комплекса (Средний Тиман): геохимические и изотопные данные / И.Л. Недосекова, Н.В. Владыкин, О.В. Удоратина, Ю.Л. Ронкин // ЕЖЕГОДНИК-2012. – Тр. ИГГ УрО РАН. – Вып. 160. – 2013. – С. 150–158.
6. Недосекова, И.Л. Петрохимия и геохимия дайковых ультрабазитов и карбонатитов четласского комплекса (Средний Тиман) / И.Л. Недосекова, О.В. Удоратина, Н.В. Владыкин, С.В. Прибавкин, Т.Я. Гуляева // ЕЖЕГОДНИК-2010. – Тр. ИГГ УрО РАН. – Вып. 158. – 2011. – С. 122–130.
7. Nedosekova, I. Ore and geochemical specialization and substance sources of the Ural and Timan carbonatite complexes (Russia): insights from trace element, Rb-Sr and Sm-Nd isotope data / I. Nedosekova, N. Vladykin, O. Udoratina, B. Belyatsky // Minerals 2021. – 11 711. – P. 1–41. DOI 10.3390/min11070711.
8. Голубева, И.И. Флюидоэксплозивные ультрамафиты дайкового комплекса Среднего Тимана и их парагенетическая связь с карбонатитами / И.И. Голубева, Д.Н. Ремизов, И.Н. Бурцев, В.Н. Филиппов, А.С. Шуйский // Региональная геология и металлогения. – 2019а. – № 80. – С. 30–44.
9. Государственная геологическая карта Российской Федерации м-ба 1:200 000. Лист Q-39-XXXIII-XXXIV (баракки-Бобровая) / В.М. Пачуковский, Х.О. Траат, Р.Я. Мищенко, Н.А. Довжиков. – Ленинград: ВСЕГЕИ, 1993.
10. Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. – 2-е изд., перераб. и доп. Санкт-Петербург: Издательство ВСЕГЕИ, 2008. – 200 с.
11. Le Maitre, R.W. Igneous rocks: a classification and glossary of terms, recommendations of the international union of geological sciences / R.W. Le Maitre, A. Streckeisen, B. Zanettin [et al.]. – Subcommission of the Systematics of Igneous Rocks. Cambridge University Press, 2002. – 236 p.
12. Брусницына, Е.А., Возраст и источники сноса пород четласской серии (рифей) Среднего Тимана по результатам U-Th-Pb (LA-ICP-MS) датирования обломочных цирконов / Е.А. Брусницына, В.Б. Ершова, А.К. Худолей, Т. Андерсон, А.В. Маслов // Стратиграфия и геологическая корреляция. – 2021. – Т 29, № 6. – С. 3–23.
13. Удоратина, О.В. Возраст метапесчаников верхнедокембрийской четласской серии Среднего Тимана на основании U-Pb датирования детритных цирконов / О.В. Удоратина, И.Н. Бурцев, Н.Ю. Никулова, В.Б. Хубанов // Бюлл. МОИП. Отд. геол. – 2017. – Вып. 5. – С. 15–32.
14. Андреичев, В.Л. Возраст карбонатитового комплекса Среднего Тимана / В.Л. Андреичев, В.И. Степаненко // Рудообразование и магматизм севера Урала и Тимана. – Сыктывкар, 1983. – С. 83–87 (Тр. Ин-та геологии Коми филиала АН СССР. Вып. 41).
15. Макеев, А.Б. Возраст лампрофиров Среднего Тимана: первые Rb-Sr данные / А.Б. Макеев, В.Л. Андреичев, Н.И. Брянчанинова // ДАН. – 2009. – Т. 426 (1). – С. 94–97.
16. Травин, А.В. Термохронология Чернорудской гранулитовой зоны (Ольхонский регион. Западное Прибайкалье) / А.В. Травин, Д.С. Юдин, А.Г. Владимиров, С.В. Хромых, Н.И. Волкова [и др.] // Геохимия. – 2009. – Т. 11. – С. 1181–1199.
17. Sun, S.S. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A.D., Norry, M.J., Eds., Magmatism in the Ocean Basins, Geological Society / S.S. Sun, W.F. McDonough. – London, Special Publications. – 1989. – 42. – P. 313–345.
18. Васильев, Н.В. Слюды месторождения Тайкеу (Полярный Урал): состав и вопросы классификации / Н.В. Васильев, О.В. Удоратина, Н.В. Скоробогатова, Г.П. Бородулин // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. – Сыктывкар, 2012. – № 1 (205). – С. 9–14.
19. Голубева, И.И. Парагенетическая связь флюидизатно-эксплозивных ультрамафитов дайкового комплекса с карбонатитами (Средний Тиман) / И.И. Голубева, И.Н. Бурцев, А.В. Травин, Д.Н. Ремизов, В.Н. Филиппов [и др.] // Геология и минеральные ресурсы Европейского северо-востока России. Мат-лы XVII Геологического съезда Республики Коми. – Сыктывкар, 2019. – С. 22–24.

20. Удоратина, О.В. Щелочные пикриты четласского комплекса Среднего Тимана: Ag-Ag данные / О.В. Удоратина, А.В. Травин // Рудный потенциал щелочного, кимберлитового и карбонатитового магматизма. Мат-лы 30 Международной конференции. – Анталия; Москва, 2014. – С. 82–84.
21. Удоратина, О.В. Ультраосновные породы Новобобровского рудного поля (Средний Тиман): минералогия, петрография / О.В. Удоратина, А.М. Шмакова, Д.А. Варламов, А.С. Шуйский // Известия Коми научного центра УрО РАН. Серия «Науки о Земле». – 2021. – С. 14–21. DOI 10.19110/1994-5655-2021-3-14-21.

References

1. Dovzhikov, N.A. Klinopirokseny iz shchelochno-ul'traosnovnykh porod Daykovogo kompleksa Srednego timana [Clinopyroxenes from alkaline-ultrabasic rocks of the Dike Complex of the Middle Timan] / N.A. Dovzhikov, E.G. Dovzhikova, S.A. Smyslov // WMO Notes. – 1985. – Part 114. – №. 5. – P. 599–605.
2. Ivensen, Yu.P. Magmatizm Timana i poluostrova Kanin [Magmatism of Timan and the Kanin Peninsula] / Yu.P. Ivensen. – Moscow-Leningrad: Nauka, 1964. – 126 p.
3. Kostyukhin, M.N. Baykal'skiy magmatizm Kanino-Timanskogo regiona [Baikal magmatism of the Kanino-Timan region] / M.N. Kostyukhin, V.I. Stepanenko. – Leningrad: Nauka, 1987. – 232 p.
4. Makeev, A.B. Magmatity Srednego Timana [Magmatites of the Middle Timan] / A.B. Makeev, V.A. Lebedev, N.I. Bryanchaninova. – Ekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2008. – 348 p.
5. Nedosekova, I.L. Karbonatity chetlasskogo kompleksa (Sredniy Timan): geokhimicheskiye i izotopnyye dannyye [Carbonatites of the Chetlas complex (Middle Timan): geochemical and isotopic data] / I.L. Nedosekova, N.V. Vladyskin, O.V. Udoratina, Yu.L. Ronkin // YEARBOOK- 2012: Proceedings of the Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. – Issue 160. – 2013. – P. 150–158.
6. Nedosekova, I.L. Petrokhimiya i geokhimiya daykovykh ul'trabazitov i karbonatitov chetlasskogo kompleksa (Sredniy Timan) [Petrochemistry and geochemistry of dike ultrabasites and carbonatites of the Chetlas complex (Middle Timan)] / I.L. Nedosekova, O.V. Udoratina, N.V. Vladyskin, S.V. Pribavkin, T.Ya. Gulyaeva // YEARBOOK-2010: Proceedings of the Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. – Issue 158. – 2011. – P. 122–130.
7. Nedosekova, I. Ore and geochemical specialization and substance sources of the Ural and Timan carbonatite complexes (Russia): insights from trace element, Rb-Sr and Sm-Nd isotope data / I. Nedosekova, N. Vladyskin, O. Udoratina, B. Belyatsky // Minerals 2021. – 11 711. – P. 1–41. – DOI 10.3390/min11070711.
8. Golubeva, I.I. Flyuidoeksplozivnyye ul'tramafity daykovogo kompleksa Srednego Timana i ikh parageneticheskaya svyaz' s karbonatitami [Fluid-explosive ultramafic rocks of the Middle Timan dike complex and their paragenetic relationship with carbonatites] / I.I. Golubeva, D.N. Remizov, I.N. Burtsev, V.N. Filippov, A.S. Shuisky // Regionalnaya geologiya i metallogeniya [Regional geology and metallogeny]. – 2019a. – №. 80. – P. 30–44.
9. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii m-ba 1:200 000. List Q-39-XXXIII-XXXIV (baraki Bobrovaya) [State geological map of the Russian Federation. Scale 1:200 000. Sheet Q-39-XXXIII-XXXIV (baraki Bobrovaya)] / V.M. Pachukovsky, Kh.O. Traat, R.Ya. Mishchenko, N.A. Dovzhikov. – Sankt-Petersburg: Cartographic factory VSEGEI, 1993.
10. Petrograficheskiy kodeks Rossii. Magmaticheskiye, metamorficheskiye, metasomaticheskiye, impaktnyye obrazovaniya [Petrographic Code of Russia. Magmatic, metamorphic, metasomatic, impact rock assemblages]. – 2nd edition, revised and enlarged. – Sankt-Petersburg: Cartographic factory VSEGEI, 2008. – 200 p.
11. Le Maitre, R.W. Igneous rocks: a classification and glossary of terms, recommendations of the international union of geological sciences / R.W. Le Maitre, A. Streckeisen, B. Zanettin [et al.]. – Subcommission of the Systematics of Igneous Rocks. Cambridge University Press, 2002. – 236 p.
12. Brusnitsyna, E.A. Vozrast i istochniki snosa porod chetlasskoy serii (rifey) Srednego Timana po rezul'tatam U-Th-Pb (LA-ICP-MS) datirovaniya oblomochnykh tsirkonov [Age and provenance areas of the rocks of the Chetlas Group (Riphean) of the Middle Timan according to the results of U-Th-Pb (LA-ICP-MS) dating of detrital zircons] / E.A. Brusnitsyna, V.B. Ershova, A.K. Khudoley, T. Anderson, A.V. Maslov // Stratigraphy and geological correlation. – 2021. – Vol. 29. – №. 6. – P. 3–23.
13. Udoratina, O.V. Vozrast metapeschanikov verkhnedokembriyskoy chetlasskoy serii Srednego Timana na osnovanii U-Pb datirovaniya detritnykh tsirkonov [Age of metasandstones of the Upper Precambrian Chetlas Group of the Middle Timan based on U-Pb dating of detrital zircons] / O.V. Udoratina, I.N. Burtsev, N.Yu. Nikulova, V.B. Khubanov // Bull. MOIP. Dep. Geol. – 2017. – Issue 5. – P. 15–32.
14. Andreichev, V.L. Vozrast karbonatnogo kompleksa Srednego Timana [Age of the carbonate sequence of the Middle Timan] / V.L. Andreichev, V.I. Stepanenko // Rudobrazovanie i magmatizm severa Urals i Timana [Ore formation and magmatism of the north of the Urals and Timan]. – Syktyvkar. – 1983. – P. 83–87 (Proceedings of the Institute of Geology of the Komi Branch of the USSR Academy of Sciences, Issue 41).
15. Makeev, A.B. Vozrast lamprofirov Srednego Timana: pervyye Rb-Sr dannyye [Age of lamprophyres of the Middle Timan: the first Rb-Sr data] / A.B. Makeev, V.L. Andreichev, N.I. Bryanchaninova // DAN. – 2009. – Vol. 426 (1). – P. 94–97.
16. Travin, A.V. Termokhronologiya Chernorudskoy granulitovoy zony (Ol'khonskiy region. Zapadnoye Pribaykal'ye) [Thermochronology of the Chernorud granulite zone (Olkhon region, Western Baikal region)] / A.V. Travin, D.S. Yu-

- din, A.G. Vladimirov, S.V. Khromykh, N.I. Volkova [et al.] // *Geokhimiya* [Geochemistry]. – 2009. – Vol. 11. – P. 1181–1199.
17. Sun, S.S. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A.D., Norry, M.J., Eds., *Magmatism in the Ocean Basins*, Geological Society / S.S. Sun, W.F. McDonough. – London, Special Publications. – 1989. – 42. – P. 313–345.
 18. Vasiliev, N.V. *Slyudy mestorozhdeniya Taykeu (Polyarnyy Ural): sostav i voprosy klassifikatsii* [Micas of the Taikeu deposit (Polar Urals): composition and classification issues] / N.V. Vasiliev, O.V. Udoratina, N.V. Skorobogatova, G.P. Borodulin // *Bulletin of the Institute of Geology of the Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*. – Syktyvkar, 2012. – № 1 (205). – P. 9–14.
 19. Golubeva, I.I. *Parageneticheskaya svyaz' flyuidizatsno-eksplozivnykh ul'tramafitov daykovogo kompleksa s karbonatitami (Sredniy Timan)* [Paragenetic relationship of fluidizate-explosive ultramafic rocks of the dyke complex with carbonatites (Middle Timan)] / I.I. Golubeva, I.N. Burtsev, A.V. Travin, D.N. Remizov, V.N. Filippov [et al.] // *Geologiya i mineralnye resursy Evropejskogo severo-vostoka Rossii* [Geology and Mineral Resources of the European North-East of Russia]. Materials of the XVII Geological Congress of the Komi Republic. – Syktyvkar, 2019. – P. 22–24.
 20. Udoratina, O.V. *Shchelochnyye pikrity chetlaskogo kompleksa Srednego Timana: Ar-Ar dannyye* [Alkaline picrites of the Chetlas Group of the Middle Timan: Ar-Ar data] / O.V. Udoratina, A.V. Travin // *Rudnyi potentsial shchelochnogo, kimberlitovogo i karbonatitovogo magmatizma* [Ore potential of alkaline, kimberlite and carbonatite magmatism]: Proceedings of the 30th International Conference. – Antalya-Moscow, 2014. – P. 82–84.
 21. Udoratina, O.V. *Ul'traosnovnyye porody Novobobrovskogo rudnogo polya (Sredniy Timan): mineralogiya, petrografiya* [Ultrabasic rocks of the Novobobrovskoe ore field (Middle Timan): mineralogy, petrography] / O.V. Udoratina, A.M. Shmakova, D.A. Varlamov, A.S. Shuisky // *Proceedings of the Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Series "Earth Sciences"*. – 2021. – P. 14–21. – DOI 10.19110/1994-5655-2021-3-14-21.

Информация об авторах:

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

Шмакова Александра Михайловна – младший научный сотрудник Института геологии имени академика Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН; Scopus Author ID: 6507482916, <https://orcid.org/0000-0002-9770-6696> (Российская Федерация, 167982, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54, e-mail: amshmakova@geo.komisc.ru).

Травин Алексей Валентинович – доктор геолого-минералогических наук, Институт геологии и минералогии имени В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук; Scopus Author ID: 7005725588, <https://orcid.org/0000-0002-5640-4560> (Российская Федерация, 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, д. 3; e-mail: travin@igm.nsc.ru).

Шуйский Александр Сергеевич – младший научный сотрудник Института геологии имени академика Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН; Scopus Author ID: 5721240694, <https://orcid.org/0000-0002-6928-9354> (Российская Федерация, 167982, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54; e-mail: self88@yandex.ru).

About the authors:

Oksana V. Udoratina – Candidate of Sciences (Geology and Mineralogy), Leading Researcher, Scopus Author ID: 6507890574, <https://orcid.org/0000-0001-9956-6271>, Institute of Geology named after academician N.P. Yushkin FRC Komi SC UB RAS (Institute of Geology named after academician N.P. Yushkin, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 54 Pervomaiskaya st., Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, 167982; e-mail: udoratina@geo.komisc.ru).

Aleksandra M. Shmakova – Junior Researcher, Scopus Author ID: 6507482916, <https://orcid.org/0000-0002-6928-9354>, Institute of Geology named after academician N.P. Yushkin FRC Komi SC UB RAS (Institute of Geology named after academician N.P. Yushkin, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 54 Pervomaiskaya st., Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, 167982; e-mail: amshmakova@geo.komisc.ru).

Aleksey V. Travin – Doctor of Sciences (Geology and Mineralogy), Scopus Author ID: 7005725588, <https://orcid.org/0000-0002-5640-4560>, Institute of Geology and Mineralogy named after V.S. Sobolev of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; 3 Akademika Koptuyga Avenue, Novosibirsk, Russian Federation, 630090; e-mail: travin@igm.nsc.ru.

Aleksander S. Shuisky – Junior Researcher, Scopus Author ID: 5721240694, <https://orcid.org/0000-0002-6928-9354>, Institute of Geology named after academician N.P. Yushkin FRC Komi SC UB RAS (Institute of Geology named after academician N.P.

Yushkin, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 54 Pervomaiskaya st., Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, 167982; e-mail: self88@yandex.ru).

Для цитирования:

Удоратина, О.В. Ультраосновные породы рудных полей Среднего Тимана: петрогеохимические и геохронологические данные / О.В. Удоратина, А.М. Шмакова, А.В. Травин, А.С. Шуйский // Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия «Науки о Земле». – 2023. – № 2 (60). – С. 26–42.

For citation:

Udoratina, O.V. Ultraosnovnye porody rudnyh polej Srednego Timana: petrogeohimicheskie i geohronologicheskie dannye [Ultrabasic rocks of ore fields of the Middle Timan: petrogeochemical and geochronological data] / O.V. Udoratina, A.M. Shmakova, A.V. Travin, A.S. Shuisky // Proceedings of the Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Series "Earth Sciences". – 2023. – № 2 (60). – P. 26–42.

Дата поступления статьи: 13.03.2023

Прошла рецензирование: 24.03.2023

Принято решение о публикации: 11.05.2023

Received: 13.03.2023

Reviewed: 24.03.2023

Accepted: 11.05.2023

О геолого-поисковых типах кимберлитовых трубок

Н.Н. Зинчук

Западно-Якутский научный центр Академии наук
Республики Саха (Якутия),
г. Мирный
nnzinchuk@rambler.ru

Аннотация

Проведенные исследования геологического строения и вещественного состава кимберлитов Сибирской платформы показали сложность и многообразие геолого-тектонических и палеогеографических обстановок, которые следует учитывать при прогнозно-поисковых работах на алмазы в каждом конкретном регионе. В зависимости от геолого-геофизической и геоморфологической обстановок залегания кимберлитовых диатрем определяются особенности их прогнозирования и поисков. Важным критерием для поисков кимберлитовых тел в различных геолого-тектонических условиях является знание вещественного состава как искоемых диатрем, так и вмещающих и перекрывающих их осадочных и магматических образований. Особое внимание следует уделять типоморфным особенностям и первичных, и новообразованных в диатремах минералов. Каждый алмазоносный район характеризуется определенным комплексом типоморфных ассоциаций первичных и вторичных минералов кимберлитов. В преобладающем большинстве кимберлитовых трубок доминируют алмазы с ультраосновной ассоциацией включений твердых фаз (оливин, хромит, пироп и др.).

Ключевые слова:

геология, вещественный состав, кимберлиты, трубки, Сибирская платформа, алмазоносный район, типоморфизм минералов, алмазы

Введение

В последние десятилетия опубликовано значительное количество работ по вещественному составу кимберлитов, лампроитов и конвергентных им пород [1–18], изученных в различных алмазоносных районах Сибирской (далее – СП), Восточно-Европейской (далее – ВЕП), Южно-Африканской (далее – ЮАП) платформ и других перспективных на алмазы территорий. Магматические образования широко распространены на рассматриваемых территориях и представлены породами среднепалеозойского и мезозойского комплексов, различающихся [19–23] не только по возрасту, но и вещественному составу пород, формам и условиям их проявления. Среднепалеозойский магматический комплекс представлен интрузивными породами щелочно-ультраосновной кимберлитовой и трапповой формаций. По-

On the geological-prospecting types of kimberlite pipes

N.N. Zinchuk

West-Yakut Science Center of the Academy of Sciences
of the Republic of Sakha (Yakutia),
Mirny
nnzinchuk@rambler.ru

Abstract

The conducted research on geological structure and material composition of the Siberian platform kimberlites indicated the complexity and diversity of geologic-tectonic and paleogeographic conditions which should be considered when performing the prediction-prospecting works for diamonds in every particular region. The geological-geophysical and geomorphological occurrence conditions of kimberlite diatremes determine the mode of their prediction and prospecting. The knowledge on the material composition of not only desired diatremes but also of sedimentary and magmatic formations enclosing and overlying diatremes is an important criterion for prospecting of kimberlite bodies in various geologic-tectonic conditions. Special attention should be paid to typomorphic features of both initial and newly-formed minerals in diatremes. Every diamondiferous region is characterized by a certain complex of typomorphic associations of primary and secondary minerals of kimberlites. The majority of kimberlite pipes are dominated by diamonds with an ultrabasic association of solid intrusion phases (olivine, chromite, pyrope, etc.).

Keywords:

geology, material composition, kimberlites, pipes, the Siberian platform, diamondiferous region, typomorphism of minerals, diamonds

роды основного состава установлены в виде интрузий и покровов долеритов, залегающих на различных глубинах. К ним относятся [1–4, 13, 16] недифференцированные и слабо дифференцированные тела долеритов и габбро-долеритов, внедрившиеся в нижние горизонты карбонатных пород раннего палеозоя. Обобщение обширных данных по алмазоносному и конвергентному с ним магматизму позволило на большом фактическом материале показать соотношение в неогее этапов осадконакопления (площадь и типы осадочных образований), эпох мощного корообразования и кимберлитового магматизма. Рассматривая в целом изменение площадей проявления магматизма в фанерозое, можно отметить [24], что магматический процесс на континентах Земли развивался циклично, переживая отно-

сительные максимумы (ранний кембрий, ордовик, ранняя юра, поздний мел и палеоген) и минимумы (средний кембрий, силур-девон, средняя юра, ранний мел и палеоген).

Результаты и их обсуждение

Исследователями отмечалась приуроченность коренных месторождений алмазов мантийного происхождения к древним кратонам, консолидация которых завершилась в архее [5–10]. В последние годы были открыты коренные месторождения алмазов и в периферийных частях древних кратонов (лампроитовая трубка Аргайл в Западной Австралии, алмазоносные кимберлитовые диатремы Восточно-Европейской платформы и др.). Однако такие коренные месторождения алмазов имеют целый ряд особенностей, на основании которых можно выделить самостоятельные алмазоносные зоны, обрамляющие центральные районы практически всех алмазоносных провинций Мира. Особенности локализации коренных месторождений алмазов в пределах таких зон наглядно просматриваются [6–12] на примере Сибирской платформы и особенно ее центральной и северной частей – Якутской кимберлитовой провинции (далее – ЯКП), протягивающейся с юга на север на 1.5 тыс. км (от Малоботуобинского алмазоносного района до моря Лаптевых) и с запада на восток на 1 тыс. км (от Харамайского кимберлитового поля в Красноярском крае до р. Лены). На севере и востоке границами алмазоносной провинции служат Лено-Анабарский (далее – ЛАП) и Ангара-Виллюйский наложенный мезозойский (далее – АВНМП) прогибы, а на юго-востоке – Виллюйская мезозойская синеклиза (далее – ВМС). На западе граница проходит по восточному борту Тунгусской верхнепалеозойской синеклизы (далее – ТВС). В пределах ЯКП на площади свыше 800 тыс. км² открыто более 1 тыс. кимберлитовых трубок и дайкоподобных тел, распределенных неравномерно и сгруппированных в более чем 25 кимберлитовых полей, которые в свою очередь объединяют в девять алмазоносных районов. По особенностям геолого-тектонического положения отдельных групп кимберлитовых пород, их минералого-петрографическим характеристикам, возрасту, петрохимии, геохимии, кристалломорфологическим особенностям алмазов и алмазоносности отдельные исследователи [13–18, 25] разделяют ЯКП на две субпровинции: Виллюйскую и Анабаро-Оленекскую. Само понятие «субпровинции» было введено [26–31] из-за очевидной неравномерности внедрения глубинных магматитов в другие образования платформы. Практически на всех древних платформах Мира наблюдается скученность групп кимберлитовых полей в одних частях при полной амагматичности других территорий. В пределах субпровинции магматические тела ультраосновных и щелочных пород группируются в поля, объединяющие в своих границах десятки (а иногда и сотни) магматических тел. Обычно магматические тела различной фациальной принадлежности локализованы в своих полях: кимберлиты – в кимберлитовых, карбонатиты – в карбонатитовых, лампроиты – в лампроитовых и т.д. На отдельных территориях древних платформ (северо-восточная часть СП, юг Африканской платформы и др.) отмечено явление «полихронного магма-

тизма» [32–35]. В пределах алмазоносных районов выделяются кимберлитовые поля, образованные скоплением кимберлитовых трубок, даек, силлов и жил. Виллюйская кимберлитовая субпровинция (далее – ВКСП) охватывает территорию, южной границей которой являются контуры Малоботуобинского алмазоносного района (далее – МБАР). Северная граница субпровинции совпадает с северным ограничением Верхнемунского района (далее – ВМАР) и условно проводится на широте излучины р. Оленек. Территория ВМАР вытянута с юга на север на 800 км. В составе этой субпровинции выделены [36–40] четыре алмазоносных района: МБАР, Далдыно-Алакитский (далее – ДААР), ВМАР и Среднемархинский (далее – СМАР), в которых обособляются шесть кимберлитовых полей, три из них (Далдынское, Алакит-Мархинское и Моркокинское) находятся в ДААР.

Анабаро-Оленекская кимберлитовая субпровинция (АОКСП) охватывает большую территорию северной части ЯКП, располагающуюся в бассейне рек Оленек и Анабар. В пределах этой субпровинции выделяются пять алмазоносных районов: Среднеоленинский, Нижнеоленинский, Приленский, Анабарский (или Куонапский) и Котуй-Меймечинский. Каждый из этих алмазоносных районов включает в себя отдельные кимберлитовые поля с многочисленными трубками, дайками, силлами и жилами [24, 41, 42].

Токсоном, соподчиненным «кимберлитовой субпровинции», принято считать «кимберлит-контролирующую (или минерагеническую) зону», выделение которой в качестве самостоятельной токсонимической единицы выполнено по линейно-дискретному пространственному расположению полей глубинных магматитов. Примером линейного расположения групп кимберлитовых полей является северо-восточная часть Якутской минерагенической провинции (далее – ЯМП), в пределах которой принято выделять [42–44] две зоны: Оленекскую (далее – ОМЗ) и Куонамскую (далее – КМЗ).

Оленекская зона объединяет Чомурдахское, Восточно-Укукитское, Западно-Укукитское, Мерчимденское, Толупское, Молодинское и Куойское кимберлитовые поля в полосе северо-восточного простираения размером 350 x 80 км. Магматические комплексы в пределах этой зоны представлены кимберлитами двух возрастных генераций – среднепалеозойской (D_3-C_1) и мезозойской (J_3-K_1). Находки парагенетических индикаторных минералов кимберлитов (далее – ИМК) в терригенных отложениях позднего докембрия не исключают обнаружения и более ранних протерозойских магматических кимберлитовых комплексов [45–48]. Северо-восточная часть этой зоны характеризуется полихронным магматизмом с учетом пространственного сонахождения разновозрастных комплексов.

Куонапская зона расположена вдоль флангов Анабарского щита, огибая его восточные границы. В ее пределах (300 x 30 км) расположены Старореченское, Орто-Ыаргинское, Ары-Мастахское, Лучаканское и Дьукенское кимберлитовые поля, объединяющие группы широкой формационной принадлежности, чем они существенно отличаются от Оленекской зоны. В составе магматического комплекса здесь развиты кимберлиты, карбонатиты, альеиты и другие труднодиагностируемые разновидности, относимые

многими исследователями к щелочным пикритам [14, 18]. Большинство исследователей принимают возраст кимберлитового магматизма Куонапской зоны как мезозойский (T_3-J_1). От геолого-геофизических особенностей залегания кимберлитовых диатрем во многом зависят особенности их прогнозирования и поисков. Это можно проиллюстрировать на примере основных районов Якутской алмазносной провинции (далее – ЯАП) СП. Они разделяются [19–22, 26–30] на следующие типы площадей, в пределах которых кимберлитовые трубки: а) полностью перекрыты верхнепалеозойскими отложениями или траппами; б) частично перекрыты верхнепалеозойскими отложениями или траппами; в) полностью перекрыты мезозойскими отложениями; г) интродуцированы траппами без существенного перемещения отторгнутых блоков; д) интродуцированы траппами с отторжением и перемещением блоков кимберлитов; е) представляют протрузии кимберлитовых тел в верхнепалеозойские отложения и траппы; ж) сохранили в верхних частях кратерные фации; з) характеризуются взрывной камерой закрытого типа; и) покрыты маломощными элювиальными и делювиальными образованиями.

Кимберлитовые трубки, полностью перекрытые верхнепалеозойскими отложениями и траппами, составляют около 40 % диатрем, открытых в Алакит-Мархинском поле (далее – АМКП). Практически все (за исключением трубки Лира) кимберлитовые трубки этого поля, перекрытые более молодыми отложениями, были зафиксированы с помощью площадного бурения по сети различной плотности и проводимого при этом шлихо-минералогического метода поисков (далее – ШММП) в захороняющих эти тела отложениях. Сравнительно низкая эффективность применяющихся здесь геофизических и геохимических методов поисков обусловлена отсутствием надежных прогнозно-поисковых критериев, а также сложностью расшифровки геофизических полей на площадях развития пород трапповой формации. Поэтому в таких сложных геолого-структурных ситуациях основным методом поисков алмазных месторождений является ШММП, главная задача которого – выделение древних ореолов рассеяния продуктов дезинтеграции кимберлитов с последующей локализацией этих образований бурением скважин, сопровождающимся шлиховым опробованием вскрываемых разрезов и комплексными геолого-геофизическими исследованиями скважин. Эффективность применения указанного комплекса методов в значительной мере зависит от условий осадконакопления в посткимберлитовую эпоху, позволяющих сохранить следы размыва кимберлитовых тел и их природного разнообразия, условий формирования и строения верхних (кратерных) их частей, взаимоотношения с перекрывающими и интродуцирующими их породами и др. Нередко поверхности кимберлитовых трубок на таких участках перекрываются верхнепалеозойскими терригенными (иногда туфогенными) отложениями, в различной степени интродуцированными силлами траппов. Иногда непосредственно на поверхности кимберлитовых тел и вмещающих пород залегают интрузии траппов [8, 25, 39]. Мощность захороняющих трубки верхнепалеозойских отложений в ДААР колеблется от первых до 130 м. От 5 до 100 м на этой территории меняется и мощность интроду-

цирующих кимберлитовые трубки трапповых образований. Отмечены также значительные (до 100 м и более) мощности трапповых интрузий, непосредственно бронирующих поверхности кимберлитовых тел. Северней (уже в ДААР) наиболее характерны следующие масштабы взаимоотношения кимберлитовых трубок с *полностью перекрытыми верхнепалеозойскими отложениями и траппами*: а) траппы в виде маломощных силлов (иногда апофиз от них) интродуцируют верхние горизонты перекрывающих трубки отложений, будучи приуроченными к краевым частям диатрем (трубки Восток, Байтахская и др.); б) в перекрывающих трубки породах траппы располагаются на двух уровнях: верхний силл в виде мощного (до 70 м) траппового тела бронирует с поверхности осадочные породы верхнего палеозоя, а нижний (сравнительно маломощный) – внедряется по контакту этих пород с кимберлитовыми вмещающими отложениями нижнего палеозоя или интродуцирует верхнюю часть кимберлитовых тел (трубки Краснопресненская, Подтрапповая и др.); в) трапповые интрузии, бронирующие отложения пермо-карбона, приближаясь к кимберлитовым трубкам, существенно изменяют свою мощность, расщепляются на серию мелких апофиз, создавая над поверхностью погребенных тел своеобразные «окна» (трубки Юбилейная, Кыллахская и др.); г) трапповый силл внедряется по границе между верхне- и нижнепалеозойскими отложениями (трубка Алакитская и др.); д) силлы траппов, внедряясь в отложения нижнего палеозоя, налегают на палеоперекрывающую кимберлитовых тел. На практике отмечается несколько характерных типов отторжений кимберлитовых тел силлами долеритов, в которых произошло нарушение их целостности путем перемещения блоков кимберлитов от первоначального залегания до нескольких сотен метров [9, 21]. Иногда кимберлиты образуют «протрузию» в породы верхнего палеозоя и траппы (трубка Москвичка и др.), оказываясь на современной поверхности (Восток и др.). Подобные формы поверхности диатрем встречены (рис. 1) и в других трубках ДААР (Сытыканская, Победа и др.).

С использованием ИМК в подобной поисковой обстановке была открыта в 1955 г. *трубка Сытыканская*. Первоначально предполагалось, что она представляет собой незначительное по размерам и выходящее на дневную поверхность тело, расположенное непосредственно у самого уступа траппового плато. Однако в процессе дальнейших поисково-оценочных работ было установлено, что большая часть трубки перекрыта терригенными породами пермского возраста, бронированными мощной интрузией траппов. Трубка Сытыканская состоит из двух самостоятельных тел – северо-восточного (основного) и юго-западного. По форме и условиям залегания трубка представляет сдвоенное тело, сильно вытянутое с юго-запада на северо-восток. Расстояние по поверхности между обоими телами составляет 30 м, существенно увеличиваясь с глубиной. Мощность перекрывающих трубку терригенных пермо-каменноугольных пород озерно-болотной фации колеблется от 9 до 16 м. Выше этих отложений над большей частью трубки залегают долериты. В юго-западной части диатремы, где терригенные отложения выклиниваются, эти магматические трапповые образования лежат непосредственно на поверхности кимберлитов и вмещающих их тер-

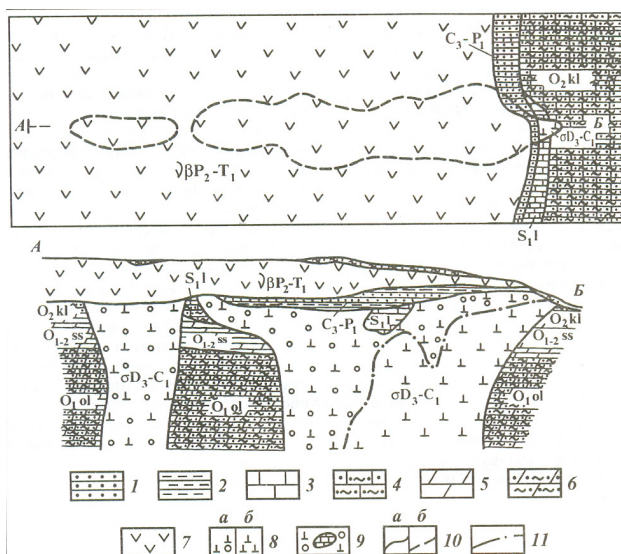


Рисунок 1. Схематический план и продольный разрез кимберлитовой трубки Сытыканская [42]: 1-6 – вмещающие и перекрывающие осадочные породы палеозоя: 1 – песчаники мелко- и среднезернистые; 2 – алевролиты; 3 – известняки; 4 – пестроцветные глинистые известняки и мергели; 5 – доломитовые известняки, известковистые песчаники; 6 – доломиты глинистые, известняки песчаные; 7 – перекрывающие долериты; 8 – кимберлиты: а – автолитовая брекчия, б – брекчия с массивной текстурой цемента; 9 – ксенолиты вмещающих пород («плавающие рифы»); 10 – контуры трубки на плане: а – на дневной поверхности, б – под перекрывающими породами; 11 – граница между кимберлитами разных фаз внедрения.

Figure 1. Schematic plan and longitudinal section of the Sytykansкая kimberlite pipe [42]: 1-6 – enclosing and overlying sedimentary rocks of the Paleozoic: 1 – fine- and medium-grained sandstones, 2 – siltstones, 3 – limestones, 4 – variegated clay limestones and marls, 5 – dolomitic limestones, calcareous sandstones, 6 – clay dolomites, sandy limestones; 7 – overlying dolerites; 8 – kimberlites: а – autolith breccia, б – breccia with a massive cement texture; 9 – xenoliths of enclosing rocks ("floating reefs"); 10 – tube contours on the plan: а – on the daytime surface, б – under the overlying rocks; 11 – boundary between kimberlites of different intrusion phases.

ригенно-карбонатных пород нижнего палеозоя. Мощность траппов непосредственно в районе трубки Сытыканская варьирует от 5 (на северо-восточном фланге) до 87 м (на юго-западе и в центральной части). За контуром трубки она резко возрастает, в отдельных участках – до 125 м. Оба тела трубки Сытыканская сложены типичной кимберлитовой брекчией (далее – КБ), в которой большинство исследователей выделяют три разновидности [11–13, 19–21, 24, 32]. Северо-восточное тело представлено породами двух фаз внедрения, образующими два самостоятельных рудных столба – центральный и северо-восточный, сочленяющихся между собой через переходную зону [9]. Юго-западное тело имеет относительно простое строение и сложено породами одной фазы внедрения. В пределах основного тела трубки различаются кимберлитовые брекчии с массивной текстурой цемента первой фазы внедрения и автолитовые кимберлитовые брекчии (далее – АКБ) второй – завершающей фазы. Непосредственно под толщей перекрывающих трубку терригенно-карбонатных отложений пермо-карбона отмечается КБ, участками сильно выветрелая, представляющая собой типичную остаточную кору выветривания (далее – KB).

Кимберлитовые трубки, полностью перекрытые мезозойскими отложениями, установлены в МБАР и Среднемар-

хинском алмазоносных районах (СМАР) СП, хотя возраст самих кимберлитов датируется большинством исследователей этих территорий как средне-позднепалеозойский. В МБАР к ним отнесены трубки Интернациональная, имени XXIII съезда КПСС и Дачная, открытые с помощью применяемого в ЯКП комплекса геолого-геофизических методов. Эти диатремы имеют небольшие размеры, но характеризуются высоким качеством алмазов, большая часть которых относится к ювелирным.

Трубка Интернациональная, расположенная в 16 км к юго-западу от трубки Мир на правобережье р. Ирелях (в верхнем течении ее правых притоков Маччоба-Салаа и Улаах-Юрях), тяготеет к Западному региональному разлому [9, 21, 32, 42]. Кимберлитовая трубка Интернациональная внедрилась в осевую зону Кюэляхского разлома и сопровождается системой даек, ориентированных в северо-восточном, северо-западном и почти меридиональном направлениях [7–18, 24, 44]. На поверхности трубка имеет форму неправильного овала (рис. 2), вытянутого на северо-запад. Разведка диатремы до глубины 955 м показала [13, 25–27], что в среднепалеозойское и мезозойское время

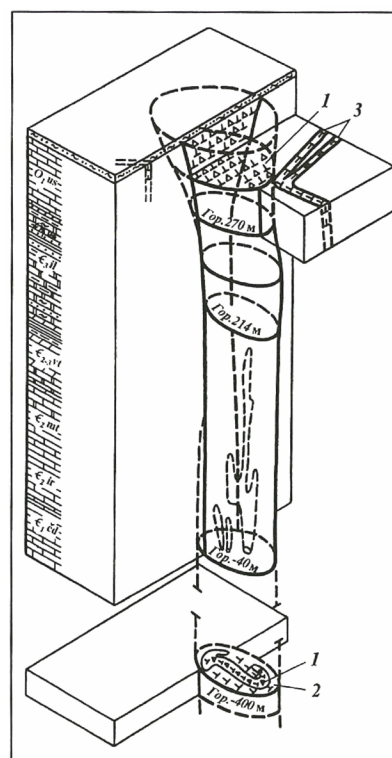


Рисунок 2. Блок-диаграмма кимберлитовой трубки Интернациональная [42]: 1 – кимберлитовая брекчия; 2 – порфировый кимберлит; 3 – кимберлитовые дайки.

Figure 2. Block diagram of the Internationalnaya kimberlite pipe [42]: 1 – kimberlite breccia; 2 – porphyritic kimberlite; 3 – kimberlite dykes.

около 470 м верхней части трубки было уничтожено в результате длительной эрозии, поэтому от раструба сохранилась только его нижняя 120-метровая часть. Далее на глубину остатки раструба переходят в цилиндрический канал с почти вертикальными каналами. До разведанной глубины размеры трубки существенно не уменьшаются, стабильной остается и продуктивность руд [14, 16, 35–39]. В верхней части трубки Интернациональная залегают слоистые породы с чередованием прослоев мелко- и крупно-

порфиrowого кимберлита. В верхних горизонтах трубки выделяются (рис. 2) два типа пород – КБ, которые преобладают (до 99 %) и массивные кимберлиты (далее – МК). Из ксенолитов наиболее распространены обломки терригенно-карбонатных пород (5–15 %). В породе присутствуют также единичные обломки траппов и кристаллических сланцев фундамента платформы. Относящаяся к этому же геолого-поисковому типу *кимберлитовая трубка имени XXIII съезда КПСС* расположена в 14 км к юго-западу от трубки Мир и приурочена к Западному региональному разлому. Она полностью перекрыта [7–10, 19–21, 24, 42, 43] 12–20-метровой толщей нижнеюрских терригенных отложений, в которых выделены две пачки: нижняя, отнесенная к укугутской свите, и верхняя – к домерскому ярусу. На поверхности трубка имеет размер 120 x 80 м. Форма ее овальная, длинная ось ориентирована в северо-западном направлении. В верхней части трубка имеет крутопадающие контакты, которые уже на глубине 100 м заметно выглаживаются, принимая дайкообразную форму на глубине 150 м. Рельеф трубки под осадками нижней юры неровный. В южной части наблюдается отчетливо выраженная возвышенность с превышением кимберлитов на 10–12 м над поверхностью вмещающих пород нижнего палеозоя. Перекрывающие трубку породы слагают своеобразную антиклинальную складку. В северо-восточной части трубки под нижнеюрскими отложениями сохранилась древняя КВ кимберлитов мощностью 8–12 м, в глинистой части которой преобладает [5–8, 14, 46] монтмориллонит с примесью каолинита, гидрослюда, хлорита и серпентина. Из первичных минералов в выветрелом кимберлите встречены пироп, пикроильменит и хромит. Отмечена характерная особенность увеличения в КВ, по сравнению с плотным кимберлитом, концентрации алмаза, пикроильменита и хромшпинелида. Алмазоносность кимберлитов трубки исключительно высокая, причем в пределах плотного кимберлита она распределена относительно равномерно. В то же время содержание алмазов в КВ кимберлитов более чем в шесть раз выше по сравнению с плотной породой. Среди алмазов рассматриваемой диатремы преобладают [7, 15, 29, 31] октаэдры (более 75 %), более 6 % составляют ромбододекаэдры и около 20 % кристаллов – комбинационные формы. Редко встречаются кубические кристаллы. Подавляющее большинство зерен алмазов в плотных кимберлитах трубки относится к бесцветным разновидностям, в то время как в КВ этих же пород преобладают кристаллы, окрашенные в цвет морской волны, что может быть связано с постмагматическими изменениями минерала.

Недалеко от описанной диатремы находится *кимберлитовая трубка Дачная*, приуроченная к Параллельному разлому. Она перекрыта нижнеюрскими осадочными толщами мощностью 15–21 м. Рельеф под перекрывающими диатрему нижнеюрскими отложениями неровный, с превышением до 6 м. Размеры трубки на поверхности – 120 x 100 м. Форма ее близка к овалу, длинная ось которого ориентирована в северо-западном направлении. На глубине 105 м от поверхности площадь горизонтального сечения трубки уменьшается примерно в два раза. Самая верхняя часть представлена сильно измененной породой КВ, практически лишенной первичной материнской структуры.

Глубже залегает выветрелый кимберлит, в котором преобладают монтмориллонит, ассоциирующийся с каолинитом, гидрослюдой, хлоритом и серпентином. При почти равномерном распределении алмазов в диатреме несколько снижается их содержание в приконтактных частях трубки. Преобладают октаэдры (47 %) и комбинационные формы минерала (около 40 %) при подчиненной роли (около 12 %) ромбододекаэдров.

К данному геолого-поисковому типу относятся диатремы *Накынского кимберлитового поля* (далее – НКП), открытого в пределах СМАР, охватывающего территорию среднего течения р. Мархи и верхнего течения р. Тюкян (левого притока р. Вилуй). Геолого-структурные особенности этого района определяются его приуроченностью к зоне сочленения кратонной и депрессионно-деструктивной областей центральной части СП [7–1, 32]. Основными структурами кратонной области, в пределах которой открыты кимберлитовые трубки Ботубинская, Нюрбинская и тело Майское, являются: на севере – южная оконечность Анабаро-Оленекской антеклизы, на северо-западе – Сюгджерская седловина и на юго-востоке – северная часть Вилуйской синеклизы. Структура рудного узла трубок Ботубинская и Нюрбинская характеризуется проявлением локальных разрывных дислокаций, картируемых во вмещающих их осадочных толщах в пределах околотрубочного пространства. Трубка Ботубинская расположена [9, 16, 19, 42] в истоках руч. Дьяхтар-Юрэгэ (левого притока р. Мархи), в поле сплошного развития раннеюрских осадочных толщ (мощностью до 80 м), и относится к числу полностью погребенных кимберлитовых тел. Диатрема является сложным сдвоенным кимберлитовым телом, южная часть которого представляет собой дайкообразное образование северо-восточного простирания, а северо-восточная имеет форму овала. В месторождении развиты кимберлиты двух фаз, более ранняя из них представлена порфиrowым кимберлитом (далее – ПК), слагающим дайковую часть трубки и не выходящим на дневную поверхность. В верхней части трубочного тела сохранились породы кратерных фаций, известные на некоторых диатремах ДААР [5, 9, 22–24, 42, 43]. Наличие кратерных построек, выполненных кимберлитовыми туфобрекчиями (далее – КТБ), свидетельствует о незначительном эрозионном срезе этой трубки. КТБ верхних горизонтов кратера (северо-восточная часть трубки) представляют собой бескорневые кимберлитовые породы начальной эксплозивной стадии формирования диатремы. Их материнской породой являются подстилающие АКБ. В верхних горизонтах трубки установлена остаточная КВ, достигающая в отдельных местах мощности 15–20 м. По комплексу типоморфных признаков и характеру их связи с крупностью алмазы трубки Ботубинская не имеют аналогов среди известных кимберлитовых тел ЯАП и Мира [4, 8–10, 32, 42]. Среди основных типоморфных особенностей алмазов отмечаются низкое содержание ламинарных ромбододекаэдров и отсутствие типичных округлых алмазов «уральского» типа. Присутствуют в значительном количестве псевдоромбододекаэдры «мархинского» типа, псевдокубического габитуса первой [26], а также алмазы с оболочкой 1У разновидностей по классификации Ю.Л. Орлова [41].

К этой же геолого-поисковой обстановке относится *кимберлитовая трубка Нюрбинская*, расположенная в НКП в верховье руч. Дюлюнг-Оту (правый приток р. Накын), в 3.3 км к северо-востоку от трубки Ботубинской, и приуроченная к осевой линии Дьяхтарского разлома. Трубка прорывает алевритисто-глинисто-карбонатные верхнекембрийские и нижнеордовикские отложения и перекрывается чехлом терригенных ниже-среднеюрских отложений (укугутская, тунгская и сунтарская свиты) и дезинтегрированными продуктами КВ (T_{2-3}) общей мощностью 55–60 м. Для одного из таких участков трубки Нюрбинской установлен сложный структурно-тектонический план, поскольку на глубине 124–126.5 м в пределах юго-западного фланга выявлено жильное тело кимберлитов. Трубка Нюрбинская состоит из АКБ, среди которых выделяются мелко-среднеобломочные брекчии центральной части рудного тела и карбонатная кимберлитовая брекчия приконтактной зоны северо-восточного и юго-западного флангов диатремы. В тяжелой фракции кимберлитовых пород трубки преобладают пироп и хромшпинелиды, реже встречаются пикроильменит, оливин и клинопироксен [32, 42]. Для обоих изученных диатрем НКП характерна слабая намагниченность кимберлитов, что затрудняет поиски таких диатрем геофизическими методами. Алмазы из кимберлитов трубки Нюрбинская близки к таковым из Ботубинской с некоторыми отличиями. В целом алмазы трубки Нюрбинская характеризуются [8, 16, 32] комплексом типоморфных особенностей, свойственных этим минералам из наиболее продуктивных диатрем ЯКП.

В ДААР ЯАП открыт (рис. 3) ряд *кимберлитовых трубок, интродуцированных траппами без существенного перемещения отторгнутых блоков* (Комсомольская, Ленинградская, Сытыканская, Краснопресненская и др.). Модельным объектом такого поискового типа можно считать трубку Краснопресненскую [9, 16, 32–39], открытую в верховье р. Алакит и приуроченную к юго-западному флангу центральной рудоконтролирующей зоны, вмещающей более трети всех известных диатрем в АМКП. С поверхности трубка полностью перекрыта терригенно-карбонатными толщами пермо-карбона, туфогенными отложениями триаса и интродуцированными породами трапповой формации мощностью в среднем до 78 м. В плане под перекрывающими отложениями трубка имеет форму овала. В разрезе она представляет собой асимметричное воронкообразное тело с четко выраженным раструбом в верхней части. Характерным структурным элементом одного из участков трубки Краснопресненская является установленное здесь компенсационное погружение над- и околотрубочного субстрата, связанное с воздействием на породы осадочного чехла гидротермальных растворов и обусловившее формирование обширной мульды проседания, которые можно считать надежным поисковым признаком на погребенные кимберлиты. Выделяются две основные разновидности кимберлитов: туфогенные образования и АКБ, различающиеся по генезису, составу и алмазоносности. Порфировые кимберлиты встречаются в виде отдельных блоков. В верхней части трубки развиты породы кратерной фации. Установлено глубокое физико-химическое превращение кимберлитов под воздействием на них дифферен-

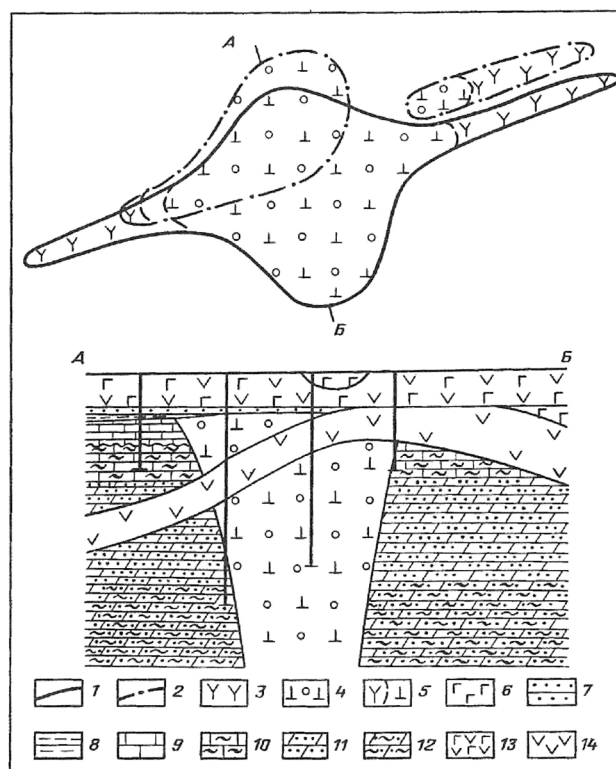


Рисунок 3. План и разрез кимберлитовой трубки Комсомольская [42]: 1 – контур рудного тела под перекрывающими породами; 2 – контуры отторгнутых блоков трубки; 3 – порфировые кимберлиты первой фазы внедрения; 4 – автолитовые кимберлитовые брекчии второй фазы внедрения; 5 – границы между разновидностями кимберлитов; 6 – долеритовые туфы пермо-триаса; 7, 8 – песчаники (7) и алевролиты (8) пермо-карбона; 9 – известняки нижнего силура; 10–12 – известняки глинистые (10), доломиты песчаные (11) и песчано-глинистые (12) среднего и нижнего ордовика; 13 – базальты эффузивной фации нижнего триаса; 14 – долериты интрузивной фации пермо-триаса.

Figure 3. Plan and profile of the Komsomolskaya kimberlite pipe [42]: 1 – ore body's contour under the overlying rocks; 2 – contours of the separated tube blocks; 3 – porphyritic kimberlites of the first intrusion phase; 4 – autolith kimberlite breccias of the second intrusion phase; 5 – boundaries between kimberlite varieties; 6 – dolerite tufts of the Permo-Triassic; 7, 8 – sandstones (7) and siltstones (8) of the Permo-Carboniferous; 9 – limestones of the Lower Silurian; 10–12 – clay limestones (10), sandy (11) and sandy-clay (12) dolomites of the Middle and Early Ordovician; 13 – basalts of the effusive facies of the Lower Triassic; 14 – dolerites the intrusive facies of the Permo-Triassic.

цированных интрузий субщелочного состава [3, 9, 42]. Воздействие трапповых гидротерм привело к значительному преобразованию основных реликтовых минералов кимберлитов, вплоть до полного их уничтожения в отдельных, наиболее измененных участках, поскольку характер таких изменений во многом идентичен преобразованиям ИМК из КВ кимберлитов [11, 19, 32]. На контакте с долеритами выполняющие кимберлитовую трубку породы претерпели изменения, более интенсивные в висячем боку силла, где от него отходил ряд мелких апофиз, и сравнительно небольшие преобразования в лежащем боку.

Кимберлитовые трубки, интродуцированные траппами с отторжением и перемещением блоков кимберлитов, установлены в АМКП ЯКП, где перемещение блоков осадочных пород нижнего и верхнего палеозоя отмечены как в горизонтальном, так и вертикальном направлениях. Дальность таких перемещений зависит от морфологии трапповых тел

и их мощности. Иногда по вертикали она сопоставима с полной мощностью силлов (до 180 м), а по горизонтали может составлять несколько сотен метров. Для материнских кимберлитовых пород, отчлененных и механически отторгнутых от трубок, обычно применяется [13, 19–21, 25–27, 32, 42] термин «кимберлитовый отторженец». В пределах АМКП установлены три крупных отторженца, материнскими породами для которых являются трубки Подтрапповая, Юбилейная и Алакитская.

Протрузии кимберлитовых тел в верхнепалеозойские породы и траппы отмечены в некоторых алмазонасных районах ЯКП (трубки Москвичка, Восток, Сытыканская и др.). Примером «диапиризма» в перекрывающие их терригенно-осадочные породы может служить трубка Москвичка в АМКП. Она открыта в 1956 г. по ИМК (пироп и пикроильменит) при прослеживании их ореола на поверхности траппового плато. Установлено [2, 14, 24, 42], что между двумя жесткими массивами (кимберлитовым телом и силлом долеритов) зажата пачка осадочных каменноугольно-пермских пород, слои которых располагаются вертикально по отношению к современной поверхности. В целом кимберлиты трубки Москвичка «проткнули» маломощную толщу верхнепалеозойских отложений с интродуцировавшим ее трапповым силлом. Она оказалась на одном гипсометрическом уровне с указанными породами, которые на данном этапе по отношению к кимберлитам являются вмещающими.

На территории алмазонасных районов СП открыты также кимберлитовые трубки с сохранившимися *кратерными фациями*, яркими представителями которых являются трубки Юбилейная, Краснопресненская, Айхал и др. Так, *трубка Юбилейная* прорывает (рис. 4) толщу нижнепалеозойских субгоризонтально залегающих пород осадочного чехла кембрия, нижнего и среднего ордовика, а также нижнего силура. Она полностью перекрыта [21, 24, 31, 42] эффузивно-терригенными образованиями верхнего палеозоя – нижнего мезозоя, интродуцированными межпластовыми телами долеритов. Мощность перекрывающих трубку

обложений составляет в среднем 66 м, в том числе трапповых интрузий – от 0.5 до 33.9 м. Погребенная поверхность огромной (59 га) трубки неровная, относительное превышение северной ее части над южной составляет 44–48 м. Породы кратерной фации трубки Юбилейной представлены двумя толщами: верхней – осадочно-вулканогенной, и нижней – туфогенной. В пределах верхних горизонтов чашеобразного расширения кратерной части преимущественное развитие имеют субгоризонтально залегающие осадочно-вулканогенные слабо литифицированные породы, слагающие почти полностью приповерхностную часть центрального рудного столба (до 85 % площади трубки). Мощность их колеблется от нескольких метров в кра-

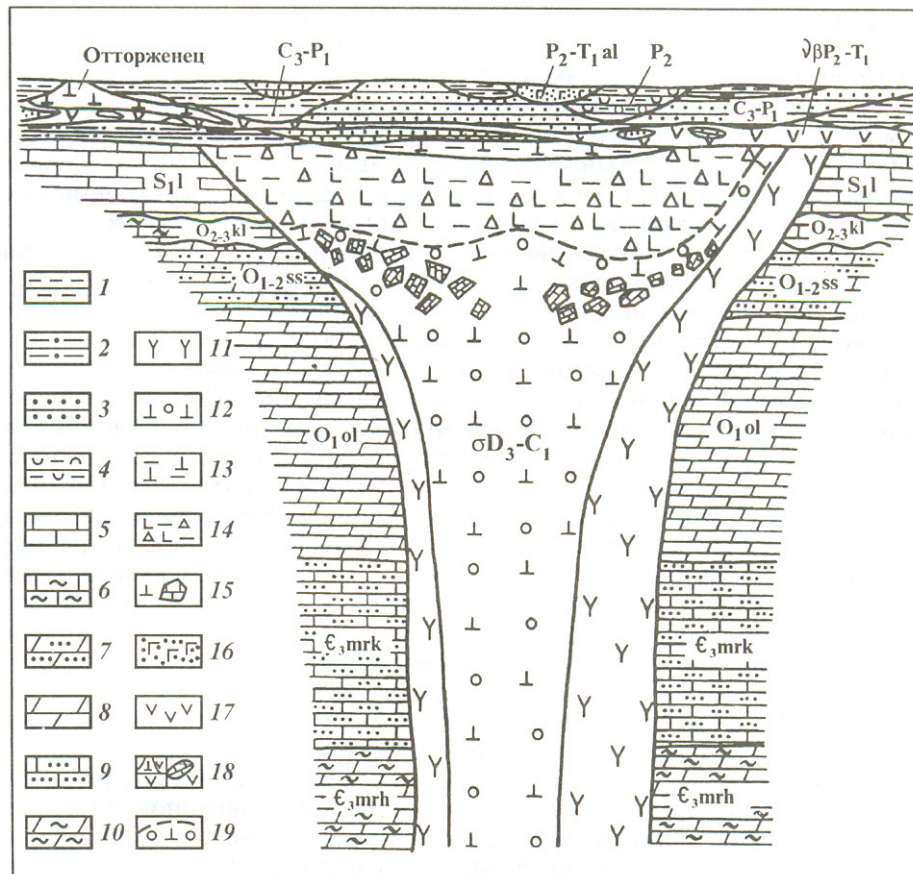


Рисунок 4. Геологический разрез кимберлитовой трубки Юбилейная [42]: 1–4 – перекрывающие породы верхнего палеозоя: 1 – углистые алевролиты, 2 – песчаные алевролиты, 3 – разномерные песчанники, 4 – туфоалевролиты; 5–10 – вмещающие породы: 5 – известняки лландоверийского яруса меикской свиты, 6 – мергелистые и глинистые известняки кылахской свиты, 7 – доломиты и песчаные известняки сохолохской свиты, 8 – доломиты, глинистые доломиты и доломитистые известняки олдондинской свиты, 9 – терригенно-карбонатные породы маркокинской свиты, 10 – глинисто-карбонатные породы мархинской свиты; 11–12 – кимберлитовые породы: 11 – порфировые кимберлиты первой фазы внедрения, 12 – автолитовые брекчии второй фазы внедрения; 13–14 – стратифицированные осадочно-вулканогенные образования кратера: 13 – глинистого облика, 14 – «песчаного» и «гравелитового» облика; 15 – ксенолиты осадочных пород в кимберлитах («ксенолитовый» пояс); 16 – туфы основного состава; 17 – долериты; 18 – блоки кимберлитов и осадочных пород, отторгнутые и перемещенные интрузией траппов; 19 – граница пород кратерной фации.

Figure 4. Geological profile of the Yubileynaya kimberlite pipe [42]: 1–4 – overlying rocks of the Upper Paleozoic: 1 – carbonaceous siltstones, 2 – sandy siltstones, 3 – multi-grained sandstones, 4 – tuff siltstones; 5–10 – enclosing rocks: 5 – limestones of the Llandoveryan of the Meik formation, 6 – marl and clay limestones of the Kylakh formation, 7 – dolomites and sandy limestones of the Sokhsolookh formation, 8 – dolomites, clay dolomites and dolomitic limestones of the Oldondin formation, 9 – terrigenous-carbonaceous rocks of the Markokin formation, 10 – clay-carbonaceous rocks of the Markha formation; 11–12 – kimberlite rocks: 11 – porphyritic kimberlites of the first intrusion phase, 12 – autolith breccias of the second intrusion phase; 13–14 – stratified volcanic crater formations: 13 – clay-like, 14 – “sandy” and “gravelite”-like; 15 – xenoliths of sedimentary rocks in kimberlites (“xenolith” belt); 16 – tuffs of the main composition; 17 – dolerites; 18 – blocks of kimberlites and sedimentary rocks separated and displaced by traps’ intrusion; 19 – boundary of crater facies rocks.

евых участках «чаши» до 150 м в ее центральной части. По морфологическим особенностям и вещественному составу слагающих пород трубка Юбилейная представляет типичную воронку взрыва (центральная часть) и ряд дайкообразных тел (на флангах), формирующих в ее структуре три обособленных «рудных столба». В разрезе центральный «рудный столб» имеет характерную трубчатую форму с чашеобразным расширением в пределах верхней кратерной части и близкую к округлой форму горизонтальных сечений. Западный и восточный «рудные столбы» представляют дайкообразные тела с извилистыми очертаниями как в плане, так и в вертикальных сечениях. В структуре трубки выделяются [9, 20, 25, 28] породы двух главных фаз внедрения: фланги сложены массивными порфиоровыми кимберлитами первой фазы, а центральный канал, начиная от основания чашеобразного расширения (с глубины 300 м и ниже), содержит автолитовые брекчии второй фазы. По текстурно-структурным особенностям, вещественному составу и алмазонасности эти породы близки между собой: преимущественно это плотные, окрашенные в серо-зеленый до темно-зеленого цвета породы с отчетливо выраженной порфировой структурой основной массы. Наблюдается и неоднородная алмазонасность. Наиболее высокими содержаниями алмазов характеризуются кимберлитовые породы, залегающие под «чашей». Для последней характерно низкое содержание алмазов при повышенном количестве мелких кристаллов, особенно в верхних частях, где много неалмазонасного ксеногенного материала, образующего мелкозернистые породы.

Кимберлитовые трубки с взрывчатой камерой закрытого типа обнаружены в ДААР СП (трубки Одинцова, Рот-Фронт, Якутская, обособленные мелкие тела около трубки Удачная и др.). Такого типа диатремы не имеют обычного открытого подводящего канала, достигающего соответствующей палеоповерхности, а поэтому представляют «полужакрытые» геологические образования. Так, кимберлитовая трубка Одинцова по форме приближается к дайкообразному телу, что связано с сопряженностью ее с ослабленной тектонической зоной, существовавшей при внедрении кимберлитовой магмы. Диатрема приурочена к западному борту небольшого куполовидного поднятия, имеющего общую площадь в несколько квадратных километров и амплитуду порядка 30–45 м. Перекрыто тело взрывчатыми карбонатными брекчиями, маломощными осадочными образованиями пермо-карбона и интрузией долеритов мощностью до 80 м. Для трубки Одинцова характерно двухъярусное строение. Верхняя часть диатремы, получившая название «карбонатной шапки» [9, 42], представляет переработанный взрывчатыми процессами кимберлитовмещающий субстрат (карбонатные породы низов нижнего силура), превращенный в разнообломочные карбонатные брекчии. Ниже «карбонатной шапки» залегает собственно кимберлитовое тело.

Кимберлитовые трубки, перекрытые маломощными элювиальными или делювиальными отложениями, были открыты на СП на первых этапах прогнозно-поисковых работ. Яркими поисковыми объектами такого типа могут служить трубки Мир, Удачная и др. В зависимости от размеров кимберлитовых тел и особенностей их вещественного

состава, как и геологического развития территории, такие диатремы могут по-разному выражаться в геофизических полях и формировать ореолы рассеяния в различной степени измененного кимберлитового материала. Кимберлитовые трубки Мир и Удачная, характеризующиеся крупными размерами и высокими концентрациями ИМК, при размыве давали четко выраженные ореолы рассеяния, позволившие сравнительно легко направить геологов-исследователей на выявление материнских пород. Так, *кимберлитовая трубка Мир, вместе с трубкой Спутник* [9, 25, 32, 42] и системой даек (рис. 5), приурочены к Параллельному глубинному разлому. Первая на поверхности имеет форму овала со слабым пережимом примерно в средней части. Размер ее по длинной оси, ориентированной в северо-западном направлении, – 490 м, по короткой – 320 м. До глубины 200 м трубка представляет типичную воронку, глубже (до 900 м) – цилиндрическое тело с незначительным сужением книзу, а затем (в 900–1000 м от поверхности) она переходит в серию подводящих даек. Трубка прорывает терригенно-карбонатные и галогенно-карбонатные породы ордовика и кембрия, два силла (на глубине 500 и 1100–1200 м с мощностью соответственно 12–34 и 70 м) и дайку диабазов позднедевонского возраста. Сверху КВ кимберлитовые трубки перекрывали маломощные четвертичные отложения. Верхние горизонты диатремы образовались [1–3, 5, 6, 19–23, 42] в результате трехфазного внедрения кимберлитового расплава. КБ первой фазы слагают большую часть северо-западной половины трубки, в то время как аналогичные породы второй фазы на уровне современного эрозийного среза локализованы в ее юго-западной части и инъецируют брекчии северо-западной половины диатремы. Кимберлитовые породы третьей фазы формируют на юго-востоке трубки вытянутое в северо-западном направлении дайковидное тело размером 30 x 120 м. В 131 м на северо-восток от трубки Мир открыта трубка Спутник, размером в плане 140 x 90 м. По степени выветрелости и постмагматического изменения среди кимберлитовых пород трубки выделяется несколько разновидностей. Кимберлиты трубки Мир богаты ИМК и алмазами. Учитывая большой эрозийный срез верхних частей месторождения (по разным исследованиям – до 350–400 м), отдельные разности древних осадочных толщ верхнего палеозоя, мезозоя и современные отложения МКП содержат повышенные концентрации ИМК, а иногда и самих алмазов.

Заключение

Несмотря на индивидуальность различных геолого-поисковых обстановок, а также каждого кимберлитового тела, между ними существует много общего, что позволило создать обобщенную модель алмазонасной трубки ЯКП, в которой нашли отражение как переход вертикального канала диатремы в подводящую дайку, так и особенности взаимоотношения этих объектов с древними (девонскими) и более молодыми (пермо-триасовыми) траппами, т. е. проследить характер сопряженности системы тел: главная трубка – спутник – подводящая и дотрубочная дайки. На разведанную глубину трубок вмещающими ее породами являются терригенно-карбонатные образования нижнего

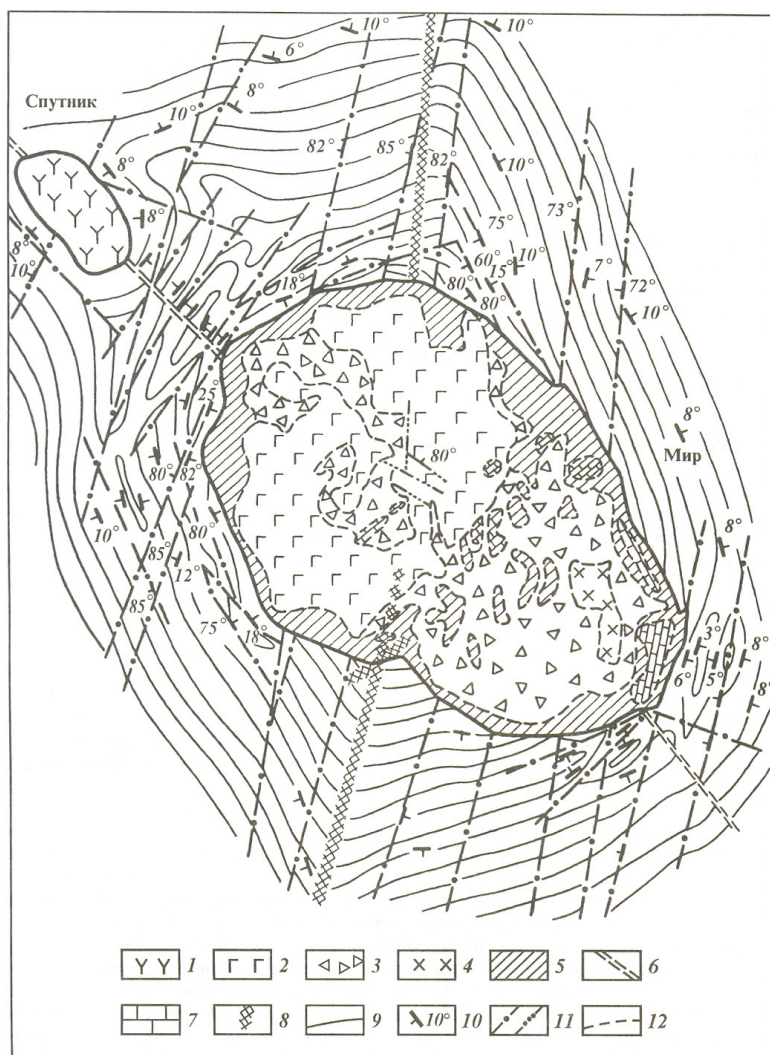


Рисунок 5. Геолого-структурная схема трубок Мир и Спутник [42]: 1 – трубка Спутник; 2–4 – трубка Мир, кимберлиты соответственно первой – третьей фаз внедрения; 5 – зона эндоконтакта; 6 – кимберлитовая дайка; 7 – ксенолиты осадочных пород; 8 – зона дробления с галенитовой и сфалеритовой минерализацией; 9 – вскрытые карьером пласты вмещающих карбонатных пород; 10 – элементы залегания осадочных пород и разрывных нарушений; 11 – разрывные нарушения; 12 – границы разновидностей кимберлитовых пород.
Figure 5. Geological and structural diagram of the Mir and Sputnik tubes [42]: 1 – Sputnik tube; 2–4 – Mir tube, kimberlites of the first and third intrusion phases, respectively; 5 – endocontact zone; 6 – kimberlite dike; 7 – xenoliths of sedimentary rocks; 8 – crushing zone with galenite and sphalerite mineralization; 9 – open-quarried layers of enclosing carbonaceous rocks; 10 – elements of sedimentary rocks and discontinuous faults; 11 – discontinuous faults; 12 – boundaries of kimberlite rock varieties.

силура, нижнего, среднего и верхнего кембрия, представленные известняками, доломитами, мергелями, алевролитами и промежуточными разностями этих пород. В южной части СП (МКП) в значительном объеме разреза вмещающих трубки пород развиты пласты и линзы каменной соли. Особенно высокое содержание последних установлено в нижнекембрийских отложениях на глубине 900–1200 м. Довольно часто встречаются также прослои и линзы гипса и ангидрита. В МБАР ряд кимберлитовых тел перекрыт нижнеюрскими осадочными толщами (песчаниками, алевролитами, слабо сцементированными гравийными и галечными образованиями), современная мощность которых колеблется от первых до 20 м. В отличие от этого, севернее СП в ДААР над частью кимберлитовых тел залегают терригенные пермско-каменноугольные образования мощностью от первых до 100 м и более, представляющие сложное

чередование алевролитов, песчаников, глинистых и углисто-глинистых сланцев, гравелитов и конгломератов. Верхнепалеозойский комплекс осадочных и вулканогенно-осадочных пород интродуцирован многочисленными пластовыми и секущими телами траппов. В диатремовых кимберлитовых структурах выделяются (сверху вниз): а) раструб, венчающийся у незродированных аппаратов кольцевым валом; б) вулканический (вертикальный) канал и в) корневая часть – подводный канал в виде дайкового тела. Каждая из этих частей кимберлитовых трубок сложена породами, имеющими определенные минералогические и текстурно-структурные особенности. Существенные закономерности в смене пород создают своеобразную вертикальную зональность коренных месторождений алмазов на каждой конкретной древней платформе. На СП ксенолиты кимберлитовых трубок делятся на четыре группы: а) осадочные породы платформенного чехла, являющиеся вмещающими для диатрем; б) изверженные – траппы, внедрившиеся в осадочный чехол до образования диатрем; в) метаморфические, слагающие фундамент платформы; г) глубинные, преимущественно мантийного происхождения. Содержание ИМК (пироп, пикроильменит и хромшпинелиды) на глубоких уровнях их залегания выше, чем в самых верхних частях, хотя в различных трубках оно неодинаково. В верхних частях диатрем наиболее полных разрезов для осадочно-вулканогенных пород характерны выделения вторичных минералов в виде крупных жил, жезд, гнезд и пр. В туфах и верхних горизонтах брекчий встречаются скопления крупных друз и прожилков кварца (в основном аметиста), кальцита и магнетита. Степень карбонатизации кимберлитов (как и в целом развития вторичных минералов) с глубиной существенно снижается. Существенное влияние на направленность и интенсивность

развития вторичной минерализации в кимберлитах региона имеет состав и характер вмещающих трубки пород. Приведенные краткие сведения по геологическому строению и вещественному составу кимберлитов и вмещающих их пород СП показывают сложность геолого-структурных обстановок, которые необходимо учитывать при проведении прогнозно-поисковых работ на алмазы. Нередко поиски кимберлитовых диатрем представляют собой сложную задачу, особенно в случае отсутствия на таких участках продуктов дезинтеграции этих пород, что снижает результативность применяемого ШММП. Существенно снижается и результативность геофизических методов поисков в случаях низкой намагниченности пород, слагающих диатремы, или перекрытия их мощными толщами магматических или осадочных пород. Надежным критерием при поисках таких диатрем может служить комплексное изучение

структурно-текстурных особенностей и вещественного состава пород как вмещающего субстрата, так и самих трубок и перекрывающих их отложений, особенно в случае образования в них алмазоносных россыпей. Особое внимание следует уделять диагностике и определению типоморфных особенностей как первичных, так и вторичных минералов кимберлитов, учитывая при этом, что основная часть последних малоустойчива в процессе их транспортировки в водной среде, но даже при существенном изменении указывает на близкие расстояния перемещения от областей размытия. Важнейшая поисковая информация получается при изучении типоморфных особенностей самих алмазов и их парагенетических ассоциаций, характерных для конкретных кимберлитовых полей и диатрем. Пределами конкретных алмазоносных районов ограничиваются обычно распространения отдельных ассоциаций минералов в древних и современных осадочных образованиях. Анализом распределения по площади и в разрезе типоморфных особенностей минералов и их парагенетических ассоциаций можно решать задачи определения источников их сноса в разновозрастные верхнепалеозойские и мезозойские отложения алмазо-перспективных территорий. Особо следует отметить полигенность минералогических ассоциаций алмазов из разновозрастных россыпей в пределах отдельных алмазоносных районов (особенно МБАР и СМАР) с широким проявлением россыпной алмазоносности, достигающих иногда промышленной концентрации. Локальный прогноз их коренных источников возможен при более крупномасштабных исследованиях с использованием электронной базы данных с геологической привязкой, с привлечением и анализом всех имеющихся литолого-минералогических материалов по этим территориям. Необходимо обращать внимание на возможность развития в отдельных геолого-поисковых обстановках в верхних горизонтах кимберлитовых диатрем продуктов древних КВ, существенно меняющих петрофизические свойства исходных пород, что сильно затрудняет их поиски с применением геофизических методов. На примере комплексного изучения диатрем НКП подчеркнута важность задач по совершенствованию методик прогнозирования и поисков немагнитных кимберлитовых диатрем, особенно перекрытых другими магматическими и осадочными породами. Наиболее уверенно и четко определять приуроченность отторженцев к материнским телам возможно на основании сопоставления их вещественного состава (петрологических и минералогических особенностей).

Литература

- Афанасьев, В.П. Минералогия древних россыпей алмазов восточного борта Тунгусской синеклизы / В.П. Афанасьев, Н.Н. Зинчук // Геология и геофизика. – 1987. – № 1. – С. 90–96.
- Афанасьев, В.П. Полигенез алмазов в связи с проблемой коренных россыпей северо-востока Сибирской платформы / В.П. Афанасьев, Н.Н. Зинчук, В.И. Коптиль // Доклады академии наук. – 1998. – Т. 361, № 3. – С. 366–369.
- Афанасьев, В.П. Особенности распределения россыпных алмазов, связанных с докембрийскими источниками // В.П. Афанасьев, Н.Н. Зинчук, А.Н. Логвинова // Записки Российского минералогического общества. – 2009. – Т. 138, № 2. – С. 1–13.
- Афанасьев, В.П. Особенности морфологии и состава некоторых хромшпинелидов алмазоносных площадей в связи с проблемой «ложных» индикаторов кимберлитов / В.П. Афанасьев, Н.П. Похиленко, А.М. Логвинова, Н.Н. Зинчук, Э.С. Ефимова [и др.] // Геология и геофизика. – 2000. – Т. 41, № 12. – С. 1729–1741.
- Зинчук, Н.Н. О зональности распространения коренных месторождений алмазов / Н.Н. Зинчук // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. Вып. 16. – Пермь: ПГНУ, – 2013. – С. 209–223.
- Зинчук, Н.Н. Опыт литолого-минералогических исследований древних осадочных толщ в связи с алмазописковыми работами (на примере Сибирской платформы) / Н.Н. Зинчук // Вестник Воронежского государственного университета. Геология. – 2014. – № 1. – С. 13–19.
- Зинчук, Н.Н. Особенности строения и состава коры выветривания на туфогенных образованиях в алмазоносных регионах Сибирской платформы / Н.Н. Зинчук // Бюллетень МОИП. Отдел геологический. – 2015. – Т. 90, № 4. – С. 42–52.
- Зинчук, Н.Н. Об основных геолого-поисковых обстановках при прогнозировании кимберлитовых трубок / Н.Н. Зинчук // Наука и образование. – 2016. – № 4 (84). – С. 7–15.
- Зинчук, Н.Н. Об особенностях и значении геолого-генетической типизации кимберлитового сырья / Н.Н. Зинчук // Геммология: материалы 8-й геммологической конференции. – Томск: Томский НЦТИ, 2017. – С. 48–60.
- Зинчук, Н.Н. Особенности алмазоносности разных фаз внедрения кимберлитов / Н.Н. Зинчук // Отечественная геология. – 2017. – № 1. – С. 105–111.
- Зинчук, Н.Н. Особенности минералов слюд в кимберлитах / Н.Н. Зинчук // Вестник Воронежского университета. Геология. – 2018. – № 2. – С. 29–39.
- Зинчук, Н.Н. Алмазы из кимберлитов Накынского поля Сибирской платформы / Н.Н. Зинчук // Геммология: материалы 9-й геммологической конференции. – Томск: Томский НЦТИ, 2019. – С. 69–78.
- Зинчук, Н.Н. Особенности алмазоносности разных типов кимберлитов / Н.Н. Зинчук // Геммология: материалы 9-й геммологической конференции. – Томск: Томский НЦТИ, 2019. – С. 78–93.
- Зинчук, Н.Н. Типоморфные свойства индикаторных минералов кимберлитов и их использование при прогнозировании месторождений алмаза на Сибирской платформе / Н.Н. Зинчук // Отечественная геология. – 2021. – № 2. – С. 41–56.
- Зинчук, Н.Н. Докембрийские источники алмазов в россыпях фанерозоя / Н.Н. Зинчук // Вестник Воронежского университета. Геология. – 2021. – № 3. – С. 50–61.
- Зинчук, Н.Н. Геологические исследования при поисках алмазных месторождений / Н.Н. Зинчук // Вестник Воронежского университета. Геология. – 2021. – № 4. – С. 35–52.
- Зинчук, Н.Н. Роль петролого-минералогических и геохимических исследований в оценке потенциальной

- алмазоносности кимберлитов / Н.Н. Зинчук // Отечественная геология. – 2022. – № 1. – С. 36–47.
18. Зинчук, Н.Н. Коры выветривания и их роль в формировании посткимберлитовых осадочных толщ / Н.Н. Зинчук // Руды и металлы. – 2022. – № 2. – С. 100–120.
19. Василенко, В.Б. Геодинамический контроль размещения кимберлитовых полей центральной и северной частей Якутской кимберлитовой провинции (петрохимический аспект) / В.Б. Василенко, Н.Н. Зинчук, Л.Г. Кузнецова // Вестник Воронежского государственного университета. Геология. – 2000. – № 3(9). – С. 37–55.
20. Горшков, А.И. Новый упорядоченный смешанослойный минерал лизардит-сапонит из кимберлитов Южной Африки / А.И. Горшков, Н.Н. Зинчук, Д.Д. Котельников, В.Г. Шлыков, А.П. Жухлисов [и др.] // Доклады РАН. – 2002. – Т. 382, № 3. – С. 374–378.
21. Егоров, К.Н. Перспективы коренной и россыпной алмазоносности Юго-Западной части Сибирской платформы / К.Н. Егоров, Н.Н. Зинчук, С.Г. Мишенин, В.П. Серов, А.П. Секерин [и др.] // Геологические аспекты минерально-сырьевой базы Акционерной компании «АЛРОСА»: современное состояние, перспективы, решения. Дополнительные материалы по итогам региональной науч.-практ. конференции «Актуальные проблемы геологической отрасли АК «АЛРОСА» и научно-методическое обеспечение их решений», посвященной 35-летию ЯНИГП ЦНИГРИ АК «АЛРОСА». – Мирный: МГТ, 2003. – С. 50–84.
22. Зинчук, Н.Н. Особенности состава и распределения слюдястых образований в кимберлитовых породах Якутии / Н.Н. Зинчук // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 1991. – № 7. – С. 58–66.
23. Зинчук, Н.Н. Влияние вторичных минералов на облик и состав кимберлитовых пород / Н.Н. Зинчук // Геология и геофизика. – 1998. – Т. 39, № 12. – С. 1704–1715.
24. Савко, А.Д. Эпохи мощного корообразования в истории Земли / А.Д. Савко, Л.Т. Шевырев, Н.Н. Зинчук. – Воронеж: ВГУ, 1999. – 102 с.
25. Зинчук, Н.Н. Кремнистые минералы в кимберлитах / Н.Н. Зинчук // Вестник Воронежского университета. Геология. – 2022. – № 4. – С. 38–52.
26. Зинчук, Н.Н. Особенности петрографического изучения кимберлитовых пород / Н.Н. Зинчук // Отечественная геология. – 2022. – № 4. – С. 34–49.
27. Зинчук, Н.Н. Об особенностях флюидных и гидротермальных включений в некоторых минералах кимберлитов / Н.Н. Зинчук // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. Вып. 26. – Пермь: ПГНУ, 2023. – С. 45–64.
28. Зинчук, Н.Н. О геохимических особенностях разновозрастных образований алмазоперспективных территорий / Н.Н. Зинчук // Отечественная геология. – 2023. – № 1. – С. 46–69.
29. Зинчук, Н.Н. О специфике изучения алмаза при прогнозно-поисковых работах (на примере Сибирской платформы) / Н.Н. Зинчук, Л.Д. Бардухинов // Руды и металлы. – 2021. – № 3. – С. 59–75.
30. Зинчук, Н.Н. Особенности минерогенеза алмаза в древних осадочных толщах (на примере верхнепалеозойских отложений Сибирской платформы) / Н.Н. Зинчук, Е.И. Борис, Ю.Б. Яныгин. – Москва: МГТ, 2004. – 172 с.
31. Зинчук, Н.Н. Стратегия ведения и результаты алмазописковых работ / Н.Н. Зинчук, В.М. Зуев, В.И. Коптиль, С.Д. Черный // Горный вестник. – 1997. – № 3. – С. 53–57.
32. Зинчук, Н.Н. Типоморфизм алмазов Сибирской платформы / Н.Н. Зинчук, В.И. Коптиль. – Москва: Недра, 2003. – 603 с.
33. Зинчук, Н.Н. Апокимберлитовые породы / Н.Н. Зинчук, Ю.М. Мельник, В.П. Серенко // Геология и геофизика. – 1987. – № 10. – С. 66–72.
34. Котельников, Д.Д. Типоморфные особенности и палеогеографическое значение слюдястых минералов / Д.Д. Котельников, Н.Н. Зинчук // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 1996. – № 1. – С. 53–61.
35. Котельников, Д.Д. Особенности глинистых минералов в отложениях различных осадочных формаций / Д.Д. Котельников, Н.Н. Зинчук // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 1997. – № 2. – С. 53–63.
36. Котельников, Д.Д. Условия накопления и постседиментационного преобразования глинистых минералов в отложениях терригенной формации / Д.Д. Котельников, Н.Н. Зинчук // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. – 2001. – Т. 76, № 1. – С. 45–53.
37. Котельников, Д.Д. Кристаллохимические и структурные особенности глинистых минералов в корях выветривания в зависимости от типа исходных пород / Д.Д. Котельников, Н.Н. Зинчук // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. – 2001. – Т. 76, № 3. – С. 69–79.
38. Котельников, Д.Д. Об аномалии общей схемы преобразования разбухающих глинистых минералов при погружении содержащих их отложений в стратисферу / Д.Д. Котельников, Н.Н. Зинчук // Вестник Воронежского государственного университета. Серия геология. – 2003. – № 2. – С. 57–68.
39. Котельников, Д.Д. Морфогенетические разновидности каолинита в корях выветривания и осадочном чехле земной коры. Статья 1. Механизм образования каолинита в корях выветривания различных петрохимических типов пород / Д.Д. Котельников, Н.Н. Зинчук, В.А. Кузьмин // Известия ВУЗов. Геология и разведка. – 2006. – № 5. – С. 19–25.
40. Мацюк, С.С. Оптическая спектроскопия минералов верхней мантии / С.С. Мацюк, Н.Н. Зинчук. – Москва: Недра, 2001. – 428 с.
41. Орлов, Ю.Л. Минералогия алмаза. 2-е изд. / Ю.Л. Орлов. – Москва: Наука, 1984. – 264 с.
42. Харьков, А.Д. Коренные месторождения алмазов Мира / А.Д. Харьков, Н.Н. Зинчук, А.И. Крючков. – Москва: Недра, 1998. – 555 с.
43. Харьков, А.Д. Петрохимия кимберлитов / А.Д. Харьков, В.В. Зуенко, Н.Н. Зинчук, А.И. Крючков, А.В. Уханов [и др.]. – Москва: Недра, 1991. – 304 с.
44. Хитров, В.Г. Применение кластер-анализа для выяснения закономерностей выветривания пород различного состава / В.Г. Хитров, Н.Н. Зинчук, Д.Д. Котельников // Доклады АН СССР. – 1987. – Т. 296, № 5. – С. 1228–1233.

45. Afanasyev, V.P. Diamond prospects in the south-western part of the Tungusk Syncline / V.P. Afanasyev, N.N. Zinchuk, V.L. Griffin [et al.] // *Geology of Ore Deposits*. – 2005. – Vol. 47. – № 1. – P. 45–62.
 46. Grachanov, S.A. The age of predictable primary diamond sources in the north-eastern Siberian platform / S.A. Grachanov, N.N. Zinchuk, N.V. Sobolev // *Doklady Earth Sciences*. – 2015. – Vol. 465. – № 2. – P. 1297–1301.
 47. Kotelnikov, D.D. Comparative analysis of clay mineral evolution under the conditions of humid and arid lithogenesis / D.D. Kotelnikov, N.N. Zinchuk // *Russian Geology and Geophysics*. – 2008. – № 10. – P. 121–144.
 48. Serov, I.V. Mantle sources of the kimberlite volcanism of the Siberian platform / I.V. Serov, V.K. Garanin, N.N. Zinchuk, A.Ya. Rotman // *Petrology*. – 2001. – Vol. 9. – № 6. – P. 576–588.
- References**
1. Afanasiev, V.P. Mineralogiya drevnih rossypej almazov vostochnogo borta Tungusskoj sineklizy [Mineralogy of ancient placers of diamonds on the eastern side the Tunguska Syncline / V.P. Afanasiev, N.N. Zinchuk // *Geologiya i geofizika* [Geology and Geophysics]. – 1987. – № 1. – P. 90–96.
 2. Afanasiev, V.P. Poligenez almazov v svyazi s problemoj korennyh rossypej severo-vostoka Sibirskoj platformy [Polygenesis of diamonds due to the problem of primary placers in the North-East of the Siberian platform] / V.P. Afanasiev, N.N. Zinchuk, V.I. Koptil // *Proceedings of the Russian Academy of Sciences*. – 1998. – Vol. 361. – № 3. – P. 366–369.
 3. Afanasiev, V.P. Osobennosti raspredeleniya rossypnyh almazov, svyazannyh s dokembrijskimi istochnikami [Distribution features of placer diamonds associated with the Precambrian sources] / V.P. Afanasiev, N.N. Zinchuk, A.M. Logvinova // *Notes of the Russian Mineralogical Society*. – 2009. – Vol. 138. – № 2. – P. 1–13.
 4. Afanasiev, V.P. Osobennosti morfologii i sostava nekotoryh hromshpinelidov almazonosnyh ploschadej v svyazi s problemoj “lozhnyh” indikatorov kimberlitov [Morphological and compositional features of some chromespinelides of diamondiferous areas in view of the problem of “false” kimberlite indicators] / V.P. Afanasiev, N.P. Pochilenko, A.M. Logvinova, N.N. Zinchuk, E.S. Efimova [et al.] // *Geologiya i geofizika* [Geology and Geophysics]. – 2000. – Vol. 41. – № 12. – P. 1729– 741.
 5. Zinchuk, N.N. O zonalnosti rasprostraneniya korennyh mestorozhdenij almazov [On the zonal distribution of primary diamond deposits] / N.N. Zinchuk // *Problems of Mineralogy, Petrography, and Metallogeny. Scientific Readings to the Memory of P.N. Chirvinsky. Issue 16*. – Perm: PGNU, 2013. – P. 209–223.
 6. Zinchuk, N.N. Opyt litologo-mineralogicheskikh issledovanij drevnih osadochnykh tolshch v svyazi s almazoposkovymi rabotami (na primere Sibirskoj platformy) [Experience of the lithological and mineralogical studies of ancient sedimentary strata in view of diamond prospecting activities in the Siberian platform] / N.N. Zinchuk // *Bulletin of the Voronezh State University. Geology*. – 2014. – № 1. – P. 13–19.
 7. Zinchuk, N.N. Osobennosti stroeniya i sostava kory vyvetrивaniya na tufogennykh obrazovaniyakh v almazonosnykh regionakh Sibirskoj platformy [Structure and composition of the weathered layer on tufogene formations in diamondiferous areas of the Siberian platform] / N.N. Zinchuk // *Bulletin MOIP. Geology*. – 2015. – Vol. 90. – № 4. – P. 42–52.
 8. Zinchuk, N.N. Ob osnovnykh geologo-poiskovykh obstanovkakh pri prognozirovanii kimberlitovykh trubok [About the main geological-prospecting conditions in the forecasting of kimberlite pipes] / N.N. Zinchuk // *Nauka i obrazovanie* [Science and Education]. – 2016. – № 4 (84). – P. 7–15.
 9. Zinchuk, N.N. Ob osobennostyakh i znachenii geologo-geneticheskoy tipizacii kimberlitovogo syr'ya [On the specificity and significance of geological and genetical classification of kimberlite raw] / N.N. Zinchuk // *Gemology. Materials of the 8-th Gemological Conference*. – Tomsk: Tomsk NTsTI. – 2017. – P. 48–60.
 10. Zinchuk, N.N. Osobennosti almazonosnosti raznykh faz vnedreniya kimberlitov [Diamond content at different phases of kimberlite intrusion] / N.N. Zinchuk // *Otechestvennaya geologiya* [Domestic Geology]. – 2017. – № 1. – P. 105–111.
 11. Zinchuk, N.N. Osobennosti mineralov slyud v kimberlitakh [Characteristics of mica minerals in kimberlites] / N.N. Zinchuk // *Bulletin of the Voronezh State University. Geology*. – 2018. – № 2. – P. 29–39.
 12. Zinchuk, N.N. Almazy iz kimberlitov Nakynskogo polya Sibirskoj platformy [Diamonds from kimberlites of the Nakyn field of the Siberian platform] / N.N. Zinchuk // *Gemology. Materials of the 9-th Gemological Conference*. – Tomsk: Tomsk NTsTI. – 2019. – P. 69–78.
 13. Zinchuk, N.N. Osobennosti almazonosnosti raznykh tipov kimberlitov [Diamond content in different-type kimberlites] / N.N. Zinchuk // *Gemology. Materials of the 9-th Gemological Conference*. – Tomsk: Tomsk NTsTI. – 2019. – P. 78–93.
 14. Zinchuk, N.N. Tipomorfnye svoystva indikatornykh mineralov kimberlitov i ih ispolzovanie pri prognozirovanii mestorozhdenij almaza na Sibirskoj platforme [Typomorphic properties of indicative kimberlite minerals and their use in forecasting diamond deposits in the Siberian platform] / N.N. Zinchuk // *Otechestvennaya geologiya* [Domestic Geology]. – 2021. – № 2. – P. 41–56.
 15. Zinchuk, N.N. Dokembrijskie istochniki almazov v rossypnykh fanerozojakh [Precambrian sources of diamonds in the Phanerozoic placers] / N.N. Zinchuk // *Bulletin of the Voronezh State University. Geology*. – 2021. – № 3. – P. 50–61.
 16. Zinchuk, N.N. Geologicheskie issledovaniya pri poiskakh almaznykh mestorozhdenij [Geological studies and searching for diamond deposits] / N.N. Zinchuk // *Bulletin of the Voronezh State University. Geology*. – 2021. – № 4. – P. 35–52.
 17. Zinchuk, N.N. Rol petrologo-mineralogicheskikh i geokhimicheskikh issledovanij v ocenke potentsialnoj almazonosnosti kimberlitov [The role of petrological-mineralogical and geochemical studies in estimating the

- potential diamond content of kimberlites] / N.N. Zinchuk // *Otechestvennaya geologiya* [Domestic Geology]. – 2022. – № 1. – P. 36–47.
18. Zinchuk, N.N. Kory vyvetrivaniya i ih rol v formirovani postkimberlitovykh osadochnykh tolshch [Weathering crusts and their role in information of post-kimberlite sedimentary strata] / N.N. Zinchuk // *Rudy i metally* [Ores and Metals]. – 2022. – № 2. – P. 100–120.
 19. Vasilenko, V.B. Geodinamicheskij kontrol razmeshcheniya kimberlitovykh polej centralnoj i severnoj chastej Yakutskoj kimberlitovoj provincii (petrohimicheskij aspekt) [Geodynamic control of kimberlite fields' distribution through the central and northern part of the Yakut kimberlite province (petrochemical aspect)] / V.B. Vasilenko, N.N. Zinchuk, L.G. Kuznetsova // *Bulletin of the Voronezh State University. Geology*. – 2000. – № 3 (9). – P. 37–55.
 20. Gorshkov, A.I. Novyj uporyadochennyj smeshanoslojnyj mineral lizardit-saponit iz kimberlitov Yuzhnoj Afriki [New ordered-structure mixed-layered mineral lizardite-saponite from kimberlites of South Africa] / A.I. Gorshkov, N.N. Zinchuk, D.D. Kotelnikov, V.G. Shlykov, A.P. Zhukhlistov [et al.] // *Proceedings of the Russian Academy of Sciences*. – 2002. – Vol. 382. – № 3. – P. 374–378.
 21. Egorov, K.N. Perspektivy korennoj i rossypnoj almazonosnosti Yugo-Zapadnoj chasti Sibirskoj platformy [Perspectives of primary and placer diamond content in the south-western part of the Siberian platform] / K.N. Egorov, N.N. Zinchuk, S.G. Mishenin, V.P. Serov, A.P. Sekerin [et al.] // *Geological aspects of the mineral resource base of the Joint Stock Company "ALROSA": current state, prospects, solution. Additional materials to the results of the regional scientific-practical conference "Actual problems of the geological issue of the JSC "ALROSA" and the scientific-methodological support of their solutions" dedicated to the 35-th anniversary of YaNIGP TsNIGRI JSC "ALROSA"*. – Mirny: MGT. – 2003. – P. 50–84.
 22. Zinchuk, N.N. Osobennosti sostava i raspredeleniya slyudistykh obrazovanij v kimberlitovykh porodah Yakutii [Composition and distribution of micaceous formations in kimberlite rocks of Yakutia] / N.N. Zinchuk // *News of the Higher Educational Institutions. Geology and Exploration*. – 1991. – № 7. – P. 58–66.
 23. Zinchuk, N.N. Vliyanie vtorichnykh mineralov na oblik i sostav kimberlitovykh porod [Influence of secondary minerals on the appearance and composition of kimberlite rocks] / N.N. Zinchuk // *Geologiya i geofizika* [Geology and Geophysics]. – 1998. – Vol. 39. – № 12. – P. 1704–1715.
 24. Savko, A.D. Epohi moshchnogo koroobrazovaniya v istorii Zemli [Epochs of heavy crust formation in the Earth's history] / A.D. Savko, L.D. Sheverev, N.N. Zinchuk. – Voronezh: Voronezh State University, 1999. – 102 p.
 25. Zinchuk, N.N. Kremnistye mineraly v kimberlitah [Siliceous minerals in kimberlites] / N.N. Zinchuk // *Bulletin of the Voronezh State University. Geology*. – 2022. – № 4. – P. 38–52.
 26. Zinchuk, N.N. Osobennosti petrograficheskogo izucheniya kimberlitovykh porod [Petrographic research of kimberlite rocks] / N.N. Zinchuk // *Otechestvennaya geologiya* [Domestic Geology]. – 2022. – № 4. – P. 34–49.
 27. Zinchuk, N.N. Ob osobennostyakh flyuidnykh i gidrotermalnykh vkluchenij v nekotorykh mineralah kimberlitov [About fluid and hydrothermal inclusions in some kimberlite minerals] / N.N. Zinchuk // *Problems of Mineralogy, Petrography, and Metallogeny. Scientific Readings to the Memory of P.N. Chirvinsky. Issue 26*. – Perm: PGNU, 2023. – P. 45–64.
 28. Zinchuk, N.N. O geohimicheskikh osobennostyakh raznovozrastnykh obrazovanij almazoperspektivnykh territorij [Geochemical characteristics of different-aged formations in diamond-promising areas] / N.N. Zinchuk // *Otechestvennaya geologiya* [Domestic Geology]. – 2023. – № 1. – P. 46–69.
 29. Zinchuk, N.N. O specifikе izucheniya almaza pri prognoznno-poiskovykh rabotah (na primere Sibirskoj platformy) [Diamond research specificity during forecasting and prospecting (on sample of the Siberian platform)] / N.N. Zinchuk, L.D. Bardukhinov // *Rudy i metally* [Ores and Metals]. – 2021. – № 3. – P. 59–75.
 30. Zinchuk, N.N. Osobennosti mineragenii almaza v drevnih osadochnykh tolshchah (na primere verhnepaleozojskikh otlozhenij Sibirskoj platformy) [Diamond minerageny in ancient sedimentary strata (on example of the Upper Paleozoic sediments of the Siberian platform)] / N.N. Zinchuk, E.I. Boris, Yu.B. Yanygin. – Moscow: MGT, 2004. – 172 p.
 31. Zinchuk, N.N. Strategiya vedeniya i rezultaty almazoposkovykh rabot [Development strategy and results of diamond prospecting works] / N.N. Zinchuk, V.M. Zuev, V.I. Koptil, S.D. Cherny // *Gorniy vestnik* [Mountain Tributary]. – 1997. – № 3. – P. 53–57.
 32. Zinchuk, N.N. Tipomorfizm almazov Sibirskoj platformy [Typomorphism of diamonds in the Siberian platform] / N.N. Zinchuk, V.I. Koptil. – Moscow: Nedra. – 2003. – 603 p.
 33. Zinchuk, N.N. Apokimberlitovye породы [Apokimberlite rocks] / N.N. Zinchuk, Yu.M. Melnik, V.P. Serenko // *Geologia i geofizika* [Geology and Geophysics]. – 1987. – № 10. – P. 66–72.
 34. Kotelnikov, D.D. Tipomorfnye osobennosti i paleogeograficheskoe znachenie slyudistykh mineralov [Typomorphic features and paleogeographic significance of mica minerals] / D.D. Kotelnikov, N.N. Zinchuk // *News of the Higher Educational Institutions. Geology and Exploration*. – 1996. – № 1. – P. 53–61.
 35. Kotelnikov, D.D. Osobennosti glinistykh mineralov v otlozheniyah razlichnykh osadochnykh formacij [Clay minerals in sediments of various sedimentary formations] / D.D. Kotelnikov, N.N. Zinchuk // *News of the Higher Educational Institutions. Geology and Exploration*. – 1997. – № 2. – P. 53–63.
 36. Kotelnikov, D.D. Usloviya nakopleniya i postsedimentacionnogo preobrazovaniya glinistykh mineralov v otlozheniyah terrigennoj formacii [Conditions of accumulation and post-sedimentation transformation of clay minerals in sediments of terrigenous formation] / D.D. Kotelnikov, N.N. Zinchuk // *Bulletin MOIP. Geology*. – 2001. – Vol. 76. – № 1. – P. 45–53.
 37. Kotelnikov, D.D. Kristallohimicheskie i strukturnye osobennosti glinistykh mineralov v korah vyvetrivaniya v zavisimosti ot tipa iskhodnykh porod [Crystal-chemical and

- structural parameters of clay minerals in weathering crusts relatively to the type of source rocks] / D.D. Kotelnikov, N.N. Zinchuk // Bulletin MOIP. Geology. – 2001. – Vol. 76. – № 3. – P. 69–79.
38. Kotelnikov, D.D. Ob anomalii obshchej skhemy preobrazovaniya razbuhayushchih glinistyh mineralov pri pogruzhении soderzhashchih ih otlozhenij v stratisferu [On the anomaly of the general transformation scheme of heaving clay minerals when enclosing them sediments get into the stratisphere] // Bulletin of the Voronezh State University. Geology. – 2003. – № 2. – P. 57–68.
39. Kotelnikov, D.D. Morfogeneticheskie raznovidnosti kaolinita v korah vyvetrивaniya i osadochnom chekhle zemnoj kory. Statya 1. Mekhanizm obrazovaniya kaolinita v korah vyvetrивaniya razlichnyh petrohimicheskikh tipov porod [Morphogenetic kaolinite varieties in weathering crusts and sedimentary cover of the Earth's crust. Paper 1. Kaolinite formation mechanism in weathering crusts of various petrochemical rock types] / D.D. Kotelnikov, N.N. Zinchuk, V.A. Kuzmin // News of the Higher Educational Institutions. Geology and Exploration. – 2006. – № 5. – P. 19–25.
40. Matsyuk, S.S. Opticheskaya spektroskopiya mineralov verhnjej mantii [Optical spectroscopy of upper mantle minerals] / S.S. Matsyuk, N.N. Zinchuk. – Moscow: Nedra, 2001. – 428 p.
41. Orlov, Yu.L. Mineralogiya almaza [Diamond mineralogy] / Yu.L. Orlov. – Moscow: Nauka, 1984. – 264 p.
42. Khar'kiv, A.D. Korennye mestorozhdeniya almazov mira [Primary deposits of the world's diamonds] / A.D. Khar'kiv, N.N. Zinchuk, A.I. Kryuchkov. – Moscow: Nedra, 1998. – 555 p.
43. Khar'kiv, A.D. Petrohimiya kimberlitov [Petrochemistry of kimberlites] / A.D. Khar'kiv, V.V. Zuenko, N.N. Zinchuk, A.I. Kryuchkov, A.V. Ukhonov [et al.]. – Moscow: Nedra, 1991. – 304 p.
44. Khitrov, V.G. Primenenie klaster-analiza dlya vyyasneniya zakonomernostej vyvetrивaniya porod razlichnogo sostava [Application of the cluster-analysis for understanding the weathering mechanisms of rocks with different composition] / V.G. Khitrov, N.N. Zinchuk, D.D. Kotelnikov // Proceedings of the Academy of Sciences of the USSR. – 1987. – Vol. 296. – № 5. – P. 1228–1233.
45. Afanasyev, V.P. Diamond prospects in the south-western part of the Tungusk Syncline / V.P. Afanasyev, N.N. Zinchuk, V.L. Griffin [et al.] // Geology of Ore Deposits. – 2005. – Vol. 47. – № 1. – P. 45–62.
46. Grachanov, S.A. The age of predictable primary diamond sources in the north-eastern Siberian platform / S.A. Grachanov, N.N. Zinchuk, N.V. Sobolev // Doklady Earth Sciences. – 2015. – Vol. 465. – № 2. – P. 1297–1301.
47. Kotelnikov, D.D. Comparative analysis of clay mineral evolution under the conditions of humid and arid lithogenesis / D.D. Kotelnikov, N.N. Zinchuk // Russian Geology and Geophysics. – 2008. – № 10. – P. 121–144.
48. Serov, I.V. Mantle sources of the kimberlite volcanism of the Siberian platform / I.V. Serov, V.K. Garanin, N.N. Zinchuk, A.Ya. Rotman // Petrology. – 2001. – Vol. 9. – № 6. – P. 576–588.

Информация об авторе:

Зинчук Николай Николаевич – доктор геолого-минералогических наук, профессор, академик АН РС (Я), председатель Западно-Якутского научного центра Академии наук Республики Саха (Якутия) (Российская Федерация, 678170, Республика Саха (Якутия), г. Мирный, ул. Ленина, д. 4/1; e-mail: nnzinchuk@rambler.ru).

About the author:

Nikolay N. Zinchuk – Doctor of Sciences (Geology and Mineralogy), Professor, Academician of the Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia), Honored Scientist of the Republic of Sakha (Yakutia), Honored Geologist of the Russian Federation, Head of the West-Yakut Science Center of the Academy of Sciences RS (Y) (West-Yakut Science Center of the Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia), 4/1 Lenin St., Mirny, Republic of Sakha (Yakutia), 678170; e-mail: nnzinchuk@rambler.ru).

Для цитирования:

Зинчук, Н.Н. О геолого-поисковых типах кимберлитовых трубок / Н.Н. Зинчук // Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия «Науки о Земле». – 2023. – № 2 (60). – С. 43–56.

For citation:

Zinchuk, N.N. O geologo-poiskovyh tipah kimberlitovyh trubok [On the geological-prospecting types of kimberlite pipes] / N.N. Zinchuk // Proceedings of the Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Series "Earth Sciences". – 2023. – № 2 (60). – P. 43–56.

Дата поступления статьи: 27.04.2023

Прошла рецензирование: 03.05.2023

Принято решение о публикации: 11.05.2023

Received: 27.04.2023

Reviewed: 03.05.2023

Accepted: 11.05.2023

Плейстоценовый морж на реке Печоре: минералого-геохимические данные и палеоэкологические реконструкции

В.И. Силаев¹, И.В. Смолева¹, В.Н. Филиппов¹,
С.Н. Шанина¹, А.Ф. Хазов¹, Б.А. Макеев¹,
Д.В. Киселева², А.К. Фокина², Й. ван дер Плихт³

¹ Институт геологии имени академика Н.П. Юшкина
ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
г. Сыктывкар

² Институт геологии и геохимии
имени академика А.Н. Заварицкого УрО РАН,
г. Екатеринбург

³ Гронингский университет,
г. Гронинген, Нидерланды
silae@geo.komisc.ru

Аннотация

Исследованы фрагменты левого бивня плейстоценового моржа, ископаемые остатки которого были обнаружены в 2009 г. на берегу р. Печоры. Проанализированы гранулометрический, химический и нормативно-минеральный составы вмещающих кости грунтов; термические свойства, химический и микроэлементный составы бивня; рентгено-структурные параметры и химический составы костного биоапатита; макростроение, элементный и аминокислотный составы костного органического вещества; изотопный состав углерода, кислорода в биоапатите и углерода, азота – в костном коллагене. Для биоапатита установлен умеренно изотопно-легкий углерод, свойственный внепещерным ископаемым костям плейстоценовых животных, и изотопно-тяжелый кислород, типичный для гидрокарбоната морской воды. Изотопные данные для органического вещества печорского моржа коррелируются с аналогичными характеристиками морских животных, но при этом указывают не на моллюсковую диету, свойственную современным моржам, а на рыбную. Последнее свидетельствует о необычной для морских хищников среде обитания печорского моржа и необычном рационе его питания.

Ключевые слова:

морж, р. Печора, бивень, минералого-геохимические и изотопно-геохимические свойства

Введение

В 2009 г. на бечевнике на правом берегу р. Печоры (N65°25.750' E52°23.852'), примерно в 2 км выше дер. Гаревое Усть-Цилемского района Республики Коми (рис. 1), местный житель А.А. Глухенький нашел крупный костный фрагмент, который он передал в Геологический музей им. А.А. Чернова

Pleistocene walrus on the Pechora River: mineralogical and geochemical data and paleoecological reconstructions

V.I. Silaev¹, I.V. Smoleva¹, V.N. Filippov¹,
S.N. Shanina¹, A.F. Khazov¹, B.A. Makeev¹,
D.V. Kiseleva², A.K. Fokina², J. van der Plicht³

¹Institute of Geology named after academician N.P. Yushkin,
Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar

²Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of the
Russian Academy of Sciences,
Ekaterinburg

³University of Groningen,
Groningen, the Netherlands
silae@geo.komisc.ru

Abstract

Left tusk's fragments of the Pleistocene walrus were studied. Its fossil remains were found on the bank of the Pechora River in 2009. The analyses covered granulometric, chemical and normative-mineral composition of grounds inside the bones; thermal properties, chemical and microelemental composition of the tusk; X-ray diffraction parameters and chemical composition of bone bioapatite; macrostructure, elemental and amino acid composition of bone organic matter; isotopic composition of carbon, oxygen in bioapatite and carbon, nitrogen in bone collagen. Bioapatite was identified for moderately isotopically light carbon, characteristic of extracave fossil bones of the Pleistocene animals, and isotopically heavy oxygen, typical of seawater bicarbonate. The isotopic data for the organic matter of the Pechora walrus correlated with the similar characteristics of marine animals but simultaneously indicated not a mollusk diet, typical of modern walruses, but a fish diet. The latter fact evidenced the habitat and the diet of the Pechora walrus being untypical for marine predators.

Keywords:

walrus, the Pechora River, tusk, mineralogical-geochemical and isotope-geochemical properties

Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (инвентарный номер 548/317).

Обнаруженный фрагмент является частью роstralного отдела черепа моржа *Odobenus rosmarus* Linnaeus, 1758 (рис. 2, а, б), включающей верхнечелюстные кости со



Рисунок 1. Место находки костного фрагмента на реке Печоре.
Figure 1. Location area of the bone fragment's finding on the Pechora River.

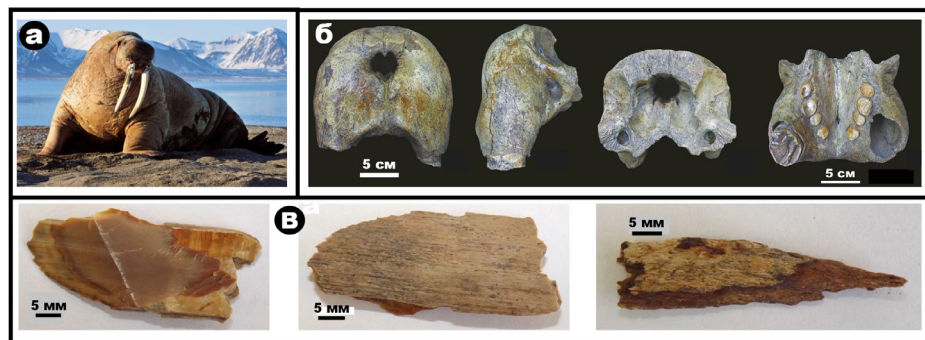


Рисунок 2. Внешний вид современного моржа (а), лицевой отдел черепа найденного на р. Печоре ископаемого моржа атлантического подвида (б) и фрагменты левого бивня, послужившие объектом исследований (в).
Figure 2. The modern walrus specimen (a), the facial skull of fossil walrus of the Atlantic subspecies found on the Pechora River (b), and left tusk's fragments under study (v).

скуловыми отростками, а также предчелюстные и носовые кости. Альвеола правого клыка (бивня) частично разрушена в дистальной части. Левый бивень (C1) обломан, оставшаяся часть коронки составляет, мм: по высоте – 20, по ширине – 37, по толщине – 52. Из постоянных зубов присутствуют по одному резцу (I3) и по три премоляра (Pm1–Pm3) с каждой стороны. Жевательные зубы характеризуются хорошо выраженными поверхностями стирания. По данным сравнительного морфологического исследования, проведенного Н.В. Крюковой (Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва), поверхность стачивания функциональных зубов (I3 Pm1 Pm2 Pm3) и их высота над десной соответствуют типу моржей с традиционным питанием, где основной пищей является бентос. Сравнение найденного образца с черепами современных моржей известного возраста показывает, что находка отвечает половозрелому животному атлантического подвида в возрасте 13–14 лет.

В Центре изотопных исследований Гронингского университета (г. Гронинген, Нидерланды) была сделана УМС радиоуглеродная датировка (GrA 66467), показавшая

запредельный для ^{14}C -метода возраст – более 45 тыс. лет.

Следует отметить, что это не единственная находка морского млекопитающего на р. Печоре. Б.И. Гуслицером в 1973 и 1981 гг. упоминались находки здесь в отложениях верхнего плейстоцена кости нерпы (определение И.Е. Кузьминой и Н.К. Верещагиной). Известен также случай захода в этот район белого медведя, сильно истощенную особь которого местные жители добыли в 1980-е гг. у дер. Мыла, расположенной в 65 км к западу от дер. Гарёво.

В целом хорошая сохранность кости, отсутствие на ней следов окатанности и обработки человеком, а также то, что фрагмент черепа слишком крупный и тяжелый для дальнего переноса рекой к месту находки свидетельствуют, вероятно, о его местном захоронении. Исходя из имеющихся на настоящий момент геологических и геохронометрических данных, можно предположить, что появление моржа в районе широтного отрезка р. Печоры в 270 км по прямой от Печорского моря и в 400 км от устья р. Печоры произошло во времена или родионовского (стадия MIS 7, пик 243 тыс. л. н.), или микулинского (подстадия MIS 5e, пик 123 тыс. л. н.) интерстадиалов. На последний из них приходится сулинская бореальная трансгрессия.

Основная часть сводно-го разреза четвертичных отложений в районе находки костных остатков печорского моржа состоит из трех горизонтов морен: одного нижне-неоплейстоценового (?) и двух среднеоплейстоценовых – печорского (MIS 8) и вычегодского (MIS 6) с разделяющими их песчаными и глинистыми осадками, предположительно, родионовского возраста. Верхняя часть разреза представлена осадками, относи-

мыми к отложениям ранне-средневалдайского подпрудного озера и покровному комплексу, сформировавшемуся, скорее всего, во время последнего ледникового максимума. Хотя ближайшие разрезы с отложениями морской бореальной трансгрессии расположены на удалении 150–200 км от места находки моржа, мы предполагаем, что эта находка связана именно с сулинской бореальной трансгрессией, случившейся 130–115 тыс. л. н. (рис. 3).

Во внутренней полости бивня ископаемого моржа был обнаружен терригенный материал, имеющий, вероятно, отношение к вмещающим ископаемого моржа грунтам. По гранулометрическому составу этот материал – гравийно-песчаный, несортированный, с практически полным набором песчаных фракций (табл. 1). В их составе рентгенофазовым анализом установлены кварц, альбит, мусковитоподобная слюда, хлориты, кальцит и апатит (рис. 4). Последний, судя по уширенности соответствующих рентгеновских пиков, обусловлен мелким детритом костного материала самого печорского моржа. По пропорциям между нормативными содержаниями кварца+альбита, слюды и хлоритов грунты отвечают хлорит-слюдистым супесям,

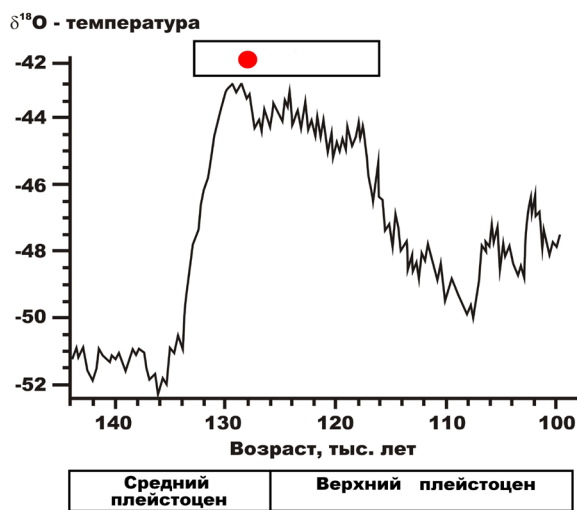


Рисунок 3. Положение костных остатков печорского моржа на шкале времени AICC2012 – показано точкой в рамке интервала микулинского межледниковья и сулинской бореальной морской трансгрессии.
Figure 3. The position of the Pechora walrus bone remains on the AICC2012 time scale. It is marked by a dot in the interval frame of the Mikulin interglacial and the Sulina boreal marine transgression.

Гранулометрический и нормативно-минеральный составы грунтов, обнаруженных во внутренней части бивня

Granulometric and normative-mineral composition of grounds found in the inner part of the tusk

Гранулометрические фракции	Содержание, мас. %	Нормативно-минеральный состав, мол. %					
		Кварц	Альбит	Слюда	Хлорит	Апатит	Гетит
Гравий (+2 мм)	38.81	36.37	6.53	29.24	22.76	3.82	1.28
Песок гр/з (-2+1 мм)	18.46	25.02	13.0	26.25	27.82	3.96	3.95
Песок кр/з (-1+0.5 мм)	23.49	24.0	8.77	27.82	32.18	7.23	0
Песок ср/з (-0.5+0.25 мм)	18.46						
Песок м-т/з (-0.25+ 0.01 мм)	0.78						

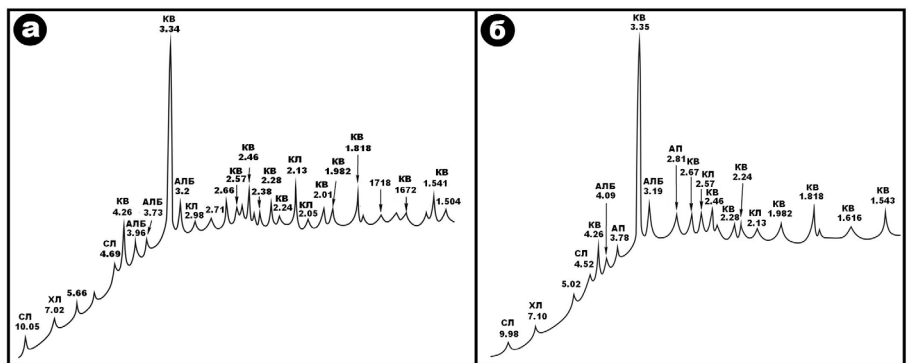


Рисунок 4. Рентгенофазовый состав вмещающих грунтов, извлеченных из бивня ископаемого моржа. Минералы: Кв – кварц, АЛБ – альбит, СЛ – слюда, ХЛ – хлорит, КЛ – кальцит, АП – апатит.
Figure 4. X-ray phase composition of grounds extracted from the tusk of fossil walrus. Minerals: KB – quartz, АЛБ – albite, СЛ – mica, ХЛ – chlorite, КЛ – calcite, АП – apatite.

соответствуя не тиллам, а, скорее, терригенным морским или аллювиальным осадкам Русской плиты.

Материалы и методы

Предметом непосредственного исследования послужили небольшие фрагменты левого бивня (рис. 2, в). В ходе работы использован широкий комплекс современных минералогических методов, хорошо себя зарекомен-

довавших в приложении ко многим палеонтологическим объектам [1–5]: оптическая микроскопия (компьютеризированный комплекс OLYMPUS BX51); термический анализ (DTG-60A/60 АН, Shimadzu); определение содержания С_{орг} методом кулонометрического титрования; рентгенофлуоресцентный анализ (XRD-1800 Shimadzu); рентгеновская дифрактометрия (XRD-6000); аналитическая растровая электронная микроскопия (JSM-6400 Jeol; Tescan Vega); газовая хроматография – анализ элементного состава коллагена (EA 1110 (CHNS-0)); газовая хроматография – анализ состава аминокислот в органическом веществе (GC-17A Shimadzu с пламенно-ионизационным детектором); масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (NexION 300S Perkin Elmer); масс-спектрометрический анализ изотопного состава С, О в биоапатите и С, N в костном коллагене (Delta V. Avantage с аналитическим комплексом Thermo Fisher Scientific).

Результаты и их обсуждение

Исследованные фрагменты бивня характеризуются относительной прочностью и буроватым цветом. Валовый химический состав (мас. %): SiO₂ – 2.55; Al₂O₃ – 0.96; Fe₂O₃ – 3.81; MnO – 0.9; MgO – 0.81; CaO – 58.71; SrO – 0.30; Na₂O – 0.87; K₂O – 0.14; P₂O₅ – 29.69; SO₃ – 1.26. Около 12 мас. % здесь составляют иллювиированные в кость минеральные примеси, обусловленные средой захоронения. Пересчеты приводят к следующему фазовому составу и нормативному содержанию минеральных примесей (мол. %): кварц – 0.99; альбит – 0.52; слюда – 1.29; хлориты – 2.49; пирит – 1.45; гетит – 3.21. Из приведенных данных следует, что иллювиированная примесь в исследованной кости, по сравнению с вмещающими ее супесями отличается гораздо более глинистым (слюдисто-хлоритовым) составом. Кроме того, кость обогащена бактериогенным пиритом и гетитом – продуктом гидролиза пирита.

В составе исследованного бивня обнаружены 46 микроэлементов, общее содержание которых превышает 3 мас. % (табл. 2). По этому показателю бивень превосходит практически все исследованные нами ископаемые кости плейстоценовых животных (рис. 5), что подтверждает относительную древность печорского моржа. В состав микроэлементов, находящихся в бивне, входят девять эссенциальных (жизненно-необходимых), 18 физиогенно-активных (разного происхождения) и 19 абиогенных (элементы, обусловленные фоссилизацией). От-

Содержание микроэлементов, г/т
Content of trace elements, ppm

Таблица 2
Table 2

№ п/п	Элементы	Содержание, г/т
1	Li	0.938
2	Zn	75.113
3	As	30.049
4	Se	1.477
5	Rb	0.126
6	Mo	2.832
7	Ag	0.064
8	Pb	0.78
9	Th	0.014
Сумма эссенциальных (Э)		111.393
10	Ti	6.462
11	V	1.659
12	Cr	0.815
13	Mn	1843.093
14	Fe	26 700
15	Co	55.26
16	Ni	59.145
17	Cu	0.915
18	Ga	0.565
19	Sr	811.23
20	Y	0.051
21	Zr	1.698
22	Sn	0.037
23	Sb	0.035
24	Cs	0.009
25	Ba	717.244
26	Hf	0.045
27	U	1.942
Сумма физиогенно-активных (ФА)		30 200.21
28	B	6.411
29	Nb	0.064
30	Te	0.02
31	La	0.067
32	Ce	0.112
33	Pr	0.013
34	Nd	0.057
35	Sm	0.011
36	Eu	0.091
37	Gd	0.014
38	Tb	0.003
39	Di	0.002
40	Ho	0.002
41	Er	0.005
42	Tm	0.002
43	Yb	0.014
44	Lu	0.001
45	W	0.116
46	Tl	0.01
Сумма антибионтов (АБ)		7.015
Общее содержание		30 318.61
Э/АБ Е/АБ		15.88
Zn/Cu		82.09

ношение эссенциальных элементов к абиогенным (Э/АБ), отражающее степень фоссилизации ископаемых костей, в рассматриваемом случае не достигает 16, что демонстрирует редкий для ископаемых костей дефицит ксеногенных элементов-примесей. Отношение эссенциального цинка к преимущественно абиогенной меди превышает 82, отражая тот же феномен дефицита элементов-антибионтов. Таким образом, оба микроэлементных отношения в бивне печорского моржа указывают на удивительно хорошую сохранность кости, несмотря на ее относительно большую древность.

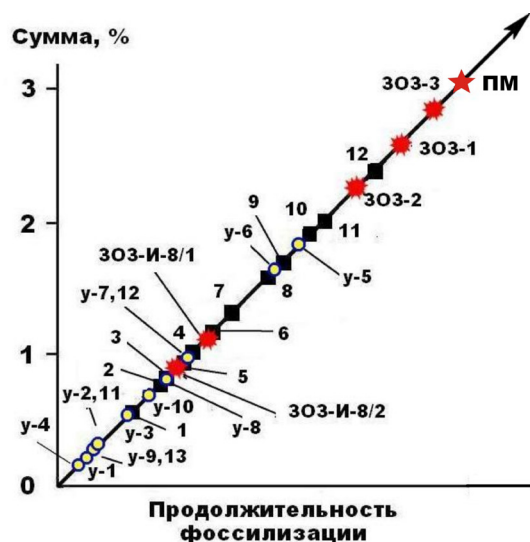


Рисунок 5. Суммарное содержание микроэлементов в бивне ископаемого моржа – ПМ; в сравнении с костным детритом лошадей со стоянки Заозерной – 303 [4], мамонтовой фауны из Печорского Приуралья – 1–12 [5], плейстоценовых млекопитающих со стоянки Ушбулак в Казахстане – У-1–13 [1].

Figure 5. The total content of trace elements in the tusk of fossil walrus – ПМ – compared with bone detritus of horses from the Zaozernaya site – 303 [4], mammoth fauna from the Pechora Cis-Urals, 1–12 [5], fossil bones of Pleistocene mammals from the Ushbulak site in Kazakhstan – y-1–13 [1].

Биоапатит

Биоапатит в бивне печорского моржа характеризуется типичной рентгеновской дифрактограммой, в которой сильно преобладает несколько уширенный и слабо расщепленный пик основного отражения (рис. 6). Упомянутые выше минеральные примеси проявились на рентгенограмме незначительно. Величина рентгеновского индекса кристалличности биоапатита, оцененная по отношению интенсивностей отражений I_{300}/I_{121} , составила для исследуемого бивня 0.06, что достаточно низко для столь древних ископаемых костей скелета, не говоря уже о биоапатите в зубах млекопитающих, в котором индекс кристалличности варьируется в диапазоне 0.35–0.5.

По составу биоапатит в исследуемом бивне является фоссилизационно-измененным как в катионной, так и анионной подрешетках (табл. 3). В качестве наиболее существенных эпигенетических примесей к кальцию выступают железо и марганец, фосфор частично замещен серой и углеродом. Кристаллохимическая формула минерала имеет вид $(\text{Ca}_{9.57-9.81}\text{Fe}_{0.13-0.32}\text{Mn}_{0-0.13})_{10}[\text{P}_{4.92-5.05}\text{S}_{0.17-0.26}\text{C}_{0.7-0.91}\text{O}_{24}(\text{OH})_{1.26-1.53}]$. Значение апатитового модуля $(\text{Ca}/\text{P}_{\text{ат}})$ колеблет-

ся в пределах 1.89–1.97, что соответствует существенно измененному биоапатиту в плейстоценовых костях, захороненных в открытых грунтах.

В режиме аналитической СЭМ в исследованных образцах выявлена характерная для ископаемых костей ассоциация микроминералов, в которую входят вторичные фосфаты, карбонаты, фрамбоидальный пирит, множество самородных металлов и сплавов, представленных инди-

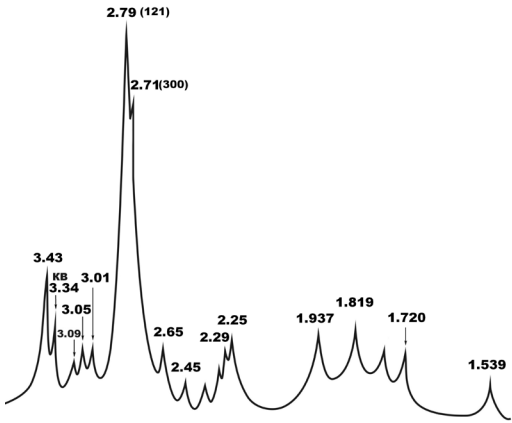


Рисунок 6. Рентгеновская дифрактограмма биоапатита в бивне печорского моржа.
Figure 6. X-ray diffraction pattern of bioapatite in the tusk of the Pechora walrus.

Химический состав (мас., %) и кристаллохимические формулы биоапатита в бивне печорского моржа

Chemical composition (wt., %) and crystal chemical formulas of bioapatite in the tusk of the Pechora walrus

P ₂ O ₅	SO ₃	CaO	MnO	Fe ₂ O ₃	Эмпирические формулы	Ca/P _{ат}
36.85	1.51	57.23	н.о.	4.41	(Ca _{2.81} Fe _{0.19})[(P _{4.98} S _{0.02} C _{0.00})O ₁₂](OH) _{1.34}	1.97
37.43	1.99	57.03	1.00	2.55	(Ca _{9.57} Fe _{0.30} Mn _{0.12})[(P _{4.99} S _{0.23} C _{0.82})O ₂₄](OH) _{1.41}	1.93
37.86	1.91	57.07	0.61	2.55	(Ca _{9.58} Mn _{0.12} Fe _{0.30})[(P _{5.01} S _{0.22} C _{0.77})O ₂₄](OH) _{1.45}	1.91
37.80	2.15	56.54	0.77	2.74	(Ca _{9.57} Mn _{0.11} Fe _{0.32})[(P _{5.05} S _{0.25} C _{0.70})O ₂₄](OH) _{1.45}	1.89
37.79	2.19	57.99	0.91	1.12	(Ca _{9.73} Mn _{0.12} Fe _{0.15})[(P _{5.01} S _{0.26} C _{0.73})O ₂₄](OH) _{1.53}	1.95
37.58	1.44	58.50	0.63	1.85	(Ca _{9.70} Mn _{0.09} Fe _{0.21})[(P _{4.92} S _{0.17} C _{0.91})O ₂₄](OH) _{1.26}	1.97

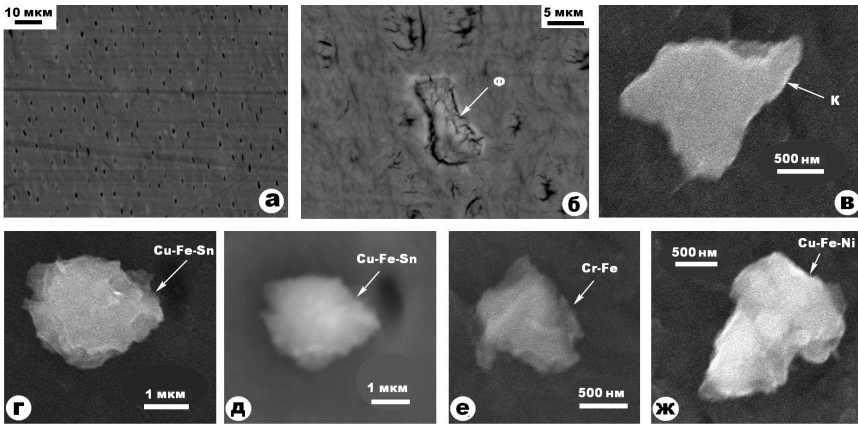


Рисунок 7. Биоапатит (а) и микроминеральные примеси в нем (б–ж). Микроминералы: Ф – Ca-Fe фосфат; К – кальцит; Cu-Fe-Sn – железистая бронза; Cr – самородный хром; Cu-Fe-Ni – никелево-железо-медный сплав. СЭМ-изображения в режимах вторичных (а, г) и упруго-отраженных (б, в, д–ж) электронов.
Figure 7. Bioapatite (a) and micro-mineral impurities in it (б–ж). Microminerals: Ф – Ca-Fe phosphate; К – calcite; Cu-Fe-Sn – iron bronze; Cr-Fe – native chromium; Cu-Fe-Ni – nickel-iron-copper alloy. SEM images in the modes of secondary (a, г) and elastically reflected (б, в, д–ж) electrons.

видами размером от субмикронного до 5–10 мкм (рис. 7). Их фазовая диагностика производилась по энергодисперсионным спектрам (рис. 8).

Химический состав вторичных фосфатов (мас. %): P₂O₅ – 31.03–32.71; CaO – 26.98–28.77; MnO – 0–0.65; Fe₂O₃ – 38.91–39.92; K₂O – 0.39–0.64. Кристаллохимическая формула – (Ca_{1.05–1.18}Fe_{1.08–1.11}K_{0.02–0.03})[PO₄](OH)_{1.28–1.65}. Наложенные на биоапатит карбонаты представлены железосодержащим кальцитом с формулой (Ca_{0.98–1}Fe_{0–0.02})[CO₃]. Самородно-металлические фазы: Ni-Fe-Cu сплавы состава Cu_{0.39–0.4}Fe_{0.29–0.34}Ni_{0.25–0.29}Zn_{0.01–0.02}; железистая бронза Cu_{0.6–0.61}Sn_{0.15–0.16}Fe_{0.23–0.25}; самородный хром Cr_{0.98–1}Fe_{0–0.02}.

Органическое вещество

На кривых нагревания материала исследуемого бивня (рис. 9) зарегистрированы три эффекта: эндотермический с максимумом при 106 °С, отвечающий потере сорбционной воды, и два экзотермических с максимумами при 314 и 405 °С, обусловленных выгоранием соответственно низко- и высокомолекулярного органического вещества [6]. Последние два пика весьма сильно различаются по интенсивности, что характерно именно для плейстоценовых костей, в которых органическое вещество со временем молекулярно деградирует.

Выделенное из бивня методом химической деминерализации органическое вещество характеризуется преимущественно светло-бурым цветом и хорошо сохранившейся фибриллярной структурой (рис. 10). Его элементный состав определялся пироксеноматодом (мас. %): C = 44.5; N = 16.59; H = 6.8. Атомное отношение C/N в нем находится на уровне 3.35, что свидетельствует о хорошей химической сохранности органического матрикса в кости печорского моржа.

В составе исследуемого органического вещества определено 14 аминокислот (далее – АК), общее содержание которых оказалось выше, чем в ранее изученных нами ископаемых костях плейстоценовых млекопитающих (табл. 4). Высокие содержания глицина, аланина, пролина и гидроксипролина свидетельствуют о том, что основная масса исследованного материала является коллагеном. Большая часть АК (9 из 14) представлена одним энантиомером – L, в некоторых АК (аланин, аспарагиновая и глутаминовая кислоты) обнаружены оба энантиомера – L и D – при соотношении содержаний D/L в диапазоне 0.01–0.05, что говорит о незначительной бактериальной переработке материала.

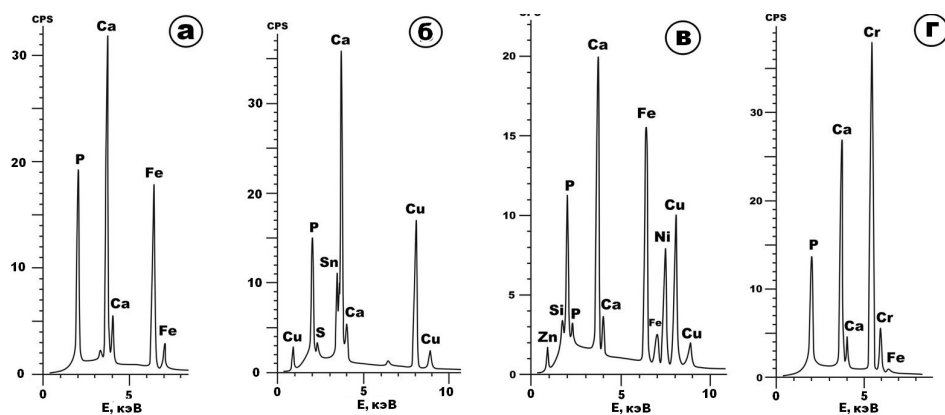


Рисунок 8. Энергодисперсионные спектры микроминералов в биоапатите пещорского моржа: Ca-Fe-фосфат (а); железистая бронза (б); никель-железо-медный сплав (в); железосодержащий хром (г).

Figure 8. Energy-dispersive spectra of microminerals in bioapatite of the Pechora walrus: Ca-Fe-phosphate (a); iron bronze (б); nickel-iron-copper alloy (в); iron-containing chromium (г).



Рисунок 10. Органическое вещество, выделенное из бивня пещорского моржа.
Figure 10. Organic matter isolated from the tusk of the Pechora walrus.

Рисунок 9. Данные термографического анализа материала ископаемого моржа, кривые: 1 – нагревания (температура, °C), 2 – потеря веса.
Figure 9. The thermographic analysis data of fossil walrus' material: 1 – heating (temperature, °C), 2 – weight losses.

Все полученные по АК данные свидетельствуют о хорошей сохранности коллагена и соответствии с приведенной выше оценкой его биологического возраста. Последовательность сокращения групповых содержаний АК в исследованном образце имеет вид: алифатические > имино (особенно характерные для костного коллагена животных) > ароматические > кислые > гидроксильные > основные. Для плейстоценовых лошадей со стоянки Заозерной, плейстоценовых растительноядных млекопитающих со стоянки Ушбулак и медведей из пещеры Иманай аналогичная последовательность несколько отличается: алифатические > имино > кислые > гидроксильные > ароматические > основные. Из сопоставления следует, что органический матрикс в бивне пещорского моржа (рис. 11) характеризуется не только повышенной концентрацией ароматических АК (за счет тирозина), но и аномально высокими содержаниями лейцина (алифатические АК) и лизина (основные АК). Это свидетельствует о возможном присутствии в его составе примесей нерегулярных полимерных органических соединений типа меланоидинов, содержащих аминокислоты. Образование таких соединений на начальных этапах преобразования органического вещества было показано на примере костного детрита рыб [7]. Меланоидины обычно окрашены в золотистый или коричневый цвет, устойчивы к воздействию слабых кислот, а для их разрушения необходимы жесткие условия кислотного гидролиза.

Изотопия и палеоэкологические реконструкции

Изотопный состав C, O в биоапатите и C, N в костном коллагене исследованного образца анализировался в Институте геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН [8]. Дополнительно к этому изотопный анализ органического вещества в том же образце был осуществлен в Центре изотопных исследований Гронингского университета (Нидерланды). В случае костного биоапатита его разложение производилось в ортофосфорной кислоте. Значения $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ рассчитывались относительно стандартов PDB (для углерода) и SMOW (для кислорода). Изотопный состав коллагена анализировался в режиме постоянного тока гелия, при этом использовались международный стандарт USGS-40 (L-Glutamic acid) и лабораторный стандарт Acetanilide ($\text{C}_8\text{H}_9\text{NO}$). Погрешность определения значений изотопных коэффициентов составляла $\pm 0.1\text{‰}$ (1σ).

На диаграмме изотопного состава биоапатита (рис. 12) показаны две серии данных, полученных для костей плейстоценовых животных. К первой серии относятся ископаемые кости, фоссилизованные во внепещерных условиях: мамонтовая фауна, плейстоценовые лошади и другие растительноядные млекопитающие. В таких костях вариации значений изотопных коэффициентов для биоапатита лежат в пределах (‰): $\delta^{13}\text{C} = -9 \dots -15$; $\delta^{18}\text{O} = 16-23$. Во вторую серию включены кости плейстоценовых млекопитающих, претерпевшие пещерную фоссильзацию и вследствие этого получившие изотопное утяжеление как по углероду, так и кислороду (‰): $\delta^{13}\text{C} = -2 \dots -10$; $\delta^{18}\text{O} = 19-27$. Понятно, что такое утяжеление обусловлено изотопным влиянием на

Таблица 4
Аминокислотный состав органического вещества в бивне печорского моржа, мг/г
Table 4
Amino acid composition of organic matter in the tusk of the Pechora walrus, ppm

Аминокислоты (АК)	Морж	Плейстоценовые лошади [8]	Плейстоценовые млекопитающие [7]	Пещерные медведи (Иманай)
Глицин C ₂ H ₅ O ₂ N / Gly	173.17	183.3 ± 96.36	180.03 ± 96.3	125.6 ± 24.18
Аланин C ₃ H ₇ O ₂ N / Ala	78.35	52.9 ± 43.45	84.48 ± 45.82	55.16 ± 10.07
Валин C ₅ H ₁₁ O ₂ N / Val	17.6	15.29 ± 12.18	22.19 ± 14.67	15.46 ± 3.44
Лейцин C ₆ H ₁₃ O ₂ N / Leu	40.43	20.01 ± 15.4	20.6 ± 19.1	20.28 ± 4.32
Изолейцин C ₆ H ₁₃ O ₂ N	5.99	21.79 ± 6.13	10.57 ± 7.16	5.36 ± 1.19
Алифатические АК	315.54	213.69 ± 173.3	317.88 ± 168.86	181.38 ± 91.29
Фенилаланин C ₉ H ₉ O ₂ N / Phe	20.92	13.28 ± 9.86	19.02 ± 10.25	11.51 ± 2.55
Тирозин C ₉ H ₉ O ₃ N / Tyr	102.42	12.93 ± 13.07	31.94 ± 22.88	5.65 ± 7.22
Ароматические АК	123.34	26.21 ± 22.91	57.07 ± 32.83	17.16 ± 8.88
Лизин C ₆ H ₁₀ O ₂ N / Lys	44.6	17.63 ± 15.32	27.98 ± 16.61	15.13 ± 2.87
Основные АК	44.6	17.63 ± 15.32	27.98 ± 16.61	15.13 ± 2.87
Аспарагиновая кислота C ₄ H ₇ O ₄ N / Asp	33.98	28.57 ± 23.72	37.96 ± 21.31	21.1 ± 4.34
Глутаминовая кислота C ₅ H ₉ O ₄ N Glu	34.45	51.06 ± 42.69	68.58 ± 37.35	40.51 ± 7.75
Кислые АК	73.43	79.63 ± 66.4	106.54 ± 58.59	61.62 ± 12.03
Серин C ₃ H ₇ O ₃ N / Ser	23.56	23.95 ± 20.13	53.8 ± 59.61	17.19 ± 9.8
Треонин C ₄ H ₉ O ₃ N / Thr	37.18	34 ± 39.08	32.51 ± 24.25	13.24 ± 2.85
Гидроксильные АК	60.74	57.93 ± 58.78	86.31 ± 82.37	30.43 ± 12.15
Пролин C ₅ H ₉ O ₂ N / Pro	117.41	85.64 ± 73.79	123 ± 9	77.73 ± 14.86
Гидроксипролин C ₅ H ₉ O ₃ N / Hup	69.41	51.82 ± 44.02	80.85 ± 45.28	43.28 ± 8.27
ИМИНО	186.82	137.46 ± 117.25	204.75 ± 115.66	121.01 ± 22.89
Общее содержание	804.47	533.64 ± 454.18	800.48 ± 463.17	476.88 ± 95.15

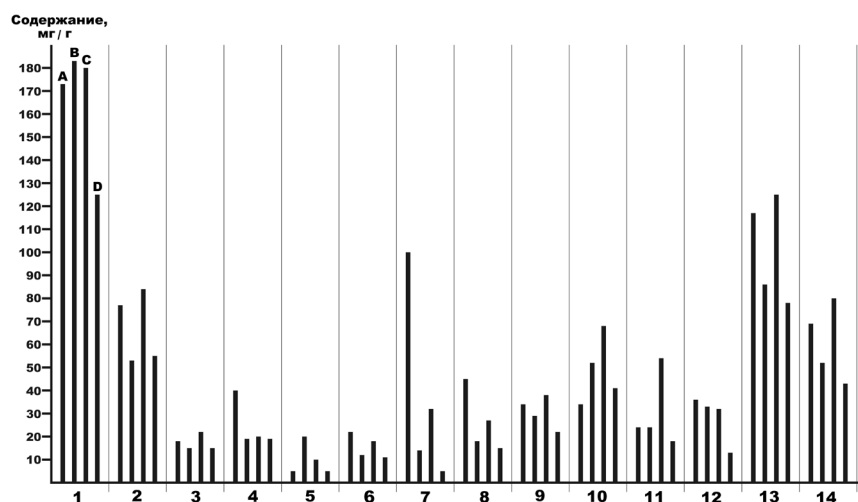


Рисунок 11. Пропорции между белковыми аминокислотами в коллагене печорского моржа (А), плейстоценовых лошадей со стоянки Заозерной (В), плейстоценовых млекопитающих со стоянки Ушбулак (С) и медведей из пещеры Иманай (D). По горизонтали – аминокислоты: 1 – глицин; 2 – аланин; 3 – валин; 4 – лейцин; 5 – изолейцин; 6 – фенилаланин; 7 – тирозин; 8 – лизин; 9 – аспарагиновая кислота; 10 – глутаминовая кислота; 11 – серин; 12 – треонин; 13 – гидроксипролин; 14 – пролин.
Figure 11. Proportions between protein amino acids in collagen of the Pechora walrus (A), Pleistocene horses from the Zaozernaya site (B), Pleistocene mammals from the Ushbulak site (C), and bears from the Imanay cave (D). Horizontally – amino acids: 1 – glycine, 2 – alanine, 3 – valine, 4 – leucine, 5 – isoleucine, 6 – phenylalanine, 7 – tyrosine, 8 – lysine, 9 – aspartic acid, 10 – glutamic acid, 11 – serine, 12 – threonine, 13 – hydroxyproline, 14 – proline.

биоапатит пещерной углекислоты, образующейся за счет морских карбонатолитов.

На фоне данных по внепещерным и пещерным ископаемым костям результаты изотопного анализа биоапатита в бивне печорского моржа характеризуются очевидной

Закключение

Исследованы фрагменты левого бивня плейстоценового моржа, ископаемые остатки которого были обнаружены в 2009 г. на эрозионном берегу р. Печоры. Проанализиро-

специфичностью. Он содержит умеренно-легкий по изотопному составу углерод, не свойственный скелетам сугубо морских животных, например, раковинам фораминифер [9], но типичный для внепещерных костей плейстоценовых сухопутных животных, и изотопно-тяжелый кислород, характерный для гидрокарбоната морской воды. Такое изотопное сочетание можно объяснить маргинальной – сухопутно-морской средой обитания животного.

На диаграмме изотопного состава костного коллагена также выделяются две серии изотопных полей (рис. 13). Первая серия отвечает данным, полученным для континентальных животных – плейстоценовых лошадей, шерстистых носорогов и других растительноядных животных, бурых медведей, пещерных львов, медведей и гиен. Для коллагена этих животных характерны следующие диапазоны варьирования изотопных коэффициентов (‰): δ¹³C = –27 ...–18; δ¹⁵N = 1–12. Вторая серия данных соответствует морским животным, костный collagen которых по изотопным данным колеблется в принципиально иных диапазонах (‰): δ¹³C = –18 ...–6; δ¹⁵N = 6–19. Данные для коллагена печорского моржа вполне вписываются в серию данных для морских животных, но при этом соответствующие точки оказались сдвинутыми относительно поля моллюсков – наиболее свойственной современным моржам пище – в сторону более изотопно-легкого углерода, свойственного морской рыбе. Это можно объяснить необычными для печорского моржа средой обитания и диетой, а именно его миграцией по р. Печоре вслед за поднимающейся по ней лососевой рыбой, например семгой. Сделанный вывод вполне согласуется с тем фактом, что изотопные данные для современных морских хищников соответствуют на рассматриваемой диаграмме полю с примерно теми же значениями изотопного состава углерода, но с более изотопно-тяжелым азотом.

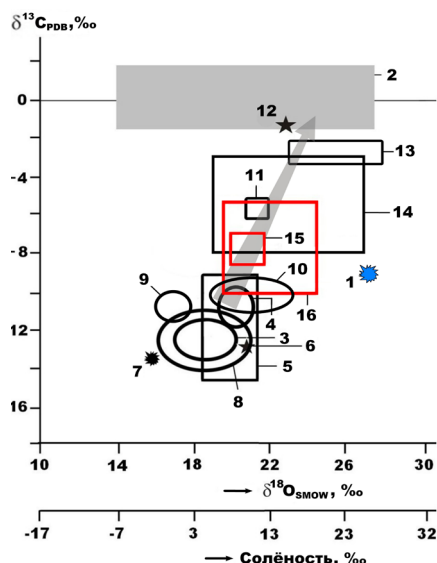


Рисунок 12. Изотопный состав биоапатита в ископаемых костях плейстоценовых млекопитающих на фоне морских карбонатных пород: 1 – бивень пещерного моржа; 2 – карбонатолиты; 3 – мамонтовая фауна Западной Европы; 4 – мамонтовая фауна Печорского Приуралья; 5, 6 – соответственно мамонтовая фауна и неоплейстоценовый бурый медведь Омского Прииртышья (коллекция А.А. Бондарева); 7 – пещерная гиена с Южного Прибайкалья (образец от Д.В. Кобылкина); 8 – предголоценовые таймырские мамонты (образцы от Г.В. Шнейдера и Д.Н. Костина); 9 – плейстоценовые лошади со стоянки Заозерной; 10 – плейстоценовые млекопитающие со стоянки Ушбулак (Северо-Восточный Казахстан); 11, 12 – кости пещерного медведя с Печорского Приуралья с разной степенью кальцитизации; 13, 14 – соответственно пещерные львы и медведи Западной Европы; 15, 16 – костный детрит соответственно львов и малых медведей (*Ursus «savini»*) из пещеры Иманай. Шкала солёности воды построена по данным, вычисленным по уравнению В.Н. Кулешова. Стрелкой показан генеральный тренд изотопного утяжеления углерода и кислорода при переходе от ископаемых костей внепещерного захоронения к пещерным костным остаткам.

Figure 12. Isotope composition of bioapatite in fossil bones of Pleistocene mammals against marine carbonate rocks: 1 – tusk of the Pechora walrus; 2 – carbonatolites; 3 – mammoth fauna of Western Europe; 4 – mammoth fauna of the Pechora Urals; 5, 6 – mammoth fauna and Neopleistocene brown bear of the Omsk Irtysh Region, respectively (collection of A.A. Bondarev); 7 – cave hyena from the Southern Baikal Region (sample from D.V. Kobylkin); 8 – pre-Holocene Taimyr mammoths (samples from G.V. Shneider and D.N. Kostin); 9 – Pleistocene horses from the Zaozernaya site; 10 – Pleistocene mammals from the Ushbulak site (North-East Kazakhstan); 11, 12 – bones of a cave bear from the Pechora Cis-Urals with different calcitization degree; 13, 14 – cave lions and bears of Western Europe, respectively; 15, 16 – bone detritus of lions and small bears (*Ursus «savini»*), respectively, from the Imanay cave. The water salinity scale was built according to the data calculated by the V.N. Kuleshov's equation. The arrow shows the general trend of isotope carbon and oxygen weighting in passing from fossil bones of an extracave burial to cave bone remains.

ваны гранулометрический, химический и нормативно-минеральный составы сохранившихся внутри бивня грунтов; термические свойства, химический и микроэлементный составы самого бивня; рентгеноструктурные параметры и химический состав костного биоапатита в нем; внешние свойства, строение, элементный и аминокислотный составы костного органического вещества. Все данные более или менее согласуются с геологическим возрастом и условиями захоронения костных остатков пещерного моржа.

Особый акцент был сделан на изучении изотопного состава костного биоапатита и органического матрикса. На фоне полученных нами ранее данных по внепещерным

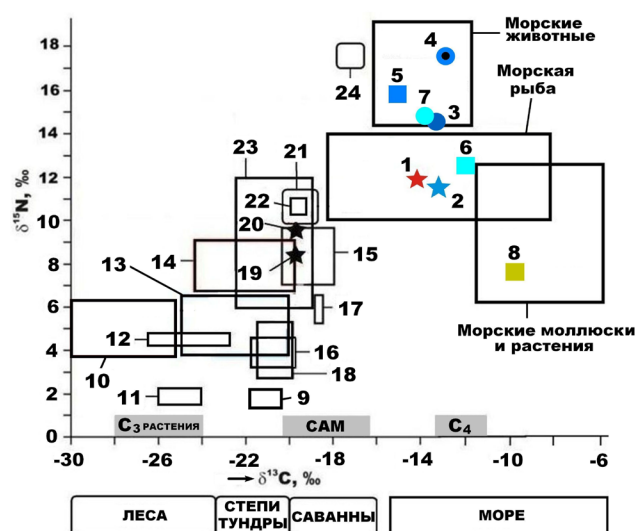


Рисунок 13. Изотопный состав костного коллагена, волос и кожи плейстоценовых и современных млекопитающих: 1 – бивень пещерного моржа, определение в ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН; 2 – то же, определение в Гронингенском университете; 3–8 – зубы современных морских животных [10, 11], соответственно морж, касатка, гренландский тюлень, карликовый кашалот, дельфин-афалина, морская корова; 9 – плейстоценовые лошади со стоянки Заозерной; 10 – плейстоценовые млекопитающие со стоянки Ушбулак; 11 – носорог шерстистый; 12 – современные таежные бурые медведи (волосы и кожа); 13, 14 – соответственно медведи и львы из пещеры Иманай; 15, 16 и 17, 18 – соответственно до-LGM и пост-LGM популяции пещерных львов и медведей Западной Европы; 19–21 – соответственно ископаемые пещерная гиена, волк и россомаха с Западной Европы; 22 – ископаемая пещерная гиена с Южного Прибайкалья; 23 – современные бурые камчатские медведи (волосы и кожа); 24 – современные белые медведи с о. Вайгач (волосы и кожа). Шкала континентальных ландшафтов показана по Г. Бошрену и Д. Дракеру.

Figure 13. Isotopic composition of bone collagen, hair, and skin of Pleistocene and modern mammals: 1 – tusk of the Pechora walrus identified at the Institute of Geology, Federal Research Centre Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 2 – the same, identified at the University of Groningen; 3–8 – teeth of modern marine animals [10, 11], walrus, killer whale, harp seal, pygmy sperm whale, bottlenose dolphin, sea cow; 9 – Pleistocene horses from the Zaozernaya site; 10 – Pleistocene mammals from the Ushbulak site; 11 – woolly rhinoceros; 12 – modern taiga brown bears (hair and skin); 13, 14 – bears and lions, respectively, from the Imanay cave; 15, 16 and 17, 18 – pre-LGM and post-LGM populations of West-European cave lions and bears, respectively; 19–21 – fossil cave hyena, wolf, and wolverine from Western Europe, respectively; 22 – fossil cave hyena from the Southern Baikal Region; 23 – modern brown Kamchatka bears (hair and skin); 24 – modern polar bears from the Vaigach Ireland (hair and skin). The scale of continental landscapes is shown according to G. Boshren and D. Dracker.

и пещерным ископаемым костям плейстоценовых млекопитающих, обитавших на суше, результаты изотопного анализа биоапатита пещерного моржа характеризуются очевидной специфичностью. Он содержит умеренно изотопно-легкий углерод, свойственный внепещерным ископаемым костям плейстоценовых животных, сочетающийся с изотопно-тяжелым кислородом, типичным для гидрокарбоната морской воды и характерным именно для морских животных. Изотопные данные для коллагена пещерного моржа коррелируются с аналогичными характеристиками морских животных, но при этом указывают на рыбо-морскую диету. Последнее свидетельствует о необычной для морских хищников среде обитания и необычном рационе питания пещерного моржа, который осуществлял, вероятно, длительные миграции по реке, вслед за поднимающейся по ней лососевой рыбой.

Литература

1. Силаев, В.И. Костные остатки млекопитающих с палеонтологической стоянки Ушбулак (Северо-Восточный Казахстан): археологический контекст, минералого-геохимические свойства и палеоэкологические реконструкции / В.И. Силаев, А.А. Аноikin, Т.Д. Павленок, А.Ф. Хазов, В.Н. Филиппов [и др.] // Вестник геонаук. – 2022. – № 4. – С. 3–37.
2. Силаев, В.И. Минералого-геохимические особенности пещерной фоссилзации ископаемых костей на примере пещеры Иманай (Южный Урал) / В.И. Силаев, М.Н. Паршукова, Д.О. Гимранов, В.Н. Филиппов, Д.В. Киселева [и др.] // Вестник Пермского университета. Геология. – 2020. – Т. 19 (4). – С. 323–358.
3. Силаев, В.И. Современные исследования ископаемого костного детрита: палеонтология, минералогия, геохимия / В.И. Силаев, Д.В. Пономарев, Ю.С. Симакова, С.Н. Шанина, И.В. Смолева [и др.] // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. – 2016. – № 5. – С. 19–31.
4. Силаев, В.И. Опыт использования минералого-геохимических свойств костных остатков на палеолитической стоянке Заозерье (Средний Урал) / В.И. Силаев, С.Н. Шанина, И.В. Смолева, А.Ф. Хазов, Е.А. Туманова // ПАЖМИ, – 2019. – № 2. – С. 35–77.
5. Silaev, V.I. Mineralogical-geochemical characteristics of bone detritus of Pleistocene mammals as a source of paleontological information / V.I. Silaev, D.V. Ponomarev, D.V. Kiseleva, I.V. Smoleva, Yu. S. Simakova // Paleontological Journal. – 2017. – Vol. 51. – № 13. – P. 21–47.
6. Votyakov, S.L. Thermal properties of fossilized mammal bone remnants of the Urals / S.L. Votyakov, D.V. Kisileva, Yu.V. Shchapova, N.G. Smirnov, N.O. Sadykova // Journal Thermal Analysis and Calorimetry. – 2010. – Vol. 101. – P. 63–73.
7. Дроздова, Т.В. Геохимия аминокислот / Т.В. Дроздова. – Москва: Наука, 1977. – 199 с.
8. Силаев, В.И. Ископаемый морж на р. Печоре: изотопно-геохимические данные и экологические реконструкции / В.И. Силаев, Д.В. Пономарев, И.В. Смолева, В.Н. Филиппов, А.Ф. Хазов [и др.] // Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения-2022): материалы российской конференции с международным участием. Сыктывкар: Геопринт, 2022. – С. 115–117.
9. Ветошкина, О.С. Углерод-кислородная изотопия верхнеюрских фораминифер *Saracenaria pravoslavlevi* как показатель условий седиментации / О.С. Ветошкина, С.В. Льюров, Д.А. Бушнев // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. – 2013. – № 10. – С. 7–11.
10. Fay F. H. Ecology and biology of the pacific walrus, *Odobenus rosmarus divergens*, Illiger // North American Fauna. 1982. No. 74. 279 p.
11. Walker, J.L. Dietary studies of marine mammals using stable carbon and nitrogen isotopic ratios of teeth / J.L. Walker, S.A. Mack // Marine Mammals Science. – 1999. – Vol. 15(2). – P. 3214–334.

References

1. Silaev, V.I. Kostnyye ostatki mlekopitayushchikh s paleontologicheskoy stoyanki Ushbulak (Severo-Vostochnyy Kazakhstan): arkheologicheskiy kontekst, mineralogo-geokhimicheskiye svoystva i paleoekologicheskiye rekonstruktsii [Bone remains of mammals from the Ushbulak paleontological site (North-East Kazakhstan): archaeological context, mineralogical and geochemical properties and paleoecological reconstructions] / V.I. Silaev, A.A. Anoykin, T.D. Pavlenok, A.F. Khazov, V.N. Filippov [et al.] // Vestnik geonauk [Bulletin of Geological Sciences]. – 2022. – № 4. – P. 3–37.
2. Silaev, V.I. Mineralogo-geokhimicheskiye osobennosti peshchernoy fossilizatsii iskopayemykh kostey na primere peshchery Imanay (Yuzhnyy Ural) [Mineralogic-geochemical features of cave fossilization of fossil bones on the example of the Imanay cave (Southern Urals)] / V.I. Silaev, M.N. Parshukova, D.O. Gimranov, V.N. Filippov, D.V. Kiseleva [et al.] // Bulletin of the Perm University. Geology. – 2020. – Vol. 19 (4). – P. 323–358.
3. Silaev, V.I. Sovremennyye issledovaniya iskopayemogo kostnogo detrita: paleontologiya, mineralogiya, geokhimiya [Modern studies of fossil bone detritus: paleontology, mineralogy, geochemistry] / V.I. Silaev, D.V. Ponomarev, Yu.S. Simakova, S.N. Shanina, I.V. Smoleva [et al.] // Bulletin of the Institute of Geology Komi SC UB RAS. – 2016. – № 5. – P. 19–31.
4. Silaev, V.I. Opyt ispol'zovaniya mineralogo-geokhimicheskikh svoystv kostnykh ostatkov na paleoliticheskoy stoyanke Zaozerye (Sredniy Ural) [Experience in using the mineralogical and geochemical properties of bone remains at the Paleolithic site Zaozerye (Middle Urals)] / V.I. Silaev, S.N. Shanina, I.V. Smoleva, A.F. Khazov, Ye.A. Tumanova [et al.] // PAZhMI, 2019. – № 2. – P. 35–77.
5. Silaev, V.I. Mineralogical-geochemical characteristics of bone detritus of Pleistocene mammals as a source of paleontological information / V.I. Silaev, D.V. Ponomarev, D.V. Kiseleva, I.V. Smoleva, Yu. S. Simakova // Paleontological Journal. – 2017. – Vol. 51. – № 13. – P. 21–47.
6. Votyakov, S.L. Thermal properties of fossilized mammal bone remnants of the Urals / S.L. Votyakov, D.V. Kisileva, Yu.V. Shchapova, N.G. Smirnov, N.O. Sadykova // Journal Thermal Analysis and Calorimetry. – 2010. – Vol. 101. – P. 63–73.
7. Drozdova, T.V. Geokhimiya aminokislot [Geochemistry of amino acids] / T.V. Drozdova. – Moscow: Nauka, 1977. – 199 p.
8. Silaev, V.I. Iskopayemyy morzh na r. Pechore: izotopno-geokhimicheskiye dannyye i ekologicheskiye rekonstruktsii [Fossil walrus on the Pechora River: isotope-geochemical data and ecological reconstructions] / V.I. Silaev, D.V. Ponomarev, I.V. Smoleva, V.N. Filippov, A.F. Khazov // Sovremennyye problemy teoreticheskoy, eksperimental'noy i prikladnoy mineralogii (Yushkinskiye chteniya-2022) [Modern problems of theoretical, experimental and applied mineralogy (Yushkin Readings-2022)]: Materials of the Russian Conference with International

- Participation. – Syktyvkar: Geoprint, 2022. – P. 115–117.
9. Vetoshkina, O.S. Uglerod-kislorodnaya izotopiya verkhneyurskikh foraminifer *Saracenaria pravoslavlevi* kak pokazatel usloviy sedimentatsii [Carbon-oxygen isotopy of the Upper Jurassic foraminifera *Saracenaria pravoslavlevi* as an indicator of sedimentation conditions] / O.S. Vetoshkina, S.V. Lyyurov, D.A. Bushnev // Bulletin of the Institute of Geology Komi SC UB RAS. – 2013. – № 10. – С. 7–11.
10. Fay, F.H. Ecology and biology of the pacific walrus, *Odobenus rosmarus divergens*, Illiger / F.H. Fay // North American Fauna. – 1982. – № 74. – 279 p.
11. Walker, J.L. Dietary studies of marine mammals using stable carbon and nitrogen isotopic ratios of teeth / J.L. Walker, S.A. Mack // Marine Mammals Science. – 1999. – Vol. 15(2). – P. 3214–334.

Благодарность (госзадание)

Исследования выполнены в рамках бюджетной темы 0333-2022-0044 «Проблемы минералогии и минералообразования, минералы как индикаторы петро- и рудогенеза, минералогия рудных районов и месторождений Тимано-Североуральского региона и арктических территорий». Определение микроэлементного состава методом ИСП-МС проведено в рамках Государственного задания ИГГ УрО РАН № 123011800012-9 с использованием оборудования ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН. Дооснащение и комплексное развитие ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН осуществляется при финансовой поддержке гранта Министерства науки и высшего образования РФ, соглашение № 075-15-2021-680.

Авторы выражают благодарность доктору геолого-минералогических наук Д.В. Пономареву за помощь в исследованиях и подготовке статьи.

Информация об авторе:

Силаев Валерий Иванович – доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Института геологии имени академика Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Российская Федерация, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54; e-mail: silaev@geo.komisc.ru).

Смолева Ирина Владимировна – ведущий инженер-химик Института геологии имени академика Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Российская Федерация, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54).

Филиппов Василий Николаевич – старший научный сотрудник Института геологии имени академика Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Российская Федерация, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54).

Шанина Светлана Николаевна – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института геологии имени академика Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Российская Федерация, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54).

Хазов Антон Федорович – кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник Института геологии имени академика Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Российская Федерация, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54).

Макеев Борис Александрович – кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник Института геологии имени академика Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Российская Федерация, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54).

Киселева Дарья Владимировна – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института геологии и геохимии имени академика А.Н. Заварицкого УрО РАН (Российская Федерация, 620110, г. Екатеринбург, ул. Академика Вонсовского, д. 15).

Фокина Анастасия Константиновна – инженер-исследователь Института геологии и геохимии имени академика А.Н. Заварицкого УрО РАН (Российская Федерация, 620110, г. Екатеринбург, ул. Академика Вонсовского, д. 15).

Йоган ван дер Плихт – профессор Гронингенского университета (Нидерланды).

About the authors:

Valery I. Silaev – Doctor of Sciences (Geology and Mineralogy), Chief Researcher, Institute of Geology named after academician N.P. Yushkin FRC Komi SC UB RAS (Institute of Geology named after academician N.P. Yushkin, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 54 Pervomaiskaya st., Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, 167982; e-mail: silaev@komisc.ru).

Irina V. Smoleva – Leading Chemical Engineer, Institute of Geology named after academician N.P. Yushkin FRC Komi SC UB RAS (Institute of Geology named after academician N.P. Yushkin, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 54 Pervomaiskaya st., Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, 167982).

Vasily N. Filippov – Senior Researcher, Institute of Geology named after academician N.P. Yushkin FRC Komi SC UB RAS (Institute of Geology named after academician N.P. Yushkin, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 54 Pervomaiskaya st., Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, 167982).

Svetlana N. Shanina – Senior Researcher, Candidate of Sciences (Geology and Mineralogy), Institute of Geology named after academician N.P. Yushkin FRC Komi SC UB RAS (Institute of Geology named after academician N.P. Yushkin, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 54 Pervomaiskaya st., Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, 167982).

Anton F. Khazov – Researcher, Candidate of Sciences (Geology and Mineralogy), Institute of Geology named after academician N.P. Yushkin FRC Komi SC UB RAS (Institute of Geology named after academician N.P. Yushkin, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 54 Pervomaiskaya st., Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, 167982).

Boris A. Makeev – Researcher, Candidate of Sciences (Geology and Mineralogy), Institute of Geology named after academician N.P. Yushkin FRC Komi SC UB RAS (Institute of Geology named after academician N.P. Yushkin, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 54 Pervomaiskaya st., Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, 167982).

Darya V. Kiseleva – Senior Researcher, Candidate of Sciences (Geology and Mineralogy), Institute of Geology and Geochemistry named after academician A.N. Zavaritsky UB RAS (Institute of Geology and Geochemistry named after academician A.N. Zavaritsky of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 15 Academician Vonsovsky st., Ekaterinburg, Russian Federation, 620110).

Anastasiya K. Fokina – Research Engineer, Institute of Geology and Geochemistry named after academician A.N. Zavaritsky UB RAS (Institute of Geology and Geochemistry named after academician A.N. Zavaritsky of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 15 Academician Vonsovsky st., Ekaterinburg, Russian Federation, 620110).

Johann van der Plicht – Professor, University of Groningen (University of Groningen, PO Box 72 9700 AB Groningen, the Netherlands).

Для цитирования:

Силаев, В.И. Плейстоценовый морж на реке Печоре: минералого-геохимические данные и палеоэкологические реконструкции / В.И. Силаев, И.В. Смолева, В.Н. Филиппов, С.Н. Шанина, А.Ф. Хазов [и др.] // Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия «Науки о Земле». – 2023. – № 2 (60). – С. 57–67.

For citation:

Silaev, V.I. Pleistocenovyj morzh na reke Pechore: mineralogo-geohimicheskie dannye i paleoekologicheskie rekonstrukcii [Pleistocene walrus on the Pechora River: mineralogical and geochemical data and paleoecological reconstructions] / V.I. Silaev, I.V. Smoleva, V.N. Filippov, S.N. Shanina, A.F. Khazov [et al.] // Proceedings of the Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Series "Earth Sciences". – 2023. – № 2 (60). – P. 57–67.

Дата поступления статьи: 10.04.2023

Прошла рецензирование: 14.04.2023

Принято решение о публикации: 11.05.2023

Received: 10.04.2023

Reviewed: 14.04.2023

Accepted: 11.05.2023

Изьюрьельское проявление нижнекаменноугольных каолинов Южного Тимана: характер залегания, текстурные особенности

В.А. Салдин, И.Н. Бурцев, Ю.С. Симакова,
Д.Н. Шеболкин, Д.А. Груздев

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

Аннотация

Представлены новые данные о нижнекаменноугольном Изьюрьельском проявлении каолинов на Южном Тимане. Многочисленными горными выработками (канавы, шурфы и скважины ручного бурения) на площади около 2 км² в бассейне р. Черь Ижемской (левый приток р. Ижмы) вскрыта и изучена каолинистая толща мощностью 3–9 м, залегающая со стратиграфическим несогласием на доломитах верхнего девона и перекрытая нижнекаменноугольными доломитами. Выделены разрезы двух типов, отличающихся составом и мощностью. Дана характеристика строению разрезов и текстурным особенностям пород. Проведенные исследования показали, что каолинистая толща значительно мощнее, чем предполагалось ранее, и, соответственно, прогнозные запасы каолина должны увеличиться. Высказано предположение о местоположении наиболее перспективного участка на каолиновое сырье.

Ключевые слова:

каолинистая толща, нижний карбон, Южный Тиман

Введение

Каолиновые породы являются важным нерудным минеральным сырьем и широко используются во многих отраслях промышленности – бумажной, керамической огнеупорной, а также при изготовлении резины, пластика, красок и цемента. Мировые потребности в каолине постоянно растут. Основные месторождения каолина в России находятся в Уральской каолиноносной провинции, но по качеству они сильно уступают украинским и казахстанским, которые во время существования СССР удовлетворяли потребности промышленности. В европейской части России известны месторождения каолинов в Новгородской, Калужской, Тульской, Воронежской областях и т.д., но запасы их незначительны, и они преимущественно низкого качества. Одним из новых и перспективных районов каолинового сырья является Тиман. В.В. Беляевым этот район выделен в Тиманскую каолиноносную провинцию [1, 2].

Izyuryel occurrence of Lower Carboniferous kaolins of the South Timan: occurrence mode, textural features

V.A. Saldin, I.N. Burtsev, Yu.S. Simakova,
D.N. Shebolkin, D.A. Gruzdev

Institute of Geology named after N.P. Yushkin, Federal Research
Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian
Academy of Sciences,
Syktyvkar
litgeo@geo.komisc.ru

Abstract

This article presents new data on the Lower Carboniferous Izyuryel occurrence of kaolins in the South Timan. Through numerous excavations (trenches, test pits, and hand dug wells) in the area of about 2 km² in the Cher Izhemskaya River basin (left tributary of the Izhma River), the authors have opened and studied the 3–9-m-thick kaolinite layer deposited with stratigraphic unconformity on the Upper Devonian dolomites and overlain by Lower Carboniferous dolomites. There are rock sections of two types differing in composition and thickness. The article describes the structure of the sections and rock texture. By the study results, the kaolinite strata are much thicker than previously assumed and, theoretically, contain more kaolin. The authors indicate the possible location of the most promising area with kaolin raw.

Keywords:

kaolinite strata, the Lower Carboniferous, the South Timan

Основные ресурсы каолинового сырья, пространственно связанные с бокситами, находятся на Южном Тимане и представлены нижнекаменноугольными каолинистыми глинами и аргиллитами, оцениваемые в 600 млн т. Они достаточно детально изучены геологами бывшей Ухтинской геологоразведочной экспедиции, сотрудниками Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, ВИМСа и других научно-исследовательских организаций [2]. На Южном Тимане выделены перспективные площади каолинового сырья – Вычегодская, Черь-Вычегодская, Восточно-Вычегодская, Пузлинская, Верхне-Ижемская, Ваповская, Кедвинская и Черь-Ижемская. Предположительно, наиболее крупными запасами обладают Верхне-Ижемская и Черь-Ижемская площади [2, 3]. На Черь-Ижемской площади до глубины 50 м при оцениваемой мощности 1 м ресурсы каолинистых глин прогнозируются в 115 млн т.

Перспективы использования южнотиманских каолинов впервые показаны В.В. Хлыбовым с соавторами [4]. Им же в соавторстве с Б. Дудкиным дана оценка пригодности для промышленности каолинов Кедвинской площади (Лоимская залежь) [5].

В 1968–1969 гг. в ходе геолого-съёмочных работ масштаба 1:200 000 по листу Р-40-VII, проводившихся под руководством Х.О. Траата, на Черь-Ижемской площади были открыты Изьюрьельское и ряд других проявлений «аллитов», что в какой-то мере подтвердило перспективы территории на бокситы [6]. Тем не менее изученность территории остается слабой. Изьюрьельское проявление, подобно бокситовым месторождениям Южного Тимана (Верхне-Вольской площади и Тимшерско-Пузлинской группе месторождений), приурочено к нижнекаменноугольным отложениям, которые со стратиграфическим несогласием залегают на верхнедевонских доломитах.

В 2006–2007 гг. сотрудниками Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН проводились поисково-ревизионные работы на Черь-Ижемской площади [7], направленные на выяснение перспектив Черь-Ижемской площади на бокситы и каолины. Задачами исследований являлись выявление условий залегания, характера строения и мощности разреза, определение вещественного состава, структурно-текстурных особенностей «аллитов» и сопутствующих им породных ассоциаций.

Цель настоящей статьи – показать условия залегания каолининовой толщи, строения разрезов и текстурные особенности пород Изьюрьельского проявления в долине р. Черь Ижемской.

Геологическое строение района исследований

Черь-Ижемская площадь располагается на северо-восточном склоне Южного Тимана и представляет собой пологоволнистую, местами заболоченную равнину с абсолютными отметками поверхности 50–150 м в бассейне верхнего течения р. Ижмы. В тектоническом отношении район находится на юго-восточном переклиналном окончании крупной Ухтинской антиклинали, достигающей 200 км вдоль оси складки. В геологическом строении Южного Тимана участвуют породы, охватывающие стратиграфический интервал от верхнего рифея до четвертичной системы (рис. 1). Разрез в структурно-тектоническом плане характеризуется двухъярусным строением – нижним протерозойским сильнодислоцированным кристаллическим фундаментом и верхним платформенным чехлом, сложенным пологозалегающими породами палеозоя и мезозоя. Нижнекаменноугольные отложения со стратиграфическим несогласием залегают на верхнедевонских карбонатных породах. С указанным несогласием связаны месторождения бокситов и каолинистых глин Южного Тимана. Этот важный стратиграфический интервал рассматривается более подробно.

На Южном Тимане отложения фаменского яруса подразделяются на нижний и верхний подъярусы. Нижнефаменский подъярус (мощность – около 160–170 м) сложен известняками, доломитами, глинистыми известняками с

прослоями доломитов и глин, выделен в ижемскую свиту [8]. На границе участков, где нижнефаменские отложения перекрываются каменноугольными, всегда присутствует глинистая кора выветривания [9–11]. Верхнефаменский подъярус в нижней части (до 184 м) сложен доломитами с прослоями известняков, глин и аргиллитов, а в верхней (167 м) – преимущественно известняками. На многих участках Южного Тимана верхнефаменские отложения отсутствуют. Они вскрыты скважинами, пробуренными в осевых зонах и нижних частях крыльев синклинальных структур [10].

Нижний карбон в районе исследований выделяется в объеме визейского и серпуховского ярусов. Визейские терригенные отложения залегают со стратиграфическим несогласием на карбонатных отложениях девона. Они представлены двумя типами разрезов: 1) присводовым и 2) мульдовым [9]. Первый, приуроченный к довизейским поднятиям, распространен вдоль границы девона и карбона полосой 4–5 км. Он сложен бокситоносной (0.5–12.5 м), углистой (0–11) и пестроцветной (2–16 м) пачками. Второй тип разреза (мульдовый) связан с крупными впадинами и соответствует синклинальным структурам. Он отличается от разрезов сводового типа развитием глинисто-песчаных отложений (мощность – около 70 м) тульского возраста, выделенных в подбокситоносную пачку. Для мульдового типа характерно частое выклинивание бокситоносной пачки (мощность – 0–10 м) [9]. Углистая и пестроцветные пачки общей мощностью 20–100 м аналогичны строению разрезов сводового типа. Все исследователи Южного Тимана указывают на весьма изменчивое строение нижневизейских терригенных отложений по составу, структуре, мощности по разрезу и площади. Отметим, что известный венгерский исследователь бокситов Д. Бардоши, проводивший анализ и систематизацию данных по бокситовым месторождениям мира, выделил особый южнотиманский тип залежей карстовых бокситов [12].

На территории Южного Тимана с начала франского века и почти до конца фаменского существовали морские обстановки осадконакопления. В самом конце фамена началась регрессия моря, и установились континентальные обстановки на большей части территории, кроме восточных районов, где чередовались прибрежные морские условия с континентальными в турнейском веке. В ранневизейское время на всей территории северо-востока Европейской платформы, а не только Южного Тимана, установилась суша. Тектонические, климатические, гидрогеологические и геоморфологические условия на Южном Тимане были благоприятными для химического выветривания и образования бокситов [9–11]. Карстовый рельеф и форма карстовых депрессий определяли форму залежей бокситов Южного Тимана, выделенных в плащевидный, котловинный и долинный типы, обладающие четко выраженным литологически зональным строением [10]. В позднеалексинское время визейского века повсеместно установились морские условия осадконакопления, которые сохранялись и в серпуховском веке.

На Черь-Ижемской площади под четвертичными отложениями распространены верхнедевонские, нижне- и среднекаменноугольные отложения. Перекрывались ли

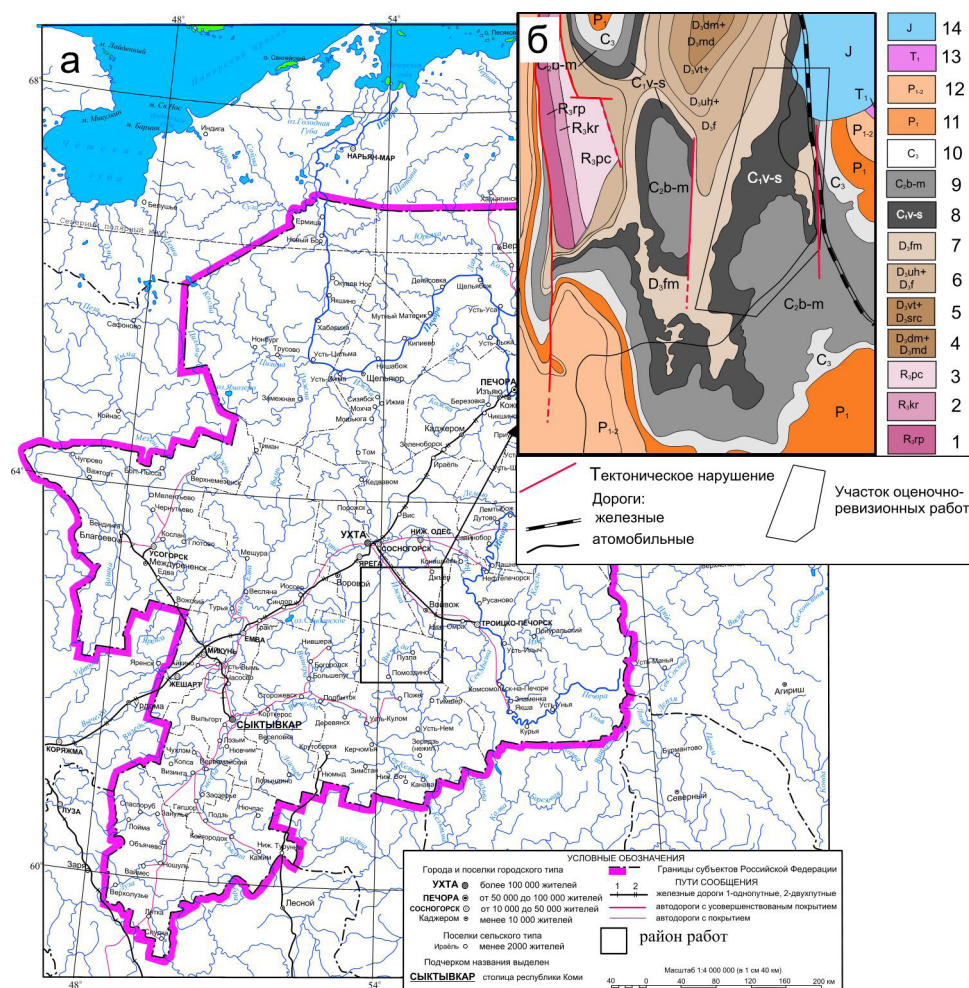


Рисунок 1. Местонахождение района работ (а) и фрагмент геологической карты, по материалам Ю.К. Крылова [3], с обозначенным участком работ (б).
Условные обозначения: 1 – ропчинская свита верхнего рифея; 2 – кислоручейская свита верхнего рифея; 3 – потчурская свита верхнего рифея; 4 – мендымская и доманиковская свиты верхнего девона; 5 – ветласянская и сирачойская свиты верхнего девона; 6 – ухтинская свита и нерасчлененные отложения франского яруса верхнего девона; 7 – фаменский ярус верхнего девона; 8 – вizeйский и серпуховский ярусы нижнего карбона нерасчлененные; 9 – башкирский и московский ярусы среднего карбона; 10 – нерасчлененный верхний отдел каменноугольной системы; 11 – нижний отдел пермской системы нерасчлененный; 12 – уфимский и казанский ярусы нижнего и среднего отделов пермской системы; 13 – нижний отдел триасовой системы; 14 – юрская система.

Figure 1. Location of the study area (a) and a geological map fragment by the materials of Yu.K. Krylov [3] with the outlined study site (b).
Symbols: 1 – Upper Riphean Ropcha Formation; 2 – Kisloruchey Formation of the Upper Riphean; 3 – Potchur Formation of the Upper Riphean; 4 – Upper Devonian Mendym and Domanik Formations; 5 – Upper Devonian Vettlasyan and Siracho Formations; 6 – Ukhita Formation and undivided deposits of the Francian stage of the Upper Devonian; 7 – Famennian Stage of the Upper Devonian; 8 – Visean and Serpukhovian stages of the Lower Carboniferous, undivided; 9 – Bashkir and Moscow stages of the Middle Carboniferous; 10 – undivided Upper section of the Carboniferous system; 11 – undivided Lower section of the Permian system; 12 – Ufimskiy and Kazanian stages of the Lower and Middle sections of the Permian system; 13 – Lower part of the Triassic system; 14 – Jurassic system.

они более молодыми палеозойскими – кайнозойскими отложениями? Согласно данным В.А. Разницына, на Южном Тимане юрские и меловые отложения накапливались на сильно эродированных породах триаса, перми, карбона и даже девона [13]. Относительно уверенно можно предположить, что каменноугольные отложения на Черь-Ижемской площади были покрыты юрскими и более молодыми отложениями, размытыми в четвертичный период.

Объекты и методы

Для выполнения поставленной задачи нами произведены: шурфы (глубина – до 3 м), канавы (длина – до 20 м, ширина – 1 м и глубина – 1.5 м) и скважины ручного бурения (глубина – 1.5–5 м) (рис. 2). Бурение проводилось ручным

буром геолога, позволяющим отбирать керн диаметром 75 мм длиной 0.5 м. Часто в разных частях пройденных канав закладывались отдельные шурфы или скважины. Ряд горных выработок, проведенных в линию поперек склона, составляли профили. Всего пройдено 17 профилей (далее – пр.), включая 8 канав, 26 шурфов и 12 скважин. Описание разрезов проводилось снизу вверх или сверху вниз по разрезу в зависимости от погоды. Часть стенок шурфов зарисовывалась, параллельно осуществлялось фотодокументирование разрезов. Отбирались пробы на различные виды анализов, в том числе бороздовые пробы весом 5 кг.

Для определения вещественного состава пород в лабораторных условиях использованы оптико-микроскопический метод, химический силикатный анализ, РФСА, термический анализ и дифрактометрический анализ глин.



Рисунок 2. Местоположение горных выработок в бассейне р. Черь Изжемской.

Figure 2. Location area of mine workings in the Cher Izhemskaya River basin.

Данные лабораторных исследований будут представлены в следующей статье, посвященной структурным особенностям пород, их минеральному и геохимическому составу, где более подробно будут описаны методы и количество исследованных образцов.

Результаты и их обсуждение

Породы, подстилающие и перекрывающие каолинитовую толщу. Изжурельское проявление каолинов, аналогично бокситовым породам Верхне-Вольской и Тимшерско-Пузлинской групп месторождений Южного Тимана, приурочено к стратиграфическому несогласию между девонскими и нижнекаменноугольными отложениями. Русло р. Черь Изжемская вскрывает коренные выходы верхнедевонских и визейских карбонатных пород, а на отдельных участках над кровлей девонских отложений наблюдаются фрагменты разреза нижневизейских глинистых пород. Вблизи таких выходов закладывались канавы и шурфы. Контакты этих стратиграфических подразделений мы наблюдали во многих горных выработках. Каолининовые породы слагают пестро окрашенную, преимущественно кирпично-красную толщу мощностью 0.5–9 м, залегающую на закарстованной поверхности верхнедевонских пород. Слои карбонатных пород в естественных выходах залегают субгоризонтально, образуя вертикальные стенки высотой около 8–10 м и протяженностью 100 м в долине реки

(рис. 2). Карбонатные породы представлены исключительно доломитами, для которых характерна средне-толстоплитчатая (0.2–1.0 м) отдельность с интервалами мелкоплитчатой (0.07–0.10 м) (рис. 3). Отдельность развивается по тонким глинисто-карбонатным прослоям. В доломитах в виде линзовидных прослоев (≈ 7 см) содержатся многочисленные остатки фауны, преимущественно выщелоченные, но в редких случаях удается встретить остатки замковых брахиопод, гастропод, члеников криноидей и остракод. Доломиты сильно кавернозные и пористые (до 15 %) (рис. 3). Некоторые поры по форме указывают на выщелоченные остатки гастропод. Под поляризационным микроскопом выяснена микро-тонкозернистая структура доломитов с редкими идиоморфными зональными кристаллами более крупной размерности. В микрокристаллическом доломите (обр. 31, пр. № 7), отобранном в 2.5 м ниже основания каолинитовой толщи из коренных выходов, наблюдаются жильные образования. Они выполнены глинистым материалом с включениями минералов оксидов (гидроксидов) железа, реже – пелитоморфным карбонатным минералом. Последние наблюдаются в жилах толщиной 0.3 мм и имеют округлые раздувы диаметром 2 мм. Внутренние стенки раздувов покрыты коркой глинистого материала, а в центральной части среди пелитоморфного карбоната наблюдаются единичные округлые комки (0.6–0.8 мм) глинистой породы. Отдельные правильные ромбоэдрические кристаллы доломита (0.02 мм) рассеяны в комках, пелитоморфной карбонатной жиле и глинистой корке. Доломиты включают примесь рассеянного органического углерода и глинистый материал в межзерновом пространстве. Состав органических остатков (брахиоподы, иглокожие) свидетельствует, что первоначально это были известковые осадки, сформировавшиеся в бассейне с нормальной морской соленостью в условиях активной гидродинамики вод, которые в постседиментационную стадию были доломитизированы.

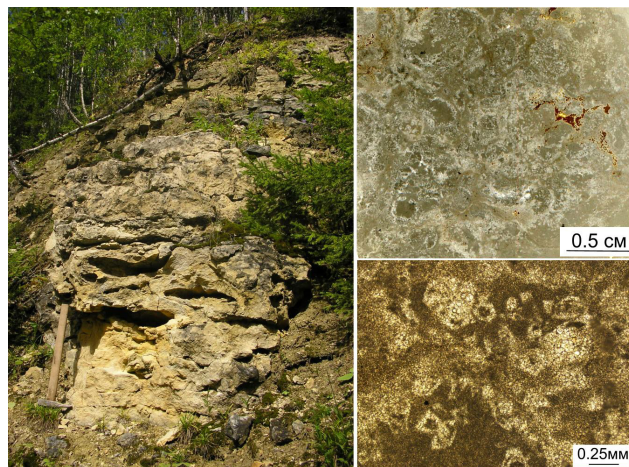


Рисунок 3. Выходы доломитов верхнего девона на левом берегу р. Черь Изжемской (обн. 10): а – скальный с кавернами на поверхности; б, в – вторичные с тонкокристаллической (более светлое) и пелитоморфной (более темное) структурами.

Figure 3. Outcrops of Upper Devonian dolomites on the left bank of the Cher Izhemskaya River (outcrop 10): а – rock outcrop of dolomites with caverns on the surface, б, в – secondary dolomites with fine-crystalline (light) and pелитоморфной (dark) structures.

Многочисленные горные выработки, вскрывшие границу верхнедевонских доломитов и нижневизейской каолиновой толщи, позволили выделить три разновидности перехода: 1) на границе наблюдается горизонт кирпично-красной глины с многочисленными (пр. № 14) или отдельными (пр. № 8, шурф АА1) обломками доломитов; 2) слабыветрелые доломиты резко переходят в глинистые породы; 3) кровля подстилающих доломитов сильно пористая и выветрелая, перекрывающаяся зеленовато-серым слоем (10–15 см) глинисто-доломитового состава (пр. № 12). Кровлю доломитов третьей разновидности легко копать даже лопатой.

Каолининовая толща распространена на обоих берегах реки. Кровля верхнедевонских пород левого берега гипсометрически на ≈ 5 м выше кровли правого берега, что легко заметить по урезу воды. Горными выработками каолининовая толща прослежена нами в субмеридиональном направлении вдоль реки на расстоянии 1.8 км, а в субширотном – по руч. Изъюрьель на 1 км от его устья. Слои глинистых пород, где форма их залегания близка к пластовой (пр. № 1, шурф 23), падают наклонно на северо-восток под углом до $8-20^\circ$, а в пр. № 4 азимут падения поверхности наклон составляет $180-250^\circ$ (шурфы Г и В).

Чаще глинистые породы наблюдаются в виде линзовидных слоев и линз (мощностью 0.05–0.40 м), обычно с неровными поверхностями напластования. Такое строение выражено, главным образом, цветом пород и реже – другими особенностями. Важно отметить, что в разрезах глинистой толщи, ближе к основанию, встречаются единичные слабо окатанные желтые и белые обломки (4–10 см) доломитов, которые трудно отличить от очень похожих белых доломит-каолининовых аргиллитов (например обр. 24). Обломки доломитов, встреченные в верхней части разреза шурфа В (пр. № 1), состоят из зональных микрокристаллов (0.02 мм) с редкой примесью угловатых зерен кварца тонкопесчаной размерности (до 0.1 мм). Наблюдаются участки, по форме сходные с текстурами биотурбации, выраженные темным цветом и более тонкими зернами, чем доломит основной массы. Порода рассечена трещинами толщиной 0.02–0.07 мм нескольких генераций, выполненных кальцием и микрзернистым кварцем.

Каолининовая толща перекрывается нижнекаменноугольными доломитами, также вторичного происхождения, на что указывают многочисленные выщелоченные органические остатки брахиопод, кораллов и фораминифер. Непосредственно граница каолининов и перекрывающих доломитов нами не вскрыта. Каменноугольные доломиты в четвертичный период служили «защитным панцирем» мягких глинистых пород от размыва во время врезания русла реки. Поэтому сохранность каолининовой толщи и ее вскрытая мощность на участке проведенных работ зависят от характера поперечного профиля долины реки. На участках, где каменноугольные доломиты слагают борт

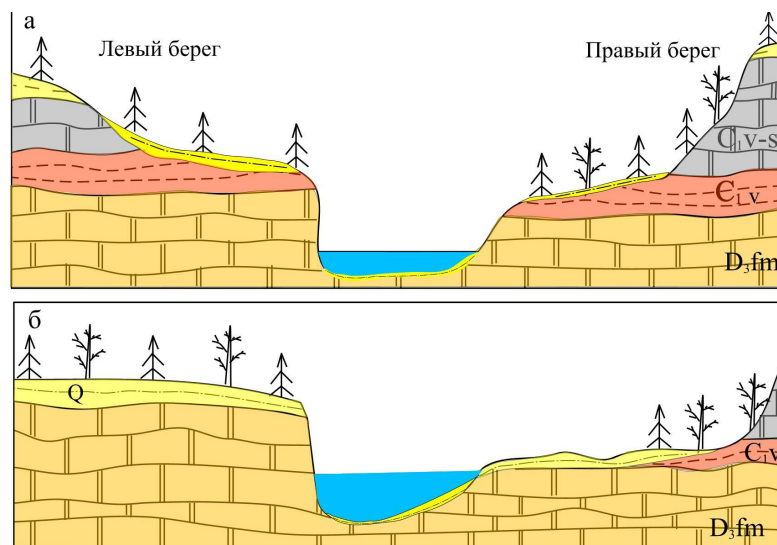


Рисунок 4. Схема некоторых поперечных форм долины р. Черь Ижемской и распространение нижневизейской каолининовой толщи: а – «бронирование» каолиновой толщи визейскими доломитами; б – визейские доломиты удалены от русла реки, глинистая толща размыва.

Figure 4. Scheme of some transverse forms of the Cher Izhemskaya River valley and distribution of the Lower Visean kaolinite stratum: а – “reservation” of the kaolin stratum by Visean dolomites; б – Visean dolomites are removed from the river bed, the clay layer is washed out.

долины и находятся близко к руслу реки, всегда горными выработками вскрывается каолининовая толща (рис. 4).

Типы разрезов каолининовой толщи. Каолининовая толща сложена глинами и аргиллитами каолининового, доломит-каолининового и гематит/гетит-иллит-каолининового, кварц-доломит-иллит-каолининового составов. По строению и составу выделено два типа разрезов. Разрезы первого типа широко распространены и сложены преимущественно глинами мощностью 0.5–4.5 м. Разрезы второго типа мощностью ≈ 9 м находятся в самой северной части изученного района (пр. № 4). В строении разреза участвуют каменистые аргиллиты (сухарные глины, или флинт-клеи). Характер строения разрезов каолининовой толщи первого типа мы покажем на примерах описании профилей № 1 и № 2. Названия глинистых пород, состав которых установлен лабораторными методами, в описание разрезов даются расширенно по минералам, их содержание в породе составляет $\geq 10\%$.

Профиль № 1 находится на правом берегу р. Черь Ижемской, в ≈ 600 м ниже устья руч. Изъюрьель. Здесь пройдена канава длиной 25 м и глубиной 1 м, направленная поперек склона снизу вверх от верхнедевонских коренных выходов до глыбовых выходов нижнего карбона. Она вскрыла лишь четвертичные отложения – почвенный слой и коричневые глины с глыбами доломитов нижнего карбона (?). В полотно канавы заложены три шурфа: А, Б и В (рис. 5). Шурф А находится в нижней части склона (угол склона в самой крутой части $\approx 20^\circ$) над коренными выходами доломитов верхнего девона и вскрывает снизу верх по разрезу.

Породы	Мощность, м
1. Доломит тонкокристаллический светло-серый сильно кавернозный и пористый	1.7
На поверхностях сколов отмечаются мелкие (мм) дендриты оксидов марганца. Доломиты находятся в забое	

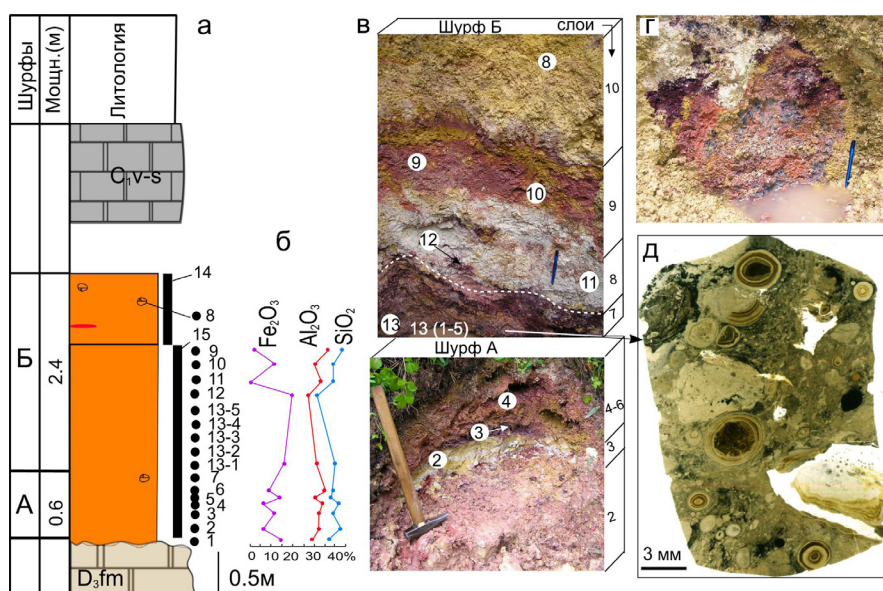


Рисунок 5. Нижнекаменноугольные каолины в профиле № 1 на правом берегу р. Черь Ижемской: а – литологическая колонка с показом отбора образцов (черные точки) и бороздовых проб (черные прямоугольники); б – распределение основных породообразующих оксидов по разрезу; в – фотографии стенок шурфов с обозначенными слоями (справа от фото) и местами отбора проб (номера образцов показаны цифрами в белых кругах); г – овально-круглое тело пестроцветных каолинов в верхней части разреза на северо-западной стенке шурфа Б; д – оолитово-обломочно-пелитоморфная структура в обр. 13-3 каолиновой глины из слоя 7 (сканированный шлиф).

Figure 5. Lower Carboniferous kaolins in Section 1 on the right bank of the Cher Izhemskaya River: a – lithological column with information on samples (black dots) and trench samples (black rectangles); б – distribution of the main rock-forming oxides along the profile; в – photographs of pit walls with the layers (to the right of the photo) and sampling sites (numbers of samples are shown by figures in white circles); г – oval-round body of variegated kaolins in the upper part of the section on the north-western wall of B pit, д – oolite-deutrit-pelitimorphic texture in Sample 13-3 of kaolinite clay from Layer 7 (scanned pit).

шурфа. Их видимая мощность определена по коренным породам у уреза воды.

- Глина каолининовая ярко красная залегает на неровной выветрелой поверхности доломита (обр. 1) 0.15
- Глины гематит/гетит-каолининовые жирные белого и ярко желтого цветов линзовидно переслаивающиеся толщиной 2–5 см (обр. 2) 0.15
- Глина гематит (гетит) (11 %)–иллит (39 %)–каолининового (44 %) состава фиолетового цвета с дресвой аргиллитоподобных глин такого же цвета (обр. 3) 0–0.07
- Глина желто-коричневого цвета с дресвой (обр. 5), переходящая по простирацию в глину каолинитовую кирпично-красного цвета (обр. 4). В верхней части слоя отмечается дресва плотных аргиллитоподобных глин гематит/гетит (9 %)–иллит (38 %)–каолининового состава (48 %) бордового цвета (обр. 6) 0.30
- Глина белая с обломками (до 10 см) доломитов (обр. 7) 0.10
- Продолжение разреза наблюдается в шурфе Б, заложенном в средней части канавы. Описание ведется по западной стенке.
- Пестроцветные плотные аргиллитоподобные глины гематит/гетит (16 %)–каолинит (34 %)–иллитового (46 %) состава участками с оолитовой структурой (обр. 13-1, 13-2, 13-3, 13-4, 13-5) (рис. 5, г) 0.70
- Глина доломит (11 %)–каолининовая (77 %) белая (обр. 11) с линзами гематит/гетит (19 %)–каолининовых (59 %) глин фиолетового цвета с участием иллита (8 %) и до-

ломита (8 %) (обр. 12). Участками встречается аргиллитоподобная глина 0–0.25

- Глина гематит/гетит (12 %)–иллит (34 %)–каолининовая (44 %) кирпично-красная (обр. 10) с линзовидными прослоями глины ярко-желтого цвета. Отмечается дресва плотных аргиллитоподобных каолининовых (89 %) глин (обр. 9). Желтая глина выполняет участки слоя, напоминающие прожилки. На этом интервале разреза наблюдается крутое падение «слоя» на северо-восток под углом 25–35° с резким выклиниванием 0–0.25
- Глина желтовато-коричневая с обломками доломитов размером до 10 см (обр. 8) с заметной выветрелой поверхностью. Встречаются линзовидные прослои ярко желтого цвета (5 x 40 см) с дресвой и глинами кирпично-красного цвета и пестроцветные глины овально-округлой формы около 0.5 м на южной стенке шурфа (рис. 5, в) 0.50–1.5
- Гумусовый почвенный слой в подшве с обломками до 20 см окатанных доломитов 0.15–0.30

Отобраны бороздовые пробы из интервалов сл. 3–сл. 5 (обр. 15) и сл. 10 (обр. 14).

Шурфом В глубиной 1.9 м вскрыты гумусовый почвенный горизонт и слой четвертичной желтовато-коричневой глины с обломками доломитов.

Общая мощность каолининовых глин и каолининовых аргиллитовидных пород в пр. № 1 составляет около 1.7 м. Здесь, на склоне, ранее была пробурена скв. № 4044 глубиной 7 м сверху вниз от кровли визейских карбонатных пород до кровли доломитов верхнего девона, в которой на каолининовую толщу в разрезе приходится 4.5 м [6].

Профиль № 12 находится на правом берегу р. Черь Ижемской, в 1400 м от устья руч. Изьюрьель. Эта канава длиной 20 м и глубиной 1 м по азимуту 310° поперек склона (угол склона в нижней части ≈15–20°, в верхней – ≈35°) с тремя шурфами (рис. 6). Нижний (по склону) конец канавы расположен над коренными выходами верхнедевонских доломитов, перекрытых кирпично-красными глинами, частично видимых со стороны реки.

Шурф А вскрывает контакт верхнедевонских доломитов и каолининовую толщу. Описание ведется снизу вверх по разрезу.

Породы

Мощность, м

- Доломит тонкозернистый кавернозный желтовато-серого цвета, участками с розоватым оттенком. У уреза воды в доломитах отмечается среднеплитчатая отдельность 0.15–0.20 м. Слой доломита (обр. 16) обрыва-

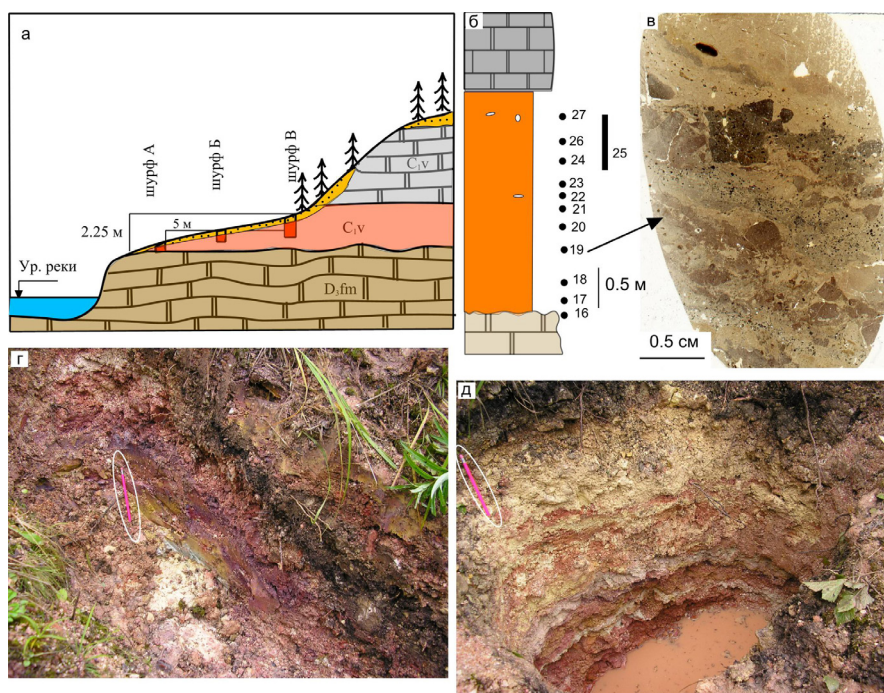


Рисунок 6. Нижнекаменноугольные каолины в профиле № 12 на правом берегу р. Черь Ижемской: а – расположение шурфов на склоне; б – литологическая колонка со схемой опробывания; в – обломочная структура в каолиновой породе (обр. 19, сканированный шлиф); г, д – стенки шурфов А и В соответственно (масштабом служит карандаш длиной 19 см) со слоисто-окрашенными каолинитами.
Figure 6. Lower Carboniferous kaolins in Section 12 on the right bank of the Cher Izhemskaya River: а – location of pits on the slope, б – lithological column with a sampling scheme, в – clastic texture in kaolinite rock (sample 19, scanned thin section), г, д – walls of A and B pits, respectively (scale is a 19-cm-long pencil) with colored layers of kaolinites.

- ется в воду, образуя небольшой мысок на этом участке реки. Слои залегают субгоризонтально. Много глинисто-карбонатного материала зеленовато-серого цвета наблюдается в кровле слоя. Породы выветрелые, легко разбиваются кайлом, и можно без труда отбивать глыбы до 0.3 м. Видимая мощность 1.90
2. Глина кварц (12 %)–иллит (17 %)–доломит (20 %)–каолининовая (39 %) зеленого цвета (обр. 17), по простираанию переходящая в белую и ярко-желтую глины. Отмечаются линзовидные прослойки длиной 0.5 м и изменчивой толщиной 0.05–0.15 м глин розового и фиолетового цветов (обр. 18) 0.20
 3. Глины кирпично-красного, бордового и фиолетового цветов. Обломочная структура ясно видима из-за разноцветности обломков (обр. 19) (рис. 6, в) 0.25
 4. Глина и плотная аргиллитоподобная каолининовая (81 %) глина кирпично-красного цвета (обр. 20) с примесью кварца (6 %). Разрушается в воде до обломков гравийной размерности 0.15
 5. Глина и аргиллит белого и кирпично-красного цветов с участием желтых глин. Преобладают аргиллиты, так как даже в глинистых телах наблюдаются включения «обломков» (до 5 см) аргиллитоподобных глин 0.40
- Шурфом А вскрыты пестроцветные глины мощностью 1 м с падением слоев на северо-восток (аз. пад. 26° под углом 8°). Разрез наращивается в шурфе Б глубиной 1.4 м, описание которого проведено по юго-западной стенке.
6. Переслаивание аргиллитов (обр. 21) и глин кирпично-красного, белого и ярко-желтого цветов. Падение

слоев на северо-восток (аз. пад. 40–50° под углом 10–20°) 0.65

Выше залегает глина желтовато-коричневого цвета мощностью 0.4 м с крупными (до 15 см) обломками доломитов. Продолжение разреза разноцветной глинистой толщи прослеживается в шурфе В (глубина – 2 м).

7. Аргиллитоподобные глины кирпично-красного цвета с прослойками аргиллитоподобных каолининовых (78 %) глин желтого цвета с примесью доломита (4 %), гематита/гетита (7 %) и кварца (5 %) (обр. 23) 0.40
8. Аргиллит доломит (27 %)–каолининового (50 %) состава (обр. 24) белого цвета с обломочной структурой. Угловатые обломки каолининовых аргиллитов и слегка округлые с преобладанием гравийной размерности до мелкогалечной (≈ 1 см) разбиты трещинками, выполненными доломитом 0.40
9. Глина желтая, линзовидными участками развита глина

- розового, кирпично-красного и фиолетового цветов (обр. 26). Желтая глина включает обломки (4–8 см) светло-серых доломитов 0.70
 10. Глина кирпично-красная 0.10
 11. Желто-коричневая глина (0.2 м), вероятно, четвертичной системы с обломками доломитов (размер – до 10 см, обр. 27), перекрытая гумусовым слоем 0.30–0.40
- Общая мощность каолининовой толщи в пр. № 12 – около 3 м. Из интервала сл. 7 – сл. 10 шурфа В взята бороздовая проба (обр. 25). Строение разреза каолининовой толщи в пр. № 12 является типичным для изученного района. Выше по склону наблюдаются развалки глыб нижнекаменноугольных доломитов (обр. 28) серого и серого с розоватым оттенком цветов с глинистыми примазками серо-зеленого цвета. Они сильно выветрелые и легко раскалываются молотком.

Каолининовая толща разрезов первого типа резко залегает на доломитах с ровными или мелкобугорчатыми поверхностями. На относительно ровной поверхности доломитов иногда встречаются мелкие ямки глубиной 0.3 м и диаметром 0.5 м (пр. № 9). Граница между доломитами и глинистыми породами часто разделена прослоем (5–15 см) доломитовых глин зеленовато-серого или зеленого цвета (второй тип перехода). Учитывая разницу превышения подошвы каменноугольных доломитов над кровлей девонских отложений на участках развития разрезов первого типа, мощность каолининовой толщи оценивается в 3–4.5 м.

Второй тип разреза вскрыт в единственном месте на правом берегу реки, в 1600 м ниже устья руч. Изъюрьель

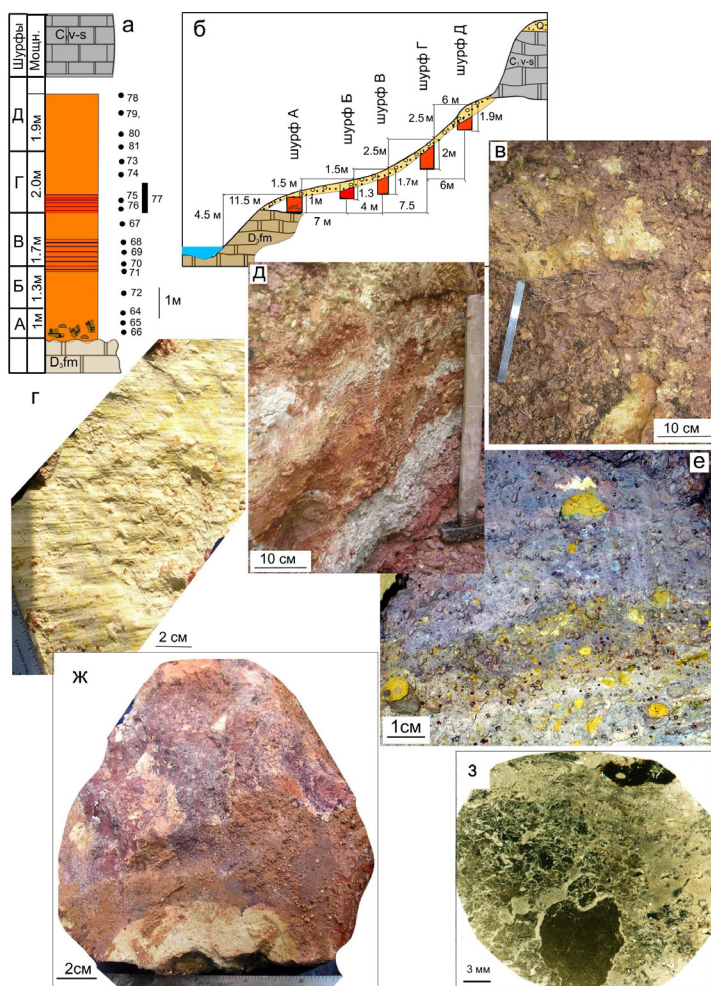


Рисунок 7. Нижневизейские каолины в профиле № 14 на правом берегу р. Черь Ижемской: а – литологическая колонка; б – схема расположения шурфов; в – доломитовые обломки в кирпично-красной глине на границе с верхним девонем в нижней части шурфа А (длина линейки – 22 см); г – зеркала скольжения на белой поверхности разноцветных аргиллитов в шурфе В, д – слоисто-окрашенные кирпично-красные и белые каолиниты в северо-западной стенке шурфа Г (длина ручки молотка – 50 см); е – пизолитовая структура в основании слоя фиолетовых аргиллитов в шурфе Б; ж – разноцветные аргиллиты с псефитовой структурой в шурфе В; з – обломочная структура в аргиллитах в шурфе В (сканированный шлиф). Figure 7. Lower Visean kaolins in Section 14 on the right bank of the Cher Izhemskaya River: а – lithological column, б – layout of pits, в – dolomite fragments in brick-red clay on the border with the Upper Devonian in the lower part of A pit (22-cm-long ruler), г – slickensides on the white surface of multi-colored claystones in B pit, д – colored layers of brick-red and white kaolinities in the north-western wall of G pit (50-cm-long hammer handle), е – pisolitic texture at the bottom of violet claystones in B pit, ж – multi-colored claystones of psephtic texture in B pit, з – plastic texture of claystones in B pit (scanned thin section).

(пр. № 14). На этом участке пройдено пять шурфов (А, Б, В, Г, Д) в линию от коренных выходов верхнедевонских доломитов, слагающих основание первой надпойменной террасы, к коренным выходам нижнекаменноугольных доломитов на бровки склона (рис. 7). Описание начато с шурфа А (глубина – 1.5 м, сечение – 1 х 1.5 м) снизу вверх по разрезу.

Породы	Мощность, м
1. Доломит желтого цвета сильно выветрелый с глинистыми примазками зеленовато-серого цвета и включениями остатков брахиопод. Доломиты раздроблены на обломки 0.1–0.2 м, которые отделяются друг от друга кирпично-красной глиной (обр. 66)	0.30–0.60

2. Глины кирпично-красная и аргиллитоподобная с глыбами доломитов (обр. 64, 65) (рис. 7, в) 0.25–0.50

3. Коричневая глина и почвенный слой 0.50
Шурф Б (глубина – 1.3 м, сечение 1 х 2 м) находится в 7 м и 1.5 м выше по склону от шурфа А. Описание ведется снизу вверх по разрезу.

1. Глины фиолетового, розового, красного и желтого цветов, иногда с пизолитовой структурой (обр. 72) (рис. 7, е) 0.50

2. Глины и аргиллиты кирпично-красного цвета с линзовидными прослоями фиолетовой глины и аргиллитов (обр. 71) 0.30

3. Глина желтовато-коричневого цвета с глыбами доломитов. Вероятно, это четвертичные отложения, так как выше залегает почвенный слой 0.55
Шурф В находится в 11 м по горизонтали и в 3 м по вертикали от шурфа А (рис. 7, б). Описание ведется снизу вверх по разрезу.

1. Аргиллиты (флинтклейны) разноцветные в забое шурфа. Цвет пород – кирпично-красный, фиолетовый, белый, розовый, бордовый. Внешне аргиллиты напоминают южноуральские яшмы. Породы пористые и кавернозные (пустоты равны ≈1 см в диаметре). Макроструктура аргиллита обломочная брекчевидная (рис. 7, ж). Породы трещиноватые и раскалываются на крупные угловатые обломки (0.1–0.3 м), с трудом разбиваются на более мелкие. Поверхность излома пород раковистая и жирная на ощупь. Часто встречаются корки толщиной 2–5 мм белого цвета, на поверхности которых наблюдаются зеркала скольжения с отчетливыми бороздами (рис. 7, г). Среди преобладающих каолинитовых (86 %) аргиллитов (обр. 69, 70), содержащих гемати/гетит (7 %), встречаются аргиллиты иллит (38 %) – каолинитового (55 %) состава (обр. 68) 0.90

2. Глины ярко-желтого, розового и кирпично-красного цветов (аз. пад. 250° под углом 10°) (обр. 67) 0.80

3. Глина коричневая с дресвой, щебенкой, глыбами доломитов, перекрытая почвенным слоем 0.30–0.75

Шурф Г (глубина – 2 м, сечение – 1 х 1.5 м) находится в 7.5 м от шурфа В и выше по вертикали на 2.5 м. Описание ведется по северной стенке снизу вверх по разрезу.

Породы	Мощность, м
1. Аргиллиты (флинтклейны) кирпично-красные плотные, раскалывающиеся на мелкие (2–5 см) обломки (обр. 76 и 75). В связи с твердостью аргиллитовый слой не вскрыт до основания, поэтому его мощность осталась неустановленной 0.45 – (?)	
2. Глина серо-зеленая, иногда фиолетовая, с аргиллитоподобными глинами в виде обломков (?) (аз. пад. 180° под углом 10°) (обр. 174)	0.45

3. Чередование линзовидных слоев глин розовато-красного и ярко-желтого цветов с волнистыми поверхностями напластования. Глины включают дресву аргиллитов (обр. 73) 0.25–0.40
4. Глина желтовато-коричневая с глыбами доломитов, перекрытая почвенным слоем 0.5–0.95
Шурф Д (глубина – 2 м, сечение – 1.5 x 1.5 м) находится в 6 м от шурфа Г, превышая его по вертикали на 2.5 м. Описание ведется снизу вверх.

Породы	Мощность, м
1. Глины кирпично-красного и ярко-желтого цветов с линзовидным переслаиванием (обр. 79–81)	0.40
2. Глина желтовато-коричневая с обломками доломитов (обр. 78) и почвенный слой	1.70
Общая видимая мощность каолиновой толщи, вскрытая шурфами в пр. № 14, около 5 м. Учитывая разницу в превышении залегания девонских и каменноугольных доломитов, мощность каолиновой толщи здесь оценивается в 9 м. Это единственный разрез, где встречены в трех шурфах – Б, В и Г – слои аргиллитов (флинтклейнов) общей мощностью около 1.5 м.	

Текстуры особенности каолиновых пород. Для строения бокситов и связанных с ними глинистых пород характерно отсутствие четкой слоистости, хотя Д. Бардошши указал на ошибочность такого представления и показал разные типы слоистости в них [12].

Этот характерный литологический признак – отсутствие слоистости с четкими напластованиями – в целом типичен для строения каолиновой толщи Изъюрьельского проявления. Однако встречаются интервалы разрезов, сложенные глинистыми породами, образующими пластообразные тела, по крайней мере, на протяжении стенок шурфа или канавы. Эти пласты толщиной 5–40 см выражены чередованием красных, белых, желтых и бордовых глинистых пород. Отмечаются слои с относительно правильной формой и выдержанной мощностью (рис. 6, д; 8, б), а чаще неправильной формы (рис. 5, в; 7, д; 8, г, е). Так как в ходе изучения строения каолиновой толщи не обнаружен ни один какой-либо литологический репер, даже в находящихся рядом горных выработках, можно предположить, что наблюдаемые тела имеют удлиненно-линзовидную форму.

Линзовидное строение наиболее характерно для каолиновой толщи (рис. 8, а, в, е). Линзы или линзовидные прослои неправильной формы моноцветных (кирпично-красного, белого, желтого, иногда фиолетового цвета и их разных оттенков) глинистых пород по простиранию переходят друг в друга. Размеры линз – от первых дециметров до первых метров. Они сложены глинами часто с дресвой более плотных глин (распускаются в воде) или реже аргиллитами, отличающимися минеральным составом. Редко отмечается пятнистое строение глинистых пород (рис. 8, ж).

Не отчетливо выраженные слойки обнаруживаются в срезах штурфовых образцов аргиллитов (флинтклейнов) (рис. 7, е; 9, а). Зачаточная слоистость подчеркнута чередованием тонких согласно ориентированных сиреневых слойков (полос?) толщиной 3–6 мм и розовых – 15–25 мм (рис. 9, а). Подобные текстуры наблюдаются и в шлифах (рис. 6, в; 9, в). Эти текстуры близки определению «слоеватость» по Н.Б. Вассоевичу. В шлифах выявлены текстуры, похожие на микрокосослоистые (рис. 9, б) и микроволнистые (?) (рис. 9, г). Косая слоистость подчеркнута распределением об-

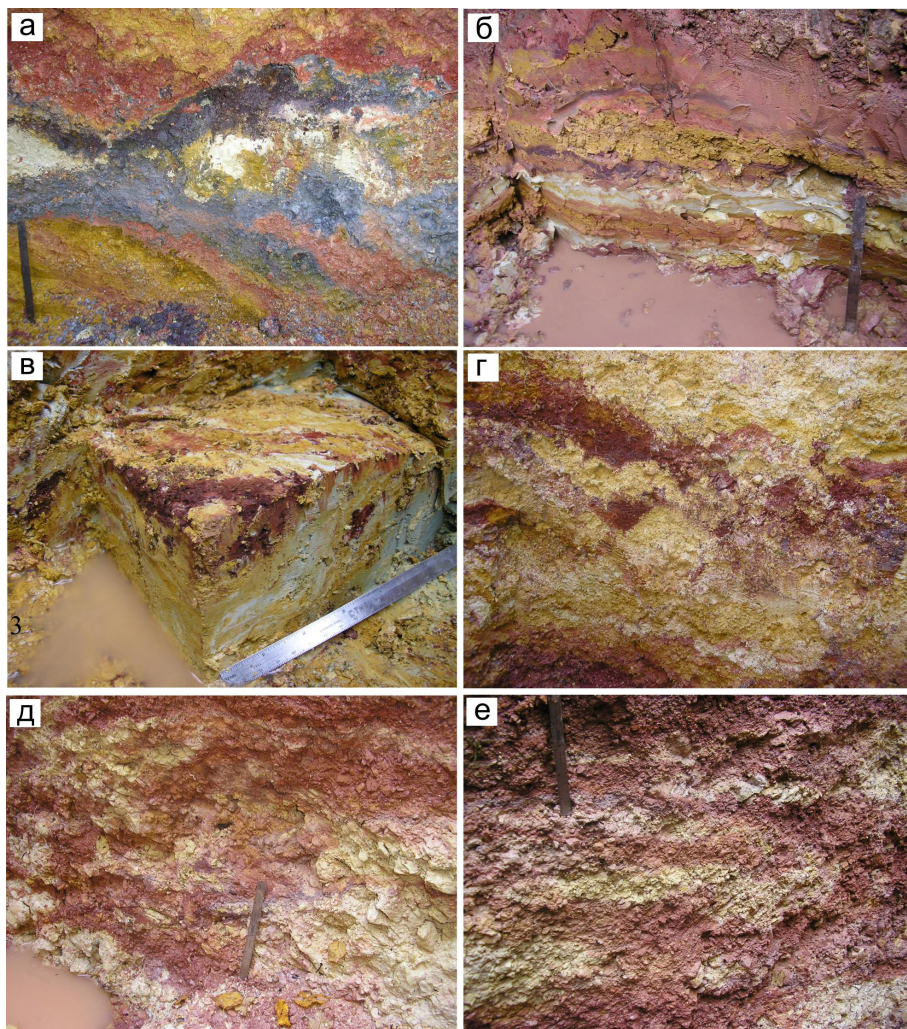


Рисунок 8. Характер залегания глинистых пород в разрезе стенок шурфов. Линзовидные тела: а – шурф АА1, слой 4, в – канава 5, е – шурф 22; пластовые тела (или полосчатые?): б – профиль № 7, д – шурф Б профиль № 1; пятнистые (или хаотичные): ж – шурф 22.
Figure 8. The occurrence mode of clay rocks in the section of pit walls. Lenticular bodies: а – AA1 pit, Layer 4, в – Trench 5, е – Pit 22; layered bodies: б – Section 7, д – B pit, Section 1; spotted (or chaotic) bodies: ж – Pit 22.

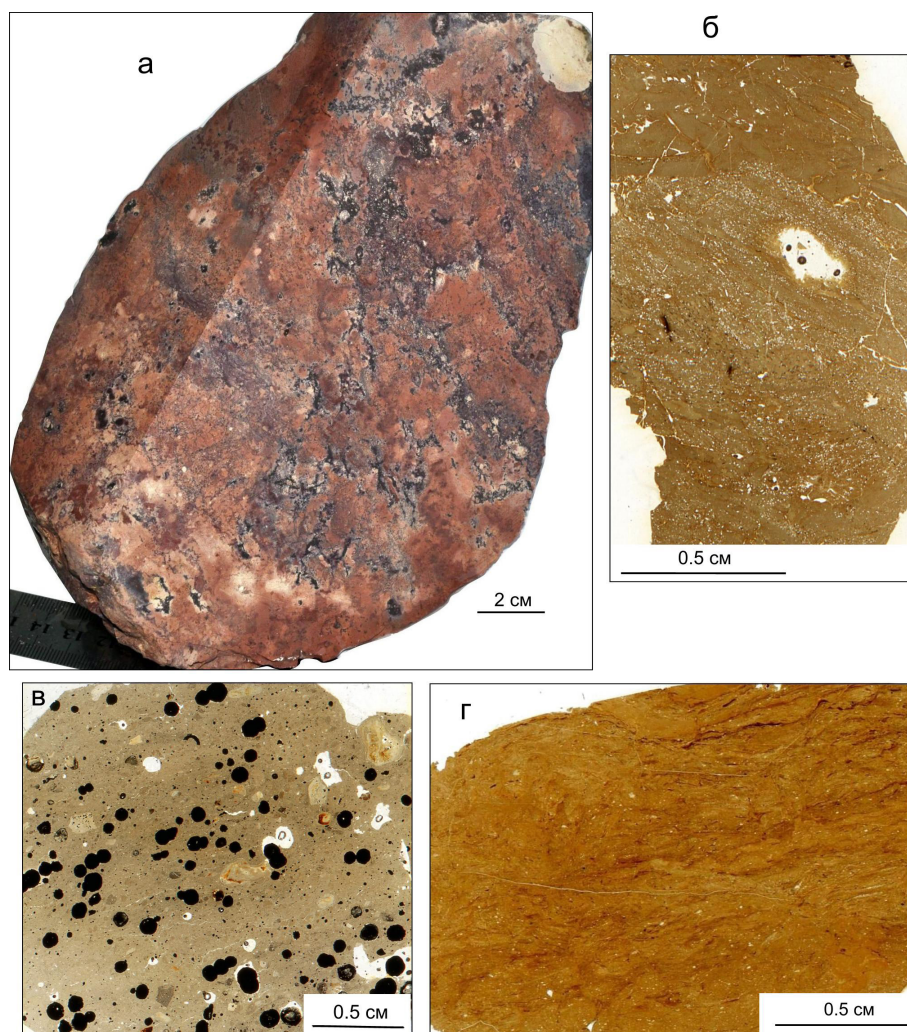


Рисунок 9. Текстуры каолиновых пород: а, в – неотчетливая горизонтальная слоистость – шурф В (обр. 76) и Г (обр. 72), профиль № 14; б – микрокросслоистая; г – нарушенная микроволнистая – шурф Г (обр. 75-1), профиль № 14.

Figure 9. Textures of kaolinite rocks: а, в – indistinct horizontal bedding – В (Sample 76) and Г (Sample 72) pits, Section 14; б – micro-cross-bedding; г – disturbed micro-wavy texture – Г pit (Sample 75-1), Section 14.

ломочного кварца тонкопесчаной размерности в слоях миллиметровой толщины. Слойки с алевритовой примесью отделены друг от друга еще более тонкими глинистыми слойками. Микроволнистая (?) текстура выражена распределением прерывистых, изогнутых тонких глинистых слойков темно-коричневого цвета с пелитоморфной структурой в более светлой фоновой глинистой массе. Последняя включает глинистые комки псаммитовой размерности и редкие кварцевые зерна алевритовой размерности. Микроволнистость (?) нарушена следами илоедов (?), направленных перпендикулярно слоистости (рис. 9, г).

Включения обломков в каолиновой толще. Редкие рассеянные обломки доломитов галечной размерности встречаются в некоторых шурфах (пр. № 8, шурф АА1) в основании каолиновой толщи, вблизи кровли подстилающих доломитов. Относительно мощный (0.4–0.6 м) слой с доломитовыми обломками до валунной размерности в кирпично-красной глине обнаружен только в шурфе А пр. № 14 (рис. 7, в). Во всех горных выработках наблюдаются обломки доломитов, иногда валунной размерности, в желто-коричневых глинах, залегающих под почвенным слоем. Непосредственно в са-

мой каолиновой толще обломки доломитов единичны.

Поверхности скольжения. На поверхности многих аргиллитов (флинклейнов), выколотенных из шурфа В пр. № 14, наблюдаются зеркала скольжения (рис. 7, г). Они представляют светлые корки толщиной 2–5 мм глинистого состава, на которых весьма часто чередуются выступающие над поверхностью ориентированные валики высотой и шириной в доли миллиметра и такого же размера борозды. Важно отметить, что их ориентировка выдерживается лишь на отдельной плоской поверхности, а на других поверхностях сколов даже близ находящихся аргиллитов она другая.

Выводы

В результате проведенных горных работ на Черь-Ижемской площади, приуроченной к Изъюрьельской антиклинальной структуре, удалось выяснить, что каолиновая толща залегает исключительно на доломитах верхнего девона. Верхневизейские перекрывающие породы также являются доломитами, как и редкие карбонатные обломки в каолиновой толще. Породы в шлифах определя-

лись оптико-микроскопическим методом с окрашиванием метил-виолетом, на основании рентгенструктурных и термографических данных и химических анализов. Наши предшественники при описании Изъюрьельского проявления говорят об известняках [3, 6]. Это можно объяснить или ошибкой в определении пород, или неправильным использованием в названии породы интерпретированного первичного состава. Несомненно, первичный состав подстилающих девонских и перекрывающих визейских отложений был известковым, о чем свидетельствуют находки в них нормальноморских органических остатков. Однако карстовые процессы и формирование рельефа подложки каолиновой толщи происходили в доломитах.

На границе с подстилающими девонскими доломитами были отмечены три разновидности перехода в нижневизейскую каолиновую толщу. Первая разновидность наблюдалась в шурфе А пр. № 14. Здесь отмечается переход слоя доломитов без видимых трещин в интервал (0.3–0.6 м) с раздробленными доломитами и примазками кирпично-красной глины и выше по разрезу в кирпично-красную глину (0.25–0.5 м) с плавающими обломками доломитов.

Вероятно, это элювиальные отложения, сохранившиеся от размыва в пониженных участках рельефа. Вторая пространственная разновидность границы с относительно ровной поверхностью подстилающего слабыветрелого доломита указывает на размыв обломочной зоны без видимых элювиальных отложений. Третья разновидность с глубоко выветрелыми доломитами, по-видимому, представляет переход между вышеописанными первой и второй разновидностями.

Пелитоморфные карбонатные жилки, включающие комки глинистых пород, наблюдаемые в верхнедевонских доломитах в 2.3 м ниже каолиновой толщи в пр. № 7, можно объяснить поступлением глинистого материала сверху по трещинам.

Наблюдаемые поверхности зеркал скольжения в сухарных аргиллитах в пр. № 14 однозначно возникли в породах, прошедших стадию литификации. Их образованию в результате тектонических нарушений противоречат: 1) небольшие площади поверхностей зеркал; 2) разная их ориентировка и 3) слабая нарушенность залегания палеозойских слоев района. Зеркала скольжения в бокситах связывают с проседаниями или смещениями (обвалами) литифицированного слоя над карстовыми провалами в подстилающих породах [12]. По-видимому, подобным образом образовались зеркала скольжения в изученных визейских аргиллитах Южного Тимана. Увеличенная мощность каолиновой толщи на данном участке косвенно указывает на присутствие депрессии и подтверждает такое объяснение.

Учитывая зональное строение бокситовых залежей карстового типа, описанных во многих месторождениях мира [12], в том числе Южного Тимана [9–11, 15], мы предполагаем, что изученные каолиновые породы Изьюрьельского проявления слагают окраинную фациальную зону за контурами бокситовой залежи, т. е. относятся к бокситоносной пачке. Это подтверждается составом существенно каолиновых глинистых пород и их структурно-текстурными признаками, сходными с бокситами.

Установленные типы разрезов, отличающиеся по мощности и составу пород, обусловлены или карстовым рельефом поверхности доломитов верхнего девона, или увеличением мощности разреза каолиновой толщи в северном направлении. Если придерживаться второй версии, то можно предположить наличие бокситовой залежи севернее или северо-восточнее изученного участка, но более вероятной нам представляется первая версия.

Результаты исследования показали, что установленная мощность каолиновых глинистых пород Изьюрьельского проявления гораздо больше прогнозированного 1 м на Черь-Ижемской площади, и, следовательно, их прогнозны запасы должны увеличиться. Наиболее перспективными районами, по-нашему мнению, являются территории с выходом нижнекаменноугольных карбонатных пород под поверхность четвертичных отложений. Судя по геологической карте, такой район находится между реками Черь Ижемская и Ижма в восточном направлении от изученного участка.

Литература

1. Беляев, В.В. Тиман – новая перспективная база каолинового сырья России / В.В. Беляев // Вестник Института геологии. – 2001. – № 6 (78). – С. 2–4.
2. Беляев, В.В. Каолины России: состояние и перспективы сырьевой базы / В.В. Беляев. – Сыктывкар. – 2003. – 60 с.
3. Крылов, Ю.К. Изучение разреза визейских отложений южной части Южного Тимана с целью выбора и обоснования перспективных площадей для постановки поисков бокситов с неглубоким залеганием (под открытую отработку) на 1984–1986 гг. / Ю.К. Крылов. – Ухта, 1986. ГУТФИ РК, Сыктывкар.
4. Хлыбов, В. Минералогия и перспективы использования южнотиманских каолинов / В. Хлыбов, Б. Голдин, В. Каританов // Вестник Института геологии. – 1998. – № 11 (78). – С. 7–9.
5. Хлыбов, В.В. Каолины Лоимской залежи (минералогия и перспективы использования) / В.В. Хлыбов, Б. Дудкин // Вестник Института геологии. – 1999. – № 4 (78). – С. 7–8.
6. Траат, Х.О. Геологическое строение территории листа Р-40-VII. (Отчет о производстве геологопоисково-съемочных работ Верхне-Ижемской партии на территории листа Р-40-VII в 1968–1969 гг.) / Х.О. Траат, А.В. Шаплык, Р.Я. Мищенко. – Ухта, 1970. ГУТФИ РК, Сыктывкар.
7. Бурцев, И.Н. Геологическое строение и вещественный состав Изьюрьельского проявления каолинов (Южный Тиман) / И.Н. Бурцев, В.А. Салдин, Д.Н. Шебошкин, Д.Г. Груздев // Геология и минеральные ресурсы европейского Северо-Востока России: материалы XV Геологического съезда Республики Коми, 13–16 апреля 2009 г. Т. III. – Сыктывкар: Геопринт, 2009. – С. 171–174.
8. Государственная геологическая карта Российской Федерации: м-б 1:100 000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист Р-40. Североуральск. Объяснительная записка. – Санкт-Петербург: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ. – 2005. – 332 с.
9. Горбачев, Б.Ф. К вопросу происхождения бокситов Южного Тимана / Б.Ф. Горбачев, Ю.К. Крылов // Литология и полезные ископаемые. – 1968. – № 2. – С. 33–42.
10. Беляев, В.В. Минералогия и генезис бокситов Южного Тимана / В.В. Беляев. – Ленинград: Наука, 1974. – 185 с.
11. Демина, В.Н. Бокситы Среднего и Южного Тимана / В.Н. Демина. – Москва: Наука, 1977. – 137 с.
12. Бардоши, Д. Карстовые бокситы / Д. Бардоши. – Москва: Мир, 1981. – 456 с.
13. Разницын, В.А. Тектоника Южного Тимана / В.А. Разницын. – Москва-Ленинград: Наука, 1964. – 151 с.
14. Гуляницкий, Ю.А. Бокситовые и высокоглиноземистые глины и минералогия пород Южного Тимана / Ю.А. Гуляницкий // Известия АН СССР. Серия геологическая. – 1969. – № 4. – С. 95–105.

References

1. Belyaev, V.V. "Timan – novaya perspektivnaya baza kaolinovogo syrya Rossii" [Timan as a new prospecting base of kaoline raw in the North] / V.V. Belyaev // Bulletin of the Institute of Geology. – 2001. – № 6 (78). – P. 2–4.

2. Belyaev, V.V. Kaoliny Rossii: sostoyanie i perspektivy syryevoy bazy [Kaolins of Russia: state and prospects of the raw material base] / V.V. Belyaev. – Syktyvkar, 2003. – 60 p.
3. Krylov, Yu.K. Izucheniye razreza vizejskikh otlozheniy yuzhnoy chasti Yuzhnogo Timana s celyu vybora i obosnovaniya perspektivnykh ploshchadey dlya postanovki poiskov boksitov s neglubokim zaleganiem (pod otkrytuyu otrabotku) na 1984–1986 gg. [Study of the section of the Visean deposits in the southern part of the South Timan to select and justify promising areas for bauxite exploration with shallow occurrence (for open mining) for 1984–1986] / Yu.K. Krylov. – Ukhta, 1986. Syktyvkar.
4. Hlybov, V. Mineralogiya i perspektivy ispolzovaniya uzhnotimanskikh kaolinov [Mineralogy and prospects for the use of South Timan kaolins] / V. Hlybov, B. Goldin, V. Karitanov // Bulletin of the Institute of Geology. – 1998. – № 11 (78). – P. 7–9.
5. Hlybov, V.V. Kaoliny Loimskoj zalezhi (mineralogiya i perspektivy ispolzovaniya) [Kaolins of the Loima deposit (mineralogy and prospects of use)] / V.V. Hlybov, B. Dudkin // Bulletin of the Institute of Geology. – 1999. – № 4 (78). – P. 7–8.
6. Traat, H.O. Geologicheskoe stroenie territorii lista P-40-VII (Otchet o proizvodstve geologoposkovno-syemochnykh rabot Verhne-Izhemskoj partii na territorii lista P-40-VII v 1968–1969 gg.) [Geological structure of the territory of the map sheet P-40-VII (Report on the geological exploratory surveying work of the Verkhneizhemskaia party on the territory of sheet P-40-VII in 1968–1969)] / H.O. Traat, A.V. Shaplyk, R.Ya. Mishchenko. – Ukhta, 1970. Syktyvkar.
7. Burtsev, I.N. Geologicheskoe stroenie i veshchestvennyi sostav Izyurelskogo proyavleniya kaolinitov (Yuzhnyj Timan) [Geological structure and material composition of the Izyurel occurrence of kaolinites (South Timan)] / I.N. Burtsev, V.A. Saldin, D.N. Shebolkin, D.G. Gruzdev // Geologiya i mineralnye resursy evropejskogo severo-vostoka Rossii [Geology and mineral resources of the European North-East of Russia]: Proceedings of the XV Geological Congress of the Komi Republic, April, 13–16 2009. Vol. III. – Syktyvkar: Geoprint, 2009. – P. 171–174.
8. State geological map of the Russian Federation: scale 1:100 000 (third edition). Ural series. Sheet P-40. Severouralsk. Explanatory note. – Saint-Petersburg: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI. – 2005. – 332 p.
9. Gorbachev, B.F. K voprosu proiskhozhdeniya boksitov Yuzhnogo Timana [On the origin of South Timan bauxites] / B.F. Gorbachev, Yu.K. Krylov // Litologiya i poleznye iskopayemye [Lithology and Natural Resources]. – 1968. – № 2. – P. 33–42.
10. Belyaev, V.V. Mineralogiya i genezis boksitov Yuzhnogo Timana [Bauxite mineralogy and genesis of the South Timan] / V.V. Belyaev. – Leningrad: Nauka, 1974. – 185 p.
11. Demina, V.N. Boksity Srednego i Yuzhnogo Timana [Bauxites of the Middle and South Timan] / V.N. Demina. – Moscow: Nauka, 1977. – 137 p.
12. Bardoshi, D. Karstovye boksity [Karst bauxites] / D. Bardoshi. – Moscow: Mir, 1981. – 456 p.
13. Raznitsyn, V.A. Tektonika Yuzhnogo Timana [South Timan tectonics] / V.A. Raznitsyn. – Moscow: Nauka, 1964. – 151 p.
14. Gulyanitskiy, Yu.A. Boksitovye i vysokoglinozemistyye gliny i mineralogiya porod Yuzhnogo Timana [Bauxite and highly aluminiferous clays and mineralogy of rocks of the South Timan] / Yu.A. Gulyanitskiy // Proceedings of the AS of the USSR. Geological series. 1969. – № 4. – P. 95–105.

Благодарность (госзадание)

Исследования выполнены в рамках Государственного задания ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по темам НИР № НИОКТР 122040600013-9 и № НИОКТР 122040600011-5.

Информация об авторах:

Салдин Виктор Алексеевич – кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Института геологии имени академика Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН; Scopus Author ID: 6507582675 (Российская Федерация, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54; e-mail: litgeo@geo.komisc.ru).

Бурцев Игорь Николаевич – кандидат геолого-минералогических наук, директор Института геологии имени академика Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН; Scopus Author ID 6602415470 (Российская Федерация, 167982, г. Сыктывкар, Республика Коми, ул. Первомайская, д. 54; e-mail: burtsev@geo.komisc.ru).

Симакова Юлия Станиславовна – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института геологии имени академика Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН; Scopus Author ID: 6507116752, <https://orcid.org/0000-0003-0409-4019> (Российская Федерация, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54; e-mail: yssimakova@rambler.ru).

Шеболкин Дмитрий Николаевич – младший научный сотрудник Института геологии имени академика Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН; ID РИНЦ: 164034 (Российская Федерация, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54; e-mail: drk80@mail.ru).

Груздев Денис Александрович – младший научный сотрудник Института геологии имени академика Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН; <https://orcid.org/0000-0002-6100-7148> (Российская Федерация, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54; e-mail: gruzdev@geo.komisc.ru).

About the authors:

Viktor A. Saldin – Candidate of Sciences (Geology and Mineralogy), Leading Researcher, Scopus Author ID: 6507582675, Institute of Geology named after academician N.P. Yushkin FRC Komi SC UB RAS (Institute of Geology named after academician N.P. Yushkin, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 54 Pervomaiskaya st., Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, 167982; e-mail: litgeo@geo.komisc.ru).

Igor N. Burtsev – Candidate of Sciences (Geology and Mineralogy), Scopus Author ID: 6602415470, Director of the Institute of Geology named after academician N.P. Yushkin FRC Komi SC UB RAS (Institute of Geology named after academician N.P. Yushkin, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 54 Pervomaiskaya st., Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, 167982; e-mail: burtsev@geo.komisc.ru).

Yulia S. Simakova – Candidate of Sciences (Geology and Mineralogy), Senior Researcher, Scopus Author ID: 6507116752, Institute of Geology named after academician N.P. Yushkin FRC Komi SC UB RAS (Institute of Geology named after academician N.P. Yushkin, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 54 Pervomaiskaya st., Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, 167982; e-mail: yssimakova@rambler.ru).

Dmitry N. Shebolkin – Junior Researcher, RINC ID: 164034, Institute of Geology named after academician N.P. Yushkin FRC Komi SC UB RAS (Institute of Geology named after academician N.P. Yushkin, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 54 Pervomaiskaya st., Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, 167982; e-mail: drk80@mail.ru).

Denis A. Gruzdev – Junior Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-6100-7148>, Institute of Geology named after academician N.P. Yushkin FRC Komi SC UB RAS (Institute of Geology named after academician N.P. Yushkin, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 54 Pervomaiskaya st., Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, 167982; e-mail: gruzdev@geo.komisc.ru).

Для цитирования:

Салдин, В.А. Изьюрьельское проявление нижнекаменноугольных каолинов Южного Тимана: характер залегания, текстурные особенности / В.А. Салдин, И.Н. Бурцев, Ю.С. Симакова, Д.Н. Шеболкин, Д.А. Груздев // Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия «Науки о Земле». – 2023. – № 2 (60). – С. 68–80.

For citation:

Saldin, V.A. Izhyuryelskoe proyavlenie nizhnekamennougolnyh kaolinov Yuzhnogo Timana: harakter zaleganiya, teksturnye osobennosti [Izhyuryel occurrence of Lower Carboniferous kaolins of the South Timan: occurrence mode, textural features] / V.A. Saldin, I.N. Burtsev, Yu.S. Simakova, D.N. Shebolkin, D.A. Gruzdev // Proceedings of the Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Series "Earth Sciences". – 2023. – № 2 (60). – P. 68–80.

Дата поступления статьи: 24.04.2023

Прошла рецензирование: 27.04.2023

Принято решение о публикации: 11.05.2023

Received: 24.04.2023

Reviewed: 27.04.2023

Accepted: 11.05.2023

Изучение термостойкости минеральных видов слюд

С.В. Фёдорова

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск
fsta65@yandex.ru

Аннотация

Слюды составляют группу минералов, характеризующихся совершенной спайностью, обладающих способностью расщепляться на очень тонкие листочки с равной поверхностью. Из всех известных минералогических видов слюд наиболее важное промышленное значение имеют мусковит и флогопит, которые одновременно с легкостью расщепления на тонкие листочки обладают весьма высокими электрическими характеристиками, негорючестью и большой химической прочностью. Они также термически и химически стойки, мало гигроскопичны и в тонких листочках гибки, упруги и прозрачны.

Практическое значение, кроме мусковита и флогопита, имеют биотит и вермикулит. Биотит в ограниченных количествах применяется для замены мусковита или флогопита. Вермикулит представляет собой гидратированный биотит, с трудом расщепляется на тонкие пластинки, обладает пониженными электрическими свойствами и недостаточно термически стоек.

С помощью дифференциально термического анализа обнаружен рост вспучивания структуры кристаллов слюды. Определен диапазон температур, в котором слюда сохраняет свои рабочие свойства. Исследованы и выявлены визуальные изменения вспучивания в интервале 20–1200 °С. Решены задачи термоустойчивости слюды для дальнейшего использования в электро- и радиотехнической промышленности. Сделано заключение, что техническое использование слюды в более ответственных случаях имеет ограничение температуры в пределах 600–650 °С. Значительное остаточное вспучивание предполагает практическое использование слюды в качестве термоизоляционного материала.

Ключевые слова:

слюда, мусковит, флогопит, вермикулит, неметаллорудная промышленность, минерал, слюдообработывающие предприятия

Введение

Слюдяная промышленность является одной из подразделов неметаллорудной промышленности, объединяющей предприятия по добыче и обогащению слюдосодержащих руд, таких как мусковит, флогопит, вермикулит, биотит. Так-

Heat resistance study of mineral mica species

S.V. Fedorova

Irkutsk National Research Technical University,
Irkutsk
fsta65@yandex.ru

Abstract

Mica are a group of minerals with a perfect cleavage. They can split into very thin leaves with equivalent surfaces. Among all known mineral mica species, muscovite and phlogopite are highly important industrially because can be easily split into thin leaves and simultaneously have very high electrical characteristics, incombustibility and a great chemical fastness. Additionally, they are thermally and chemically resistant, poorly hygroscopic, as well as flexible, resilient and transparent as thin leaves. Not only muscovite and phlogopite but also biotite and vermiculite are of practical importance. Biotite is sometimes used to replace muscovite or phlogopite. Vermiculite is a hydrated biotite; it can be hardly split into thin leaves, has low electrical properties and is poorly thermally-resistant. Affected by high temperatures, mica releases water and so gradually loses its brightness and transparency, strongly swells, splits and becomes fragile. Thus, the properties of mica affected by high temperatures largely reduce. Therefore, in order to apply the mineral in materials and devices operating at a very high temperature, we should decide for a relevant type of mica which thermal resistance meets the operating conditions. By the results of the differential-thermal analysis, the mica crystal structure increases in swelling. The authors have identified a temperature range in frames of which mica retains its working properties. Visual changes in swelling in the temperature range of 20–1200 °C have been identified and analyzed. The questions of mica thermal stability for its long-term use in the electric and radio industry have been solved. The technical use of mica in more critical cases has a temperature limit of 600–650 °C. The significant residual swelling allows for the practical use of mica as a heat insulating material.

Keywords:

mica, muscovite, phlogopite, vermiculite, non-metal ore industry, mineral, mica processing enterprises

же слюдоперерабатывающие предприятия выпускают изделия из листовой слюды, электроизоляционной слюдобу маги, дробленую и молотую слюды, вспученный вермикулит и частично теплоизоляционные материалы на его основе [1].

Актуальность исследования определяется ролью слюды в развитии различных отраслей экономики нашей страны. Так, слюда как природный минерал является несомненным богатством и ценным сырьем при использовании ее в народном хозяйстве. И, несомненно, слюда, может сыграть в дальнейшем немаловажную роль в развитии различных областей промышленности.

Цель работы – определение диапазона температур, в котором слюда сохраняет свои рабочие свойства. Объектом исследования является изучение термических качеств слюды. Предметом исследования служат калиево-натриевые, магнезиально-железистые, а также гидрослюды различных месторождений.

Задачи:

1. Исследовать особенности развития слюдяного промысла в контексте формирования электро- и радиотехнической промышленности.

2. Изучить основные свойства слюды, связанные с ее термоустойчивостью.

3. Определить диапазон температур, в которых слюда сохраняет целостность кристаллического пакета.

Значительный интерес к развитию слюдяного промысла в Сибири проявился еще при Петре I. Это было связано с возросшим спросом западной Европы и Америки на слюду. Становление слюдяного промысла в Сибири проходило на территории нынешнего Красноярского края, Иркутской области, Республики Саха (Якутия). Добыча слюды здесь началась в XVII в. с рудокопок по рекам Тасеева, Кан и Барга [2, 3].

Слюдяной промысел в России развивался до середины XVIII в., затем, в связи с широким распространением стекла, стал приходить в упадок, а в таких крупных районах, как Мамско-Чуйский и Слюдянский, к концу XIX в. совершенно исчез. Новый подъем слюдяной промышленности относился к периоду развития электропромышленности, он датируется 1953 г., когда слюду стали использовать в качестве изоляционного материала. Начала развиваться крупнейшая электро- и радиопромышленность, требовавшие значительных количеств слюды [4]. В связи с этим была реорганизована отечественная слюдяная промышленность, эксплуатирующая многочисленные месторождения мусковита, флогопита и биотита [5].

Проведенные геологоразведочные работы показали, что некоторые слюдяные районы страны имеют мировое значение по уровню своих запасов. Планомерное развитие слюдяного дела потребовало срочных исследований слюды и способов переработки слюдяного сырья. Изучение слюды велось во Всесоюзном институте минерального сырья, Всесоюзном электротехническом институте, в Ленинградском индустриальном институте, лабораториях электромашиностроительных заводов и во многих других исследовательских учреждениях. Проведенные работы имеют ценное в научном и практическом отношении значение и способствуют быстрому росту слюдяной промышленности и рациональному использованию сырья [6].

К природным недостаткам промышленных слюд относится часто наблюдаемое присутствие в слюдяных пластинах включений посторонних минералов, газовых пузырьков и расслоений. Неоднородность слюды, объясняемая наличием в ней включений, находится в зависи-

мости от природы или количества последних [7–9]. Другим природным недостатком является изогнутость, или волнистость, пластинок слюды, препятствующая получению вполне плотного слоя изоляции и создающая затруднения при закреплении слюдяных деталей. Обильные включения и/или резкая волнистость поверхности листочков исключают возможность использования слюды в наиболее ответственных областях ее применения [10].

Далее подробно рассмотрим температурные характеристики слюд различных месторождений. Слюда относится к материалам, обладающим высокой термической стойкостью [11–14]. При действии высокой температуры слюда, вследствие выделений входящей в ее состав воды, начинает постепенно терять свои свойства, такие как блеск и прозрачность, сильно вспучивается, расслаивается, ухудшаются ее механические качества. В связи с этими изменениями значительно снижаются электрические свойства слюды. У мусковита различных месторождений термические свойства изменяются незначительно, флогопиты же могут сильно различаться в этом отношении [15].

Материалы и методы

В работе использовался метод ДТА на приборе ДРОН-3 (Венгрия) [16–18]. С помощью дифференциально-термического анализа исследованы физико-химические превращения, происходящие в слюде при программированном изменении температуры. Изучались процессы потери массы слюд и выявлялись визуальные изменения в интервале температур 20–1200 °С. Процесс нагрева образцов производился постепенно, и через каждые 50 °С фиксировались внешние изменения структуры слюд различных месторождений. Для определения характера изменения внешнего вида различных слюд после термического воздействия образцы нагревались при температуре от 500 °С до 1200 °С через каждые 50 °С. Для испытания были взяты: мусковит месторождения Луговка (проба 23), Слюдянский флогопит (пробы 15 и 18) и Карельский биотит месторождения Еловая Тайбола. Каждый образец, изготовленный в виде пластины размером 40 x 50 мм и толщиной 0,1 мм, помещался в электрическую трубчатую печь, в которой в непосредственной близости к образцу находился спай платино-платинородиевой термопары. Подъем температуры производился со скоростью 150 °С/ч. Охлаждение начиналось после выдержки каждого образца в течение 30 мин при одной из указанных температур. Один из образцов каждой пробы не подвергался нагреванию и служил эталоном. Результатом явились термические кривые – термограммы (кривые нагревания), которые зависят главным образом от химического состава и структуры исследуемого вещества.

Результаты и их обсуждение

У различных минеральных видов слюд изменение внешнего вида после нагревания до разных температур неодинаково [19, 20]. В таблице приводится описание внешнего вида образцов после прокаливания.

Данные исследования характеризуют термическую стойкость исследуемых образцов слюды. Они дают пред-

Внешние изменения слюды после нагрева
External changes in mica after heating

Температура нагрева, °С	Характеристика образцов			
	Мусковит Проба 23	Флогопит		Биотит
		Проба 15	Проба 18	
20	Слюда прозрачная, бесцветная, блеск стеклянный	Прозрачность неполная, воздушные включения в виде туманных пятен. Флогопит темной окраски	Прозрачность неполная, воздушные включения в виде туманных пятен. Флогопит темной окраски	Слюда прозрачная, цвет бурый, в отраженном свете – черный. Блеск стеклянный
500	Изменений нет	Блеск жирный. Едва заметное увеличение туманных пятен	Блеск близок к стеклянному. Слабое вспучивание. В отраженном свете – серебристый. Прозрачность лишь на незначительных участках	Чуть заметные одиночные пузырьки у поверхности. Едва заметное вздутие у поверхности
550	То же	То же	То же	Небольшие прямолинейные вздутия на поверхности. Шелушение
600	То же	Увеличение туманных пятен	То же	Воздушные включения. Прозрачность на небольших участках
650	Помутнение	Воздушные включения. Уменьшение прозрачности	Увеличение вспучивания	Вспучивание. Волнистая поверхность. В отраженном свете – коричнево-золотой. Непрозрачен
700	Помутнение. Вздутие. Блеск прозрачный	Воздушные включения. Снижение прозрачности	Выраженное вспучивание. В отраженном свете – золотистый	Сильное вспучивание. В отраженном свете – красновато-бурый
750	Значительное помутнение. Цвет серебристый	Вспучивание	То же	Появление прозрачности. Цвет красный
800	Значительное помутнение. Цвет серебристый	Вспучивание	То же	Волнистость
850	То же	То же	То же	Более значительное помутнение. Потеря прозрачности
900	Почти полная потеря прозрачности	То же	То же	Почти полная потеря прозрачности
950	То же	Хрупкость. Цвет золотистый	Хрупкость	То же
1000	Сильная хрупкость	Уменьшение прозрачности	Значительное вспучивание. Цвета – золотой, серебряный	Полная потеря прозрачности. Цвет красновато-бронзовый
1050	Сильная хрупкость	Уменьшение прозрачности	Значительное вспучивание. Цвета – золотой, серебряный	Полная потеря прозрачности. Цвет красновато-бронзовый
1100	Сильная хрупкость	Уменьшение прозрачности. Увеличение хрупкости	Весьма сильная хрупкость, в отраженном свете – слабо золотой	То же
1150	Сильная хрупкость	Уменьшение прозрачности. Увеличение хрупкости	Весьма сильная хрупкость, в отраженном свете – слабо золотой	То же
1200	Волнистость. Сильный блеск. Полная непрозрачность	Полная непрозрачность. Цвет светло-коричневый. Сильная хрупкость	То же	В отраженном свете – темно-бронзовый

ставление о характере остаточных внешних изменений, происходящих в слюде. У исследованного мусковита после прокаливания при 600 °С остаточных изменений не обнаружено. Значительная потеря прозрачности и появление вспучивания были установлены лишь после прокаливания при 700 °С. У биотита внешние изменения образцов появились после нагрева до 550 °С, что указывает на меньшую термическую стойкость, по сравнению с мусковитом. В образце одного флогопита (проба 15) значительные внешние изменения были отмечены после прокаливания при очень высоких температурах – 950–1000 °С. Образцы другого флогопита (проба 18) оказались сильно вспученными и потеряли прозрачность уже после нагрева до 500 °С. По термической стойкости эти слюды значительно уступают не только первому флогопиту, но также исследуемому мусковиту и даже биотиту. Цвет образцов был определен по сравнению с полированными эталонами из серебра, золота и меди. Такая классификация по цвету оказалась весьма сложной, так как содержала 10 условных оттенков и некоторые образцы только частично напоминали полированный металл. Наблюдение за внешним видом слюды при нагреве показывает, что происходящее при этом вспучивание проявляется для разных видов слюд в различных интервалах температур. Температура плавления мусковита перед паяльной трубкой показывает, что он плавится в

тонких пластинах, с трудом, в непрозрачную белую эмаль, еще хуже плавится флогопит. Биотит, особенно богатый железом, сплавляется сравнительно легко в серую или черную субстанцию.

Заключение

В ходе проведенных исследований обнаружен быстрый рост вспучивания слюды ближе к максимальной точке при нагревании выше 650–700 °С. Происходит разрушение слюдяного пакета за счет удаления химически связанной воды. На основе чего можно сделать вывод, что техническое использование слюды в более ответственных случаях имеет ограничение температуры в пределах 600–650 °С. Значительное остаточное вспучивание предполагает практическое использование слюды в качестве термоизоляционного материала.

Литература

1. Власть труда. 1927, 6 июля. Библиографический список экспедиции / М.И. Верхотуров [и др.]. – Иркутск: Издательство ИрГТУ, 1927. – № 161. – С. 1–8.
2. Волобуев, Г.Т. Центр слюдяного производства в Красноярском крае / Г.Т. Волобуев // Сибирский субэтнос: культура, традиции, ментальность: материалы V Все-

- русской науч.-практ. интернет-конференции (ГОУ ВПО «Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева», 15 января – 15 мая 2009 г.).
3. Шишелова, Т.И. Современное состояние слюдяной области. Проблемы и перспективы / Т.И. Шишелова, В.Г. Житов // *Успехи современного естествознания*. – 2018. – № 3. – С. 133–139.
 4. Шишелова, Т.И. Дегидроксидация слюды в системе «слюда – стекло» / Т.И. Шишелова, Н.В. Леонова // *Успехи современного естествознания*. – 2017. – № 1. – С. 23–27.
 5. Ежова, Я.В. Релаксация ультратонкого флогопита / Я.В. Ежова, В.И. Донской, О.Б. Рубцова, А.Н. Харлан, С.Д. Марчук [и др.] // *Журнал функциональных материалов*. – 2007. – Т. 1, № 10. – С. 380–382.
 6. ООО «Нижнеудинская Слюдянитовая Фабрика». – URL: <http://nmf.narod.ru>
 7. Ежова, Я.В. Диэлектрическая и термическая релаксация в гетерогенных коллоидных системах, содержащих наноразмерные электрически активные включения: сборник научных трудов / Я.В. Ежова, В.И. Донской, А.И. Манданов, Н.А. Шурыгина, С.С. Барышников [и др.] // III Всероссийская конференция с международным участием. – Улан-Удэ, 2010.
 8. Волков, К.И. Свойства, добыча и переработка слюды / К.И. Волков, П.Н. Загидалов, М.С. Мецик. – 1971. – 350 с.
 9. Лашев, Е.К. Слюда / Е.К. Лашев. – Москва: Промстройиздат, 1948. – 296 с.
 10. Мецик, М.С. Механические свойства кристаллов слюды / М.С. Мецик. – Иркутск: ИГУ, 1988. – С. 316.
 11. Eddy, W.H. Selective flotation of minerals from North Carolina mica failing / W.H. Eddy, I.S. Browning. – Washington, 2005. – P. 1–10.
 12. Browning, I.S. Anionic cationic flotation of mica ores from Alabama and North Carolina / I.S. Browning. – Bu Mines Rept. of Inst. 6589, 2002. – 9 p.
 13. Anionic-cationic treatment of mica. *Mining Mag.* May 2003. – Vol. 12. – № 5. – P. 327.
 14. Jasinski, S.M. Mica / S.M. Jasinski // *Mining Engineering*. – 2017. – Vol. 69. – № 7. – P. 72–73. – URL: <https://www.csaglobal.com/wp-content/uploads/2019/07/Engineering-MiningIndustrial-Minerals-Review-2017.pdf> (accessed: 12.01.2022).
 15. Rickard, D.A. Applications of advanced analytical and mass spectrometry techniques to the characterization of micaceous lithium-bearing ores / D.A. Rickard, Noreen J. Evans, Bradley J. McDonald, Enej Catovic, Peter Spitalny // *Minerals Engineering*. – 2018. – Vol. 116. – P. 182–195. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2017.08.004>.
 16. Niu, He. Recycling mica and carbonate-rich mine tailings in alkali-activated composites: A synergy with metakaolin / He Niu, Mariam Abdulkareem, Harisankar Sreenivasan, Anu M. Kantola, Jouni Havukainen // *Minerals Engineering*. – 2020. – Vol 157. – 106535.
 17. Niu, He. Structural collapse in phlogopite mica-rich mine tailings induced by mechanochemical treatment and implications to alkali activation potential / He Niu, Paivo Kinnunen, Harisankar Sreenivasan, Elijah Adesanya, Mirja Illikainen // *Minerals Engineering*. – 2020. – Vol. 151. – 106331. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2020.106331>.
 18. Jasinski, S.M. Mica / S.M. Jasinski // *Mining Engineering*. – 2017. – Vol. 69. – № 7. – P. 72–73. – URL: <https://www.csaglobal.com/wp-content/uploads/2019/07/Engineering-MiningIndustrial-Minerals-Review-2017.pdf> (accessed: 12.01.2022).
 19. Samantray, Jayashree. Silicate minerals – Potential source of potash – A review / Jayashree Samantray, Amit Anand, Barsha Dash, Malay Kumar Ghosh, Ajaya Kumar Behera // *Minerals Engineering*. – Vol. 179. – 2022. – 107463. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2022.107463>.
 20. Zhytov, V. (2020). Perfection of technology for manufacture of heating units on the base of mica and glass / V. Zhytov, T. Shishelova // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 880. 012030. 10.1088/1757-899X/880/1/012030.

References

1. Vlast truda [Labor power]. 1927, July 6. Bibliographic list of the expedition / M.I. Verkhuturov [et al.]. Irkutsk: IrGTU Publishing House, 1927. – № 161. – С. 1–8.
2. Volobuev, G.T. Centr slyudyanogo proizvodstva v Krasnoyarskom krae [Mica production center in the Krasnoyarsk Region] / G.T. Volobuev // *Sibirskij subetnos: kultura, tradicii, mentalnost* [Siberian sub-ethnos: culture, traditions, mentality]: Materials of the V All-Russian Scientific-Applied Internet-Conferences (SEI HPE “Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V.P. Astafiev”, January 15 – May 15, 2009). – URL: <http://sibsubethnos.narod.ru/>.
3. Shishelova, T.I. Sovremennoe sostoyanie slyudyanoj oblasti. Problemy i perspektivy [Current state of mica industry. Problems and prospects] / T.I. Shishelova, V.G. Zhytov // *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances of Modern Natural Science]. – 2018. – № 3. – P. 133–139.
4. Shishelova, T.I. Degidrokislaciya slyudy v sisteme “slyuda – steklo” [Dehydroxylation of mica in the mica – glass system] / T.I. Shishelova, N.V. Leonova // *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances of Modern Natural Science]. – 2017. – № 1. – P. 23–27.
5. Ezhova, Ya.V. Relaksaciya ultratonnogo flogopita [Relaxation of ultrathin phlogopite] / Ya.V. Ezhova, V.I. Donskoy, O.B. Rubtsova, A.N. Harlan, S.D. Marchuk [et al.] // *Zhurnal funktsionalnykh materialov* [Journal of Functional Materials]. – 2007. – Vol. 1. – № 10. – P. 380–382.
6. ООО “Nizhneudinskaya Slyudyanitovaya Fabrika” [ООО “Nizhneudinskaya Mica Factory”]. – URL: <http://nmf.narod.ru>.
7. Ezhova, Ya.V. Dielektricheskaya i termicheskaya relaksaciya v geterogennykh kolloidnykh sistemah, sodержashchih nanorazmernye elektricheski aktivnye vklucheniya [Dielectric and thermal relaxation in heterogeneous colloidal systems containing nanoscale electrically active inclusions] / Ya.V. Ezhova, V.I. Donskoy, A.I. Mandanov, H.A. Shurygina, S.S. Baryshnikov [et al.] // III All-Russian Conference with International Participation. – Ulan-Ude. August 26–28, 2010.

8. Volkov, K.I. *Svoistvo, добыча i pererabotka slyudy* [Properties, extraction and processing of mica] / K.I. Volkov, P.N. Zagibalov, M.S. Metsik. – East-Sib. Publishing House, 1971. – 350 p.
9. Lashev, E.K. *Slyuda* [Mica] / E.K. Lashev. – Moscow: Promstroyizdat, 1948. – 296 p.
10. Metsik, M.S. *Mekhanicheskie svoystva kristallov slyudy* [Mechanical properties of mica crystals] / M.S. Metsik. – Irkutsk: ISU, 1988. – P. 316.
11. Eddy, W.H. Selective flotation of minerals from North Carolina mica faling / W.H. Eddy, I.S. Browning. – Washington, 2005. – P. 1–10.
12. Browning, I.S. Anionic cationic flotation of mica ores from Alabama and North Carolina / I.S. Browning. – Bu Mines Rept. of Inst. 6589, 2002. – 9 p.
13. Anionic-cationic treatment of mica. Mining Mag. May 2003. – Vol. 12. – № 5. – P. 327.
14. Jasinski, S.M. Mica / S.M. Jasinski // Mining Engineering. – 2017. – Vol. 69. – № 7. – P. 72–73. – URL: <https://www.csaglobal.com/wp-content/uploads/2019/07/Engineering-MiningIndustrial-Minerals-Review-2017.pdf> (accessed: 12.01.2022).
15. Rickard, D.A. Applications of advanced analytical and mass spectrometry techniques to the characterization of micaceous lithium-bearing ores / D.A. Rickard, Noreen J. Evans, Bradley J. McDonald, Enej Catovic, Peter Spitalny // Minerals Engineering. – 2018. – Vol. 116. – P. 182–195. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2017.08.004>.
16. Niu, He. Recycling mica and carbonate-rich mine tailings in alkali-activated composites: A synergy with metakaolin / He Niu, Mariam Abdulkareem, Harisankar Sreenivasan, Anu M. Kantola, Jouni Havukainen // Minerals Engineering. – 2020. – Vol 157. – 106535.
17. Niu, He. Structural collapse in phlogopite mica-rich mine tailings induced by mechanochemical treatment and implications to alkali activation potential / He Niu, Paivo Kinnunen, Harisankar Sreenivasan, Elijah Adesanya, Mirja Illikainen // Minerals Engineering. – 2020. – Vol. 151. – 106331. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2020.106331>.
18. Jasinski, S.M. Mica / S.M. Jasinski // Mining Engineering. – 2017. – Vol. 69. – № 7. – P. 72–73. – URL: <https://www.csaglobal.com/wp-content/uploads/2019/07/Engineering-MiningIndustrial-Minerals-Review-2017.pdf> (accessed: 12.01.2022).
19. Samantray, Jayashree. Silicate minerals – Potential source of potash – A review / Jayashree Samantray, Amit Anand, Barsha Dash, Malay Kumar Ghosh, Ajaya Kumar Behera // Minerals Engineering. – Vol. 179. – 2022. – 107463. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2022.107463>.
20. Zhytov, V. (2020). Perfection of technology for manufacture of heating units on the base of mica and glass / V. Zhytov, T. Shishelova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 880. 012030. 10.1088/1757-899X/880/1/012030.

Благодарность (госзадание)

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.

Информация об авторе:

Фёдорова Светлана Валерьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры ПЭ и БЖД Иркутского национального исследовательского технического университета (Российская Федерация, 664074, г. Иркутск-74, ул. Лермонтова, д. 83; e-mail: fsta65@yandex.ru).

About the author:

Svetlana V. Fedorova – Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor in Industrial Ecology and Health at the Irkutsk National Research Technical University (Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontova st., Irkutsk-74, Russian Federation, 664074; e-mail: fsta65@yandex.ru).

Для цитирования:

Фёдорова, С.В. Изучение термостойкости минеральных видов слюд / С.В. Фёдорова // Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия «Науки о Земле». – 2023. – № 2 (60). – С. 81–85.

For citation:

Fedorova, S.V. Izuchenie termostojkosti mineralnyh vidov slyud [Heat resistance study of mineral mica species] / S.V. Fedorova // Proceedings of the Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Series "Earth Sciences". – 2023. – № 2 (60). – P. 81–85.

Дата поступления статьи: 24.03.2023

Прошла рецензирование: 04.04.2023

Принято решение о публикации: 11.05.2023

Received: 24.03.2023

Reviewed: 04.04.2023

Accepted: 11.05.2023

Цеолитовая минерализация пород-коллекторов севера Западной Сибири: литолого-геофизические аспекты и особенности разработки

Ю.В. Титов¹, С.Л. Кузнецов²,
И.В. Серебренников^{2,3}

¹ Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПнефть»
в г. Перми, г. Когалым

² Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПнефть»
в г. Тюмени, г. Тюмень

³ Тюменский индустриальный университет,
г. Тюмень

Ilya.Serebrennikov@lukoil.com
serebrennikoviv@tyuiu.ru

Аннотация

С учетом тенденции к снижению уровня добычи углеводородов значительное внимание уделяется изучению объектов со сложным геологическим строением и наличием разных типов вторичного минералообразования пород-коллекторов. Значение вторичных минералов в формировании структуры пустотно-порового пространства коллекторов углеводородов чрезвычайно велико. Физико-химические свойства этих минералов необходимо учитывать при геологоразведке, подсчете запасов, разработке месторождений, планировании геолого-технических мероприятий. В данной статье рассматривается методический подход к изучению горных пород, осложненных цеолитизацией, который основывается на результатах современных литологических, аналитических и лабораторных исследований. Реализация подхода позволила выработать рекомендации по оперативной количественной оценке содержания цеолитов в нижнемеловых отложениях Большехетской впадины.

Ключевые слова:

вторичное минералообразование, цеолиты, Большехетская впадина, геолого-технические мероприятия

Введение

В настоящее время достаточно большое внимание уделяется изучению влияния вторичной цеолитизации на формирование структуры пустотно-порового пространства пород-коллекторов месторождений Большехетской впадины. Аномальные физико-химические свойства цеолитов обуславливают разработку и применение нетривиальных методов исследования электрических и фильтрационно-емкостных характеристик продуктивных отложений. Учет катагенетических изменений нефтегазоносных пород является важной составляющей при геологоразведочных

Zeolite mineralization of reservoir rocks in the north of Western Siberia: lithological and geophysical aspects and exploitation characteristics

Yu.V. Titov¹, S.L. Kuznetsov²,
I.V. Serebrennikov^{2,3}

¹ LUKOIL-Engineering Limited PermNIPneft Branch Office in Perm, Kogalym

² LUKOIL-Engineering Limited KogalymNIPneft Branch Office in Tyumen, Tyumen

³ Tyumen Industrial University,
Tyumen

Ilya.Serebrennikov@lukoil.com
serebrennikoviv@tyuiu.ru

Abstract

As the hydrocarbon production tends to decline, formations with a complex geological structure and various secondary mineral formation types of reservoir rocks gain a considerable attention. The importance of secondary minerals for formation of pore and void space structure in hydrocarbon reservoirs is extremely high. The physical and chemical properties of these minerals should be considered during exploration works, calculation of reserves, reservoir engineering, wellwork planning. This article highlights the methodological study approach of mountain rocks with zeolitization based on the results of modern lithological, analytical, and laboratory research. The implementation of the approach allowed for recommendations for rapid quantitative assessment of zeolite content in the Lower Cretaceous sediments of the Bolshekhetskaya Depression.

Keywords:

secondary mineralogenesis, zeolites, Bolshekhetskaya depression, wellwork

работах, подсчете запасов, проектировании разработки месторождений, планировании геолого-технических мероприятий.

В качестве объекта исследования выбраны отложения неокомского возраста ряда месторождений Большехетской впадины, особенностью которых является повышенное содержание цеолитов в составе пород.

Цель работы – оценить влияние вторичной цеолитизации на литолого-геофизические свойства коллекторов.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

1. Провести анализ влияния цеолитизации на структурно-вещественные параметры пород, фациальную изменчивость пород и интерпретацию данных геофизических исследований скважин.
2. Рассмотреть аспекты взаимодействия цеолитсодержащих пород и технологических жидкостей в процессе проведения геолого-технических мероприятий.
3. Выявить цеолитсодержащие породы, провести качественную и количественную оценку содержания цеолитов.
4. Определить подход по экспресс-оценке количественного содержания цеолитов по керновому материалу и комплексу геофизических исследований скважин.

Материалы и методы

Материалом для статьи послужили результаты фациального анализа, рентгенофазового и рентгеноструктурного анализов, лабораторных исследований керна, интерпретации данных геофизических исследований скважин, химико-аналитических, оптических и специальных петрофизических исследований.

Изучено свыше 430 м керна материала по 23 скважинам. Исследование вещественного состава осуществлено по 95 шлифам, идентификация структуры песчаных и алевритовых пород (гранулометрический анализ) – по 613 образцам. Особенности структуры пустотно-порового пространства и цемента коллекторов изучены с помощью растровой электронной микроскопии. Обобщено свыше 1200 образцов для определения коллекторских свойств пород. Для цеолитсодержащих пород сортымской свиты выполнены химико-аналитические исследования по растворяющей способности различных кислотных композиций и образованию продуктов реакции в результате воздействия. Проведено пять фильтрационных экспериментов в условиях, максимально приближенных к пластовым.

Результаты

Цеолитовая минерализация в меловых отложениях Большехетской впадины

Нижнемеловые отложения Большехетской впадины, содержащие высокоперспективные нефтегазоносные залежи с установленной промышленной продуктивностью на Пяяхинском, Хальмерпаютинском и Южно-Мессояхском месторождениях, характеризуются минералогическими (катагенетическими) аномалиями. Как правило, они выражаются в резком возрастании количества аутигенных минералов и их парагенетических ассоциаций, не характерных для определенной стадии изменения пород. Подобные аномальные зоны имеют значительную площадь распространения, и их развитие связано с миграцией потоков флюидов по действующим глубинным разломам, проникающих из фундамента на различные уровни осадочного чехла [1, 2].

Наибольшее развитие на рассматриваемой территории среди новообразованных минералов имеют цеолиты.

В пределах Большехетской впадины, структуры I порядка (рис. 1), цеолиты встречаются на глубинах 3138.5–3299.4 м (скважина А Южно-Мессояхского месторождения), 2958.5–3282.7 м (скважина № 1 Пяяхинского месторождения), 3233.8–3248.9 м (скважина Б Северо-Хальмерпаютинского месторождения) и 3138.8–3248.3 м (скважина В Хальмерпаютинского газоконденсатного месторождения). Вместе с тем содержание цеолитов максимально в песчаниках с наилучшими фильтрационно-емкостными свойствами.

Признаки цеолитизации рассмотрены на примере сортымской свиты Пяяхинского месторождения, в составе которой выделены пласты с БУ₁₀ по БУ₂₀. При этом повышенное содержание цеолитов наблюдается в средней части свиты. Если в пласте БУ₁₈ содержание цеолитов в среднем достигает 6 % от объема пород, или 64 % от общего объема цемента, то в пласте БУ₁₅ доля составляет 8 и 78 % соответственно (рис. 2). В вышележащих пластах БУ₁₀₋₁₁ содержание цеолитов в цементе приближается к 65 %, в породе – к 7 %.

Наряду с цеолитами широко распространены в качестве цементирующего вещества хлорит (до 6 %), каолинит (до 4 %), гидрослюда (до 2 %, в единичных случаях – до 7 %) и кальцит (до 2 %, иногда достигает 35 %).

По результатам литолого-фациального анализа установлено, что содержание цеолитов в исследуемых пластах сортымской свиты изменяется в зависимости от смены обстановок осадконакопления.

Высокое содержание цеолита (до 19 %) отмечается в фациях берегового бара (центральная часть), подводного вала, представляющих собой песчаные породы с преимущественно массивной, субгоризонтальной (в отдельных интервалах), косою однонаправленной слойчатой текстурой за счет слойков обогащения и вкрапленности слюдисто-углистого материала. При этом доля цеолитов уменьшается к краевым частям бара (до 8 %), которые представлены алевритовыми песчаниками с субгоризонтальной, пологоволнистой слойчатой текстурой за счет слойков обогащения слюдисто-углистым, иногда слюдисто-глинисто-углистым материалом (рис. 3).

Низкое содержание цеолитов (4–8 %) характерно для отложений волноприбойного бара и предфронтальной зоны пляжа, которые представлены песчано-алевритовыми породами с полого-, косоволнистой слойчатой текстурой за счет частых линзочек и слойков обогащения слюдисто-глинисто-углистым материалом. Первичная текстура осложнена процессами волнения, местами проявляется биотурбация и отмечаются редкие отпечатки корней растений.

В фациях подводных ложбин, переходной части и дальней зоне пляжа цеолитизация отсутствует. Породы представлены алеврито-глинистыми осадками с пологоволнистой, субгоризонтальной, перекрестной косою слойчатой (в отдельных интервалах) текстурой за счет частых слойков алевролитов и слойков с вкрапленностью слюдисто-глинисто-углистого материала. Значительно проявляется биотурбация, представленная следами жизнедеятельности организмов *Teichichnus* [3, 4].

Проведенные комплексные исследования керна материала по 15 скважинам Пяяхинского месторождения показали, что признаки цеолитизации легко устанавлива-

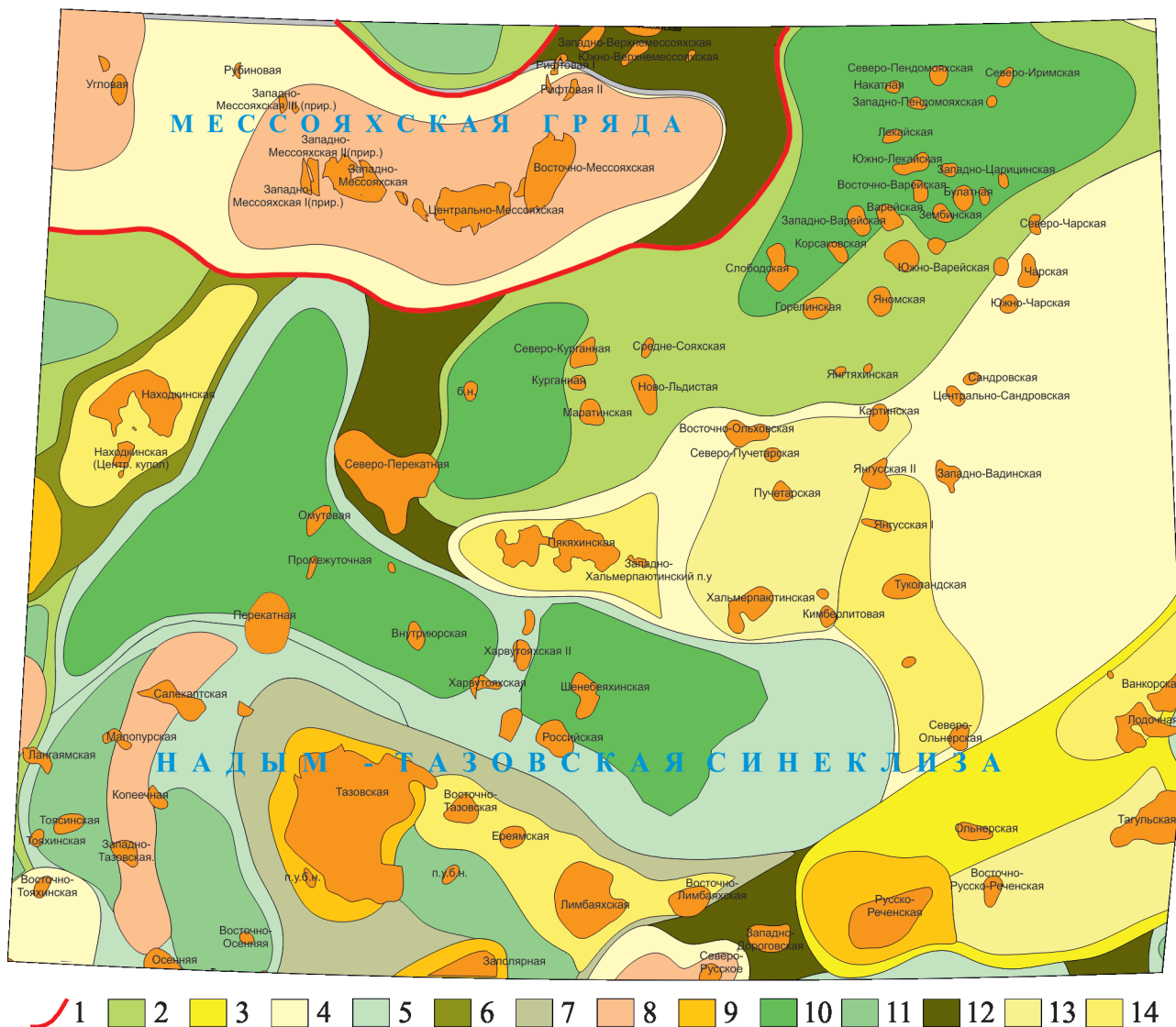


Рисунок 1. Фрагмент структурно-тектонической карты Мезозойско-Кайнозойского чехла Западно-Сибирской геосинеклизы под редакцией И.И. Нестерова (1984): 1 – границы надпорядковых структур; тектонические элементы I порядка: 2 – впадина, 3 – зона поднятий, 4 – мегавал, 5 – мегапрогиб, 6 – мегаседловина, 7 – моноклинали; тектонические элементы II порядка: 8 – вал, 9 – куполовидное поднятие, 10 – котловина, 11 – прогиб, 12 – седловина, 13 – структурный мыс, 14 – структурный нос.

Figure 1. Fragment of the structural-tectonic map of the Mesozoic-Cenozoic sedimentary cover of the West-Siberian geosyncline edited by I.I. Nesterov (1984): 1 – outlines of the superorder structures; 1st-order tectonic elements: 2 – depression, 3 – uplift zone, 4 – megaswell, 5 – megatrough, 6 – megasaddle, 7 – monocline; 2nd-order tectonic elements: 8 – swell, 9 – arched dome, 10 – basin, 11 – trough, 12 – saddle, 13 – plunging anticline, 14 – anticlinal nose.

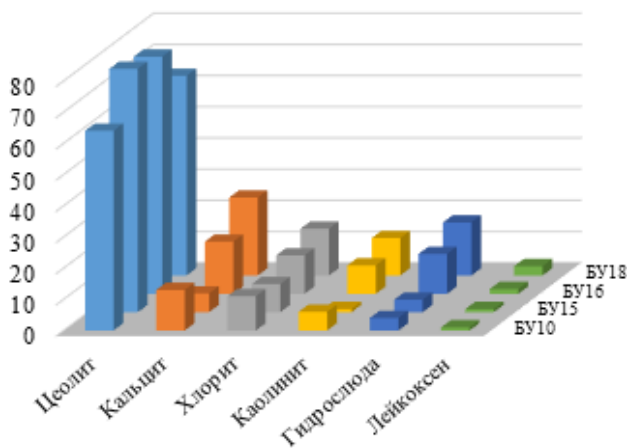


Рисунок 2. Состав цементирующего вещества коллекторов сортымской свиты Пяяхинского месторождения.

Figure 2. Cement composition of reservoir rocks of the Sortym formation, the Pyakyakhinskoye field.

ются при визуальной оценке зерна и проявляются в виде обилия светлых пятен, размер которых может достигать нескольких миллиметров и составлять до 40 % от объема породы. На рис. 4, а представлен образец аркозового песчаника, средне-мелкозернистого, с пятнистой вторичной текстурой. При микроскопическом изучении новообразованный цеолит хорошо диагностируется благодаря совершенной спайности по (010) и (110), низким показателям преломления и двупреломления, $N_p = 1.504-1.513$, $N_m = 1.514-1.524$, $N_g = 1.516-1.525$, $N_g - N_p = 0.011-0.016$, $2V = -25^\circ-35^\circ$, $cNg = 20-36^\circ$. Он образует поровый цемент, на долю которого приходится иногда до 18 % от объема породы, также иногда замещает полевые шпаты, образует монокристаллы неправильной, часто вытянутой по наложению формы размером до 2 мм. Поровый цемент представлен цеолитами (Z), отмечаются зерна кварца (Q), К-полевого шпата (Ksh), плагиоклаза (Pl), обломков пород (ОП) (рис. 4, б).

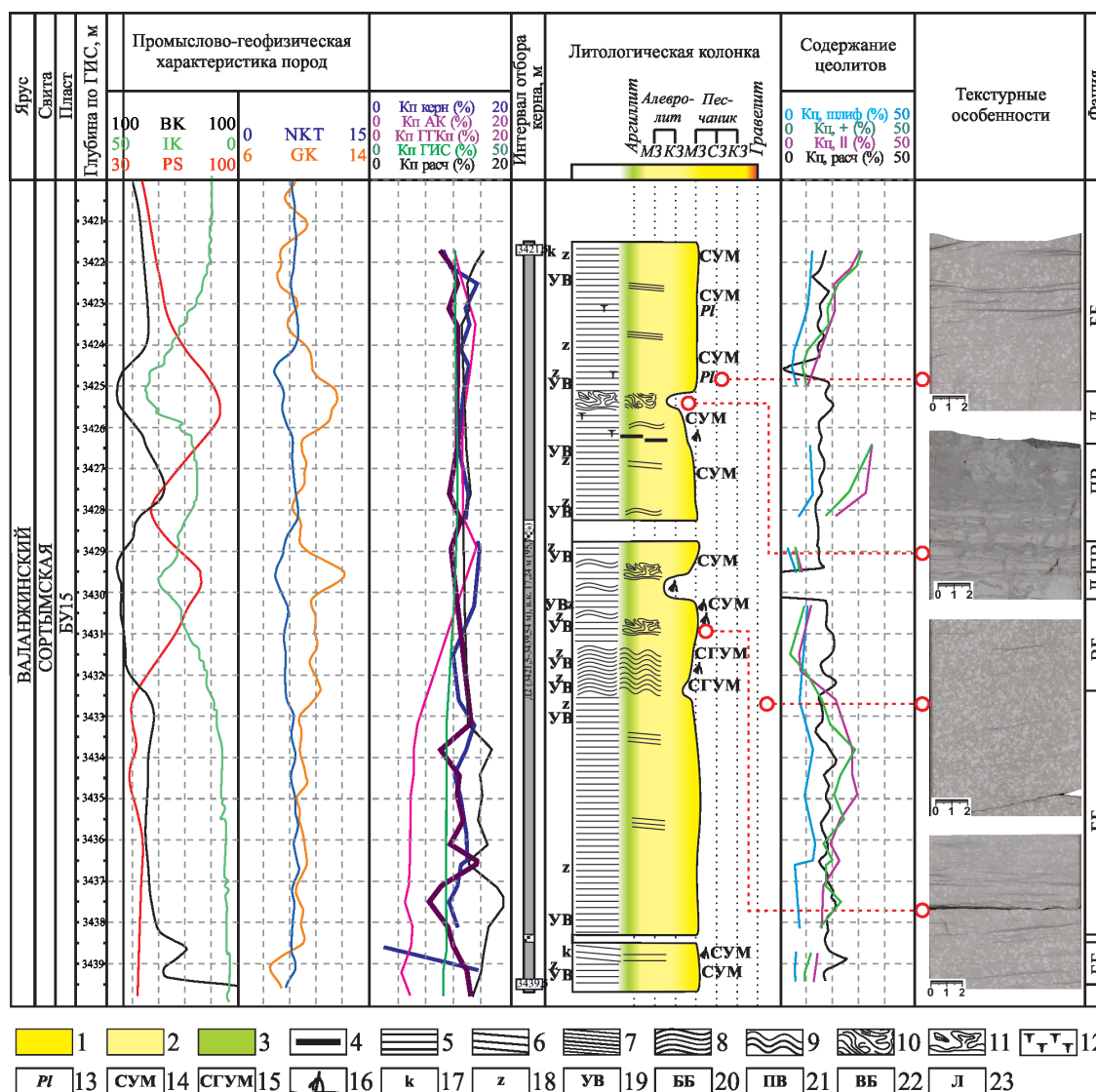


Рисунок 3. Лито-геофизическая модель верхнесортимской толщи Пякяхинского месторождения: типы пород: 1 – песчаник, 2 – алевролит, 3 – аргиллит, 4 – уголь; текстуры: 5 – горизонтальная, 6 – крупная косая, 7 – мелкая косая, 8 – пологоволнистая, 9 – косоволнистая, 10 – оползания, 11 – взмучивание волнением, 12 – следы биотурбации, 13 – Planolithos, 14 – слюдисто-углистый материал, 15 – слюдисто-глинисто-углистый материал, 16 – углефицированная корневая система, 17 – кальцитизация, 18 – цеолитизация, 19 – признаки углеводородного насыщения по керну; фации: 20 – береговой бар, 21 – подводный вал, 22 – волноприбойный бар, 23 – лагуна.

Figure 3. Lithologic-geophysical model of the Upper Sortym sequence of the Pyakyakhinskoye field: rock types: 1 – sandstone, 2 – siltstone, 3 – mudstone, 4 – coal; structures: 5 – horizontal, 6 – coarse oblique, 7 – thin oblique, 8 – low-angle wavy cross bedding, 9 – wavy cross bedding, 10 – slump, 11 – wave turbidity, 12 – signs of bioturbation, 13 – Planolithos, 14 – micaceous-carbonaceous material, 15 – micaceous-argillaceous-carbonaceous material, 16 – carbonized root system, 17 – calcitization, 18 – zeolitization, 19 – hydrocarbon traces on core; facies: 20 – longshore bar, 21 – submarine bar, 22 – wave-built bar, 23 – lagoon.

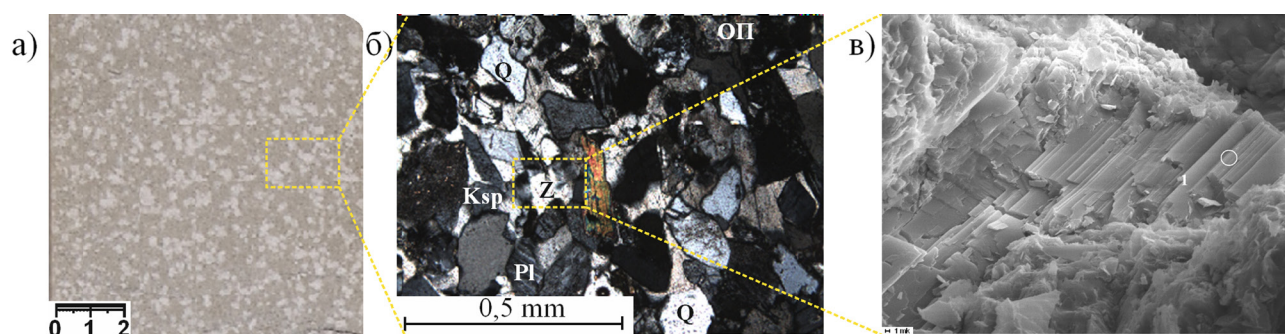


Рисунок 4. Образец песчаника (пласт БУ₁₅¹, глубина – 3505.36 м): а) керн при дневном свете, б) шлиф в скрещенных николях, в) образец на сканирующем электронном микроскопе.

Figure 4. Sandstone sample (BU₁₅¹ layer, depth - 3505.36 m): а) daylight core photo, б) cross polarized light thin section photo, в) scanning electron microscope image.

По наблюдениям в сканирующем электронном микроскопе видны агрегаты из призматических кристаллов цеолита с совершенной спайностью (1) и хорошо выраженной ступенчатостью (рис. 4, в). Следует заметить, что при макроописании зерна процентное содержание цеолитов может быть завышено по сравнению с микроскопическим описанием, поскольку при визуальной оценке зерна фиксируется диаметр светлых пятен, которые включают много обломочных зерен. Их площадь больше площади, вмещающей собственно цеолиты.

В изученных образцах новообразованный цеолит представлен ломонтином (по данным рентгенофазового анализа), проявляется в виде кальциевой разновидности $\text{CaAl}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Это подтвердилось при рентгеноструктурных исследованиях мономинеральной фракции из раздробленных цеолитизированных образцов зерна при помощи смеси броморфа со спиртом с $\rho = 2.4 \text{ г/см}^3$.

Структура кристаллической решетки ломонтиита представляет собой искаженные волластонитоподобные цепочки, в которых Si_2O_7 -диортогруппы чередуются с AlO_4 -тетраэдрами иной ориентировки. Эти цепочки конденсируются в ленты из шести- и четырехчленных звеньев ксонотлитового типа. Благодаря этому в каркасе появляются крупные каналы, к которым приурочены молекулы H_2O и катионы Ca . Последние имеют шестерную координацию $4\text{O} + 2\text{H}_2\text{O}$ и находятся в центре тригональных призм, вершины четырехугольных сторон которых представлены атомами кислорода SiO_4 - и AlO_4 -тетраэдров, а противоположные вершины – молекулами H_2O . Атомы Si и Al распределены упорядоченно. Первые образуют диортогруппы, «натягиваемые» на тригональную призму по высоте, вторые соединяют противоположные стороны четырехстороннего основания призмы (рис. 5) [5].

В настоящее время установление генетической природы ломонтиита, выявленного в составе нижнемеловых Большехетской впадины, является наиболее дискуссионной проблемой. На основе физико-химических свойств и приуроченности определенных ассоциаций цеолитов к определенным фациям А.Г. Коссовская выделила шесть цеолитовых ассоциаций, или фаций. По мнению А.Д. Коробова с соавторами, образование ломонтиита связано с гидротермально-метасоматическими процессами, сопряженными с тектоно-гидротермальной активизацией. Согласно классификации А.Г. Коссовской, их следует относить к фации наложенного гидротермального метаморфизма [6–8].

Наличие ломонтиита в коллекторах Пяяхинского месторождения напрямую влияет на метод водо/керосинонасыщения, при котором происходит завышение уровня пористости (K_p) на 2–5 % (рис. 6), связанное со способностью ломонтиита поглощать молекулы воды, меньшие по своим размерам по сравнению с молекулами углеводородов. Следовательно, построение петрофизических моделей цеолит-содержащих коллекторов должно осуществляться по результатам оценки K_p керосинонасыщением, поскольку при оценке K_p водонасыщением будет завышаться значение коэффициента пористости, что может привести к ошибке в оценке величины запасов углеводородов.

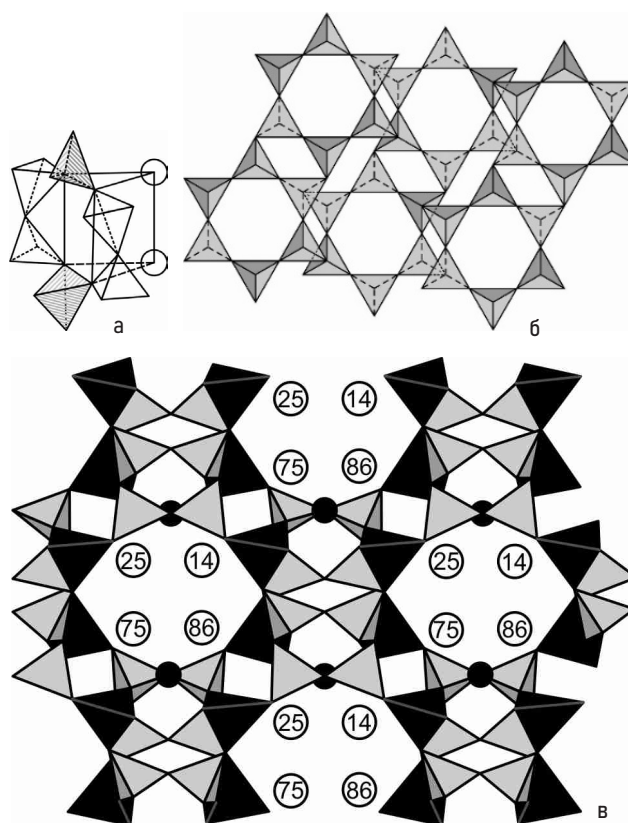


Рисунок 5. Структура ломонтиита: а) тригональная призма Ca^{2+} с $4\text{O} + 2\text{H}_2\text{O}$ в вершинах (Si_2O_7 – группы светлые, AlO_4 – тетраэдры темные, H_2O – светлые кружки); б) конденсация искаженных волластонитоподобных цепочек в ленты из шести- и четырехчленных колец, сконденсированных в гофрированные слои; в) каналы из восьмерных колец AlO_4 - и SiO_4 -тетраэдров с Ca^{2+} (черные кружки) и H_2O (светлые кружки с цифрами, обозначающими относительную высоту), AlO_4 -тетраэдры затемнены.

Figure 5. Laumontite structure: a) trigonal prism Ca^{2+} with $4\text{O} + 2\text{H}_2\text{O}$ in apices (Si_2O_7 – light groups, AlO_4 – dark tetrahedra, H_2O – light circles); б) condensation of the distorted wollastonite-like chains into the bands of six- and four-section rings condensed into the corrugated layers; в) channels of octameric rings of AlO_4 - and SiO_4 -tetrahedra with Ca^{2+} (black circles) and H_2O (light circles with numbers indicating a relative elevation), AlO_4 -tetrahedra are shaded.

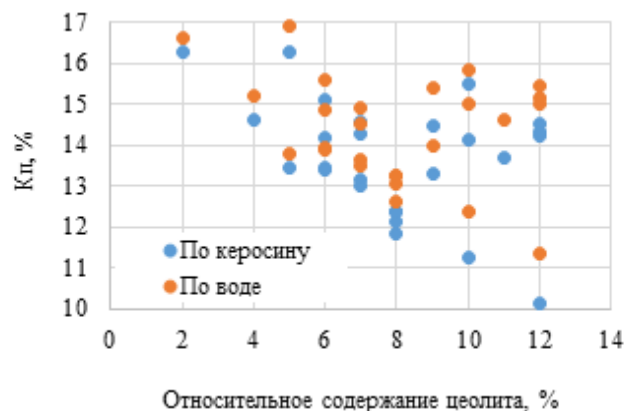


Рисунок 6. Сопоставление коэффициентов пористости с учетом относительного содержания цеолитов пласта БУ₁₅ (скважина № 1 Пяяхинского месторождения).

Figure 6. Porosity vs. relative zeolite content for BU₁₅ layer (Well 1, the Pyakyakhinskoye field).

Кроме того, характерной особенностью ломонтиита является его способность в поверхностных условиях терять 1/8 часть воды и переходить в β-леонгардит. Этот процесс

приводит к растрескиванию минерала по плоскостям спайности, а иногда и рассыпанию в порошок. В связи с этим подразумевается, что структура порового пространства цеолитизированных коллекторов в пластовых условиях существенно отличается от структуры в экстрагированных образцах, поступающих на лабораторные исследования керна [9, 10].

Особенности разработки месторождений, осложненных цеолитизацией

На основании ряда исследований установлено, что фильтрационно-емкостные свойства продуктивных отложений изменяются в процессе разработки. Создаются условия, сопровождаемые химическими и физическими процессами, – изменение температуры, pH воды, окислительно-восстановительных свойств, осуществляется привнос водорастворенных газов, выщелачивание, катионный обмен, окисление минералов, углеводородов и ряд других процессов, ведущих к изменению химического состава закачиваемых вод, пластовых флюидов, продуктивных отложений. В зависимости от геометрии пустотно-порового пространства и наличия флюидопроводящих каналов степень изменения фильтрационно-емкостных свойств пород-коллекторов будет различной [11].

Перечисленные аспекты обуславливают необходимость более детального рассмотрения свойств и характерных особенностей цеолитов, получивших наибольшее распространение на рассматриваемой территории среди новообразованных минералов, с точки зрения планирования геолого-технических мероприятий при освоении и эксплуатации скважин.

Известно, что при взаимодействии цеолитсодержащих пород с кислотами происходит образование геля кремниевой кислоты. Для определения перспектив применения кислотных обработок на Пякяхинском месторождении были проведены лабораторные испытания на керне. Содержание цеолита в образце составляло 19–20 %, карбонатов – 4 %, глинистых минералов – 5 %. Для воздействия на керн были выбраны растворы соляной кислоты с концентрацией от 3 до 12 %, глинокислотный состав, содержащий 12 % HCL и 0.6 % HF, состав на основе сульфаминовой кислоты, а также два состава органических кислот – на основе эфиров уксусной кислоты и смеси двухосновных и трехосновных органических кислот.

Растворы соляной кислоты и глинокислоты с породой образуют гель. Составы на основе сульфаминовой и уксусной кислот не образуют гелей при взаимодействии с породой в течение длительного времени. Соляная кислота различной концентрации обладает достаточно высокой растворимостью, но при этом выпадает большое количество вторичных осадков, таких как гидроксид алюминия и кремния, которые являются аморфными и склонны к гелеобразованию. Растворы органических кислот имеют высокую растворимость керна.

Также были проведены фильтрационные эксперименты на натуральных кернах в условиях, максимально приближенных к пластовым. Эксперименты показали, что соляная кислота снижает проницаемость до 0.03 мД в результате

полного закупоривания проводящих каналов гелем кремниевой кислоты. Образование геля визуально наблюдается при микроскопических исследованиях керна материала. Органические кислоты улучшают фильтрационно-емкостные свойства породы и фазовую проницаемость для воды, в том числе за счет растворения цеолитов [12].

С другой стороны, реальный практический опыт показывает, что в условиях объекта, осложненного цеолитами, возможно проведение эффективных обработок призабойной зоны. В частности, на скважине, вскрывшей пласт БУ₁₂ Пякяхинского месторождения, проведена комплексная обработка призабойной зоны путем применения глинокислотной композиции. В процессе выполнения работ использовались только технологические методы воздействия: освоение компрессированием и работа гибкими насосно-компрессорными трубами. Специализированные технологии, составы и жидкости освоения не применялись. По итогам выполненных работ прирост дебита газа и конденсата составил 57 %, скважина заведена в газосборный коллектор и работает до настоящего времени [13].

Также нельзя исключать возможность использования на рассматриваемом объекте побочного процесса при проведении обработок сильными неорганическими кислотами. По сути может быть достигнут синергетический эффект, направленный на увеличение приемистости нагнетательных скважин за счет растворения горных пород и частиц, коагулирующих поровое пространство. Вместе с тем может произойти перераспределение фильтрационных потоков нагнетаемой воды за счет создания гелевых экранов при взаимодействии кислоты с цеолитсодержащими породами. Аналогичным образом комплексное воздействие может быть рассмотрено и на добывающих скважинах.

Еще один пример связан с технологиями строительства скважин на Заполярном месторождении. Отличительная особенность коллектора пласта БТ₁₀ – наличие цеолитов. Интенсивность цеолитизации варьируется от низкой (10–20 %) до высокой (50 %), либо цеолитизация отсутствует. В рамках опытно-промышленных работ были проведены исследования на кернах материала, которые показали значительное снижение проницаемости и гелеобразование при взаимодействии цеолитизированного песчаника с пресными жидкостями и растворами хлористого кальция. По итогам лабораторных исследований было принято решение использовать буровой раствор на углеводородной основе с целью минимизации факторов, негативно влияющих на дальнейшую разработку месторождения [14, 15].

Количественная оценка содержания цеолитов в кернах материала

В настоящее время существует проблема количественной оценки содержания цеолитов в неокосских отложениях Большехетской впадины, поскольку петрографическое изучение имеет точечный характер и достаточно широкий шаг опробования. На примере скважины № 3 проведено комплексное определение количественного содержания цеолитов по вторичной пятнистой текстуре несколькими методами.

Линейный метод: подсчет цеолитизации по трем параллельным линиям с последующим вычислением среднего арифметического и привязки глубины полученного результата к средней линии В-В' (рис. 7, а). **Перекрестный метод:** подсчет цеолитизации по двум перпендикулярным линиям и привязки глубины результата к поперечной линии В-В' (рис. 7, б).

Полученные результаты были сопоставлены с данными петрографического изучения шлифов (рис. 8). Следует заметить, что при оперативной оценке перекрестным методом происходит подсчет зерен, охваченных цеолитизацией (зерен кварца, полевого шпата и обломков пород). Полученные данные в 2–2.5 раза превышают значения микроскопического описания, где учитывался только поровый цемент. При этом на оценку подсчета по двум перпендикулярным линиям первичные текстурные особенности не оказывают влияния.

Наличие «цеолитной воды» в межзерновых каналах, высокая степень гидратации и адсорбция, низкая минералогическая плотность обуславливают искажение данных, определяемых по стандартному комплексу геофизических исследований скважин. Однако перечисленные геологические особенности продуктивных отложений не влияют на показатели, регистрируемые плотностным гамма-гамма (ГГКп) и акустическим (АК) каротажам.

Принимая это во внимание, для экспресс-оценки количественного содержания цеолитов была построена ма-

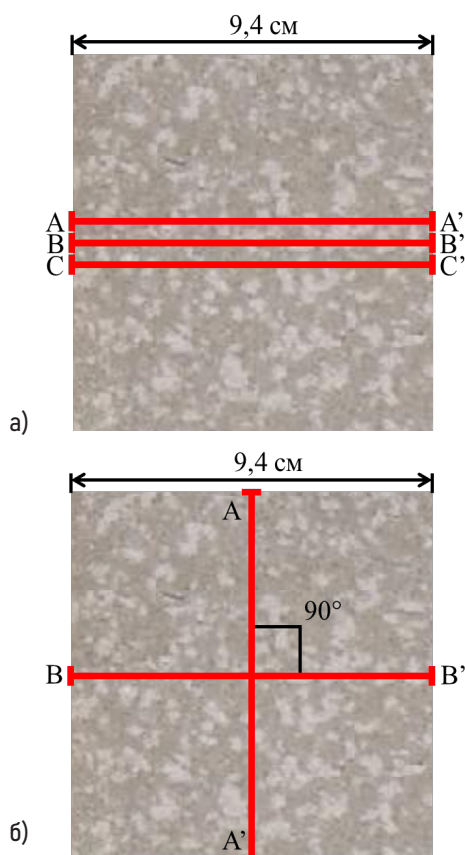


Рисунок 7. Методы подсчета цеолитизации: а) линейный, б) перекрестный.
Figure 7. Zeolitization counting methods: a) linear, b) cross-sectional.

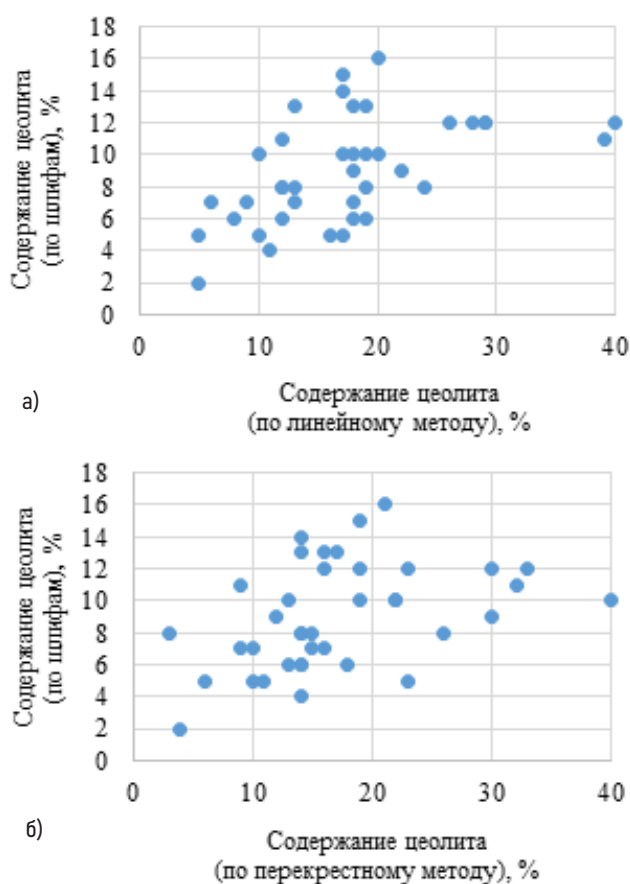


Рисунок 8. Сопоставление содержания цеолита по шлифам с линейным (а) и перекрестным (б) методами (скважина № 3 Пякяхинского месторождения).

Figure 8. Zeolite content by the method of thin rock sections vs. zeolite content by the linear (a) and cross-sectional (b) methods (Well 3, the Pyakyakhinskoye field).

тематическая модель, включающая в себя три главные компоненты с различной минералогической плотностью: кварц-полевошпатово-глинистого скелета породы, цеолита и пластового флюида, заполняющего открытое поровое пространство:

$$P = K_{\text{ск}} \cdot \rho_{\text{ск}} + K_{\text{ц}} \cdot \rho_{\text{ц}} + K_{\text{ф}} \cdot \rho_{\text{ф}},$$

где P – общая минералогическая плотность породы (по данным ГГКп), $K_{\text{ск}}$ – объемный коэффициент скелета, $K_{\text{ц}}$ – объемный коэффициент цеолита, $K_{\text{ф}}$ – объемный коэффициент флюида, $\rho_{\text{ск}}$ – минералогическая плотность скелета, $\rho_{\text{ц}}$ – минералогическая плотность цеолита, $\rho_{\text{ф}}$ – минералогическая плотность флюида.

Суммарное количество всех составляющих частей определяется объемными коэффициентами и равняется единице:

$$1 = K_{\text{ск}} + K_{\text{ц}} + K_{\text{ф}}.$$

Далее из полученной системы уравнений выражается коэффициент цеолитизации:

$$K_{\text{ц}} = \frac{P - K_{\text{ск}} \cdot \rho_{\text{ск}} - K_{\text{ф}} \cdot \rho_{\text{ф}}}{\rho_{\text{ц}}}.$$

Для решения данного уравнения необходимо определить $K_{\text{ск}}$ и $K_{\text{ф}}$.

Объемный коэффициент скелета породы определен по данным петрографического исследования образцов керна Пякяхинского месторождения исходя из системы уравнений:

$$K_{ск} = 1 - K',$$

$$K' = K_{п(кер)} + K_{гл} + K_{ц(шл)},$$

где K' – суммарное объемное содержание флюида, глины и цеолитов, $K_{п(кер)}$ – коэффициент открытой пористости, определенный методом керосинонасыщения, $K_{гл}$ – коэффициент глинистости, $K_{ц(шл)}$ – коэффициент цеолитизации.

Объемный коэффициент флюида ($K_{ф}$) принят равным величине открытой пористости ($K_{п}$), которая была рассчитана по данным акустического каротажа:

$$K_{п} = \frac{\Delta T - \Delta T_{ск}}{\Delta T_{ф} - \Delta T_{ск}},$$

где ΔT , $\Delta T_{ск}$, $\Delta T_{ф}$ – соответственно интервальное время по данным акустического каротажа, интервальное время для песчаников Пякхинского месторождения, интервальное время флюида, насыщающего коллектор.

В итоге подсчитанный для пласта БУ₁₅ коэффициент цеолитизации в среднем превышает значения, полученные при петрографическом изучении [3].

Результаты и их обсуждение

В качестве перспективного и потенциально более точного метода по определению содержания и распределения цеолитов и других минералов, а также пор и связывающих их каналов в горной породе может выступить рентгеновская компьютерная томография.

В целом подход может быть основан на результатах интерпретации данных рентгеноплотностных срезов, в которых выделяются рентгеноконтрастные компоненты, различающиеся по степени поглощения рентгеновского излучения и морфологическим признакам (рис. 9). Посредством математического моделирования строится стереологическая модель и определяются статистические параметры (рис. 10), характеризующие образец горной породы (пористый объем, минералогический состав, содержание кольматирующих частиц и др.) [16].

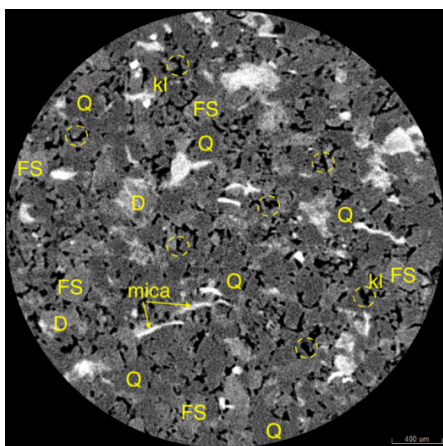


Рисунок 9. Рентгеноплотностный срез образца с интерпретацией: Q – кварц, FS – полевые шпаты, D – обломки пород, kl – каолинит, mica – слюда, желтым пунктиром отмечены поры.

Figure 9. X-ray density slice of a sample with interpretation: Q – quartz, FS – feldspars, D – debris, kl – kaolinite, pores are marked with a yellow dotted line.

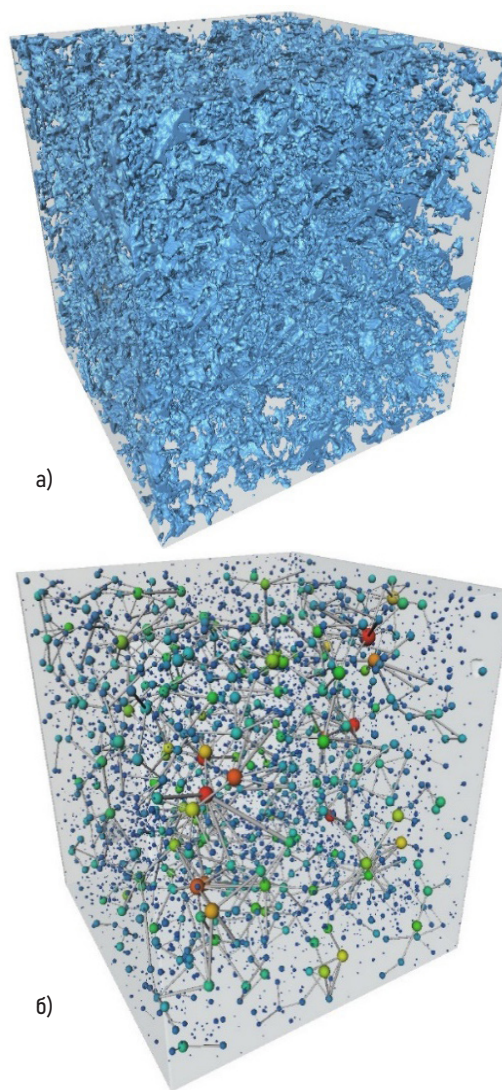


Рисунок 10. Стереологическая модель порового пространства (а) и сеточная модель пустотного пространства образца (б).

Figure 10. Stereological model of the pore space (a) and grid model of the void space (b) of a sample.

Выводы

В результате проведенных исследований выявлен ряд особенностей вторичных изменений в отложениях нижнего мела Большехетской впадины. Установлено, что алевроито-песчаные породы характеризуются разнообразным комплексом аутигенных минералов и структур, свидетельствующих о стадии фонового катагенеза и о наложенных процессах. Наибольшее распространение на рассматриваемой территории среди новообразованных минералов получил ломонтит.

Влияние цеолита (ломонтита) на коллекторские свойства весьма существенно. Его способность адсорбировать большое количество воды и аномальные свойства так называемой «цеолитной воды» обуславливают использование данных плотностного гамма-гамма и акустического каротажей.

Характерные особенности взаимодействия технологических и пластовых жидкостей со вторичными минералами, относительное содержание, количественная оценка

и распределение цеолитов в продуктивных отложениях должны быть учтены при планировании геолого-технических мероприятий (бурении скважин, обработке призабойной зоны пласта, физико-химических методах).

Литература

1. Предтеченская, Е.А. Катагенетические и гидрохимические аномалии в ниже-среднеюрских нефтегазовых отложениях Западной Сибири как индикаторы флюидодинамических процессов в зонах дизъюнктивных нарушений / Е.А. Предтеченская, О.В. Шиганова, А.С. Фомичев // Литосфера. – 2009. – № 6. – С. 54–65. – EDN KYIVON.
2. Поднебесных, А.В. Основные типы вторичных изменений пород-коллекторов осадочного чехла Западно-Сибирской плиты / А.В. Поднебесных, В.П. Овчинников // Вестник Томского государственного университета. – 2015. – № 400. – С. 393–403. – DOI 10.17223/15617793/400/60. – EDN VDM LPR.
3. Титов, Ю.В. К вопросу изучения цеолитизации неокомских отложений Пякхинского месторождения: литолого-геофизические аспекты / Ю.В. Титов, А.Н. Мирхашимов, А.Р. Халикова // XVII конференция молодых ученых и специалистов Филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть» в г. Тюмени: сборник докладов, Тюмень, 15–17 марта 2017 года. – Тюмень: Тюменский дом печати, 2017. – С. 22–29.
4. Титов, Ю.В. Цеолитовая минерализация в меловых отложениях Большехетской впадины на севере Западной Сибири (на примере пласта БТ₈ Пякхинского месторождения) / Ю.В. Титов // Ежегодник-2013 / Труды ИГГ УрО РАН. – 2014. – Вып. 161. – С. 120–123.
5. Годовиков, А.А. Минералогия / А.А. Годовиков. – Москва: Недра, 1975. – 519 с.
6. Коробов, А.Д. Минеральные ассоциации продуктов гидротермального изменения – ключ к пониманию возникновения зон разуплотнения и фазовой зональности углеводородов (на примере Западной Сибири) / А.Д. Коробов, Л.А. Коробова, Е.Ф. Ахлестина // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. – 2008. – Т. 8, № 1. – С. 42–50. – EDN KWSYJB.
7. Постседиментационные преобразования нижнемеловых отложений Большехетской впадины (Западная Сибирь) / Ю.В. Титов, Г.Х. Шайхутдинова, С.В. Астаркин [и др.] // Литосфера. – 2019. – Т. 19, № 1. – С. 48–58. – DOI 10.24930/1681-9004-2019-19-1-48-58. – EDN YZFGUP.
8. Котельников, Д.Д. Условия образования и эволюция цеолитов в осадочном чехле земной коры / Д.Д. Котельников, Н.Н. Зинчук // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2004. – № 4. – С. 19–23. – EDN RBFOVV.
9. Коссовская, А.Г. Генетические типы цеолитов стратифицированных формаций / А.Г. Коссовская // Литология и полезные ископаемые. – Москва, 1975. – № 2. – С. 23–44.
10. Качинскас, И.В. Изучение влияния цеолитов на достоверность определения петрофизических параметров

коллекторов неокомских отложений Заполярного месторождения / И.В. Качинскас, М.В. Карымова // Территория Нефтегаз. – 2013. – № 5. – С. 52–57. – EDN REAJGN.

11. Гладков, Е.А. Изменение фильтрационно-емкостных свойств залежей в процессе их разработки / Е.А. Гладков, Е. Гладкова // Oil & Gas Journal Russia. – 2011. – № 9. – С. 75–79. – EDN UJCMIN.
12. Влияние вторичной цеолитизации коллекторов Большехетской впадины на оптимизацию геолого-технических мероприятий (на примере пласта БУ₁₅ Пякхинского месторождения) / Ю.В. Титов, Н.А. Черепанова, В.В. Колпаков [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2016. – № 8. – С. 16–19. – EDN WICARF.
13. Лакупчик, А.В. Ключевые особенности технологий проведения комплексной обработки призабойной зоны на горизонтальных многозабойных газоконденсатных скважинах / А.В. Лакупчик, С.А. Солянов, М.Г. Мавлетдинов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2019. – № 9. – С. 58–61. – DOI 10.30713/2413-5011-2019-9(333)-58-61. – EDN GMWJAO.
14. Особенности петрофизического обеспечения интерпретации ГИС в разрезе терригенных пород с цеолитосодержащими песчаниками Тазовского района Западной Сибири / Ш.В. Мухидинов, Е.О. Беляков, Е.А. Жуковская, С.В. Ибрагимова // Геофизика. – 2018. – № 4. – С. 53–58. – EDN VTVPXD.
15. Ковальчук, С.В. Результаты изучения и примеры реализации проектов разработки месторождений с нефтяными оторочками компании «Газпром нефть» / С.В. Ковальчук, Е.В. Полушина, Е.А. Горенкова // ПРОнефть. Профессионально о нефти. – 2019. – № 1 (11). – С. 12–17. – DOI 10.24887/2587-7399-2019-1-12-17. – EDN MMZLUE.
16. Москаленко, Н.Ю. Разработка петрофизической модели ачимовских отложений группы Кочевских месторождений (Кочевское и Северо-Кочевское месторождения) с привязкой к зонам концептуальной геологической модели. Отчет филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть» в г. Тюмени / Н.Ю. Москаленко, П.А. Боронин, П.В. Хлызов, Г.А. Калмыков, Д.В. Корост. – Тюмень, 2021. – 186 с.

References

1. Predtechenskaya, E.A. Katageneticheskie i gidrohimicheskie anomalii v nizhne-sredneyurskikh neftegazonosnykh otlozheniyah Zapadnoy Sibiri kak indikatory flyuidodinamicheskikh processov v zonah diz'yunktivnykh narushenij [Catagenetic and hydrochemical anomalies in the Lower-Middle Jurassic oil-and-gas bearing deposits in West Siberia as indicators of fluid-dynamic processes in disjunctive dislocation zones] / E.A. Predtechenskaya, O.V. Shiganova, A.S. Fomichev / Litosfera [Lithosphere]. – 2009. – Issue 6. – P. 54–65. – EDN KYIVON.
2. Podnebesnykh, A.V. Osnovnye tipy vtorichnykh izmeneniy porod-kollektorov osadochnogo chekhla Zapadno-Sibirskoy plity [The main types of secondary alterations of reservoir rocks of the sedimentary cover of the Western Siberian Plate] / A.V. Podnebesnykh, V.P. Ovchinnikov //

- Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta [Tomsk State University Journal]. – 2015. – Issue 400. – P. 393–403. – DOI: 10.17223/15617793/400/60. – EDN VDMPLR.
3. Titov, Yu.V. K voprosu izucheniya ceolitizatsii neokomskih otlozhenij Pyakyahinskogo mestorozhdeniya: litologo-geofizicheskie aspekty [On the research of zeolitization of the Neocomian deposits of the Pyakyahinskoye field: lithological and geophysical aspects] / Yu.V. Titov, A.N. Mirkhashimov, A.R. Khalikova // XVII konferenciya molodyh uchenykh i specialistov Filiala OOO "LUKOIL-Inzhiniring" "KogalymNIPIneft" v g. Tyumeni: sbornik dokladov, Tyumen, 15–17 marta 2017 goda [XVII Conference of Young Scientists and Specialists of KogalymNIPIneft Branch of LUKOIL-Engineering LLC in Tyumen: Conference Proceedings, Tyumen, March 15–17, 2017]. – Tyumen: Tyumen Publishing House, 2017. – P. 22–29.
 4. Titov, Yu.V. Ceolitovaya mineralizatsiya v melovykh otlozheniyah Bol'shekhetskoy vpadiny na severe Zapadnoj Sibiri (na primere plasta BT8 Pyakyahinskogo mestorozhdeniya) [Zeolite mineralization in Cretaceous sediments of the Bolshekhetskaya depression in the north of Western Siberia (BT8 formation of Pyakyahinskoye field taken as a sample)] / Yu.V. Titov // Ezhegodnik–2013 / Trudy Instituta geologii i geokhimii imeni akademika Zavaritskogo Ural'skogo Otdeleniya Rossijskoj Akademii Nauk [Proceedings of the Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences]. – 2014. – Vol. 161. – P. 120–123.
 5. Godovikov, A.A. Mineralogiya [Mineralogy] / A.A. Godovikov. – Moscow: Nedra, 1975. – 519 p.
 6. Korobov, A.D. Mineralnye assotsiatsii produktov gidrotermalnogo izmeneniya – klyuch k ponimaniyu vozniknoveniya zon razuplotneniya i fazovoj zonalnosti uglevodorodov (na primere Zapadnoj Sibiri) [Mineral associations of hydrothermal change products – a key to the origin of loose zones and phase zonation of hydrocarbons (on the example of West Siberia)] / A.D. Korobov, L.A. Korobova, E.F. Akhlestina // Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Nauki o Zemle [News of the Saratov University. Earth Sciences]. – 2008. – Vol. 8. – Issue 1. – P. 42–50. – EDN KWSYJB.
 7. Titov, Yu.V. Postsedimentatsionnye preobrazovaniya nizhnemelovykh otlozhenij Bolshekhetskoy vpadiny (Zapadnaya Sibir) [Manifestations of post-sedimentation processes in the Lower Cretaceous sediments of the Bolshekhetskaya depression (Western Siberia)] / Yu.V. Titov, G.Kh. Shaikhutdinova, S.V. Astarkin, V.V. Kolpakov, N.V. Kozhevnikova // Litosfera [Lithosphere]. – 2019. – Vol. 19. – Issue 1. – P. 48–58. – DOI: 10.24930/1681-9004-2019-19-1-48-58. – EDN YZFGUP.
 8. Kotelnikov, D.D. Usloviya obrazovaniya i evolyutsiya ceolitov v osadochnom chekhle zemnoj kory [Conditions for the formation and evolution of zeolites in the sedimentary cover of the Earth's crust] / D.D. Kotelnikov, N.N. Zinchuk // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Geologiya i razvedka [Proceedings of Higher Education Establishments. Geology and Exploration]. – 2004. – Issue 4. – P. 19–23. – EDN RBFOVV.
 9. Kossovskaya, A.G. Geneticheskie tipy ceolitov stratificirovannykh formatsiy [Genetic types of zeolites of stratified formations] / A.G. Kossovskaya // Litologiya i poleznye iskopaemye [Lithology and Mineral Resources]. – Moscow, 1975. – Issue 2. – P. 23–44.
 10. Kachinskas, I.V. Izuchenie vliyaniya ceolitov na dostovernost' opredeleniya petrofizicheskikh parametrov kolektorov neokomskih otlozhenij Zapolyarnogo mestorozhdeniya [Research on the influence of zeolites on the determination reliability of petrophysical parameters of reservoir rocks in the Neocomian deposits of the Zapolyarnoye field] / I.V. Kachinskas, M.V. Karymova // Territoriya Neftegaz [Oil and Gas Territory]. – 2013. – Issue 5. – P. 52–57. – EDN REAJGN.
 11. Gladkov, E.A. Izmenenie fil'tracionno-emkostnykh svoystv zalezhej v processe ih razrabotki [Changes in the reservoir properties of hydrocarbon deposits during their development] / E.A. Gladkov, E. Gladkova // Oil & Gas Journal Russia. – 2011. – Issue 9. – P. 75–79. – EDN UJCMIN.
 12. Vliyanie vtorichnoj ceolitizatsii kolektorov Bolshekhetskoy vpadiny na optimizatsiyu geologo-tekhnicheskikh meropriyatij (na primere plasta BU15 Pyakyahinskogo mestorozhdeniya) [Influence of secondary zeolitization of the Bolshekhetskaya depression reservoirs on the optimization of the geological and technical measures (on the example of the BU15 formation of the Pyakyahinskoye field)] / Yu.V. Titov, N.A. Cherepanova, V.V. Kolpakov, N.V. Kozhevnikova, A.R. Khalikova [et al.] // Neftyanoe hozyajstvo [Oil Industry]. – 2016. – Issue 8. – P. 16–19. – EDN WICARF.
 13. Lakupchik, A.V. Klyuchevye osobennosti tekhnologiy provedeniya kompleksnoj obrabotki prizabojnoj zony na gorizontalnykh mnogozabojnykh gazokondensatnykh skvazhinah [Key features of the comprehensive treatment technologies of the bottom hole zone in horizontal multihole gas-condensate wells] / A.V. Lakupchik, S.A. Solyanov, M.G. Mavletdinov // Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdenij [Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields]. – 2019. – Issue 9. – P. 58–61. – DOI: 10.30713/2413-5011-2019-9(333)-58-61. – EDN GMWJAO.
 14. Osobennosti petrofizicheskogo obespecheniya interpretatsii GIS v razreze terrigennykh porod s ceolitosoderzhashchimi peschanikami Tazovskogo rajona Zapadnoj Sibiri [Petrophysical support of log data interpretation in profile of terrigenous rocks with zeolite-containing sandstones in the Tazovsky Region of Western Siberia] / Sh.V. Mukhidinov, E.O. Belyakov, E.A. Zhukovskaya, S.V. Ibragimova // Geofizika [Geophysics]. – 2018. – Issue 4. – P. 53–58. – EDN VTVPXD.
 15. Kovalchuk, S.V. Rezultaty izucheniya i primery realizatsii proektov razrabotki mestorozhdenij s neftyanymi otorochkami kompanii "Gazprom neft" [Study results and realization examples of field development projects with oil rims of the Gazprom neft company] / S.V. Kovalchuk, E.V. Polushina, E.A. Gorenkova // PRONEFT. Professionalno o nefti [PRONEFT. Professionally about Oil]. – 2019. – Issue

1(11). – P. 12–17. – DOI: 10.24887/2587-7399-2019-1-12-17. – EDN MMZLUE.

16. Moskalenko, N.Yu. Razrabotka petrofizicheskoy modeli achimovskikh otlozhenij gruppy Kochevskikh mestorozhdenij (Kochevskoe i Severo-Kochevskoe mestorozhdeniya) s privyazkoj k zonom konceptualnoj geologicheskoy modeli [Petrophysical modeling of the Achimov deposits

its of the Kochevskoe fields (Kochevskoe and North-Kochevskoe fields) with reference to the zones of the conceptual geological model]. Otchet Filiala OOO «LUKOIL-Inzhiniring» «KogalymNIPIneft» v g. Tyumeni [Report of the KogalymNIPIneft Branch of LUKOIL-Engineering LLC in Tyumen] / N.Yu. Moskalenko, P.A. Boronin, P.V. Khlyzov, G.A. Kalmykov, D.V. Korost. – Tyumen, 2021. – 186 p.

Информация об авторах:

Титов Юрий Владимирович – главный специалист отдела литолого-седиментологических исследований филиала Общества с ограниченной ответственностью «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в г. Перми (Российская Федерация, 628483, г. Когалым, ул. Центральная, д. 19; e-mail: Yuriy.Titov@lukoil.com).

Кузнецов Сергей Леонидович – заместитель генерального директора, директор филиала Общества с ограниченной ответственностью «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть» в г. Тюмени (Российская Федерация, 625000, г. Тюмень, ул. Республики, д. 143а; e-mail: reception@tmn.lukoil.com).

Серебренников Илья Валерьевич – кандидат технических наук, главный специалист отдела поддержки бизнеса по геологическому сопровождению проектов Западно-Сибирского региона филиала Общества с ограниченной ответственностью «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть» в г. Тюмени (Российская Федерация, 625000, г. Тюмень, ул. Республики, д. 143а; e-mail: Ilya.Serebrennikov@lukoil.com); доцент кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тюменский индустриальный университет» (Российская Федерация, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, д. 38; e-mail: serebrennikoviv@tyuiu.ru).

About the author:

Yury V. Titov – Chief Specialist of the Lithology and Sedimentology Department at the LUKOIL-Engineering Limited PermNIPIneft Branch Office in Perm (19 Centralnaya st., Kogalym, Russian Federation, 628483; e-mail: uriy.Titov@lukoil.com).

Sergey L. Kuznetsov – Deputy General Director, Director of the LUKOIL-Engineering Limited KogalymNIPIneft Branch Office in Tyumen (143a Respubliki st., Tyumen, Russian Federation, 625000; e-mail: reception@tmn.lukoil.com).

Ilya V. Serebrennikov – Candidate of Technical Sciences, Chief Specialist of the Department of Producing Fields' Design Endorsement at the LUKOIL-Engineering Limited KogalymNIPIneft Branch Office in Tyumen (143a Respubliki st., Tyumen, Russian Federation, 625000; e-mail: Ilya.Serebrennikov@lukoil.com); Senior Lecturer of the Department of Oil and Gas Well Drilling at the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Industrial University of Tyumen" (38 Volodarskogo st., Tyumen, Russian Federation, 625000; e-mail: serebrennikoviv@tyuiu.ru).

Для цитирования:

Титов, Ю.В. Цеолитовая минерализация пород-коллекторов севера Западной Сибири: литолого-геофизические аспекты и особенности разработки / Ю.В. Титов, С.Л. Кузнецов, И.В. Серебренников // Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия «Науки о Земле». – 2023. – № 2 (60). – С. 86–96.

For citation:

Titov, Yu.V. Ceolitovaya mineralizatsiya porod-kollektorov severa Zapadnoj Sibiri: litologo-geofizicheskie aspekty i osobennosti razrabotki [Zeolite mineralization of reservoir rocks in the north of Western Siberia: lithological and geophysical aspects and exploitation characteristics] / Yu.V. Titov, S.L. Kuznetsov, I.V. Serebrennikov // Proceedings of the Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Series "Earth Sciences". – 2023. – № 2 (60). – P. 86–96.

Дата поступления статьи: 09.01.2023

Прошла рецензирование: 23.01.2023

Принято решение о публикации: 09.03.2023

Received: 09.01.2023

Reviewed: 23.01.2023

Accepted: 09.03.2023

Лейкоксеновый концентрат как эффективное сырье для получения высокотемпературных керамических композитов на основе MAX-фаз

И.М. Беляев, П.В. Истомин, Е.И. Истомина,
А.В. Надуткин, В.Э. Грасс

Институт химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
г. Сыктывкар
987ilya@gmail.com

Аннотация

Предложена трехстадийная технология получения плотных композиционных керамических материалов $Ti_3SiC_2-TiB_2-(TiC)-SiC$ из лейкоксенового концентрата, представляющего собой продукт предварительной обработки титаносодержащих песчаников. На первом этапе методом карбосиликотермического восстановления лейкоксенового концентрата с использованием SiC в качестве восстановителя и добавлением B_4C в качестве твердого борсодержащего компонента проводится синтез агломерированных порошков $Ti_3SiC_2-TiB_2-SiC$, которые могут существенно отличаться содержанием SiC. На втором этапе полученные порошки подвергаются травлению плавиковой кислотой с целью удаления побочных продуктов силицидного состава, образующихся из примесей, присутствующих в лейкоксеновом концентрате. На заключительном третьем этапе проводится спекание очищенных порошков методом горячего прессования в графитовой прессформе под давлением 30 МПа при температуре 1500–1550 °C, в результате которого формируются керамические композиты $Ti_3SiC_2-TiB_2-(TiC)-SiC$ с почти полностью беспористой микроструктурой.

Ключевые слова:

карбосиликотермическое восстановление, переработка титанового сырья, MAX-фазы, Ti_3SiC_2 , TiB_2

Введение

Ужесточение условий эксплуатации узлов и агрегатов технических систем является устойчивым мировым трендом, который особенно заметно проявляется в высокотехнологичных отраслях, таких как авиационная и ракетная техника, энергетика, двигателестроение. Жесткие условия эксплуатации предполагают совместное действие высоких температур, агрессивных сред, ударных механических и термических воздействий. Материалы, способные длительно противостоять действию перечисленных разруша-

Leucoxene concentrate as an effective source for synthesizing MAX phase high-temperature ceramic composites

I.M. Belyaev, P.V. Istomin, E.I. Istomina,
A.V. Nadutkin, V.E. Grass

Institute of Chemistry, Federal Research Centre Komi Science
Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
Syktyvkar
987ilya@gmail.com

Abstract

The authors have developed a three-stage technology for making dense $Ti_3SiC_2-TiB_2-(TiC)-SiC$ ceramic composites of a leucoxene concentrate being a product of previous treatment of titanium-containing sandstones. The first stage means the synthesis of agglomerated $Ti_3SiC_2-TiB_2-SiC$ powders which may significantly differ in SiC content. The synthesis proceeds by the method of the vacuum carbosilicothermic reduction of leucoxene concentrate using SiC as a reducing agent with addition of B_4C as a solid boron-containing component. The second stage is etching the obtained powders with hydrofluoric acid in order to remove the by-products of silicide composition having been formed of impurities in leucoxene concentrate. At the final third stage, the purified $Ti_3SiC_2-TiB_2-(TiC)-SiC$ powders are hot-pressed in a graphite die under 30 MPa at a temperature of 1500–1550 °C. The end product is $Ti_3SiC_2-TiB_2-(TiC)-SiC$ ceramic composites with nearly absolute pore-free microstructure.

Keywords:

carbosilicothermic reduction, processing of titanium-containing raw materials, MAX phases, Ti_3SiC_2 , TiB_2

ющих факторов, должны удовлетворять целому комплексу требований, главными среди которых являются высокие показатели прочности, трещиностойкости, усталостной прочности, термической стабильности и химической стойкости, сохраняющие свои значения в широком диапазоне температур и при термоциклировании. Круг веществ-кандидатов, способных обеспечить достижение требуемого уровня эксплуатационных характеристик, весьма ограничен. В основном сюда входят тугоплавкие бескислородные

соединения переходных металлов (карбиды, нитриды, бориды, силициды), а также особый класс тройных соединений, получивший общее название МАХ-фазы.

МАХ-фазы представляют собой сложные карбиды и нитриды переходных металлов с общей формулой $M_{n+1}AX_n$, где М – переходный металл 4-й (Ti, Zr, Hf) или 5-й (V, Nb, Ta) групп, реже – переходный металл другой группы (например Cr, Mo, Sc); А – элемент 13-й (Al, Ga, In, Tl) или 14-й (Si, Ge, Sn, Pb) групп, реже – элемент другой группы (например S, P, As, Cd); X соответствует атому углерода или азота. Индекс n в формуле может иметь значения 1, 2 или 3, в отдельных случаях – высокие значения, например, 4, 5 или 6. Всего к семейству МАХ-фаз относится более 60 индивидуальных соединений, в том числе Ti_3SiC_2 и др. [1]. Характерной особенностью строения МАХ-фаз является слоистость. Их кристаллическая структура может быть представлена как последовательность карбидных или нитридных слоев $[M_{n+1}X_n]$, разделенных между собой монослоями, состоящими из А-элементов. Как следствие, частицы МАХ-фаз имеют выраженное наноламинатное строение, и это позволяет рассматривать МАХ-фазы как слоистые нанокомпозиты – наноламинаты. Характеристический размер слоя зависит от индекса n и может варьироваться в диапазоне от 0.6 ÷ 0.8 (при n=1) до 2.1 (при n=6) нм. Наноламинатное строение дает возможность локально в зоне концентрации механических напряжений деформировать частицы МАХ-фаз. Характер деформации не типичен для керамики и в основном проявляется через расслаивание, изгиб и сминание частиц. Это придает МАХ-фазам способность эффективно рассеивать энергию механического разрушения и локализовывать повреждения на наноразмерных элементах структуры без макроскопического разрушения материала. Такое поведение обеспечивает МАХ-фазам высокие прочностные характеристики и сближает их с металлами. В частности, подобно металлам, МАХ-фазы демонстрируют хорошую механическую обрабатываемость, имеют высокую трещиностойкость и нечувствительны к термоудару. В то же время, как и большинство тугоплавких карбидов и нитридов, МАХ-фазы проявляют прекрасную химическую стойкость и сохраняют стабильность при высоких температурах, значительно превосходя по этим показателям металлы и сплавы. Также МАХ-фазы характеризуются высокой радиационной стойкостью, что делает их привлекательными для использования в атомной энергетике. В целом в МАХ-фазах реализуется уникальная комбинация важных эксплуатационных характеристик, которая не встречается ни у керамики, ни у металлов [1–10].

Одним из факторов, сдерживающих использование керамических материалов на основе МАХ-фаз в технических системах, является высокая стоимость их получения по сравнению с материалами-конкурентами. В этой связи актуальность приобретают исследования, направленные на снижение стоимости получения конструкционной керамики на основе кремнийсодержащих МАХ-фаз за счет использования оксидных реагентов. Оксиды, как правило, более доступны и характеризуются значительно более низкой стоимостью по сравнению с бескислородными реа-

гентами, что дает определенные конкурентные преимущества получаемым материалам.

Ранее нами было показано, что кремнийсодержащие МАХ-фазы могут быть синтезированы методами карботермического и карбосиликотермического восстановления оксидного сырья с использованием в качестве восстановителя соответственно углерода и карбида кремния SiC [11–19]. При этом, на наш взгляд, метод карбосиликотермического восстановления представляет наибольший практический интерес, поскольку он дает более широкие возможности для синтеза. Использование SiC в качестве восстановителя позволяет максимально, на молекулярном уровне, совместить процессы карботермического и силикотермического восстановления, в результате чего создаются благоприятные условия для роста карбидосилицидных соединений, образованных по типу МАХ-фаз. В частности, методом карбосиликотермического восстановления ранее были синтезированы МАХ-фазы Ti_3SiC_2 и Ti_4SiC_3 с выходом, близким к 100 %. Также этот метод позволяет получать керамические композиции Ti_3SiC_2 –SiC, Ti_4SiC_3 –SiC и Ti_3SiC_2 – Ti_4SiC_3 –SiC в широком диапазоне концентраций компонентов.

Разрабатывая новые подходы к синтезу МАХ-фаз, следует иметь в виду, что эти соединения, несмотря на перечисленные выше достоинства, недостаточно устойчивы к окислению на воздухе, особенно при температурах выше 1000 °С. Перспективным подходом к повышению устойчивости к окислению является, на наш взгляд, введение добавок, содержащих одновременно кремний и бор, например пары SiC–TiB₂. При этом значительный положительный эффект может быть достигнут за счет формирования в ходе высокотемпературного окисления вязкого стеклообразного защитного покрытия боросиликатного состава, препятствующего диффузии кислорода в более глубокие слои материала. Анализ литературы по данной тематике показал, что систематические исследования в этом направлении не проводились. Известны лишь несколько работ [20–24], в которых описано получение керамики состава Ti_3SiC_2 –TiB₂–SiC методом реакционного спекания, а также выявлено положительное влияние TiB₂ на прочностные характеристики материала.

Задача настоящего исследования – разработка эффективных технологий синтеза высокотемпературных керамических композитов на основе МАХ-фаз, в частности материалов состава Ti_3SiC_2 –TiB₂–(TiC)–SiC, с использованием лейкоксенового концентрата (далее – ЛК) в качестве исходного сырья.

Материалы и методы

Химические материалы и реактивы

- Лейкоксеновый концентрат (далее – ЛК) Ярегского нефтетитанового месторождения, предоставленный ОАО «Комититан» (г. Ухта, Российская Федерация), имеет следующий химический состав: TiO₂ – 52.9 мас. %, SiO₂ – 37.9 мас. %, Al₂O₃ – 5.4 мас. %, (Fe₂O₃+FeO) – 2.8 мас. %, остальное – 1.0 мас. %. Учитывая невысокое содержание примесных фаз, химический состав ЛК упрощенно можно представить как эквимольную смесь оксидов титана

и кремния. Соответственно, упрощенная формула ЛК имеет вид: $[\text{TiO}_2 + \text{SiO}_2]_{\text{ЛК}}$.

- Карбид кремния (политип 6H-SiC, чистота – более 99 %, дисперсность – 5 мкм).
- Карбид бора (B_4C , чистота – 97.6 %, дисперсность – 5 мкм).
- Уголь активированный древесный (марка БАУ-А, содержание углерода в минеральной части – не менее 99 %, ГОСТ 6217-74).
- Плавиковая кислота HF (конц.).

Методика проведения карбосиликотермического восстановления ЛК с добавлением и без добавления карбида бора

Составы исходных смесей для проведения карбосиликотермического восстановления ЛК задавались выражением: $(3+x) \cdot [\text{TiO}_2 + \text{SiO}_2] + 0.5x \cdot \text{B}_4\text{C} + (6 + 1.25x+y) \cdot \text{SiC}$ и рассчитывались исходя из упрощенной формулы ЛК в расчете на получение в качестве целевого продукта керамических композиций состава: $\text{Ti}_3\text{SiC}_2 + x \cdot \text{TiB}_2 + y \cdot \text{SiC}$.

Для приготовления исходных смесей ЛК измельчали методом мокрого помола в шаровой мельнице до дисперсности менее 50 мкм и затем высушивали. Далее порошки исходных реагентов смешивали с добавлением воды в качестве временной технологической связки, компактировали и затем гранулировали путем перетирания через сито с размером ячеек 2.5 мм. Полученные гранулы высушивали до полного удаления влаги в сушильном шкафу при температуре 100 °С. Для проведения экспериментов использовали фракцию с размером гранул 1.6–2.5 мм.

Карбосиликотермический синтез проводили в лабораторном трехсекционном реакторе собственной конструкции, который размещали в рабочей камере вакуумной печи СШВЭ-1.2.5/25. Реактор представлял собой систему из трех вложенных друг в друга стеклоуглеродных тиглей марки СУ-2000, соединенных между собой газопроводящими каналами, и обеспечивал защиту внутренней оснастки вакуумной печи от паров SiO. Термическую обработку образцов проводили при постоянной откачке газообразных продуктов. Режим термообработки включал нагрев со скоростью 1200 °С/мин до 1600 °С, изотермическую выдержку при 1600 °С в течение 1 ч и 6 ч, охлаждение со скоростью 1200 °С/мин.

Методика химической очистки продуктов карбосиликотермического восстановления ЛК

Химическую очистку продуктов карбосиликотермического восстановления ЛК от примесных интерметаллидных фаз проводили путем химического травления с использованием водных растворов плавиковой кислоты (разбавление 1:9) в качестве основного действующего агента. Для этого навеску испытуемого порошка, содержащего целевые продукты карбосиликотермического восстановления ЛК, помещали в пластиковую посуду, приливали разбавленный водный раствор плавиковой кислоты и проводили перемешивание на магнитной мешалке в течение 15 мин. Далее по окончании реакции раствор с порошком центрифугировали, жидкость над осадком сливали. Порошок промывали дистиллированной водой и доводили pH среды

до нейтрального значения. Очищенный порошок высушивали в сушильном шкафу при температуре 100 °С. Затем все очищенные и высушенные порошки аттестовали методами рентгенофазового анализа (далее – РФА), сканирующей электронной микроскопии (далее – СЭМ), энергодисперсионной спектроскопии (далее – EDX).

Спекание порошков

Спекание керамических композиций Ti_3SiC_2 – TiB_2 –SiC, полученных методом вакуумного карбосиликотермического восстановления ЛК с последующей химической очисткой от интерметаллидных примесных фаз, проводили методом одноосевого горячего прессования (далее – ГП) в графитовой пресс-форме при температурах 1500–1700 °С в течение 1 ч при механической нагрузке 30 МПа в условиях динамического вакуума. Режим ГП включал в себя механическое нагружение образца до 30 МПа, нагрев со скоростью 1800 °С/ч, изотермическую выдержку в течение 1 ч, охлаждение со скоростью 3600 °С/ч, снятие с образца механической нагрузки. В ходе ГП велась запись перемещения подвижного пуансона для контроля линейной усадки образцов. Кривые уплотнения порошков определяли по разности между кривыми перемещения подвижного пуансона, полученными в экспериментах с образцом и без образца (холостой эксперимент).

Подготовка поверхности керамических образцов к исследованиям

После спекания порошков методом ГП полученные образцы керамики извлекались из пресс-формы и очищались от остатков графитовой оснастки механическим способом. Поверхность керамики шлифовалась и полировалась с применением порошков карбида кремния SiC и алмазной пасты. Шлифовку образцов проводили на стекле с постепенным уменьшением размеров зерна абразивного материала: начиная с крупнозернистого порошка SiC – 20 мкм, заканчивая мелким порошком с размером зерен 10 и 5 мкм. Для уменьшения трения в процессе обработки поверхности образцов к порошкам SiC добавлялась вода. Окончательная полировка образцов производилась на бумаге с применением алмазной пасты с размером зерен 10, 7, 5, 3, 2, 1, 0.5 мкм. Для удаления остатков абразива после смены с крупного зерна на меньшее поверхность образцов обрабатывалась этанолом. В конце для удаления остатков пасты и других посторонних примесей применялась ультразвуковая очистка поверхности керамических образцов.

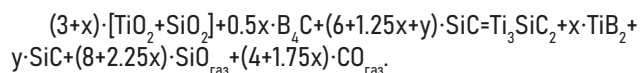
Аналитические методы

Методом рентгенофазового анализа (далее РФА) изучали фазовый состав всех исследуемых образцов с использованием дифрактометра Shimadzu XRD-6000 (CuK_α – излучение, угловой интервал 2θ – от 5 до 90°). Оценку количественного содержания кристаллических фаз проводили методом Ритвельда с помощью программы Powder Cell 2.4 [25]. Микроструктуру и локальный элементный состав порошков и полученной керамики исследовали методами сканирующей электронной микроскопии (далее – СЭМ) и энергодисперсионной спектроскопии (далее – ЭДС) с использовани-

ем микроскопа Tescan Vega-3 SBU и спектрометра Oxford Instruments X-act.

Результаты и их обсуждение

Ранее в ряде наших работ по карботермическому синтезу керамических композиций Ti_3SiC_2 -TiC-SiC и Ti_3SiC_2 - TiB_2 -SiC в качестве исходных материалов использовался ЛК Ярегского нефтетитанового месторождения [12, 13, 19]. В рамках упрощенного описания химического состава ЛК эквимольной смесью оксидов титана и кремния, а также определяя параметры x и y , исходя из расчета на получение композитов состава $Ti_3SiC_2 + xTiB_2 + ySiC$, процесс вакуумного карбосиликотермического восстановления ЛК в присутствии борсодержащей добавки B_4C можно описать следующей суммарной реакцией:



Важно отметить, что при $x > 1.5$ среди продуктов карбосиликотермического восстановления наблюдается резкое увеличение содержания побочных фаз, в частности $TiSi_2$. Дисилицид титана $TiSi_2$ не является тугоплавким соединением ($t_{пл} = 1540^\circ C$) и обладает сравнительно невысокими прочностными характеристиками, поэтому его присутствие в составе конечного керамического продукта, предназначенного для высокотемпературного применения, как правило, нежелательно. Исходя из этого, верхним пределом для параметра x следует считать величину 1.5. По этим же соображениям следует ограничить сверху и параметр y , который определяет избыток SiC, вводимого в шихту, поскольку с увеличением y также наблюдается появление $TiSi_2$ среди продуктов восстановления. Обоснованной оценкой можно считать ограничение $y < 3$. Показано, что при соблюдении указанных ограничений замена химически чистых реагентов на минеральное сырье природного происхождения, несмотря на достаточно высокий уровень примесей, не оказывает какого-либо заметного негативного влияния на прочностные характеристики полученной

керамики. Очевидно, что наблюдаемый эффект напрямую связан с наноламинатным строением МАХ-фазных частиц и особым характером их деформации и разрушения, следствием которых является крайне низкая чувствительность керамических материалов на основе МАХ-фаз к различного рода дефектам микроструктуры, в том числе к присутствию в материале примесных фаз. Также было показано, что при использовании ЛК достигается существенно более высокий выход МАХ-фазы Ti_3SiC_2 по сравнению с простыми механическими смесями оксидов титана и кремния. По-видимому, это связано с особенностью минерального строения лейкоксена, структура которого образована ультратонкими взаимными прорастаниями титановых минералов с кварцем [26, 27], что создает благоприятные условия для роста карбидосилицидных соединений, образованных по типу МАХ-фаз. При этом минеральные примеси, изначально содержащиеся в ЛК, концентрируются в ходе восстановительного процесса в жидкой фазе на основе кремниевого либо кремний-титанового расплава, формируя при охлаждении интерметаллидные сплавы на основе кремния, титана, железа, алюминия. На рис. 1, а, б отражены результаты РФА полученных материалов. На рис. 2 представлена микроструктура продуктов карбосиликотермического восстановления ЛК.

Для повышения качества полученных порошковых композиций Ti_3SiC_2 -SiC и Ti_3SiC_2 - TiB_2 -SiC проведена их химическая очистка путем удаления примесных интерметаллидных фаз (силицидов) методом кислотного травления. Условия химической очистки подбирались таким образом, чтобы при удалении примесных фаз в составе композиций полностью сохранялись целевые компоненты. Как известно, силициды переходных металлов довольно слабо взаимодействуют практически со всеми неорганическими кислотами, за исключением плавиковой [28]. Поэтому наиболее эффективным способом химической очистки полученных композиционных порошков от примесных интерметаллидных фаз оказался метод кислотного травления с использованием водных растворов плавиковой кислоты в качестве основного действующего агента (разбавление

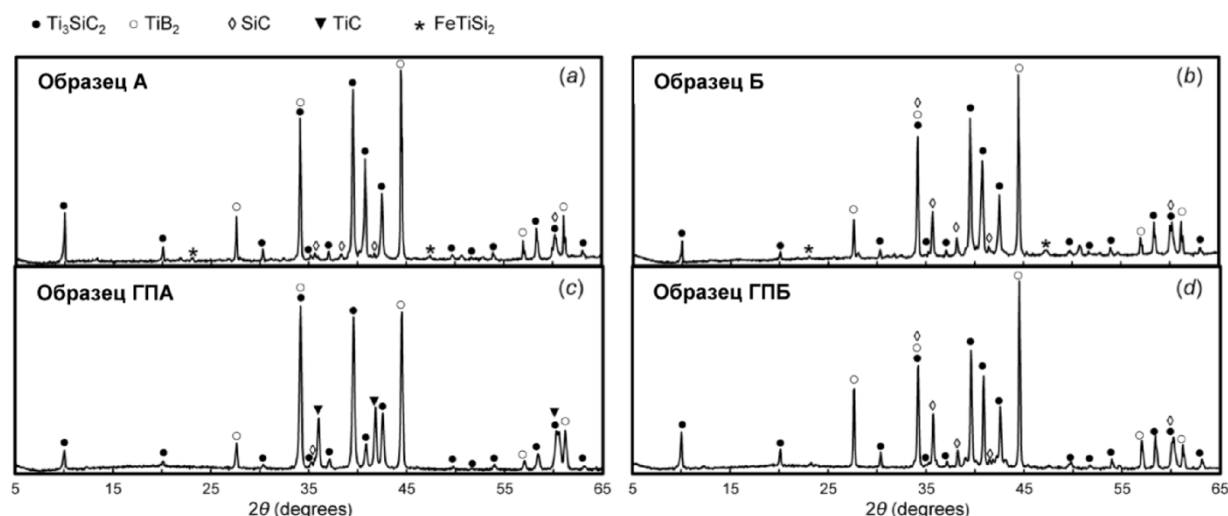


Рисунок 1. РФА продуктов карбосиликотермического восстановления ЛК (а, б) и образцов, полученных в результате их горячего прессования (с, д).
Figure 1. X-ray diffraction analysis of LC carbosilicothermic reduction products (a, b) and samples they turned into after hot pressing (c, d).

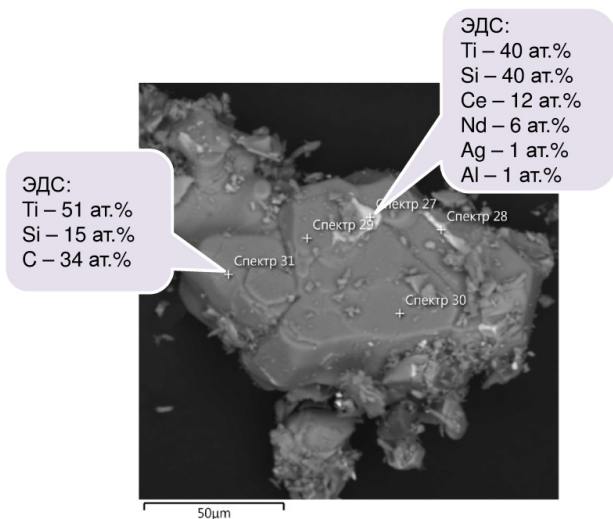


Рисунок 2. Микроструктура и ЭДС анализ продуктов карбосиликотермического восстановления ЛК. Светлая область – примесная интерметаллидная фаза. Темно-серая область отвечает составу МАХ-фазы Ti_3SiC_2 .
Figure 2. Microstructure and energy dispersion spectroscopy analysis of LC carbo-silicothermic reduction products. Light area indicates an impurity intermetallide phase. Dark area corresponds to composition of Ti_3SiC_2 MAX phase.

1:9). Анализ методом СЭМ, результаты которого представлены на рис. 3, демонстрирует, что кислотное травление обеспечило удаление более 95 % нежелательных интерметаллидных фаз при практически полном сохранении целевых компонентов в составе керамических композиций. После проведения кислотного травления композиционных порошков состава Ti_3SiC_2 - TiB_2 -SiC локальные области с примесными фазами в микроструктуре отсутствуют и практически не идентифицируются при анализе методом СЭМ. Следует отметить, что после кислотного травления композиционных порошков происходит уменьшение их массы. Потери от исходной массы составляют 15–20 %. Это хорошо согласуется с тем, что при химической очистке плавиковой кислотой примесные интерметаллидные фазы удаляются.

Для получения плотной керамики продукты вакуумного карбосиликотермического восстановления ЛК, подвергнутые химической очистке от интерметаллидных примесных фаз, спекались методом горячего прессования при

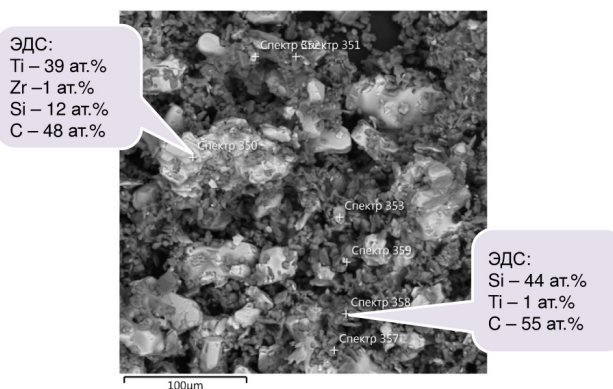


Рисунок 3. Микроструктура и ЭДС анализ продуктов карбосиликотермического восстановления ЛК после химической очистки плавиковой кислотой.
Figure 3. Microstructure and energy dispersion spectroscopy analysis of LC carbo-silicothermic reduction products after chemical cleaning with hydrofluoric acid.

температурах 1500–1700 °С и давлении 30 МПа. В таблице представлены условия горячего прессования и плотность полученных керамических материалов.

Исследование динамики уплотнения продуктов карбосиликотермического восстановления ЛК показало, что их спекание происходит равномерно. Отличительной особенностью спекания порошков различного состава является то, что процесс уплотнения порошков начинается при разных температурах. В частности, порошок, содержащий только Ti_3SiC_2 , начинал уплотняться в интервале температур 1380–1390 °С, а композиционный состав с карбидом кремния SiC и диборидом титана TiB_2 – при температурах 1050–1200 °С. На рис. 4 и 5 представлены микроструктуры керамических образцов, полученных методом горячего прессования. Установлено, что процесс спекания образцов с низким содержанием SiC сопровождался образованием TiC вследствие частичного разложения Ti_3SiC_2 . В образцах, состав которых включал значительную долю SiC, разложение Ti_3SiC_2 не наблюдалось, что обусловлено стабилизирующим эффектом, связанным с общим увеличением термодинамической активности кремния в присутствии SiC. РФА образцов после проведения горячего прессования показаны на рис. 1, с, d.

Условия спекания продуктов карбосиликотермического восстановления лейкоксенового концентрата различного состава и плотность полученной керамики

Hot pressing conditions of leucoxene concentrate carbo-silicothermic reduction products with different composition and density values of the obtained ceramics

Состав порошка	Температура спекания, °С	Плотность, г/см ³
Ti_3SiC_2	1500	3,45
	1600	4,33
Ti_3SiC_2 -SiC	1500	3,61
	1600	3,53
Ti_3SiC_2 - TiB_2	1500	4,53
	1600	4,63
	1700	4,62
Ti_3SiC_2 - TiB_2 -SiC	1500	4,09
	1550	4,19

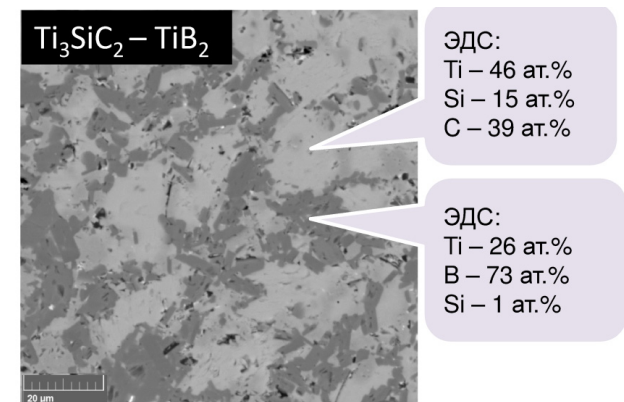


Рисунок 4. Микроструктура и ЭДС анализ керамики состава Ti_3SiC_2 - TiB_2 после спекания (образец ГПА).
Figure 4. Microstructure and energy dispersion spectroscopy analysis of ceramics with Ti_3SiC_2 - TiB_2 composition after hot pressing (A hot pressing sample).

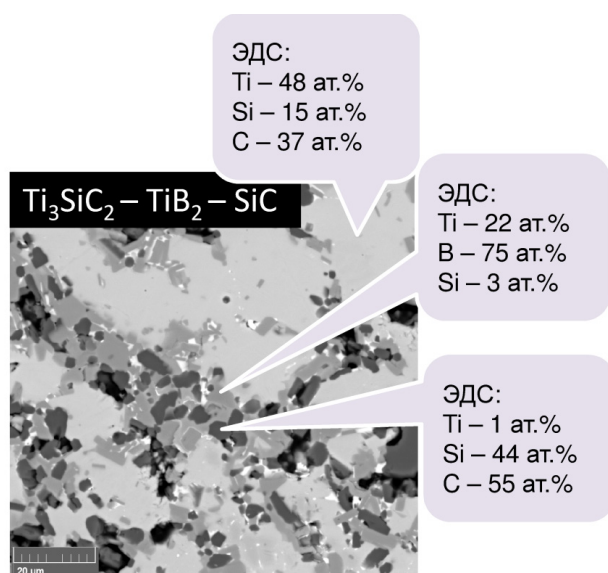


Рисунок 5. Микроструктура и ЭДС анализ керамики состава $\text{Ti}_3\text{SiC}_2\text{-TiB}_2\text{-SiC}$ после спекания (образец ГПБ).

Figure 5. Microstructure and energy dispersion spectroscopy analysis of ceramics with $\text{Ti}_3\text{SiC}_2\text{-TiB}_2\text{-SiC}$ composition after hot pressing (B hot pressing sample).

Учитывая полученные результаты, технологический процесс синтеза плотных композиционных керамических материалов $\text{Ti}_3\text{SiC}_2\text{-TiB}_2\text{-(TiC)-SiC}$ из лейкоксенового концентрата может быть представлен следующим образом. На первом этапе методом карбосиликотермического восстановления ЛК с использованием SiC в качестве восстановителя и добавлением B_4C в качестве твердого борсодержащего компонента проводится синтез агломерированных порошков $\text{Ti}_3\text{SiC}_2\text{-TiB}_2\text{-SiC}$, которые могут существенно отличаться содержанием SiC. На втором этапе полученные порошки подвергаются травлению плавиковой кислотой с целью удаления побочных силицидных продуктов синтеза, образующихся из примесей, присутствующих в ЛК. На заключительном третьем этапе проводится спекание очищенных порошков методом горячего прессования в графитовой пресс-форме под давлением 30 МПа при температуре 1500–1550 °C, в результате чего формируются керамические композиты $\text{Ti}_3\text{SiC}_2\text{-TiB}_2\text{-(TiC)-SiC}$ с почти полностью беспористой микроструктурой.

Заключение

Предложена технология получения плотных композиционных керамических материалов $\text{Ti}_3\text{SiC}_2\text{-TiB}_2\text{-(TiC)-SiC}$ из лейкоксенового концентрата. Одним из важных промежуточных этапов разработанного технологического процесса является химическая очистка продуктов вакуумного карбосиликотермического восстановления ЛК, суть которой заключается в кислотном травлении с использованием водных растворов плавиковой кислоты. Это обеспечивает эффективное удаление нежелательных побочных продуктов, в частности интерметаллидных сплавов на основе кремния, титана, железа, алюминия, при практически полном сохранении целевых компонентов в составе керамических композиций. Горячее прессование полученных материалов под давлением 30 МПа при температуре

1500–1550 °C позволяет получать керамические композиты $\text{Ti}_3\text{SiC}_2\text{-TiB}_2\text{-(TiC)-SiC}$ с почти полностью беспористой микроструктурой. Режимы технологического процесса могут быть оптимизированы для получения плотной керамики с различным содержанием целевых компонентов. Предложенная технология использована для изготовления лабораторных партий конструкционной керамики $\text{Ti}_3\text{SiC}_2\text{-TiB}_2\text{-(TiC)-SiC}$ с целью проведения комплексного исследования физико-химических характеристик.

Литература

1. Barsoum, M.W. MAX phases: properties of machinable ternary carbides and nitrides / M.W. Barsoum. – Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co KGaA, 2013.
2. Barsoum, M.W. Elastic and mechanical properties of the MAX phases / M.W. Barsoum, M. Radovic // *Annu. Rev. Mater. Res.* – 2011. – Vol. 41. – P. 195–227.
3. Zhou, Y. Microstructure and mechanism of damage tolerance for Ti_3SiC_2 bulk ceramics / Y. Zhou, Z. Sun // *Mater. Res. Innovations.* – 1999. – Vol. 2. – P. 360–363.
4. Li, S. Mechanical properties and mechanism of damage tolerance for Ti_3SiC_2 / S. Li, J. Xie, J. Zhao, L. Zhang // *Mater. Lett.* – 2002. – Vol. 57. – P. 119–123.
5. Su, X. Thermal shock resistance of Ti_3SiC_2 ceramic under extremely rapid thermal cycling / X. Su, Y. Bao, D. Wan, H. Zhang, L. Xu [et al.] // *J. Alloys Compd.* – 2021. – Vol. 866. – 158985.
6. El-Raghy, T. Processing and mechanical properties of Ti_3SiC_2 ; II, Effect of grain size and deformation temperature / T. El-Raghy, M.W. Barsoum, A. Zavalangos, S.R. Kalidindi // *J. Am. Ceram. Soc.* – 1999. – Vol. 82. – P. 2855–2860.
7. Zhou, Y. The compressive property and brittle-to-ductile transition of Ti_3SiC_2 ceramics / Y. Zhou, Z. Sun // *Mater. Res. Innovations.* – 1999. – Vol. 3. – P. 171–174.
8. Radovic, M. Tensile properties of Ti_3SiC_2 in the 25–1300°C temperature range / M. Radovic, M.W. Barsoum, T. El-Raghy, J. Seidensticker, S. Wiederhorn // *Acta Mater.* – 2000. – Vol. 48. – P. 453–459.
9. Li, J.F. Mechanical properties of polycrystalline Ti_3SiC_2 at ambient and elevated temperatures / J.F. Li, W. Pan, F. Sato, R. Watanabe // *Acta Mater.* – 2001. – Vol. 49. – P. 937–945.
10. Deng, Y. Theoretical predictions on temperature-dependent strength for MAX phases / Y. Deng, W. Li, X. Zhang, C. Zhang // *J. Am. Ceram. Soc.* – 2021. – Vol. 104. – P. 5898–5907.
11. Голдин, Б.А. Восстановительный твердофазный синтез карбосилицида титана Ti_3SiC_2 / Б.А. Голдин, П.В. Истомин, Ю.И. Рябков // *Неорг. матер.* – 1997. – Т. 33. – С. 691–694.
12. Голдин, Б.А. Высокотемпературная восстановительная переработка оксидного минерального сырья / Б.А. Голдин, Ю.И. Рябков, П.В. Истомин, В.Э. Грасс. – Екатеринбург: УрО РАН, 2001.
13. Istomin, P. Fabrication of Ti_3SiC_2 -based composites from titania-silica raw material / P. Istomin, A. Nadutkin, V. Grass // *Mater. Chem. Phys.* – 2015. – Vol. 162. – P. 216–221.

14. Истомина, Е.И. Получение Ti_3SiC_2 восстановлением диоксида титана карбидом кремния / Е.И. Истомина, П.В. Истомин, А.В. Надуткин // Неорг. матер. – 2016. – Т. 52. – С. 166–172.
15. Istomin, P. Synthesis of a bulk Ti_4SiC_3 MAX phase by reduction of TiO_2 with SiC / P. Istomin, E. Istomina, A. Nadutkin, V. Grass, M. Presniakov // Inorg. Chem. – 2016. – Vol. 55. – P. 11050–11056.
16. Истомина, Е.И. Оптимизация карбосиликотермического синтеза MAX-фазы Ti_4SiC_3 / Е.И. Истомина, П.В. Истомин, А.В. Надуткин, В.Э. Грасс, А.С. Богданова // Неорг. матер. – 2018. – Т. 54. – С. 554–563.
17. Istomin, P. Fabrication of Ti_3SiC_2 and Ti_4SiC_3 MAX phase ceramics through reduction of TiO_2 with SiC / P. Istomin, E. Istomina, A. Nadutkin, V. Grass, A. Leonov [et al.] // Ceram. Int. – 2017. – Vol. 43. – P. 16128–16135.
18. Istomin, P. Fabrication of Ti_3SiC_2 - Ti_4SiC_3 -SiC ceramic composites through carbosilicothermic reduction of TiO_2 / P. Istomin, E. Istomina, A. Nadutkin, V. Grass, M. Kaplan // Int. J. Appl. Ceram. Technol. – 2019. – Vol. 16. – P. 746–752.
19. Истомин, П.В. Карбосиликотермический синтез керамических композитов Ti_3SiC_2 - TiB_2 -SiC из лейкоксенового концентрата / П.В. Истомин, И.М. Беляев, Е.И. Истомина, А.В. Надуткин, В.Э. Грасс // Неорг. матер. – 2021. – Т. 57. – С. 327–334.
20. Song, K. In situ synthesis of $(TiB_2+SiC)/Ti_3SiC_2$ composites by hot pressing / K. Song, J. Yang, T. Qiu, L.M. Pan // Mater. Lett. – 2012. – Vol. 75. – P. 16–19.
21. Pan, L. Microstructure and mechanical properties of (TiB_2+SiC) reinforced Ti_3SiC_2 composites synthesized by in situ hot pressing / L. Pan, K. Song, J. Gu, T. Qiu, J. Yang // Int. J. Appl. Ceram. Technol. – 2016. – Vol. 13. – P. 629–635.
22. Zou, W. Microstructure and mechanical properties of in-situ hot pressed $(TiB_2+SiC)/Ti_3SiC_2$ composites with tunable TiB_2 content / W. Zou, F. Li, H. Zhang, J. Yang, S. Peng [et al.] // Adv. Appl. Ceram. – 2016. – Vol. 115. – P. 282–287.
23. Zhou, Y.R. Toughening mechanisms of Ti_3SiC_2 - and TiB_2 -toughened SiC matrix prepared via reactive melt infiltration / Y.R. Zhou, J. Jiao, Z.Y. Jiang, H. Liu, Y. Gao [et al.] // J. Mater. Res. – 2021. – Vol. 36. – P. 4963–4973.
24. Zou, W. Mechanical, thermal physical properties and thermal shock resistance of in situ $(TiB_2+SiC)/Ti_3SiC_2$ composite / W. Zou, H. Zhang, J. Yang, S. Peng, T. Qiu // J. Alloys Compd. – 2018. – Vol. 741. – P. 44–50.
25. Kraus, W. POWDER CELL – a program for the representation and manipulation of crystal structures and calculation of the resulting X-ray powder patterns / W. Kraus, G. Nolze // J. Appl. Cryst. – 1996. – Vol. 29. – P. 301–303.
26. Игнатьев, В.Д. Лейкоксен Тимана. Минералогия и проблемы технологии / В.Д. Игнатьев, И.Н. Бурцев. – Санкт-Петербург: Наука, 1997.
27. Швецова, И.В. Минералогия лейкоксена Ярегского месторождения / И.В. Швецова. – Ленинград: Наука, 1975.
28. Самсонов, Г.В. Силициды / Г.В. Самсонов, Л.А. Дворина, Б.М. Рудь. – Москва: Металлургия, 1979.

References

1. Barsoum, M.W. MAX phases: properties of machinable ternary carbides and nitrides / M.W. Barsoum. – Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co KGaA, 2013.
2. Barsoum, M.W. Elastic and mechanical properties of the MAX phases / M.W. Barsoum, M. Radovic // Annu. Rev. Mater. Res. – 2011. – Vol. 41. – P. 195–227.
3. Zhou, Y. Microstructure and mechanism of damage tolerance for Ti_3SiC_2 bulk ceramics / Y. Zhou, Z. Sun // Mater. Res. Innovations. – 1999. – Vol. 2. – P. 360–363.
4. Li, S. Mechanical properties and mechanism of damage tolerance for Ti_3SiC_2 / S. Li, J. Xie, J. Zhao, L. Zhang // Mater. Lett. – 2002. – Vol. 57. – P. 119–123.
5. Su, X. Thermal shock resistance of Ti_3SiC_2 ceramic under extremely rapid thermal cycling / X. Su, Y. Bao, D. Wan, H. Zhang, L. Xu [et al.] // J. Alloys Compd. – 2021. – Vol. 866. – P. 158985.
6. El-Raghy, T. Processing and mechanical properties of Ti_3SiC_2 : II, Effect of grain size and deformation temperature / T. El-Raghy, M.W. Barsoum, A. Zavaliangos, S.R. Kalidindi // J. Am. Ceram. Soc. – 1999. – Vol. 82. – P. 2855–2860.
7. Zhou, Y. The compressive property and brittle-to-ductile transition of Ti_3SiC_2 ceramics / Y. Zhou, Z. Sun // Mater. Res. Innovations. – 1999. – Vol. 3. – P. 171–174.
8. Radovic, M. Tensile properties of Ti_3SiC_2 in the 25–1300°C temperature range / M. Radovic, M.W. Barsoum, T. El-Raghy, J. Seidensticker, S. Wiederhorn // Acta Mater. – 2000. – Vol. 48. – P. 453–459.
9. Li, J.F. Mechanical properties of polycrystalline Ti_3SiC_2 at ambient and elevated temperatures / J.F. Li, W. Pan, F. Sato, R. Watanabe // Acta Mater. – 2001. – Vol. 49. – P. 937–945.
10. Deng, Y. Theoretical predictions on temperature-dependent strength for MAX phases / Y. Deng, W. Li, X. Zhang, C. Zhang // J. Am. Ceram. Soc. – 2021. – Vol. 104. – P. 5898–5907.
11. Goldin, B.A. Vosstanovitelnyj tverdogaznyj sintez karbo-silicida titana Ti_3SiC_2 [Reduction solid-state synthesis of titanium silicide carbide Ti_3SiC_2] / B.A. Goldin, P.V. Istomin, Yu.I. Ryabkov // Neorg. mater. [Inorganic Materials]. – 1997. – Vol. 33. – P. 577–579.
12. Goldin, B.A. Vysokotemperaturnaya vosstanovitel'naya pererabotka oksidnogo mineralnogo syr'ya [High-temperature reductive processing of oxide mineral raw materials] / B.A. Goldin, Yu.I. Ryabkov, P.V. Istomin, V.E. Grass. – Ekaterinburg: UB RAS, 2001.
13. Istomin, P. Fabrication of Ti_3SiC_2 -based composites from titania-silica raw material / P. Istomin, A. Nadutkin, V. Grass // Mater. Chem. Phys. – 2015. – Vol. 162. – P. 216–221.
14. Istomina, E.I. Poluchenie Ti_3SiC_2 vosstanovleniem dioksida titana karbidom kremniya [Preparation of Ti_3SiC_2 through reduction of titanium dioxide with silicon carbide] / E.I. Istomina, P.V. Istomin, A.V. Nadutkin // Neorg. mater. [Inorganic Materials]. – 2016. – Vol. 52. – P. 134–140.
15. Istomin, P. Synthesis of a bulk Ti_4SiC_3 MAX phase by reduction of TiO_2 with SiC / P. Istomin, E. Istomina, A. Nadut-

- kin, V. Grass, M. Presniakov // Inorg. Chem. – 2016. – Vol. 55. – P. 11050–11056.
16. Istomina, E.I. Optimizaciya karbosilikotermicheskogo sinteza MAX-fazy Ti_4SiC_3 [Optimization of the carbo-silico-thermic synthesis of the Ti_4SiC_3 MAX phase] / E.I. Istomina, P.V. Istomin, A.V. Nadutkin, V.E. Grass, A.S. Bogdanova // Neorg. mater. [Inorganic Materials]. – 2018. – Vol. 54. – P. 528–536.
17. Istomin, P. Fabrication of Ti_3SiC_2 and Ti_4SiC_3 MAX phase ceramics through reduction of TiO_2 with SiC / P. Istomin, E. Istomina, A. Nadutkin, V. Grass, A. Leonov [et al.] // Ceram. Int. – 2017. – Vol. 43. – P. 16128–16135.
18. Istomin, P. Fabrication of Ti_3SiC_2 - Ti_4SiC_3 -SiC ceramic composites through carbo-silico-thermic reduction of TiO_2 / P. Istomin, E. Istomina, A. Nadutkin, V. Grass, M. Kaplan // Int. J. Appl. Ceram. Technol. – 2019. – Vol. 16. – P. 746–752.
19. Istomin, P.V. Karbosilikotermicheskij sintez keramicheskikh kompozitov Ti_3SiC_2 - TiB_2 -SiC iz lejkoksenovogo koncentrata [Carbo-silico-thermic synthesis of Ti_3SiC_2 - TiB_2 -SiC ceramic composites from leucoxene concentrate] / P.V. Istomin, I.M. Belyaev, E.I. Istomina, A.V. Nadutkin, V.E. Grass // Neorg. mater. [Inorganic Materials]. – 2021. – Vol. 57. – P. 308–315.
20. Song, K. In situ synthesis of $(TiB_2+SiC)/Ti_3SiC_2$ composites by hot pressing / K. Song, J. Yang, T. Qiu, L.M. Pan // Mater. Lett. – 2012. – Vol. 75. – P. 16–19.
21. Pan, L. Microstructure and mechanical properties of (TiB_2+SiC) reinforced Ti_3SiC_2 composites synthesized by in situ hot pressing / L. Pan, K. Song, J. Gu, T. Qiu, J. Yang // Int. J. Appl. Ceram. Technol. – 2016. – Vol. 13. – P. 629–635.
22. Zou, W. Microstructure and mechanical properties of in-situ hot pressed $(TiB_2+SiC)/Ti_3SiC_2$ composites with tunable TiB_2 content / W. Zou, F. Li, H. Zhang, J. Yang, S. Peng [et al.] // Adv. Appl. Ceram. – 2016. – Vol. 115. – P. 282–287.
23. Zhou, Y.R. Toughening mechanisms of Ti_3SiC_2 - and TiB_2 -toughened SiC matrix prepared via reactive melt infiltration / Y.R. Zhou, J. Jiao, Z.Y. Jiang, H. Liu, Y. Gao [et al.] // J. Mater. Res. – 2021. – Vol. 36. – P. 4963–4973.
24. Zou, W. Mechanical, thermal physical properties and thermal shock resistance of in situ $(TiB_2+SiC)/Ti_3SiC_2$ composite / W. Zou, H. Zhang, J. Yang, S. Peng, T. Qiu // J. Alloys Compd. – 2018. – Vol. 741. – P. 44–50.
25. Kraus, W. POWDER CELL – a program for the representation and manipulation of crystal structures and calculation of the resulting X-ray powder patterns / W. Kraus, G. Nolze // J. Appl. Cryst. – 1996. – Vol. 29. – P. 301–303.
26. Ignat'ev, V.D. Leikoksen Timana. Mineralogiya i problemy tekhnologii [Timan leucoxene. Mineralogy and technological problems] / V.D. Ignat'ev, I.N. Burtsev. – St. Petersburg: Nauka, 1997.
27. Shvetsova, I.V. Mineralogiya leikoksena Yaregskogo mestorozhdeniya [Leucoxene mineralogy of the Yaregsk field] / I.V. Shvetsova. – Leningrad: Nauka, 1975.
28. Samsonov, G.V. Silicidy [Silicides] / G.V. Samsonov, L.A. Dvorina, B.M. Rud // Moscow: Metallurgiya, 1979.

Благодарность (госзадание)

Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Химия» Института химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. Исследования проведены в рамках государственного задания № 122040100040-0 по теме «Физико-химические основы создания керамических, композиционных и полимерных материалов для приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации».

Информация об авторах:

Беляев Илья Михайлович – младший научный сотрудник Института химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН; Scopus Author ID: 57195408370, <https://orcid.org/0000-0001-7811-9704> (Российская Федерация, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 48; e-mail: 987ilya@gmail.com).

Истомин Павел Валентинович – кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник Института химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН; Scopus Author ID: 6507399534, <https://orcid.org/0000-0003-0871-8554> (Российская Федерация, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 48; e-mail: istomin-pv@yandex.ru).

Истомина Елена Иннокентьевна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник Института химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН; Researcher ID: E-7817-2014, <https://orcid.org/0000-0002-6729-247X> (Российская Федерация, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 48; e-mail: istomina-ei@yandex.ru).

Надуткин Александр Вениаминович – кандидат технических наук, научный сотрудник Института химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН; Scopus Author ID: 12797701000, <https://orcid.org/0000-0001-7788-3997> (Российская Федерация, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 48; e-mail: nadutkin-av@chemi.komisc.ru).

Грасс Владислав Эвальдович – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН; Scopus Author ID: 6508391820, <https://orcid.org/0000-0002-8877-0709> (Российская Федерация, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 48; e-mail: grass-ve@chemi.komisc.ru).

About the authors:

Ilya M. Belyaev – Junior Researcher, Institute of Chemistry FRC Komi SC UB RAS, Scopus Author ID: 57195408370, <https://orcid.org/0000-0001-7811-9704> (Institute of Chemistry, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 48 Pervomaiskaya st., Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, e-mail: 987ilya@gmail.com).

Pavel V. Istomin – Candidate of Sciences (Chemistry), Leading Researcher, Institute of Chemistry FRC Komi SC UB RAS, Scopus Author ID: 57195408370, Scopus Author ID: 6507399534, <https://orcid.org/0000-0003-0871-8554> (Institute of Chemistry, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 48 Pervomaiskaya st., Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, e-mail: istomin-pv@yandex.ru).

Elena I. Istomina – Candidate of Sciences (Chemistry), Senior Researcher, Institute of Chemistry FRC Komi SC UB RAS, ResearcherID: E-7817-2014, <https://orcid.org/0000-0002-6729-247X> (Institute of Chemistry, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 48 Pervomaiskaya st., Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, e-mail: istomina-ei@yandex.ru).

Alexandr V. Nadutkin – Candidate of Sciences (Engineering), Senior Researcher, Institute of Chemistry FRC Komi SC UB RAS, Scopus Author ID: 12797701000, <https://orcid.org/0000-0001-7788-3997> (Institute of Chemistry, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 48 Pervomaiskaya st., Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, e-mail: nadutkin-av@chemi.komisc.ru).

Vladislav E. Grass – Candidate of Sciences (Geology and Mineralogy), Senior Researcher, Institute of Chemistry FRC Komi SC UB RAS, Scopus Author ID: 6508391820, <https://orcid.org/0000-0002-8877-0709> (Institute of Chemistry, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 48 Pervomaiskaya st., Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, e-mail: grass-ve@chemi.komisc.ru).

Для цитирования:

Беляев, И.М. Лейкоксеновый концентрат как эффективное сырье для получения высокотемпературных керамических композитов на основе МАХ-фаз / И.М. Беляев, П.В. Истомин, Е.И. Истомина, А.В. Надуткин, В.Э. Грасс // Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия «Науки о Земле». – 2023. – № 2 (60). – С. 97–105.

For citation:

Belyaev, I.M. Lejkoksenovyy koncentrat kak effektivnoe syryo dlya polucheniya vysokotemperaturnyh keramicheskikh kompozitov na osnove MAX-faz [Leucoxene concentrate as an effective source for synthesizing MAX phase high-temperature ceramic composites] / I.M. Belyaev, P.V. Istomin, E.I. Istomina, A.V. Nadutkin, V.E. Grass // Proceedings of the Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Series "Earth Sciences". – 2023. – № 2 (60). – P. 97–105.

Дата поступления статьи: 29.12.2022

Прошла рецензирование: 16.01.2023

Принято решение о публикации: 09.03.2023

Received: 29.12.2022

Reviewed: 16.01.2023

Accepted: 09.03.2023

Юбилей

Лидия Александровна Анищенко (к 90-летию со дня рождения)



Лидия Александровна Анищенко (1932–2014)

В 2022 г. Лидии Александровне Анищенко (Сорокиной) исполнилось бы 90 лет! Для нас, сотрудников Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, кому удалось с ней поработать, она навсегда останется в памяти как строгий руководитель и верный наставник и друг. Ее жизненный и творческий путь был не простым, но очень ярким. Часто Лидия Александровна рассказывала о своем детстве на Дальнем Востоке, где служил ее отец (профессиональный военный), о своих впечатлениях и об истории семьи в нелегкие предвоенные годы.

О войне 1941–1945 гг. она не любила говорить, вспоминала только отдельные фрагменты из жизни в тылу у бабушки на левом берегу р. Волги. Туда ее с братом мама успела переправить последним паромом из Сталинграда. После войны семья переехала в Грузию, куда был направлен ее отец. С юных лет Лидия Александровна жила в окружении гор и изумительной красоты дикой природы. Последние годы ее обучения в школе прошли уже в г. Феодосии. К этому времени сформировался твердый характер и тяга к исследованию всего неизвестного. И, несмотря на запреты врачей, в 1951 г. Лидочка Сорокина уехала поступать на геологический факультет Московского государственного университета. В эти годы на факультет пришло много молодых ребят, которые прошли дорогами ВОВ, там царил атмосфера абсолютной справедливости, дружбы и верного плеча. Эту дружбу они пронесли через всю жизнь. В 1956 г., будучи уже замужем, Лидия Александровна окончила кафедру минералогии геологического факультета МГУ по специальности «геохимия» и по собственному желанию вслед за мужем уехала работать геологом в г. Воркуту. Первым ее наставником стал руководитель

Anniversaries

Lidia Alexandrovna Anishchenko (to the 90th anniversary)

треста «Печорауглегеология» (преобразованного позже в Коми-Ненецкое геологическое управление), известный литолог Адриан Владимирович Македонов, о котором в последствии она часто вспоминала с большим уважением. До 1960 г. Лидия Александровна проработала в тресте геологом, занимаясь литологией и минералогией пермских угленосных отложений для корреляции разрезов и подготовки материалов к подсчету запасов углей. Но в конце 1960 г. ей, как выпускнику МГУ, в дипломе которого значилась специализация «геохимия», было поручено организовать и провести исследования по выявлению закономерностей развития гелиеносных газов в Печорском бассейне. Так, по словам Лидии Александровны, она из сферы литологии и геохимии перешла в область исследования нефти, газа и органической геохимии [1]. В 1961 г. всех сотрудников треста перевели в г. Ухту, где Лидия Александровна и проработала до 1987 г. В 1969 г. в Москве во Всесоюзном научно-исследовательском институте ядерной геофизики и геохимии она успешно защитила диссертацию на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук на тему «Гелиеносные газы Тимано-Печорской провинции».

Лидия Александровна прошла долгий трудовой путь от геолога и старшего инженера до заведующей лабораторией нефти и газа, начальника методической партии геохимии нефти и газа Комплексной экспедиции Тимано-Печорского отделения ВНИГРИ.

Почти четверть века, с 1988 по 2014 г., Л.А. Анищенко посвятила Институту геологии Коми НЦ. Круг ее научных интересов распространялся от геохимии природных газов, нефтей, прогноза качества углеводородов до геологии и закономерностей формирования нефтегазовых месторождений. При участии Л.А. Анищенко составлен прогноз качественного состава нефтей и углеводородных газов, выделены геохимические типы нефтей и газоконденсатов как аналогов или производных углеводородных систем, описаны ореолы их распространения, а также разработаны теоретические основы эволюционной модели онтогенеза горючих ископаемых.

За период трудовой деятельности Лидия Александровна опубликовала более 150 научных работ, в том числе четыре монографии (в соавторстве). Под ее руководством были организованы экспедиции в районы Тимана, Северного Урала, гряды Чернышева, Косью-Роговской и Коротайхинской впадин. Как писала сама Лидия Александровна: «Во время научных командировок, участия в совещаниях и конференциях познакомилась практически со всеми крупными центрами бывшего Советского Союза. Объездила свою страну от Ивано-Франковска до Якутска, Камчатки, Сахалина и от Мурманска до Ташкента и Ашхабада. Везде были друзья, соратники и единомышленники» [1].

В начале 2000-х гг., после ликвидации отдела геологии горючих ископаемых (ОГГИ, 1975–2006), благодаря Л.А. Анищенко было сохранено и расширено геохимическое направление исследований (анализ состава и генезиса сорбированных газов, изотопия органического вещества (далее – ОВ) и нефтей, исследование редких и радиоактивных элементов, изучение аминокислот и др.). Отдельный интерес был сосредоточен на изучении исходного ОВ состава керогена и уровня зрелости ОВ, и на особенностях распределения аминокислот в недрах Тимано-Печорского бассейна. Изучение аминокислот, начатое совместно с С.Н. Шаниной, проводилось для уточнения их спектра в континентальных и морских отложениях и изменчивости в процессе диагенеза и катагенеза. Эти исследования продолжаются и в настоящее время (С.Н. Шанина, О.С. Котик). Почти в два раза расширена коллекция углей и горючих сланцев разного возраста и степени катагенетических преобразований. В целом, как и было отмечено Лидией Александровной, аминокислоты показывают эволюционное изменение химического состава органического вещества и условия его захоронения.

В последние годы работы в Институте геологии Лидия Александровна уделяла особое внимание поиску новых приемов и методов для выявления эффективных критериев прогноза нефтегазоносности (использование изотопно-геохимических и газовых методов). Было установлено, что применение изотопно-геохимического критерия является эффективным для региональной оценки фильтрационно-емкостных свойств пород-коллекторов, неизменных вторичными процессами [2].

Под руководством Лидии Александровны, совместно с С.С. Клименко, Н.Н. Рябинкиной, О.С. Котик, И.С. Котик, О.В. Валяевой, Д.В. Хипели, осуществлялась работа по изучению закономерностей формирования и распространения нефтегазоносных комплексов и особенностей их нефтегазонакопления. Была проведена оценка нефтидогенеза палеозойского комплекса в различных районах Тимано-Печорской провинции: Хорейверской и Денисовской впадин, северных впадин Предуралья Краевого прогиба и Восточно-Лемвинской площади надвиговой зоны Урала. Подтвердились сделанные еще в конце 80-х – начале 90-х гг. прошлого века выводы о значительном влиянии литофациальных условий на накопление исходного органического вещества и формирование состава первич-

ной нефти в палеозойских толщах Тимано-Печорской провинции. Поставленные Л.А. Анищенко геологические задачи являются весьма актуальными и в настоящий момент.

В Институте Лидия Александровна проводила большую научно-организационную и образовательную работу, считая своим долгом поддерживать молодых сотрудников, аспирантов и студентов в поиске правильных геологических решений и «по-матерински» помочь советом в сложных жизненных ситуациях. Ее несомненным талантом было умение вдохновлять и увлекать и не только красочно, но и по-научному раскрывать перед молодыми возможные пути познания и решения огромного круга задач геолога-нефтяника. Л.А. Анищенко старалась твердо идти к намеченным целям и верить в себя. И мы, так же как и она, должны с головой погружаться в решение нестандартных задач, поиск новых путей и разгадку многочисленных тайн природы.

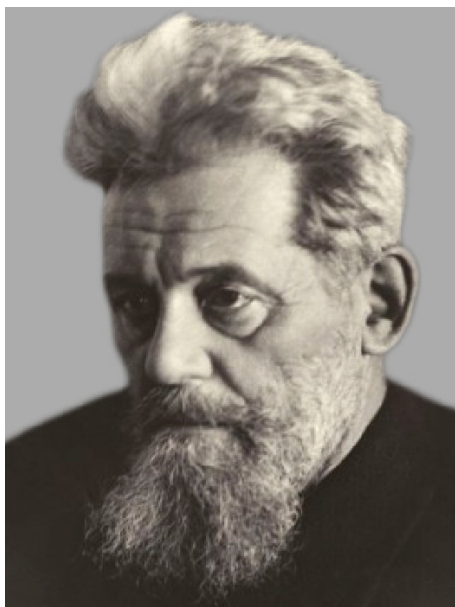
Лидия Александровна была доброжелательным, отзывчивым и жизнерадостным человеком, любознательным, целеустремленным и самоотверженным ученым, мудрым и терпеливым учителем, готовым поделиться своим бесценным опытом и знанием с каждым «жаждущим». Она всегда рассматривала две стороны одной медали – науку и практику. Имя и пример Лидии Александровны навсегда сохранится в нашей памяти!

Литература

1. Анищенко, Л.А. Анкета с некоторыми воспоминаниями (к 75-летию Л.А. Анищенко) / Л.А. Анищенко // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. – 2007. – № 11. – С. 15–16.
2. Анищенко, Л.А. Результаты изотопно-геохимических исследований карбонатолитов в пределах нефтегазоносных Хорейверской и Денисовской впадин / Л.А. Анищенко, С.С. Клименко, О.С. Процько, В.И. Силаев // Геология и геохимия горючих ископаемых европейского севера России. – Сыктывкар, 2011. – № 3. – С. 119–125. – (Тр. Института геологии Коми НЦ УрО РАН. Вып. 128).

*Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН:
Н.Н. Рябинкина, О.С. Котик, И.С. Котик;
ПАО АНК «Башнефть» С.С. Клименко*

**Михаил Иванович Сумгин –
основоположник науки
«Мерзлотоведение»
(к 150-летию со дня рождения)**



Михаил Иванович Сумгин (1873–1942)

Имя Михаила Ивановича Сумгина широко известно не только в нашей стране, но и за рубежом. Его по праву называют основоположником науки, изучающей мерзлую зону литосферы, – мерзлотоведения. Фамилия Сумгина включена в Международный банк выдающихся деятелей мировой науки в истории человеческой цивилизации, его имя присвоено одному из крупнейших кратеров на планете Марс, полуострову на архипелаге Земля Франца-Иосифа и леднику на массиве Буордах в Северо-Восточной Якутии.

Михаил Иванович Сумгин родился 25 февраля 1873 г. в семье мордовского крестьянина. С большим трудом, преодолевая тяжелые материальные и жизненные обстоятельства, ему удалось окончить сначала сельскую приходскую школу, а затем – Лукьяновское городское училище. Только в 1895 г. М.И. Сумгин стал студентом физико-математического факультета Санкт-Петербургского университета. Из-за участия в революционной деятельности закончить его так и не удалось: арест, ссылка в Нижегородскую губернию, потом, в 1906 г., – в Тобольскую губернию, через год – высылка за границу, нелегальное возвращение в Россию и водворение к месту ссылки.

В 1910 г. на образованного переселенца обратили внимание работающие в этом районе ученые, и в 1911 г. он получил возможность заняться наукой, получив назначение начальником только что созданной Бомнакской метеорологической станции в Амурской области. Уже через два года М.И. Сумгин возглавил Метеорологическое бюро Амурского района. Именно в это время он заинтересовался таким феноменом природы, как вечная мерзлота, и орга-

**Mikhail Ivanovich Sumgin –
a founder of cryopedology as a science
(to the 150th anniversary)**

низовал ее исследования. Как результат, были собраны и систематизированы сведения о причинах появления и распространении вечной мерзлоты, сезонном промерзании и протаивании. В опубликованной статье М.И. Сумгина «Географическое распространение вечной мерзлоты в Амурской области» была определена южная граница ее распространения, сформулированы принципы организации и пути развития новой науки.

На период с 1917 по 1923 г. исследования были прерваны и возобновились после переезда ученого в Москву. В 1927 г. вышла в свет монография «Вечная мерзлота почвы в пределах СССР». В ней обобщены все известные в то время сведения о географическом распространении вечной мерзлоты, ее мощности, температурном режиме, физических свойствах, приведены две мерзлотные карты, разработана научная терминология мерзлотоведения, кроме того оценена роль вечной мерзлоты в хозяйственной деятельности человека, намечена широкая программа ее изучения. Великий русский ученый В.И. Вернадский написал тогда: «Появление этой работы следует считать отправным пунктом формирования в нашей стране новой науки – мерзлотоведения».

Параллельно с работой над монографией М.И. Сумгин занимался деятельностью по внедрению новых знаний в практику через взаимодействие с институтами и отдельными учеными, строительными организациями. В 1927 г. М.И. Сумгин переехал в г. Ленинград, где продолжил активную организаторскую и научную деятельность, заложив совместно с молодым ученым Н.А. Цытовичем основы механики мерзлых грунтов.

Для координации усилий исследователей в изучении вечной мерзлоты в 1930 г. при Академии наук СССР была создана Комиссия по изучению вечной мерзлоты (далее – КИВМ) во главе с В.А. Обручевым. Довольно быстро КИВМ переросла свои возможности и в 1939 г. была преобразована в Институт мерзлотоведения им. В.А. Обручева, в котором М.И. Сумгин стал заместителем В.А. Обручева по научно-исследовательской работе. В короткий срок была создана школа советских мерзлотоведов. Впервые в истории образования М.И. Сумгин подготовил и прочел курс лекций по мерзлотоведению; подобные специальные курсы стали читаться в вузах страны; была организована первая мерзлотоведческая аспирантура; проводились ежегодные научные совещания, семинары, публичные выступления. В 1940 г. впервые в мире был издан учебник «Общее мерзлотоведение», подготовленный М.И. Сумгиным в соавторстве с коллегами Н. И. Толстихиным, В.Ф. Тумелем, С.П. Качуриным.

В 1936 г. М.И. Сумгину без защиты диссертации присудили ученую степень доктора геологических (в настоящее время – геолого-минералогических) наук. Творческое на-

следие М.И. Сумгина необычайно велико: список его научных работ по мерзлотоведению превышает 100 наименований.

Большое внимание М.И. Сумгин уделял организации многочисленных экспедиций в районы распространения вечной мерзлоты: на Европейский Север (в бассейны рек Печоры и Усы), в Приангарье, Якутию, в зону будущей Байкало-Амурской магистрали, на Кольский полуостров, Урал. Им были разработаны программы деятельности мерзлотных станций (к 1941 г. их в СССР насчитывалось уже 10).

С началом Великой Отечественной войны Институт мерзлотоведения им. В.А. Обручева АН СССР стал уделять особое внимание разработкам по оборонной тематике. М.И. Сумгин очень много времени проводил на работе. Во время бомбежки он получил сильную контузию, был эвакуирован в г. Ташкент. Там он стал заниматься проблематикой горной мерзлоты.

М.И. Сумгин внес основополагающий вклад в становление мерзлотоведения как самостоятельной отрасли знания. Им впервые было выполнено фундаментальное обобщение имеющихся сведений о происхождении, распространении, классификации, динамике и свойствах вечной мерзлоты, составлены первые обстоятельные инструкции, рекомендации и указания по изучению мерзлых

горных пород, мерзлотных процессов и явлений. Михаил Иванович – основной автор первого в мире учебника по общему мерзлотоведению, кроме этого, им написаны первые увлекательные научно-популярные книги о вечной мерзлоте. Он был инициатором создания в стране первых специализированных научных организаций для комплексного изучения вечной мерзлоты (Комиссии по изучению вечной мерзлоты АН СССР в 1930 г. и Комитета по вечной мерзлоте АН СССР в 1936 г.). В 1939 г. на базе Комитета по вечной мерзлоте АН СССР в г. Москве был создан Институт мерзлотоведения им. В.А. Обручева АН СССР, фактическим руководителем которого М.И. Сумгин являлся до конца своей жизни.

М.И. Сумгин скончался 8 декабря 1942 г. Его дело продолжили многочисленные ученики и последователи, научный подвиг Михаила Ивановича для многих людей стал источником вдохновения и образцом для подражания.

*Ухтинский государственный технический университет,
кафедра экологии, землеустройства
и природопользования:
д.геогр.н., профессор Г.Г. Осадчая,
д.геогр.н., профессор Н.А. Шполянская,
к.т.н., заведующий кафедрой В.Ю. Дудников*



Научный журнал

ИЗВЕСТИЯ

Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук

**Серия «Науки о Земле»
№ 2 (60)**

Номер подготовили:

Ответственный редактор серии – д.г.-м.н. А.М. Пыстин
Ответственный секретарь серии – д.г.-м.н. Н.С. Бурдельная
Выпускающий редактор – И.В. Курляк
Редакторы – К.А. Попова, О.А. Гросу
Переводчик – Е.С. Кузьмина
Компьютерное макетирование – Е.Н. Старцева
Дизайн обложки – Я.С. Куликова

Лицензия № 0047 от 10.01.1999.

Подписано в печать 10.07.2023. Дата выхода в свет 13.07.2023.

Уч.-изд.л. 14,5. Усл.-печ.л. 13,75. Тираж 300. Заказ № 28.

Формат 60х84/8. Свободная цена.

Подготовлено к изданию и отпечатано в редакционно-издательском центре ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
167982, Российская Федерация, ГСП-2, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 24.

Адрес учредителя, издателя: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр «Коми научный центр УрО РАН».
167982, Российская Федерация, ГСП-2, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 24.