

ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ АРКТИКИ И СУБАРКТИКИ

(до 2018 г. «Наука и образование»)

Научный журнал

2020, Том 25, № 4

Основан в 1996 г.
Выходит 4 раза в год

Учредители:

Академия наук РС (Я),
Якутский научный центр СО РАН,
Северо-Восточный федеральный
университет им. М.К. Аммосова,
Министерство образования и науки РС (Я)

В журнале публикуются научные статьи по геологии,
мерзлотоведению, экологии, биологическим ресурсам
и материаловедению арктических и субарктических
регионов

Главный редактор

В.В. Филиппов

Член-корреспондент РАН

Заместители главного редактора:

Н.Г. Соломонов, член-корр. РАН
Ю.М. Григорьев, д-р физ.-мат. наук

Ответственный секретарь

З.А. Корнилова

Адрес редакции:

677000, г. Якутск, пр. Ленина, 33
nras2018@mail.ru

<http://nras.asrsya.ru>

Регистрационный номер ПИ № ТУ14-00503
от 15.02.2018 г. выдан Управлением Роскомнадзора
по Республике Саха (Якутия) Федеральной службы
по надзору в сфере связи, информационных технологий
и массовых коммуникаций

Подписной индекс в каталоге Почта России – ПР046
Входит в Перечень ВАК Минобрнауки РФ (22.12.2020)
Включен в базу данных Russian Science Citation Index (RSCI)

© Академия наук РС (Я), 2020
© Якутский научный центр СО РАН, 2020
© Северо-Восточный федеральный университет
им. М.К. Аммосова, 2020
© Министерство образования и науки РС (Я), 2020

ISSN 2618-9712 (print)
ISSN 2686-9683 (online)

ARCTIC AND SUBARCTIC NATURAL RESOURCES

(until 2018 «Nauka i Obrazovanie»)

Scientific journal

2020, Vol. 25, No. 4

Founded in 1996
4 issues per year

Founders:

Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia),
Yakut Scientific Center of the Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences,
M.K. Ammosov North-Eastern Federal University,
Ministry of Education and Science
of the Republic of Sakha (Yakutia)

The journal publishes articles on Geology,
Permafrost Science, Ecology, Biological Resources
and Materials Science of the Arctic and Subarctic regions

Editor-in-Chief

V.V. Filippov

Corresponding Member of RAS

Deputy Editors-in-Chief:

N.G. Solomonov

Corresponding Member of RAS

Yu.M. Grigoriev

Dr. of Physico-Mathematical Sciences

Executive Editor

Z.A. Kornilova

Editorial Office Address:

33 Lenina pr., Yakutsk, 677000, Russia
nras2018@mail.ru

<http://nras.asrsya.ru>

The certificate of registration of PI No. TU14-00503
of February 15, 2018, issued by the Board of Federal Service
for Supervision in the Sphere of Communication,
Information Technologies and Mass Communications
in the Republic of Sakha (Yakutia)

Subscription Index in the Russian Post Catalog – ПР046
Enlisted in the Catalogue of Leading Scientific Journals
of the Higher Attestation Commission, RF (22.12.2020)
Included in the Russian Science Citation Index database (RSCI)

© Academy of Sciences of RS (Ya), 2020
© Yakut Scientific Center of SB RAS, 2020
© M.K. Ammosov North-Eastern
Federal University, 2020
© Ministry of Education and Science of RS (Ya), 2020

Редакционный совет:

Филиппов В.В. – чл.-корр. РАН, АН РС (Я); Крымский Г.Ф. – акад. РАН, ИКФИА СО РАН; Лебедев М.П. – чл.-корр. РАН, ИФТПС СО РАН; Николаев А.Н. – д.б.н., СВФУ им. М.К. Аммосова; Присяжный М.Ю. – д.г.н., Минобрнауки РС (Я)

Редакционная коллегия:

Науки о Земле

Горячев Н.А. – чл.-корр. РАН, СВКНИИ ДВО РАН
Григорьев М.Н. – д.г.н., ИМЗ СО РАН
Железняк М.Н. – д.г.-м.н., ИМЗ СО РАН
Колодезников И.И. – д.г.-м.н., проф., АН РС (Я)
Кондратьев С.А. – д.т.н., ИГД СО РАН
Кутыгин Р.В. – к.г.-м.н., ИГАБМ СО РАН
Матвеев А.И. – д.т.н., ИГДС СО РАН
Похиленко Н.П. – акад. РАН, ИГМ СО РАН
Романовский В.Е. – д-р, проф., Геофиз. ин-т Ун-та шт. Аляска, США
Стоун Дэвид – д-р, проф., Геофиз. ин-т Ун-та шт. Аляска, США
Толстов А.В. – д.г.-м.н., НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО)
Фридовский В.Ю. – д.г.-м.н., проф., ИГАБМ СО РАН
Шепелев В.В. – д.г.-м.н., проф., ИМЗ СО РАН
Хуббертсен Х.-В. – д-р, проф., Потсдамский ф-л Ин-та полярных и морских исслед. им. А. Вегенера, Германия
Яковлев В.Л. – чл.-корр. РАН, ИГД УрО РАН

Общая биология

Арчибалд Дж. – д-р, Межд. фонд охраны журавлей, США
Данилова Н.С. – д.б.н., проф., ИБПК СО РАН
Исаев А.П. – д.б.н., ИБПК СО РАН
Кершенгольц Б.М. – д.б.н., проф., ИБПК СО РАН
Соломонов Н.Г. – чл.-корр. РАН, ИБПК СО РАН
Хияма Т. – д-р, проф., Ун-т г. Нагоя, Япония
Убугунов Л.Л. – д.б.н., ИОЭБ СО РАН
Хатано Р. – д-р, проф., Ун-т Хоккайдо, Япония
Шадрина Е.Г. – д.б.н., проф., ИБПК СО РАН

Материаловедение

Аннин Б.Д. – акад. РАН, ИГиЛ СО РАН
Григорьев Ю.М. – д.ф.-м.н., СВФУ
Дейонг Джонг – д-р, проф., Университет Инха, Ю. Корея
Качанов М.Л. – д-р, проф., Ун-т Тафтса, США
Лепов В.В. – д.т.н., ИФТПС СО РАН
Морозов Н.Ф. – акад. РАН, СПбГУ
Охлопкова А.А. – д.т.н., проф., СВФУ
Салахов М.Х. – д.ф.-м.н., проф., К(П)ФУ

Editorial Council:

V.V. Filippov – corr. member RAS, AS RS(Ya), Prof., AS RS(Ya); G.F. Krymsky – Acad. RAS, Yu.G. Shafer Inst. of Cosmophysical Research and Aeronomy SB RAS; M.P. Lebedev – corr. member RAS, Larionov Inst. of Physical and Technical Problems of the North SB RAS; A.N. Nikolaev – Dr. Sci. (Biol), NEFU n.a. M.K. Ammosov; M.Yu. Prisyazhny – Dr. Sci. (Geography), Ministry of Education and Science of RS (Ya)

Editorial Board:

Earth Sciences

N.A. Goryachev – Corr. Member RAS, Shilo North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute FEB RAS
M.N. Grigoriev – Dr. Sci. (Geogr.), Melnikov Permafrost Inst. SB RAS
M.N. Zhelezniak – Dr. Sci. (Geol. and Mineral.), Melnikov Permafrost Institute SB RAS
I.I. Kolodeznikov – Dr. Sci. (Geology and Mineralogy), prof., AS RS(Ya)
S.A. Kondratiev – Dr. Sci. (Tech.), Inst. of Mining of the North SB RAS
R.V. Kutygin – Cand. Sci. (Geol. and Mineral.), Diamond and Precious Metal Geology Inst. SB RAS
A.I. Matveev – Dr. Sci. (Tech.), Chersky Inst. of Mining of the North SB RAS
N.P. Pokhilenko – Acad. RAS, V.S. Sobolev Inst. of Geology and Mineralogy SB RAS
V. E. Romanovsky – Dr., Prof., Geophysical Inst., Univ. of Alaska, USA
David B. Stone – Dr., Prof., Geophysical Inst., Univ. of Alaska, USA
A.V. Tolstov – Dr. Sci. (Geol. and Mineral.), Research Geological Prospecting Enterprise (NIGP) of PJSC «ALROSA»
V.Yu. Fridovsky – Dr. Sci. (Geol. and Mineral.), Prof., Diamond and Precious Metal Geology Inst. SB RAS
V.V. Shepelev – Dr. Sci. (Geol. and Mineral.), Prof., Melnikov Permafrost Inst. SB RAS
H.-V. Hubberten – Dr., Prof., Alfred Wegener Inst. for Polar and Marine Research, Potsdam Research Unit, Germany
V.L. Yakovlev – Corr. Member RAS, Inst. of Mining UB RAS

General Biology

George Archibald – Dr., International Crane Foundation, USA
N.S. Danilova – Dr. Sci. (Biol.), Prof., Inst. for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS
B.M. Kershengolts – Dr. Sci. (Biol.), Prof., Inst. for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS
N.G. Solomonov – Corr. Member RAS, Inst. for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS
Tetsuya Hiyama – Dr., Prof., Nagoya Univ., Japan
A.P. Isaev – Dr. Sci. (Biol.), Inst. for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS
L.L. Ubugunov – Dr. Sci. (Biol.), Inst. of General and Experimental Biology SB RAS
Ryusuke Hatano – Dr., Prof., Hokkaido Univ., Japan
E.G. Shadrina – Dr. Sci. (Biol.), Prof., Inst. for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS

Materials Science

B.D. Annin – Acad. RAS, Lavrentyev Institute of Hydrodynamics SB RAS
Yu.M. Grigoriev – Dr. Sci. (Phys. and Math.), NEFU
Dae-Yong Jeong – Dr., Inha University, Korea
M.L. Kachanov – Dr., Prof., Tufts Univ., USA
V.V. Lepov – Dr. Sci. (Tech.), Larionov Inst. of Physical and Technical Problems of the North SB RAS
N.F. Morozov – Acad. RAS, St Petersburg State Univ.
A.A. Okhlopova – Dr. Sci. (Tech.), Prof., NEFU n. a. M.K. Ammosov
M.H. Salakhov – Dr. Sci. (Phys. and Math.), Prof., Kazan Federal Univ.

СОДЕРЖАНИЕ

Науки о Земле

Общая и региональная геология, петрология и вулканология

<i>Кутыгин Р.В., Будников И.В., Сивчиков В.Е.</i> Основные черты стратиграфии касимовско-гжельских и пермских отложений Сибирской платформы и ее складчатого обрамления.....	5
<i>Васильев Д.А., Ермаков Н.Н., Прокопьев А.В.</i> Тектоника юго-восточного фланга Иньяли-Дебинского синклинория (Верхояно-Колымская складчатая область).....	30
<i>Округин А.В., Журавлев А.И.</i> Конвергентные минералогические особенности силикатных магматических и карбонатитовых пород Томторского массива на северо-востоке Сибирской платформы.....	42
<i>Зуева И.Н., Чалая О.Н., Глязнецова Ю.С., Лифшиц С.Х.</i> Геохимия нефтидов среднекаменноугольных отложений Приколымского поднятия (Северо-Восток России)	59
<i>Колесов С.Д.</i> Местонахождение остатков представителей мамонтовой фауны «Енге-Юрюе» Среднеколымского района Республики Саха (Якутия)	72

Общая биология

Экология

<i>Габышев В.А., Габышева О.И.</i> К изучению влияния тяжелых металлов на развитие фитопланктона озер г. Якутска и окрестностей	81
<i>Коробкова Т.С., Сабарайкина С.М.</i> Антиоксидантная активность плодов <i>Lonicera L.</i> в условиях центральной Якутии.....	92
<i>Колосова О.Н., Хлебный Е.С., Башиева Н.В.</i> Профиль жирных кислот плазмы крови беременных женщин как биомаркер риска невынашивания беременности в условиях Севера.....	100

Биологические ресурсы

<i>Оконешникова М.В., Иванова А.З., Десяткин А.Р., Филиппов Н.В., Десяткин Р.В.</i> Почвы тукуланов бассейна реки Кенкеме (Центральная Якутия).....	111
<i>Степанова В.В., Охлопков И.М.</i> Современное состояние численности и плотности населения волка (<i>Canis lupus Linnaeus</i> , 1758) в Якутии.....	121

Память

Юрий Алексеевич Мочанов.....	134
Евгений Григорьевич Бережко.....	135
Требования к оформлению статей	136

CONTENTS

Earth sciences

General and regional geology, petrology and volcanology

<i>Kutygin R.V., Budnikov I.V., Sivtchikov V.E.</i> The main features of the Kasimovian–Gzhe- lian and Permian stratigraphy in the Siberian platform and adjacent fold belts	5
<i>Vasiliev D.A., Ermakov N.N., Prokopiev A.V.</i> Tectonic structures of the southeastern flank of the In'yali-Debin synclinorium (the Verkhoyansk-Kolyma orogenic region)	30
<i>Okrugin A.V., Zhuravlev A.I.</i> Convergent mineralogical features of silicate igneous and car- bonatite rocks of the Tomtor massif in the northeast of the Siberian platform.....	42
<i>Zueva I.N., Chalaya O.N., Glyaznetsova Yu.S., Lifshits S.Kh.</i> Geochemistry of naphthides of the Middle Carboniferous sediments of the Prikolym Uplift (North-East of Russia)	59
<i>Kolesov S.D.</i> Location of the remains of the mammoth fauna in «Enge-Yuryue» of the Sred- nekolymsky region of the Republic of Sakha (Yakutia)	72

General biology

Ecology

<i>Gabyshev V.A., Gabysheva O.I.</i> On the study of the effects of heavy metals on the growth of lake phytoplankton in Yakutsk and its vicinity	81
<i>Korobkova T.S., Sabaraikina S.M.</i> Antioxidant activity of the berries of <i>Lonicera L.</i> under the conditions of Central Yakutia.....	92
<i>Kolosova O.N., Khlebny E.S., Baisheva N.V.</i> Fatty acid profile in the blood plasma of preg- nant women as a biomarker of the risk of miscarriage in the North.....	100

Biological resources

<i>Okoneshnikova M.V., Ivanova A.Z., Desyatkin A.R., Filippov N.V., Desyatkin R.V.</i> Soils of tukulans in the Kenkeme river basin (Central Yakutia)	111
<i>Stepanova V. V., Okhlopkov I. M.</i> The current state of the wolf (<i>Canis lupus Linnaeus</i> , 1758) population size and density in Yakutia	121

Memory

Юрий Алексеевич Мочанов.....	134
Евгений Григорьевич Бережко.....	135
Requirements for manuscripts	136

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Общая и региональная геология, петрология и вулканология

УДК 551.735/736 (571.56)

DOI 10.31242/2618-9712-2020-25-4-1

Основные черты стратиграфии касимовско-гжельских и пермских отложений Сибирской платформы и ее складчатого обрамления

Р.В. Кутыгин^{1,*}, И.В. Будников², В.Е. Сивчиков

¹Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, Якутск, Россия

²Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики
и минерального сырья, Новосибирск, Россия

*rkutygin@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены основные проблемы стратиграфии касимовско-гжельских (верхнепенсильванских) и пермских отложений на территории Средней Сибири, в пределах которой выделяют-ся пять структурно-фациальных областей: Тунгусская, Лено-Енисейская, Вилюйская, Таймырская и Верхоянская. Перечисленные области разделены на структурно-фациальные зоны или районы, характеризующиеся неповторимой последовательностью местных стратонов (свит, подсвит, толщ). Для корреляции верхнепенсильванских–пермских отложений внутри каждого из трех регионов (Сибирская платформа, Таймыр и Верхоянье) используются самостоятельные региональные стратиграфические шкалы, основанные на вертикальной последовательности палеонтологических комплексов и этапности осадконакопления. Верхнепенсильванско-пермские отложения Сибирской платформы рассматриваются в составе семи последовательных региональных горизонтов (снизу вверх): катский (верхняя часть), клинтайгинский, бурзуклинский, пеляткинский, дегалинский, гагарье-островский и ивакинский. На Таймыре этому интервалу соответствуют турузовский, быррангский, соколиньский, байкурский, ледянский и ивакинский, а в Верхоянье – кыгылтасский, хорокытский, эчий-ский, тумаринский, деленжинский, дулгалахский, хальпирский и некучанский (основание) региональные горизонты. Проведено сопоставление региональных стратиграфических шкал Сибирской платформы, Таймыра и Верхоянья с Международной хроностратиграфической шкалой. Для всех изученных структурно-фациальных областей приведены схемы корреляции, которые могут использоваться в качестве каркаса для новых (современных) региональных стратиграфических схем верхнего палеозоя Сибирской платформы и ее складчатого обрамления.

Ключевые слова: стратиграфия, Сибирская платформа, Верхоянье, Таймыр, верхний карбон, пенсильваний, пермская система, корреляция.

Благодарности. Выражаем искреннюю благодарность К.В. Борисенкову, А.С. Бякову, М.Ф. Богословской, В.Г. Ганелину, В.С. Гриненко, В.И. Давыдову, Т.Б. Леоновой, В.И. Макошину, Ю.В. Мосейчик, Л.Г. Пороховниченко, А.В. Прокопьеву и Ф.Ф. Третьякову за плодотворные обсуждения отдельных вопросов настоящей статьи. Исследования выполнены по государственному заданию ИГАБМ СО РАН и при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 18-05-00191 – биостратиграфия верхнего карбона и перми; 20-05-00604 – строение пограничных пермско-триасовых отложений). Изучение кепитенско-чансинского седиментогенеза проводилось при финансовой поддержке РНФ (проект № 19-17-00178).

Введение

Сибирская платформа (с прилегающими складчатыми территориями) является одним из немногих регионов Северной Евразии, позволяющих изучить латеральные и вертикальные изменения верхнепалеозойских отложений на столь огромной площади в естественных обнажениях и по материалам глубокого бурения [1]. Изучением вещественного состава, расчленением и корреляцией верхнекаменноугольных и пермских отложений рассматриваемой территории [2] занимались многие ученые, исследования которых сформировали длительную и богатую историю, ранее подробно рассмотренную А.Г. Клецом [3].

Верхоянский терригенный комплекс, к которому относится рассматриваемый в статье интервал разреза, построен по принципу трансгрессивно-регрессивной цикличности, довольно четко проявленной не только в фациях окраинных морей, но и на древних континентальных равнинах. Морские трансгрессивные уровни обычно представлены глинистыми осадками, сменяющимися вверх по разрезу псаммитовыми породами регрессивных этапов. С периодами отступления моря, сопровождаемого образованием на прибрежной равнине многочисленных лагун и озер, связано наиболее интенсивное угленакпление. Несмотря на то что трансгрессивно-регрессивные этапы развития осадочных бассейнов не всегда совпадают с ярусными этапами Международной хроностратиграфической шкалы, они обладают неплохим корреляционным потенциалом. Верхнекаменноугольные и пермские отложения Верхоянья подразделены на ритмостратиграфические единицы (ритмосвиты), нижние части которых обычно сложены тонкозернистыми (трансгрессивными), верхние – преимущественно псаммитовыми (регрессивными) осадками [4–6]. Аналогичный подход к делению верхнепалеозойских отложений, на наш взгляд, возможен на Сибирской платформе и Таймыре.

В период своей активной научной деятельности И.В. Будников и В.Е. Сивчиков в пределах Таймыра, Лено-Хатангского и Лено-Анабарского прогибов изучили более двух десятков крупных естественных береговых разрезов. Ими был также исследован керн 18 глубоких скважин, вскрывших верхнепалеозойские отложения, суммарной мощностью около 10 км, включая скважины АХ-1 и АХ-2 Анабаро-Хатангского прогиба. В пределах северо-восточных районов Тунгусской синеклизы

(алмазоносные районы) с 1985 по 2019 годы детально описывалось около 80 скважин в год, средней мощностью 70 метров. В период интенсивного разбуривания Вилуйской синеклизы И.В. Будниковым изучен керн около сотни скважин (включая Средневилуйские сверхглубокие 22 и 27) общей мощностью 60 км. Обширный фактический материал И.В. Будниковым и Р.В. Кутыгиным получен в процессе регулярно проводившегося в последние три десятилетия детального изучения многочисленных опорных разрезов карбона и перми в различных уголках Верхоянского хребта. Значительная часть приведенных данных о биостратиграфии верхнего пенсильвания и перми Сибирской платформы и Западного Таймыра базируется на неопубликованных материалах безвременно ушедшего из жизни нашего друга, коллеги и соавтора Виктора Егоровича Сивчикова, во многом благодаря которому и вышла в свет эта научная работа.

Структурно-фациальное районирование

В азиатской части России одним из наиболее крупных регионов с интенсивной фациальной дифференциацией верхнепалеозойских отложений является Сибирская платформа (рис. 1), в которой нами выделяются три структурно-фациальные области (СФО): Тунгусская, Лено-Енисейская и Вилуйская. В складчатое обрамление Сибирской платформы входят Таймырская и Верхоянская СФО.

В Тунгусской структурно-фациальной области распространены отложения внутриконтинентальных палеобассейнов, включающих озера и болота, в пределах которых происходило накопление терригенных песчано-глинистых осадков и торфяников [7]. Биостратиграфической основой расчленения этих отложений является вертикальная последовательность комплексов ангарской макро- и микрофлоры и неморских двустворчатых моллюсков [8], которые позволяют проводить корреляцию с эталонными для Ангарского материка разрезами Кузбасса [9]. Во время крупных трансгрессий морские воды проникали в глубь области, где в условиях приливно-отливных равнин, эстуариев и лагун накапливались преимущественно тонкозернистые осадки, содержащие морскую и солоноватоводную фауну [6]. В пределах Тунгусской СФО выделяются Тасеевская, Муринская, Катинская, Моркокинская, Котуйская, Таймуринская, Усть-Нижнетунгусская и Норильская структурно-фациальные зоны (СФЗ).

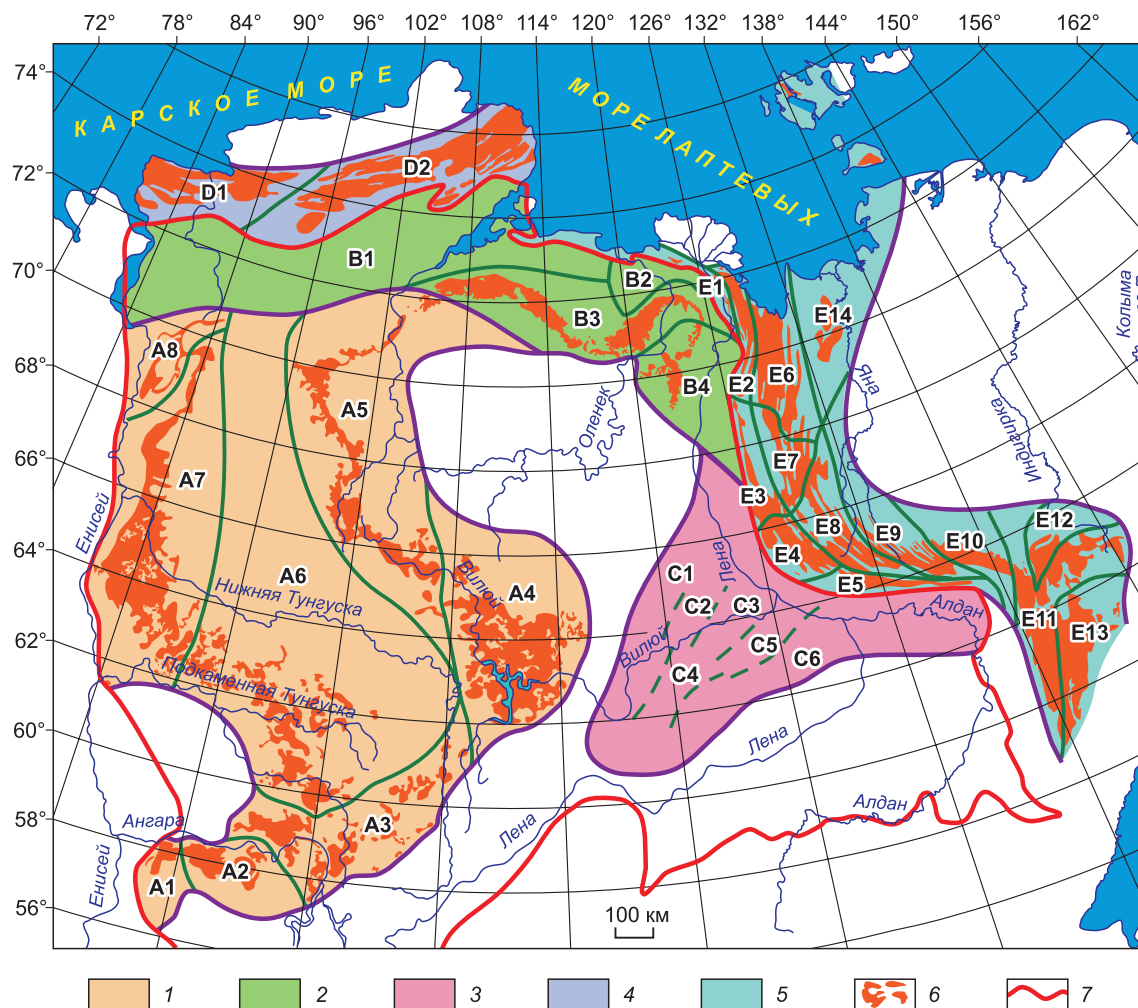


Рис. 1. Схема структурно-фациального районирования верхнепалеозойских отложений Сибирской платформы и ее складчатого обрамления.

1–3 – Сибирская платформа: 1 – Тунгусская СФО (СФЗ: А1 – Тасеевская, А2 – Мурунская, А3 – Катинская, А4 – Моркокинская, А5 – Котуйская, А6 – Таймуранская, А7 – Усть-Нижнетунгусская, А8 – Норильская); 2 – Лена-Енисейская СФО (СФЗ: В1 – Енисей-Оленекская; В2 – Хастахская; В3 – Котуй-Оленекская; В4 – Молодинская); 3 – Вилуйская СФО (Районы: С1 – Северо-Западный борт; С2 – Логлорский вал; С3 – Хапчагайский вал; С4 – Кемпендяйская впадина; С5 – Юго-Западный борт; С6 – Южный борт); 4 – Таймырская СФО (СФЗ: D1 – Западно-Таймырская; D2 – Восточно-Таймырская); 5 – Верхоянская СФО (СФЗ: Е1 – Усть-Ленская, Е2 – Западно-Хараулахская, Е3 – Западно-Орулганская, Е4 – Кобычанская, Е5 – Тукуланская, Е6 – Восточно-Хараулахская, Е7 – Восточно-Орулганская, Е8 – Куранахская, Е9 – Бараинская, Е10 – Томпонская, Е11 – Аллах-Юньская, Е12 – Кобюминская, Е13 – Юдома-Майская, Е14 – Куларская); 6 – распространение пермских отложений на дневной поверхности; 7 – граница Сибирской платформы.

Fig. 1. Structural-facies zoning of the Upper Paleozoic sediments of the Siberian platform and adjacent fold belts.

1 – 3 – Siberian platform: 1 – Tunguska basin (subbasins: A1 – Taseevo, A2 – Mura, A3 – Kata, A4 – Morkoka, A5 – Kotuy, A6 – Taymura, A7 – Ust-Nizhetunguska, A8 – Norilsk); 2 – Lena-Yenisei basin (subbasins: B1 – Yenisei-Olenek, B2 – Khastakh, B3 – Kotuy-Olenek, B4 – Molodo); 3 – Vilyuy basin (districts: C1 – Northwest side, C2 – Loglor uplift, C3 – Khapchagay uplift, C4 – Kemptendai depression, C5 – Southwest side, C6 – South side); 4 – Taimyr basin (subbasins: D1 – Western Taimyr, D2 – Eastern Taimyr); 5 – Verkhoyanian basin (subbasins: E1 – Ust-Lena, E2 – Western Kharaulakh, E3 – Western, Orulgan, E4 – Kobycha, E5 – Tukulan, E6 – Eastern Kharaulakh, E7 – Eastern Orulgan, E8 – Kuranakh, E9 – Baraj, E10 – Tompo, E11 – Allakh-Yun, E12 – Kobyume, E13 – Yudoma-Maya, E14 – Kular); 6 – Permian outcrops; 7 – contour of the Siberian platform.

Тасеевская СФЗ занимает западную часть Саяно-Енисейской синеклизы. На западе и северо-западе она граничит с Алтае-Саянской складчатой областью. Накопление верхнепалеозойских толщ

в Тасеевской СФЗ происходило на фоне расчлененного рельефа с наличием карстовых воронок [10]. Нижнекаменноугольные древние осадки накапливались лишь в междупольных впадинах.

Муринская СФЗ относится к северо-восточной части Саяно-Енисейской синеклизы. На севере эта зона ограничена системой ангарских складок, с востока – крупным разломом, с юга – крупным структурным поднятием. На западе Муринская зона не имеет четко выраженных структурных ограничений. Здесь на границе с Тасеевской СФЗ развито обширное поле траппов, которое разобщает две названные зоны. Верхнепалеозойские толщи в Муринской зоне преимущественно формировались на территории крупного конседиментационного поднятия и характеризуются сокращенными мощностями. Для зоны характерны отсутствие нижнекаменноугольных отложений, пониженная угленосность и повышенная песчаность верхнепалеозойских толщ.

Катинская СФЗ расположена в междуречье Ангары и Нижней Тунгуски и пространственно приурочена к юго-восточной ветви Ангаро-Виллюйской системы разломов. Сравнительно с соседними территориями Катинская зона отличается наиболее полным разрезом верхнего палеозоя и характеризуется песчано-алевритовым составом отложений, формировавшихся во внутриплатформенных бассейнах с повышенной угленосностью [10].

Моркокинская СФЗ занимает обширную территорию в области сочленения Тунгусской синеклизы, Анабарской антеклизы, Виллюйской синеклизы и Непско-Ботубинской антеклизы. В используемых геологами местных стратиграфических схемах выделяются Айхальский, Ботубинский и Аламджинский районы, отражающие различные особенности разрезов, в пределах которых проводилось бурение для поисков алмазов. Несмотря на имеющиеся сложности в стратиграфии верхнего палеозоя Моркокинской зоны, осадочные толщи в пределах всей этой территории имеют общие закономерности строения, литологического состава и палеонтологической характеристики. Эти осадки формировались в прибрежной зоне единого седиментационного палеобассейна континента, временами заливаемого морем [11, 12]. Пермские отложения здесь представлены песчано-алевритовыми, практически безугольными, нередко только песчаными, породами.

Котуйская СФЗ расположена в бассейнах нижних течений рек Анабар, Попигай и Котуй северо-восточной окраины Тунгусской синеклизы и юго-западной части Анабарской антеклизы. В пермских отложениях здесь присутствуют

седиментационные брекчии. Угленасыщенность увеличивается с востока на запад.

Таймуринская СФЗ охватывает большое пространство средней части Тунгусской синеклизы, к которой приурочены повышенные мощности пермских отложений. Южная часть зоны отличается высокой угленасыщенностью. Пермские отложения северной части Таймуринской зоны обычно перекрыты толщей (до 2,5 км) триасовых вулканогенных образований.

Усть-Нижнетунгусская СФЗ находится в западной части Тунгусской синеклизы, где были выявлены наиболее полные разрезы перми, содержащие промышленно-угленосные уровни [7].

Норильская СФЗ расположена в северо-западном крае Тунгусской синеклизы и характеризуется промышленной угленосностью и относительно небольшими мощностями (180–350 м, реже до 400 м).

Лено-Енисейская структурно-фациальная область расположена на северной и северо-восточной окраинах Сибирской платформы и приурочена к Енисей-Хатангскому, Лено-Анабарскому и Приверхоянскому краевым прогибам.

Енисей-Оленекская СФЗ окаймляет северную часть Сибирской платформы. Пермь здесь сложена мощными (до 2,5 км) отложениями, представленными чередованием прибрежно-морских (песчано-алевритовых) и прибрежно-континентальных (угленосных) толщ.

Хастахская СФЗ расположена на крайнем северо-востоке Сибирской платформы. Вскрытая глубокими скважинами пермь [13] характеризуется преимущественно алеврит-песчаными прибрежно-континентальными отложениями. Сравнительно с Енисей-Оленекской СФЗ здесь наблюдается существенное сокращение мощности пермских отложений (140–400 м).

Котуй-Оленекская и Молодинская структурно-фациальные зоны расположены в сочленении Анабарской антеклизы с окаймляющими ее Енисей-Хатангским, Лено-Анабарским и Приверхоянским краевыми прогибами. Пермские отложения этих двух структурно-фациальных зон формировались в высокодинамичной прибрежной части палеобассейна и представлены линзовидными песчаными клиньями мелких дельт, баров, прибрежных кос, перемежающимися с пачками алевритовых осадков.

Виллюйская структурно-фациальная область пространственно связана с Виллюйской синеклизой востока Сибирской платформы. Здесь

глубокими скважинами вскрыты верхнепалеозойские отложения, расчлененные по комплексу геолого-геофизических данных и по флоре на существенно угленосные и безугольные толщи [14]. Сравнительно небольшое количество скважин, вскрывших преимущественно пермские отложения и низкий выход керна (15–20 %) дают возможность расчленить их лишь на толщи, а не на свиты. Палинокомплексы и немногочисленная макрофлора, характерные для Ангарской флористической провинции, далеко не всегда позволяют датировать вскрытые глубоким бурением толщи с большей точностью, чем до отделов каменноугольной и пермской систем. Корректное выделение структурно-фациальных зон в пределах Вилюйской области затруднено. В конце прошлого века, когда на Сибирской платформе проводилось сверхглубокое бурение, удалось собрать достаточно материала для определения шести типов разреза, различающихся особенностями структурной позиции и литофациальным составом [14, 15].

В центральной части Вилюйской синеклизы (*Ханчагайский вал*) Средневилюйской сверхглубокой скважиной СВ-27 вскрыты пермские отложения мощностью более 3,5 км. Разрез представлен мощным комплексом прибрежно-континентальных дельтовых, реже прибрежно-морских отложений, что предопределило их значительную литолого-фациальную изменчивость по площади и в разрезе. К краевым частям синеклизы (*Логлорский вал*, *Южный борт*, *Юго-Западный борт*) мощность отложений сокращается до 550–1000 м, а сам разрез становится песчаным. Каменноугольные и нижнепермские отложения здесь относятся к мохсоголохской серии [16]. В пределах Логлорского вала мохсоголохская серия с размывом залегает на вулканогенно-карбонатно-терригенных отложениях среднего палеозоя. Угленосные тарагайская и хомустьская толщи прослеживаются в большинстве изученных разрезов [13]. Разрез верхнепалеозойских отложений *Северо-Западного* и *Южного бортов* Вилюйской синеклизы сокращен до 80–300 м. Пермские отложения здесь сложены преимущественно песчаниками, переслаивающимися с конгломератами и гравелитами. Строение пермского разреза Кемпедийской впадины сильно отличается от других разрезов перми Вилюйской синеклизы. В Кемпедийской впадине наблюдается тонкое переслаивание алевролитов и аргиллитов, нарушаемое русловыми врезами ко-

сослоистых песчаников, гравелитов и конгломератов. На относительно спокойные бассейновые условия осадконакопления указывают находки в Кэдэпчикской скважине 1 чешуй рыб, двусторчатых моллюсков и конхострак [13]. В фациальном отношении пермские отложения Кемпедийской впадины близки к разрезам восточного борта Тунгусской синеклизы, но их мощность значительно больше (до 1000 м).

Таймырская структурно-фациальная область, приуроченная к южной полосе Таймырского складчато-надвигового пояса, делится на Западно-Таймырскую и Восточно-Таймырскую структурно-фациальные зоны. На территории Таймырской СФО пермские осадки накапливались синхронно с образованием мощных флишеидных образований Верхоянья. В первой половине ранней перми в *Западно-Таймырской СФЗ* формировались мелководно-морские, преимущественно глинистые, толщи. В дальнейший период пермской истории накопление осадков здесь происходило в условиях заболачиваемых лагун, озер и болот. Осадконакопление в *Восточно-Таймырской СФЗ* происходило преимущественно в шельфовых и сублиторальных условиях. Только самая верхняя часть пермских отложений характеризуется фациями заболачиваемых лагун.

Верхоянская структурно-фациальная область. Традиционно верхнепалеозойские терригенные толщи здесь разграничиваются на три крупных сектора: Северное Верхоянье (*Хараулахский* и *Орулганский* антиклинории), Западное Верхоянье (*Куранахский* и *Бараинский* антиклинории) и Южное Верхоянье [5]. Наиболее мощные существенно тонкозернистые разрезы восточного борта Верхоянского хребта представлены морскими осадками внешнего шельфа. Разрезы осевой части хребта несколько менее мощные и более песчаные, представлены широким спектром пород от морских до прибрежно-континентальных. Пермские отложения западного склона хребта характеризуются еще меньшей мощностью. Они сложены прибрежно-континентальными (иногда слабоугленосными), прибрежно-морскими и дельтовыми породами. Верхнепалеозойские отложения Верхоянья разграничены на ряд структурно-фациальных зон, которые отчетливо фиксируют вдольбереговую и поперечную зональность палеобассейна [8, 17]. Принципы структурно-фациального районирования и границы основных элементов нами уже были подробно рассмотрены [1], а в последние годы был

сделан ряд локальных уточнений схемы районирования [18–21]. Ранее выделявшиеся в Верхоянью структурно-фациальные подзоны предлагается перевести в ранг самостоятельных зон (см. рис. 1).

Региональная стратиграфия

Для верхнепенсильванских–пермских отложений Сибирской платформы, Таймыра и Верхоянью существуют самостоятельные региональные стратиграфические шкалы, способствующие внутрирегиональной корреляции (рис. 2).

Сибирская платформа. Территория Сибирской платформы в позднем палеозое была приурочена к матерiku Ангарида с преимущественно эндемичным растительным и животным миром, резко отличавшимся от сопредельных биохорий [22–24]. В ориктоценозах Ангарида чаще всего встречаются растительные макро- и микроостат-

ки (палиноморфы), значительно реже пресно- и солоноватоводные двустворчатые моллюски, фораминиферы и совсем редко другие биотические группы [9, 25].

Верхнепенсильванско-пермские отложения Сибирской платформы рассматриваются в составе шести последовательных горизонтов (снизу вверх): катский (верхняя часть горизонта), клинтайгинский, бургуклинский, пеляткинский, дегалинский, гагарьеостровский и ивакинский.

В.Е. Сивчиков, разрабатывая биостратиграфическую схему верхнего палеозоя Сибирской платформы, по макрофлоре выделял *лоны*, являющиеся зональными биостратиграфическими единицами регионального распространения. По причине безвременного ухода из жизни автор биостратиграфической схемы не успел обосновать стратотипы большинства подразделений новой биостратиграфической шкалы,

Система	Отдел	Ярус	Верхоянье	Таймыр	Сибирская платформа		Кузбасс		
			Горизонт, подгоризонт	Горизонт	Горизонт, подгоризонт	Слои с макрофлорой	Горизонт		
П е р м	Лопинский	Чансинский – Вучапинский	Некучанский (низы)	Ивакинский		<i>Cordaites matveevkaensis</i>	Тайлуганский		
			Хальпирский	Ледянский	Гагарьеостровский	<i>Javorskia mungatica</i>			
	Гваделупский	Кептенский	Дупалахский			Верхний	Ледянский	Дегалинский	<i>Callipteris? lata</i>
				Нижний	<i>Cordaites khalfinii</i>	Ленинский			
		Вордский	Дележгинский	Верхний	Байкурский	Пеляткинский	Верхний	<i>Ruf flora brevifolia</i>	Ильинский
							Нижний	<i>Cordaites concinnus</i>	Кузнецкий
	Приуральский	Кунгурский	Тумаринский	Верхний	Соколинский	Бургуклинский	Верхний	<i>Ruf flora multipapillata</i>	Усинские слои
								Нижний	<i>Ruf flora tebenjkovii</i>
		Артинский	Эчийский	Быррангский	Клинтайгинский	Самаропсис <i>skokii</i>	Ишановский		
		Сакмарский					Промежуточный		
	Ассельский	Хорокытский	Катский	Верхний	<i>Angaridium daldykanense</i> – <i>A. finale</i>	Алыкаевский			
		Гжельский					Турузовский		
	Касимовский	Кыгылтасский	Верхний	Нижний					

Рис. 2. Сопоставление региональных стратиграфических шкал верхнего карбона и перми в Сибири.

Fig. 2. Correlation of regional stratigraphic units of the Upper Carboniferous and Permian in Siberia.

ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ СТРАТИГРАФИИ КАСИМОВСКО-ГЖЕЛЬСКИХ И ПЕРМСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ

что вынуждает нас предварительно рассматривать лоны схемы В.И. Сивчикова в качестве слоев с макрофлорой, которые в дальнейшем могут быть переведены в ранг региональных биостратиграфических зон (см. рис. 2, 3). Не-

которые из установленных биостратонов ранее были описаны В.Е. Сивчиковым и Т.Б. Доновой [26] для Минусинского бассейна, расположенного западнее рассмотренной в настоящей статье территории.

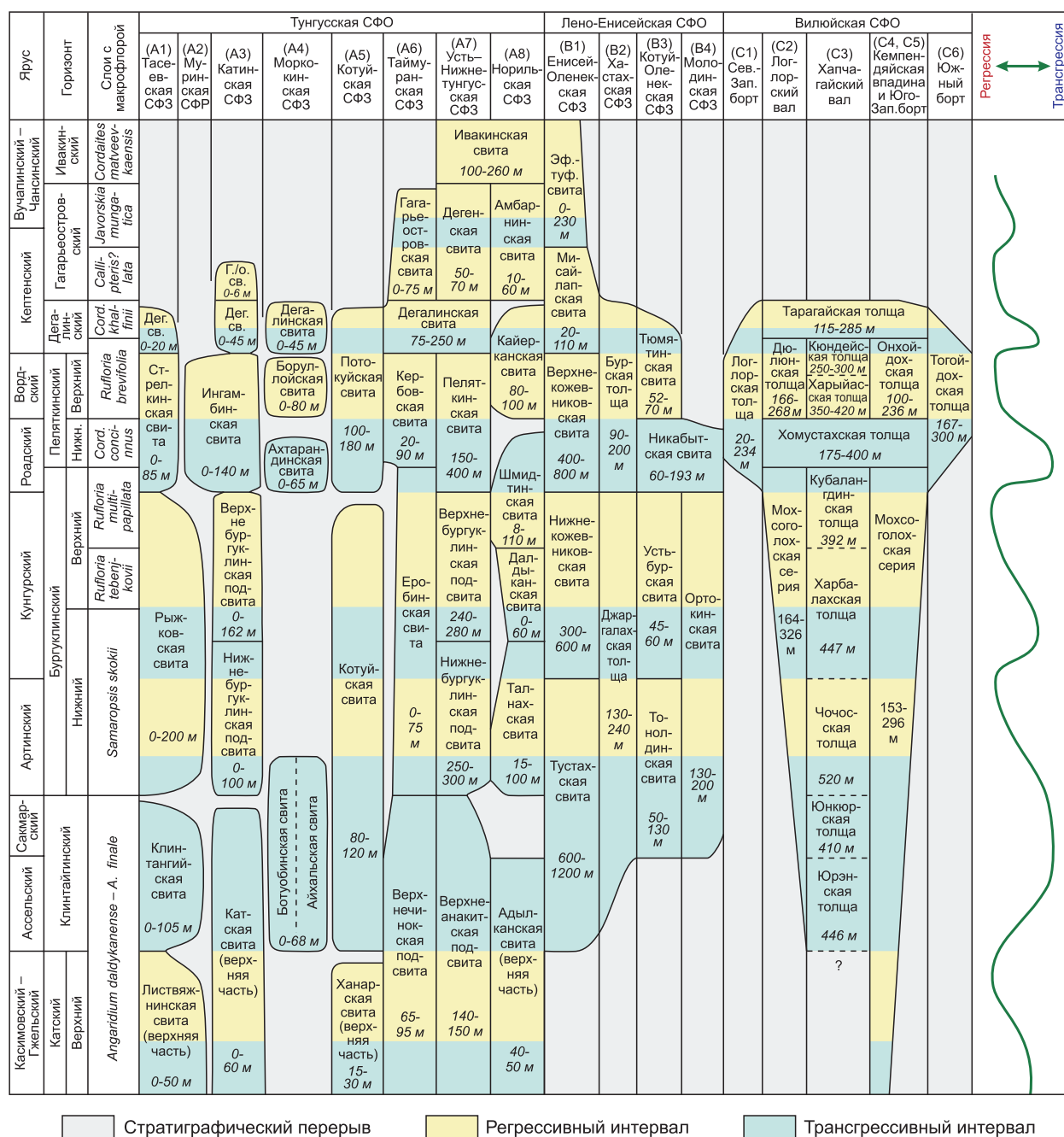


Рис. 3. Корреляция верхнепенсильванских и пермских отложений Сибирской платформы.

Сокращения: п/св. – подсвита, Дег. св. – дегалинская свита, Г/о. св. – гагареостровская свита, эф.-туф. – эффузивно-туфовая.

Fig. 3. Correlation of the Upper Pennsylvanian – Permian deposits in Siberian platform.

Abbreviations: п/св. – Subformation, Дег. св. – Degali Formation, Г/о. св. – Gagarijostrov Formation, эф.-туф. – Effusive-Tuff Formation.

Катский горизонт первоначально был выделен в объеме одноименной свиты [27], установленной на р. Ката, притоке р. Ангара. В стратотипической местности катский горизонт характеризуется тонким чередованием мелкозернистых песчаников, алевролитов, аргиллитов и углистоглинистых пород [28]; отличается повышенной угленосностью [29].

В стратотипе катской свиты, расположенной на р. Ката, наблюдается фрагментарный разрез мощностью около 15 м, содержащий растительные остатки нижнебалахонского облика. Так как свита является типовой для одноименного горизонта, фрагментарность лито- и биостратиграфической характеристики ее стратотипа может приводить к неоднозначному пониманию объема и палеонтологического содержания горизонта [30]. Свита сложена песчаниками, алевролитами, аргиллитами, часто переслаивающимися между собой в разрезе, содержит многочисленные пласты угля мощностью до 3–4 м. Комплекс органических остатков катской свиты включает *Neokoretrophyllites* sp., *Paracalamites crassus* Gorelova, *Angaropteridium cardiopteroides* (Schmalhauseni) Zalesky, *Neuropteris balachonskiensis* Gorelova, *Cordaite* sp., *Rufloria theodorii* (Tschirkova) S. Meyen, *R. ex gr. subangusta* (Zal.) S. Meyen, *R. derzavinii* (Neuburg) S. Meyen, *R. tschirkovae* (Zalesky) S. Meyen, *Evenkiella schortnotensis* Gorelova, *Krylovia sibirica* Chachlov, *Samaropsis* cf. *skokii* Neuburg, *S. patula* Zalesky, *Bardocarpus discretus* (Neuburg) Neuburg. Присутствие в этом комплексе ряда верхнебалахонских видов свидетельствует о том, что катская свита в своих верхних частях содержит флору клинтайгинского горизонта. В катском горизонте установлены два последовательных этапа развития флоры – парогндванидиумовый и эвенкиелловый [31].

Катский горизонт делится на нижний и верхний подгорizontы, которые сопоставляются, соответственно, с мазуровским и алыкаевским горизонтами Кузнецкого, Горловского и Минусинского бассейнов [32]. Нижнекатскому подгорizontу соответствуют слои с *Neuropteris mrassiensis* и слои с *Cardiocarpus krivljakiensis*. Выполненный В.Е. Сивчиковым анализ распределения макроостатков растений показал, что слои с *Neuropteris mrassiensis* пользуются очень ограниченным распространением и устанавливаются только в нижней части нижнеанакитской подсвиты в районе нижнего течения рек Курейка и Горбиачин. На большей же части территории платформы этому

времени соответствует перерыв. Слои с *Cardiocarpus krivljakiensis* распространены во всех районах – именно с этого времени на платформе начинается формирование угленосных отложений, однако угленасыщенность отложений пока еще остается незначительной. Обширная палеонтологическая характеристика катского горизонта установлена в чинокской свите басс. р. Чуня (Таймуранская СФЗ), из которой, кроме богатых ассоциаций растительных остатков [33] и палинокомплексов [30, 34], описаны отпечатки таракановых насекомых [35].

Клинтайгинский горизонт, начинающий пермский разрез, был предложен Н.Г. Вербицкой и Г.П. Радченко [36] для клинтайгинской свиты [37] и ее возрастных аналогов. Главной отличительной чертой клинтайгинского горизонта является смешанный состав его флористического комплекса. Наряду с растительными остатками, присущими подстилающему катскому горизонту, намечается появление таксонов, характерных для вышележащего бургу克林ского горизонта [10, 38]. Подобный смешанный состав флористического сообщества известен также в отложениях верхней части алыкаевского и всего промежуточного горизонтов Кузбасса [32].

С началом формирования отложений клинтайгинского горизонта в Ангариде началось расширение областей осадконакопления за счет поступательного развития крупной трансгрессии, с которой было связано проникновение морских и прибрежно-морских фаций в глубь материка. На территории Сибирской платформы клинтайгинское время относится к крупному этапу становления Тунгусского седиментационного бассейна, в пределах которого накапливались угленосные песчано-алевритовые толщи [39]. При этом сам бассейн существенно расширился к востоку, где в русловых обстановках заболоченных равнин на размытой поверхности среднекаменноугольных отложений начали накапливаться глинисто-терригенные осадки ботуобинской свиты и ее возрастных аналогов [12]. Ботуобинская свита сложена алевролитами, песчаниками, углистыми аргиллитами, подчиненными прослоями и линзами конгломератов и гравелитов, очень редко отмечаются тонкие прослои угля. Свита охарактеризована находками фораминифер, брахиопод, морских и солоноватоводных двустворок, многочисленных остатков растений. Среди фораминифер, помимо известных в катском горизонте представителей родов *Sac-*

cammina, *Hyperammina*, *Proteonina*, появляются представители родов *Trochammina*, *Batysiphon*, *Ammovertella*, *Reophax* и *Glomospira*. Комплекс брахиопод представлен видами *Lingula* cf. *tajmyrica* Einor, *L.* cf. *squamiformis* Phillips, *Tomioopsis sibirica* Kulikov и *Neospirifer?* sp. В клин-тайгинских слоях известны находки двустворчатых моллюсков преимущественно пермских представителей родов *Wilkingia*, *Phestia*, *Edmondia*, *Myophossa* и др. Верхнекатский подгоризонт и клин-тайгинский горизонт представлены слоями с *Angaridium daldykanense* – *A. finale*, которые являются первым собственно угленосным уровнем на Сибирской платформе.

Бургуклинский горизонт [36] выделен по одноименной свите, для которой Г.П. Радченко и Н.А. Шведов [40] стратотип не указывали. Позднее Н.Г. Вербицкая [38] в качестве стратотипа предлагала рассматривать разрез по р. Бургукли, левому притоку р. Нижняя Тунгуска. Однако наиболее полный и хорошо изученный разрез свиты известен на р. Горбиачин, который рассматривается в качестве парастратотипа [41–45; и др.]. Бургуклинский горизонт делится на два подгоризонта. Нижнебургуклинскому подгоризонту соответствуют слои *Samaropsis skokii*, которые охватывают всю нижнебургуклинскую подсвиту и базальные слои верхнебургуклинской подсвиты. Верхний подгоризонт рассматривается в объеме слоев с *Rufloria tebenjkovii* и слоев с *Rufloria multipapillata*, что соответствует верхнебургуклинской подсвите и основанию пелятчинской (ингамбинской) свиты.

Нижнебургуклинская подсвита сложена мощными пачками разнозернистых песчаников, часто с линзами конгломератов и гравелитов и такими же пачками переслаивания алевролитов и аргиллитов с пластами углей. Угленасыщенность подсвиты одна из самых высоких на платформе. Подсвита охарактеризована остатками неморских двустворок и растений. Двустворки изучены в разрезе р. Горбиачин, где О.А. Бетехтиной [46] выделены слои с *Taimyria taimyrensis*–*Synomia? rhomboidales*. Для комплекса растительных макроостатков наиболее характерны *Annularia planifolia* Radczenko, *Annulina neuburgiana* (Radczenko) Neuburg, *Neuropteris* aff. *pulchra* Neuburg, *Zamipteris glossopteroides* (Schmalhausen) Zalesky, *Z. longifolia* Schwedov, *Cordaites magnus* (Schwedov) S. Meyen, *C.* ex gr. *singularis* (Neuburg) S. Meyen, *Rufloria theodorii* (Tschirkova) S. Meyen, *R. tajmyrica* (Schwedov)

S. Meyen, *R. derzavinii* (Neuburg) S. Meyen, *Samaropsis skokii* Neuburg, *S. triquetraeformis* Suchov, *S. gorbiadzinensis* Suchov, *Cordaicarpus nasutus* Suchov, *Bardocarpus depressus* (Schmalhausen) Neuburg, что позволяет относить весь разрез подсвиты к слоям с *Samaropsis skokii*.

Верхнебургуклинская подсвита характеризуется переслаиванием менее мощных пачек песчаников, алевролитов, аргиллитов, углистых аргиллитов и пластов углей. В верхах подсвиты установлены прослои высокоизвестковистых алевролитов и аргиллитов, вплоть до перехода в глинистые известняки, к которым на р. Курейка приурочены находки неморских двустворок. Неморские двустворки, изученные О.А. Бетехтиной в разрезе р. Курейка [46], характеризуют слои с *Procopievskia moderata*–*Procopievskia* ex gr. *gigantea*. Выше основания подсвиты, содержащего растительные остатки слоев с *Samaropsis skokii*, встречены *Rufloria tebenjkovii* (Schwedov) S. Meyen и *R.* ex gr. *meyenii* Gluchova. Средняя часть верхнебургуклинской подсвиты охарактеризована флористическим комплексом слоев с *R. multipapillata*, в котором присутствуют семена *Samaropsis* ex gr. *khalfinii* Suchov и *S.* cf. *dixonovensis* Schwedov.

Пелятчинский горизонт [32] установлен по одноименной свите, выделенной Н.А. Шведовым [47] без указания стратотипа. Позднее Н.Г. Вербицкая [38] предложила рассматривать в качестве стратотипа пелятчинской свиты разрез на Средне-Пелятчинском каменноугольном месторождении. Наиболее полные и хорошо изученные разрезы пелятчинской свиты расположены в басс. р. Курейка [41, 45, 48; и др.]. Пелятчинская свита сложена песчаниками, алевролитами, аргиллитами, относительно редкими пластами углей. В основании свиты преобладают глинисто-алевритовые породы, охарактеризованные находками кольчугинской флоры, среди представителей которой установлены *Cordaites* кольчугинского облика и семена рода *Tungussocarpus*: *T.* aff. *superus* (Neuburg), *T. budnikovii* Suchov, *T. subtychtensis* Suchov, что позволяет относить эту часть разреза к вышерассмотренному бургуклинскому горизонту. Далее в разрезе преобладают песчаники, иногда с прослоями глинистых известняков и практически полностью отсутствует угленосность. В верхней части свиты заметно доминируют тонкозернистые разности пород, отмечено несколько тонких пластов и прослоев угля, иногда достигающих рабочей мощности.

По неморским двустворкам в нижней части свиты О.А. Бетехтиной [46] выделены слои с *Brussiel-la curta-Senderzoniella brussiensis* а в верхней половине – слои с *Anadontella? iljinskiensis*. Нижняя часть свиты охарактеризована видами “*Gamophyllites*” *iljinskiensis* Radczenko, *Pecopteris pseudomartia* Radczenko, *Callipteris* cf. *ivancevia* Gorelova, *Zamiopteris crassinervis* Gorelova, *Cordaites kuznetskianus* (Gorelova) S. Meyen, *C. minax* (Gorelova) S. Meyen, *Lepeophyllum belo-voense* Gorelova. Комплекс верхней части свиты более разнообразен и изучен по многим местонахождениям. В его состав входят такие характерные виды, как *Cordaites clercii* Zalesky, *Cordaites kuznetskianus* (Gorelova) S. Meyen, *Rufhoria mitinaensis* (Gorelova) S. Meyen, *R. minuta* (Radczenko) S. Meyen, *Crassinervia pentagonata* Gorelova, *Nephropsis marginata* Gorelova, *N. schmalgausenii* Radczenko, *Samaripsis irregularis* Neuburg, “*Condomaella*” *tankaensis* Suchov. Весь комплекс признаков позволяет сопоставлять нижнюю часть свиты (выше слоев с *Rufhoria multipapillata*) с кузнецким горизонтом, а ее верхнюю часть – с ильинским.

Дегалинский горизонт [36] установлен по одноименной свите, выделенной Г.П. Радченко и Н.А. Шведовым [40] без указания стратотипа. Позднее Н.А. Шведов [38] в качестве стратотипа дегалинской свиты указал разрез по р. Нижняя Тунгуска вблизи устья р. Дегали. В первоначальном понимании дегалинская свита подразделялась на две подсвиты, но позднее ее верхняя подсвита была обособлена в гагарьеостровскую свиту, а за нижней сохранено название дегалинской [49]. Дегалинская свита характеризуется чередованием мощных монотонных пачек песчаников с такими же мощными пачками чередования алевролитов и аргиллитов. В свите отмечаются редкие пласты угля рабочей мощности. В основании свиты залегает пачка песчаников с линзами гравелитов. Среди макроостатков растений преобладают кордаиты, в том числе и сульцивные: *Cordaites gorelovae* S. Meyen, *C. candalepensis* (Zalesky) S. Meyen, *C. khalfinii* (Gorelova) S. Meyen, *C. chachlovii* (Gorelova) S. Meyen, *C. clercii* Zalesky, *C. adlerii* (Radczenko) S. Meyen, *C. insignis* (Radczenko) S. Meyen, в нижней половине свиты обычны *Rufhoria brevifolia* (Gorelova) S. Meyen. и семена *Cordaicarpus pelatkaensis* Suchov. Дегалинский горизонт делится на два подгоризонта, соответствующих слоям с *Rufhoria brevifolia* (верхняя часть) и слоям с *Cordaites khalfinii*. Кроме ма-

кроостатков растений в отложениях горизонта известны находки неморских двустворок и палиноморф, но достоверное соотношение их комплексов нуждается в детальном анализе.

Гагарьеостровский горизонт [32] установлен по «гагарийской» (гагарьеостровской) свите, выделенной С.В. Мейеном и Г.В. Садовниковым [49] со стратотипом на левом берегу р. Нижней Тунгуски напротив острова Гагарьего. Гагарьеостровская свита сложена песчаниками, алевролитами и аргиллитами; почти во всех разрезах отмечаются единичные пласты угля. Характерной чертой отложений является обильное содержание примеси вулканогенного материала, присутствие прослоев туфов и туффитов, наличие следов перетолженной каолиновой коры выветривания. Гагарьеостровская свита согласно залегает на дегалинской свите и с размывом перекрывается туфами и базальтами, обычно относимыми к нижнему триасу. В некоторых разрезах в основании свиты отмечаются следы размыва, но его амплитуда, вероятно, незначительна. Мощность свиты зависит от величины предтраппового размыва – от полного выклинивания до 75 м.

Гагарьеостровская свита является одной из немногих в верхнем палеозое Сибирской платформы, стратотип которой охарактеризован всеми основными комплексами органических остатков. Среди макромерных остатков растений наиболее характерны *Annularia erunakovens* Neuburg, *A. tajluganensis* Radczenko, *Todites evenkiensis* Radczenko, *Prinadaeopteris julii* Radczenko, *Pecopteris tajmyrensis* Schwedov, *Zamiopteris tajluganensis* Gorelova, *Callipteris? lata* Neuburg, *Cordaites insignis* (Radczenko) S. Meyen, *C. sphenoideus* (Gorelova) S. Meyen, *C. minutifolius* (Radczenko) S. Meyen, *Javorskia mungatica* Radczenko, *Rhipidopsis palmata* Zalesky. Нижнегагарьеостровскому подгоризонту соответствуют слои с *Callipteris? lata*, а верхнему – слои с *Javorskia mungatica*. Помимо растительных остатков, гагарьеостровский горизонт охарактеризован неморскими двустворками, конхостраками, остракодами и палиноспектрами [32] из типовых разрезов гагарьеостровской, дегенской, амбарнинской и верхов мисайлапской свит.

Ивакинский горизонт предложен В.Е. Сивчиковым в 1997 г. в объеме слоев с *Cordaites matveevkaensis* в процессе подготовки новой Региональной стратиграфической схемы верхнего палеозоя Сибирской платформы. Стратотипом горизонта рассматривается не ивакинская свита

Сибирской платформы, а типовой разрез сырада-сайской свиты на Западном Таймыре, где установлены остатки кордаитовой флоры [50], о чем будет рассмотрено ниже. На Сибирской платформе ивакинскому горизонту соответствует одноименная свита, выделенная Г.Д. Масловым в 1958 г. со стратотипом на г. Ивакиной. Вероятно, ивакинская свита согласно залегает на дегенской и амбарнинской свитах, соответственно в Усть-Нижнетунгусской и Норильской СФЗ, и согласно перекрывается хаканчанской свитой, уже не содержащей кордаитовой флоры. Ивакинская свита включена в состав ивакинского горизонта, но, как уже было отмечено выше, не является его стратотипом; сложена потоками титан-авгитовых и двуплагиоклазовых базальтов с прослоями туфопесчаников, туфоалевролитов, туфов; бедна органическими остатками и охарактеризована единичными находками остатков сульцивых кордаитов в средней части [51, 52].

Осадконакопление в континентальной части Ангарида в позднегагарьеостровское и ивакинское время во многом было связано с процессами формирования в мантии суперплюма, генерирующего поступление базитовой магмы в приповерхностную часть земной коры [53]. На фоне усиливающегося воздымания континентальной части Средней Сибири и продолжающегося отступления моря, в центральной части Ангарида началось уникальное по масштабам излияние лав, известное сейчас как сибирские траппы. Перед началом массового проявления вулканизма произошло полное закрытие седиментационных бассейнов, режим осадконакопления которых ранее контролировался уровнем Мирового океана [54].

В пограничных пермско-триасовых отложениях Сибирской платформы устанавливается смена сугубо пермской кордаитовой флоры посткордаитовой. Посткордаитовая хвойно-папоротниковая флора была детально изучена В.Д. Принадой [55] из трапповой вулканогенно-осадочной толщи в бассейне р. Нижней Тунгуски и названа *корвунчанской флорой*, развитие которой принято относить к мезофитному этапу развития древних растений [56]. Смена кордаитовой флоры на корвунчанскую является очень крупным событием в развитии ангарского растительного царства, но геохронологический интервал, биостратиграфическая выраженность и причины этого события до настоящего времени носят дискуссионный характер [57–59]. Ранее, в процессе ра-

боты над моделью седиментогенеза кольчугинской серии Кузнецкого бассейна, В.Е. Сивчиков реконструировал катену растительности Ангарида терминальной перми [54]. По доминированию различных групп голосеменных было выделено пять звеньев, каждое из которых приурочено к определенному элементу палеоландшафта. Тогда было выяснено, что с началом массовых извержений траппов в центре Ангарида произошла быстрая перестройка ландшафтов. Важнейшим обстоятельством, приведшим здесь к вымиранию кордаитантовых, стало закрытие аккумуляционных ванн. Кордаитантовые, в виде реликтов, смогли удержаться только на периферии Ангарида, где ландшафтные перестройки проявились не столь контрастно. Адаптивные возможности кордаитантовых были сильно снижены рядом неблагоприятных для них факторов: изменением состава субстрата, питающих вод и атмосферы, сопутствующих вулканизму, и аридизацией. Все это способствовало вымиранию кордаитовой флоры. Контрастность смены растительности обусловлена не только перестройкой самой растительности, но и сменой типов захоронений. В.Е. Сивчиков предположил, что татариновая и корвунчанская флоры по возрасту близки, а пермско-триасовый рубеж в развитии континентальной биоты проявлен неотчетливо. Из вышеизложенного следует, что для уверенного обоснования пермско-триасовой границы на Сибирской платформе требуется проведение специальных исследований по радиоизотопному датированию.

Таймыр. Деление верхнепалеозойских терригенных отложений Таймырского полуострова на стратоны регионального значения имеет длительную и богатую историю [24, 50, 60–64]. В пятидесятых годах прошлого века каменноугольно-пермские отложения Таймыра были разделены на две крупные части, названные лемберовской и слободской сериями, способствующими увязке местных стратиграфических схем Западного, Центрального и Восточного Таймыра [65]. Лемберовская серия объединяла местные подразделения башкирского–артинского ярусов (в современном понимании), а слободская – более молодые отложения перми. Эти серии получили достаточно надежное для того времени палеоботаническое обоснование [66].

В конце 1950-х на территории Таймырского полуострова были проведены крупные темати-

ческие исследования опорных разрезов карбона и перми, позволившие получить принципиально новые данные по литологии, седиментологии и биостратиграфии региона [60]. На основе выявления фациальных особенностей образования осадочных толщ было установлена искусственность деления Таймыра на три географических региона (Западный, Центральный и Восточный), вместо которого предлагалось разграничивать области развития верхнепалеозойских отложений на две крупные структуры – Усть-Пясинская и Восточно-Таймырская впадины, охарактеризованные собственными схемами местного стратиграфического деления. В современном районировании эти структуры соответствуют Западно-Таймырской и Восточно-Таймырской структурно-фациальным зонам (см. рис. 1). Тогда же была предложена первая региональная стратиграфическая шкала, согласно которой рассматриваемый в настоящей статье интервал делился (снизу вверх) на турузовский, быррангский, соколинский, байкурский, чернойарский горизонты, а также «слои с пелециподами и остатками флоры пермского облика», завершающие в регионе разрез перми. В фундаментальной работе В.И. Устрицкого и Г.Е. Черняка [61] приведены палеонтологические и литостратиграфические обоснования перечисленных горизонтов, установленных по биостратиграфическому принципу и привязанных к типовым разрезам одноименных свит, выделенных Л.А. Чайкой и распространенных преимущественно на Восточном Таймыре [67].

Следует отметить, что каркас региональной схемы верхнепалеозойских отложений Таймыра, созданный в середине прошлого века Н.А. Шведовым, Ф.Г. Марковым, В.И. Устрицким и Г.Е. Черняком, сохранился до наших дней. Однако дискуссии о возрасте выделенных в регионе горизонтов по-прежнему не ослабевают [7, 63, 68–70; и др.]. Для многих горизонтов приводятся сборные палеонтологические комплексы, нередко свидетельствующие о геохронологическом перекрытии смежных региональных стратонов. Существует серьезная проблема увязки местных стратиграфических схем Восточного и Западного Таймыра, поэтому корреляция свит, сложенных континентальными (Западный Таймыр) и морскими (Восточный Таймыр), отложениями зачастую носит условный характер. Остаются противоречия в датировании осадочных толщ по флоре и морской фауне, что требует проведения специаль-

ных исследований на опорных разрезах, сложенных разнофациальными толщами и содержащих уровни с комплексами растительные остатки и морских беспозвоночных. Следует также отметить, что Западно-Таймырские местные стратоны более надежно сопоставляются с биостратиграфической шкалой Сибирской платформы, а для Восточно-Таймырской СФЗ возможно использование хорошо изученных и палеонтологически обоснованных региональных горизонтов Верхоянья. При наличии общих между Восточным Таймыром и Верхояньем комплексов двустворок и брахиопод, в пермских отложениях Восточно-Таймырской СФО, как и всего Таймырского полуострова, не зафиксировано ни одной находки аммоноидей, которыми в Верхоянье охарактеризованы все нижние ярусы пермской системы до роада включительно. Остается открытым вопрос о необходимости построения собственной стратиграфической схемы для средней части Таймыра с выделением Центрально-Таймырской структурно-фациальной области.

Имеющиеся данные о литологическом и биостратиграфическом строении верхнего пенсильвания и перми Таймырского полуострова позволяют использовать здесь шесть региональных горизонтов (снизу вверх): турузовский, быррангский, соколинский, байкурский, ледянский и ивакинский (рис. 4).

Турузовский горизонт характеризуется преимущественно морскими отложениями. Континентальные породы с растительными остатками наиболее широко распространены в центральной части Таймыра. Палеонтологическая характеристика горизонта носит разрозненный характер, поэтому очень сложно составить представления о вертикальной последовательности комплексов беспозвоночных, собранных в турузовской свите и в ее аналогах. Нижняя граница турузовской свиты и одноименного горизонта проводится по смене относительно монотонных флороносных песчаников верхней части макаровской свиты и ее возрастных аналогов пачками переслаивания алевролитов и песчаников, наиболее тонкозернистые прослои которых содержат обильные комплексы морских беспозвоночных [61]. Стратотип турузовской свиты изначально указан не был; в качестве лектостратотипа предложен разрез, обнажающийся в верховьях руч. Олений (левый приток р. Верхняя Таймыра) [71]. Турузовская свита охарактеризована брахиоподами *Verchonia cherskovi* (Kaschirzew), *V. taimyrensis* (Us-

tritsky), *Spiriferella turusica* Tschernjak, *Balak-honia insinuata* (Girty), *Cleiothyridina bajkurica* (Tschernjak), *Anidanthus? diksoni* Einor и другими видами, позволяющими уверенно сопоставлять указанную свиту (и одноименный горизонт) с пареньским горизонтом Омолонского массива, относящимся к касимовско-гжельскому интервалу верхнего карбона.

В западной части Таймыра турузовскому горизонту соответствуют преимущественно морские отложения эвенкской свиты, выделенной О.Л. Эйнором [72] без указания стратотипа. Лектостратотип свиты расположен в разрезе по р. Ефремова. Эвенкская свита сложена алевролитами, песчаниками и аргиллитами с редкими прослоями известняков и охарактеризована немногочисленными находками брахиопод *Spiriferella turusica* Tschernjak, *Lanipustilla* sp., *Attenuatella* sp., *Waagenoconcha permocarbonica* Ustrytsky, *Anidanthus? diksoni* Einor, *Taimyrella pseudodarwini* (Einor).

Турузовский горизонт охарактеризован единичными находками амmonoидей, определения которых в настоящее время вызывают сомнения и требуют тщательной ревизии. Комплекс брахиопод из турузовского горизонта является обширным и содержит общие таксоны с кыгылтасским горизонтом Верхоянья. Важным биостратиграфическим элементом является вид *Verchojania taimyrensis* (Ustrytsky), свидетельствующий о позднекаменноугольном возрасте вмещающих отложений. Флора турузовского горизонта по своему развитию соответствует эвенкиелловому этапу, приходящемуся на вторую половину гжельского века, касимовский век и, возможно, на начало ассельского века [31]. По совокупным данным турузовский горизонт сопоставляется с кыгылтасским горизонтом верхнего карбона Верхоянья.

Быррангский горизонт, характеризующийся переслаиванием толщ морского и континентального генезиса, объединяет по латерали быррангскую и ефремовскую свиты, которые обладают отчетливым трансгрессивно-регрессивным строением. Лектостратотип быррангской свиты предложен В.И. Устрицким и Г.Е. Черняком в районе оз. Таймыр (притоки р. Северная). В качестве лектостратотипа ефремовской свиты, выделенной В.П. Тебенковым и Н.А. Шведовым [73], предложен разрез по р. Ефремова. Вверх по разрезу ефремовской свиты заметно возрастают количество и мощность пластов угля и прослоев

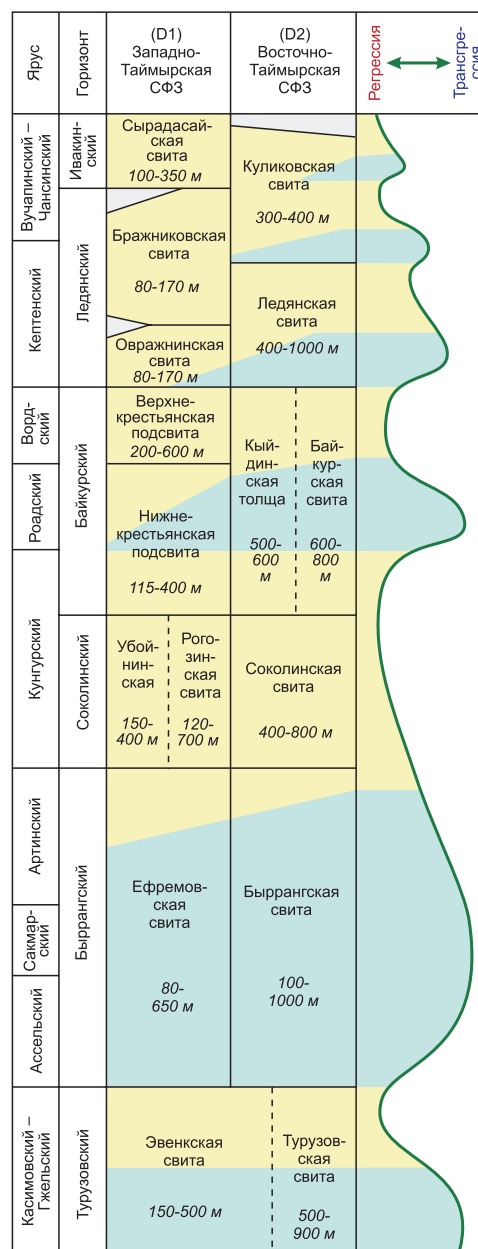


Рис. 4. Корреляция верхнепенсильванских и пермских отложений на Таймыре.

Fig. 4. Correlation of the Upper Pennsylvanian and Permian deposits in Taimyr.

углистых пород. Ефремовский комплекс растительных макроостатков [50] по всей одноименной свите является довольно однородным. Наиболее характерными флористическими формами являются *Phyllopterys heerii* (Schmalhausen) Zalessky, *Barakaria obrutschevii* Neuburg, *Pecopteris immitans* Schwedov, *Cardioneura tebenjkovii* Schwedov, *Cordaite singularis* (Neuburg) S. Meyen, *C. latifolius* (Neuburg) S. Meyen, *C. magnus*

(Schwedov) S. Meyen, *Ruflorea* ex gr. *theodorii* (Tschirkova) S. Meyen, *R.* ex gr. *subangusta* (Zal.) S. Meyen, *R.* ex gr. *papillosa* Gluchova, *R. tajmyrica* (Schwedov) S. Meyen, *R.* ex gr. *meyenii* Gluchova, *R.* ex gr. *tebenjkovii* (Schwedov) S. Meyen, *R. derzavinii* (Neuburg) S. Meyen, *Samaropsis skokii* Neuburg, *S. stanensis* Such., *S. triquetraeformis* Suchov, *S. frigida* Neuburg, *S. vorcutana* Tschirkova, *Cordaicarpus* ex gr. *nasutus* Suchov, *Bardocarpus depressus* (Schmalhausen) Neuburg, *B.* aff. *aliger* Zalesky. Ефремовская свита охарактеризована богатым комплексом неморских двустворок, содержащим *Taimyria taimyrensis* Lutkevich, *T. carinata* Lutkevich, *Myalina arctica* Betekhtina, *Goniophorina? rugosa* Betekhtina, *Pleurophorus? cf. orbiculata* (Lutkevich) и др. [74]. Присутствие в быррангской и ефремовской свитах брахиопод *Jakutoproductus verkhoyanicus* (Fredericks) [61], *Jakutoproductus rugosus* Ganelin, *Uraloproductus cf. stuckenbergianus* (Krotow), *Anidanthus boikowi* (Stepanov) и др. [71] позволяет сопоставлять быррангский горизонт Таймыра с хорокытским и эчийским горизонтами (ассельский–артинский ярусы) Верхоянья.

К соколиному горизонту в различных районах Таймырской СФО относятся убойнинская, рогозинская, и соколинская свиты. В строении горизонта участвуют преимущественно континентальные и континентально-прибрежные отложения, содержащие богатые комплексы флористических остатков. Убойнинская свита охарактеризована многочисленными макроостатками растений и палиноспектрами по всему разрезу и редкими находками двустворок *Procopievskia* sp. в своей верхней части. Самая нижняя часть свиты содержит комплексы макроостатков растений и палиноморф, не отличимых от комплексов из верхней части ефремовской свиты. Средняя и верхняя части свиты содержат своеобразный комплекс листьев и семян кордаитантовых *Ruflorea* ex gr. *derzavinii* (Neuburg) S. Meyen, *R.* ex gr. *meyenii* Gluchova, *R.* ex gr. *tuberculosa* Gluchova, *R. notabilis* Gluchova, *R. remota* Gluchova, *R. tebenjkovii* (Schwedov) S. Meyen, *Samaropsis* ex gr. *khalfinii* Suchov (левоубойнинский комплекс макрофлоры по Л.В. Глухой и В.Е. Сивчикову [50]). В целом, встреченная в соколином горизонте ископаемая флора характерна для бургузлинского горизонта Сибирской платформы (см. рис. 2). Из основания соколинской свиты нижнего течения р. Северная Восточного Таймыра приводится обширный комплекс микро- и макро-

фауны [61]: *Reophax cf. gerkei* Voronov, *R. sokolinensis* Sossipatrova, *Ammobaculites permianensis* Sossipatrova, *Jakutoproductus crassus* Kaschirzew, *Leiorhynchus variabilis* Ustritsky, *Neospirifer fasciger* (Keyserling), *Tomioptis taimyrensis* Tschernjak, *Valhallites kashirtzevi* Shimansky др. Этот ассельско-артинский комплекс морских беспозвоночных для соколиного горизонта является чуждым и, вероятно, должен рассматриваться в составе быррангского горизонта и одноименной свиты. Из верхней части соколиного горизонта Восточного Таймыра приводятся фораминиферы *Fronicularia* aff. *planilata* Gerke, *Nodosaria incelibrata* Gerke и двустворки *Myonia* ex gr. *komienensis* (Maslennikow), *Myonia gibbosa* (Maslennikow), *Trabeculatia quadrata* (Lutk. et Lob.), «*Kolymia*» sp. [63]. В верхней части соколиного горизонта Восточного Таймыра возможно выделение бивальвиевой зоны *Aphanaia andrianovi* джигдалинского горизонта Омолонского массива и тумаринского горизонта Верхоянья (кунгурский ярус) по присутствию в этой части разреза двустворок *Exochorhynchus similis* (Lutkevich et Lobanova) и *Myonia kutygini* Biakov [75].

Байкурский горизонт по площади Таймырской СФО объединяет кыйдинскую толщу, крестьянскую и байкурскую свиты. Характеризуется существенной фациальной изменчивостью осадков от преимущественно морских на востоке Таймыра до сугубо континентальных на западе. В качестве стратотипического принят разрез байкурской свиты на р. Цветочная [61]. Первоначально байкурский горизонт делился на два подгоризонта, которые в преимущественно морских разрезах Восточного Таймыра охарактеризованы разнообразными комплексами фауны [61, 76]. Позднее эти подгоризонты В.И. Устрицкий [68, 74] предложил рассматривать в качестве двух самостоятельных горизонтов – белоснежкинского и цветочнинского со стратотипами в р. Цветочная. Включение этих горизонтов в региональную стратиграфическую шкалу пермских отложений Таймырской СФО, на наш взгляд, возможно лишь после уверенного прослеживания их в более континентальных разрезах Западного Таймыра. Поскольку подобная работа не проведена, данный интервал рассматривается в объеме единого байкурского горизонта с двумя подгоризонтами.

В качестве лектостратотипа крестьянской свиты предложен наиболее полный и хорошо изученный разрез в верховьях р. Крестьянка (район

не устья р. Овражная) [77]. Свита делится на две подсвиты, которые условно сопоставляются с двумя подгоризонтами байкурского горизонта. Нижнекрестьянская подсвита сложена пачками переслаивания песчаников и алевролитов с прослоями аргиллитов и редкими тонкими пластами угля. Она охарактеризована мартиновским комплексом макрофлоры [50], наиболее характерными формами которого являются *Uskatia conferta* Neuburg, *Phyllothea equisetitoides* Schmalhausen, *Paraschizoneura sibirica* (Neuburg) Radczenko, *Pecopteris pseudomartia* Radczenko, *Cordaite latifolius* (Neuburg) S. Meyen, *C. concinnus* (Radczenko) S. Meyen, *C. oblongatus* (Radczenko) S. Meyen, *C. kuznetskianus* (Gorelova) S. Meyen, *Ruffloria remota* Gluchova, *R. plana* Gluchova, *Samaropsis* ex gr. *khalfinii* Suchov, *S.* ex gr. *neuburgaea* Suchov, многочисленные виды рода *Tungussocarpus*. В этом комплексе почти полностью отсутствуют кольчугинские руфлории. Верхнекрестьянская подсвита, отличающаяся отсутствием угленосности, представлена монотонным переслаиванием песчаников и алевролитов и охарактеризована растительными остатками *Phyllothea turnaensis* Gorelova, *Annularia batschatensis* (Chachlov) Radczenko, *A. sibirica* Radczenko, *Prynadaopteris natalianae* Gorelova, *Cordaite iljinskiensis* (Radczenko) S. Meyen, *C. minax* (Gorelova) S. Meyen, *Ruffloria brevifolia* (Gorelova) S. Meyen, *R. oldzerassica* (Gorelova) S. Meyen, *Cordaicarpus tagaryschkiensis* Suchov. Резко отличным типом разреза представлен возрастной аналог крестьянской свиты в западной части Тарейского поднятия (Пясинское месторождение), обладающий промышленной угленосностью [78] и необычно высокой мощностью (до 1000 м). Резкая фациальная изменчивость крестьянской свиты может быть объяснена тем, что она формировалась в момент ярко выраженной роадской трансгрессии. На территории Пясинского месторождения свита формировалась в благоприятной для накопления торфяников зоне перехода от типичных континентальных обстановок к морским.

Согласно данным Р.В. Соломиной и Э.Н. Преображенской [63], нижнебайкурский подгоризонт (белоснежинский горизонт) на руч. Белоснежка Восточного Таймыра содержит: брахиоподы *Rhynchopora lobjaensis* Tolmatschew, *Neochonetes* sp., *Brachythyridina sibirica* Tschernjak, *Terrakea* cf. *belokhini* Ganelin, *Olgerdia zavodowskii* Grigorjeva, *Kungaella* cf. *kolymaensis* (Tolmatschew), *Strophalosia* cf. *tolli* (Fredericks),

Cancrinelloides yuregensis Solomina, *Bajtugania boguchanica* Solomina, *Dielasma* sp., *Orbiculoidea jangarensis* Ustritsky; двустворки *Kolymia* cf. *inoceramiformis* Licharew, *Wilkingia* sp., *Allorisma* sp., *Sanguinolites* sp.; фораминиферы *Glomospira* ex. gr. *gordialis* Parker et Jones, *Fronicularia* sp., *Nodosaria krotovi* Tscherdynzev, *Pseudonodosaria* cf. *ventrosa* Shleyfer. Приведенный комплекс беспозвоночных является типичным для деленжинского горизонта Верхоянья и оломонского горизонта Оломонского массива, относящихся к роадскому и вордскому ярусам гваделупского отдела перми.

В этом же разрезе, но в вышележающем цветочнинском горизонте приводится обширный комплекс двустворок, содержащий как раннепермские таксоны, так и средне-позднепермские [63]. Согласно данным А.С. Бякова [75], в нижней части цветочнинского горизонта возможно выделение аналогов зоны *Kolymia multiformis* (верхняя часть вордского яруса) по присутствию видов *Phestia cumboides* (Lutkevich et Lobanova) и *Myonia elata* (Porow) [79]. Вероятно, в этом же стратиграфическом интервале мыса Цветкова А.С. Бяков [80] установил род *Taimyrokolymia* с типовым видом *Taimyrokolymia ustritskyi* Biakov. По мнению автора таксона, короткоживущий (поздневордский) род *Taimyrokolymia* обособился от роадско-вордских колымий в середине-конце оломонского времени [75, 80]. В средней части цветочнинского горизонта (по присутствию *Maitaia* cf. *belliformis* Biakov) А.С. Бяковым устанавливаются аналогии зоны *Maitaia belliformis* кепитенского яруса, а в верхней части горизонта – аналогии зоны *Intomodesma costatum* лопинского отдела перми. Эти данные по двустворкам наводят нас на предположение о том, что средняя и верхняя части цветочнинского горизонта В.И. Устрицкого относятся к новому этапу биотического развития Восточного Таймыра, который следует связывать с формированием следующего горизонта – ледянского.

Ледянский горизонт выделен С.Б. Шишловым [71] для геоформации V, являющейся крупным литолого-седиментологическим телом трансгрессивно-регрессивного строения. Биостратиграфическое взаимоотношение с перекрывающим куликовским горизонтом неясно, поэтому объем ледянского горизонта предлагается расширить за счет нижней части куликовской свиты и ее возрастных аналогов. В нашем понимании, к ледянскому горизонту в Западно-Таймырской СФР

относятся овражнинская и бражниковская свиты, на Восточно-Таймырской СФО – ледянская и куликовская (нижняя часть) свиты, что приблизительно может соответствовать объему чернораевского горизонта в понимании В.И. Устрицкого [76]. Типовой разрез чернораевского горизонта в басс. р. Черные Яры охарактеризован богатым флористическим комплексом, изученным М.В. Дуранте [81]. Однако уровня с морской фауной зоны *Canocrinelloides obrutschewi* кепитенского яруса в типовом разрезе чернораевского горизонта [81] не устанавливается, что склоняет нас к использованию в региональной стратиграфической шкале Таймыра ледянского горизонта, содержащего в нижней части морские осадки с заведомо кепитенскими беспозвоночными. Однако мы не исключаем того, что новые исследования опорных разрезов средней–верхней перми центральной части Таймыра, проводимые геологами в рамках среднемасштабной геологической съемки, позволят вернуться к использованию чернораевского горизонта, обладающего несомненным приоритетом. Но для этого необходимо обоснование в нижней части чернораевского горизонта аналогов зоны *Canocrinelloides obrutschewi*.

Овражнинская свита ледянского горизонта выделена А.Н. Федотовым и В.Е. Сивчиковым [77] со стратотипом в верховьях р. Крестьянка выше р. Овражная. Свита сложена алевролитами, песчаниками с прослоями гравелитов, аргиллитов углистых аргиллитов и редкими пластами углей рабочей мощности (0,9–1,2 м); охарактеризована макромерными растительными остатками и палиноморфами, позволяющими уверенно сопоставлять овражнинскую свиту с дегалинским горизонтом Сибирской платформы. В комплексе растительных остатков обычны *Annularia lanceolata* Radczenko, *A. grandifolia* Schwedov, *Pecopteris leninskiensis* (Chachlov) Radczenko, *P. tajmyrensis* Schwedov, *Callipteris pseudoaltaica* Radczenko, *Comia dentata* Radczenko, *Cordaites gracilentus* (Gorelova) S. Meyen, *C. clercii* Zalesky, *C. insignis* (Radcz.) S. Meyen, *Lepeophyllum gemmatum* Zalesky, *Samaropsis irregularis* Neuburg, изредка *Ruffordia oldzerassica* (Gorelova) S. Meyen.

Бражниковская свита, выделенная М.Н. Пархановым [82], сложена песчаниками, часто вулканомиктовыми, конгломератами и гравелитами, алевролитами, в верхней части прослойки туфов и туффитов основного состава. Растительные остатки изучены по ряду богатых местонахожде-

ний на побережье Енисейского залива и на Пясинском месторождении. В нижней и средней частях свиты описан макаревичский комплекс макрофлоры [50]. Наиболее характерными в нем формами являются многочисленные голосеменные мезофитного облика в сочетании с обильными сульцивыми кордаитами. Комплексы макрофлоры и палиноморф бражниковской свиты характерны для гагарьеостровского горизонта Сибирской платформы.

Присутствие брахиопод *Canocrinelloides obrutschewi* (Licharew) позволяет коррелировать нижнюю часть ледянского горизонта с дулгалахским горизонтом (кепитенский ярус) Верхоянья. Верхняя часть ледянского горизонта предположительно сопоставляется с большей нижней частью хальпирского горизонта.

Ивакинский горизонт, предложенный В.Е. Сивчиковым в объеме «лоны» (слоев с) *Cordaites matveevkaensis*, характеризуется сочетанием типичных вулканогенных отложений (туфы, базальты) и остатков кордаитовой флоры. Это единственный горизонт, являющийся общим для Таймыра и Сибирской платформы. Стратотипом ивакинского горизонта является сырадасайская свита, выделенная Н.Н. Нагайцевой в 1975 г. в нижнем течении р. Сырадасай [83], где установлены остатки кордаитовой флоры [50]. Отказ В.Е. Сивчикова от названия «сырадасайский горизонт» связан с тем, что оно оккупировано Г.Е. Черняком для части разреза нижнекаменноугольных отложений Таймыра. Выбор названия горизонта в пользу стратона (ивакинская свита), расположенного в другом регионе и не являющегося стратотипом горизонта, является спорным и требует дальнейшего обсуждения среди специалистов по стратиграфии Таймыра. Сырадасайская свита сложена авгитовыми базальтами с потоками трахибазальтов; в нижней половине наблюдаются прослойки туфов, туффитов, вулканомиктовых и полимиктовых песчаников и алевролитов. Макрофлора представлена исключительно кордаитантовыми: *Cordaites matveevkaensis* (Schwedov) Sivtchikov, *Cordaites typ. insignis* (Radczenko) S. Meyen, *Samaropsis petchorica*. Вышележащая верхнетамская свита относится к нижнему триасу.

Верхоянье. Пермские отложения в Верхоянье представляют собой мощный ритмично построенный комплекс терригенных отложений, отражающий последовательность ряда крупных абиотических и биотических событий [3, 84, 85].

Региональная стратиграфия в Верхоянье имеет продолжительную историю [32, 65, 86–91; и др.] (рис. 5). Схема регионального деления пермских (в современном понимании – верхнепенсильванских–пермских) отложений Верхоянья, приведенная в тезисной форме в 1974 г. В.Н. Андриановым и А.Н. Толстых [92], подробно была рассмотрена В.Н. Андриановым годом позже [90]. Эта региональная стратиграфическая шкала, с незначительными изменениями, сохраняет актуальность и в настоящее время [6, 25]. В 2002 г. на Третьем Межведомственном региональном стратиграфическом совещании по докембрию, палеозою и мезозою Северо-Востока России (Санкт-Петербург) нами (совместно с А.Г. Клецом, А.С. Бяковым и В.С. Гриненко) были представлены стратиграфические схемы каменноугольных и пермских отложений Верхояно-Охотского региона, которые были приняты в качестве унифицированных [8]. По прошествии почти двух десятилетий после совещания нами был накоплен новый обширный материал из опорных разрезов карбона и перми Верхоянья, требующий внесения корректив, касающихся возрастных диапазонов региональных горизонтов, строения параллельных биостратиграфических шкал, а также схемы деления разрезов на местные стратона и их корреляцию. В частности, было принципиально усовершенствовано биостратиграфическое деление ассельско-сакмарских отложений [93–96]. Использование современных непалеонтологических методов в комплексе с детальными поисками руководящих беспозвоночных позволили взглянуть по-новому на положение границы перми и триаса в Южном Верхоянье [97, 98]. Модернизированы схемы стратиграфического деления верхнего карбона и перми Усть-Ленской, Западно-Хараулахской, Западно-Орулганской, Кобычанской, Куранахской, Баранской, Кобюминской и Аллах-Юньской структурно-фациальных зон, что свидетельствует о необходимости создания новых (современных) региональных стратиграфических схем карбона и перми Верхоянья.

Верхнепенсильванские–пермские отложения в Верхоянье традиционно делятся на кыгылтасский, хорокытский, эчийский, тумаринский, деленжинский, дулгалахский и хальпирский горизонты (рис. 6), которые были рассмотрены ранее [8, 17, 99, 100]. Для пограничного пермско-триасового интервала впервые предлагается выделять **некучанский горизонт**.

Кроме деления на горизонты существуют параллельные схемы биостратиграфического расчленения пермских отложений по аммоноидеям [101], брахиоподам [3, 96, 102], двустворкам [75, 103] и растительным остаткам [104–107]. Первые исследования $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ в аргиллитах нижнекембрийской подсвиты разреза по руч. Суол потребовали переосмысления взглядов на положение границы перми и триаса в Южном Верхоянье: Ю.Д. Захаров, А.С. Бяков и М. Хорачек [97] установили крупный отрицательный экскурс (до $-30,3\text{‰}$) в 5 м выше подошвы некучанской свиты. По их мнению, этот экскурс синхронен с первыми минимумами значений $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$, ранее выявленными в глобальном стратотипе нижней границы индского яруса (разрез Мейшань Южного Китая) в пограничном пермско-триасовом слое. Это и послужило основанием для проведения *P–T*-границы в разрезе Суол Южного Верхоянья непосредственно выше первого отрицательного экскурса в некучанской свите, вблизи границы зон *Otoceras concavum* и *O. boreale* [98]. Принимая положение границы перми и триаса в монотонной нижней пачке аргиллитов некучанской свиты, следует признать, что литологически эта граница в непрерывных разрезах Южного Верхоянья не фиксируется, а большинство видов двустворок [103] и фораминифер [108], установленных в пограничных пермско-триасовых отложениях, являются проходящими. Единственным биостратиграфическим признаком, который мог бы служить обоснованию границы перми и триаса на уровне около 5,5 м выше подошвы нижней аргиллитовой пачки некучанской свиты, является смена видов цератитов рода *Otoceras* – *O. boreale* и *O. concavum* [108, 109].

Нижние 5,5–6,0 м некучанской свиты, отнесенные к перми, седиментологически являются неотъемлемой частью преимущественно индского трансгрессивно-регрессивного этапа осадконакопления. Вещественным отражением этого этапа является **некучанский горизонт** чансинско-индского возраста. Пограничные отложения некучанского и подстилающего хальпирского горизонтов палеонтологически лучше всего охарактеризованы на руч. Суол в районе устья его левой составляющей (руч. Левый Суол, обн. LS). В стратотипической местности в полном объеме некучанский горизонт вскрывается по руч. Долгочан, где наблюдается его взаимоотношение с перекрывающими алевролитами и аргиллитами харчанской свиты оленекского яруса. Ранее в

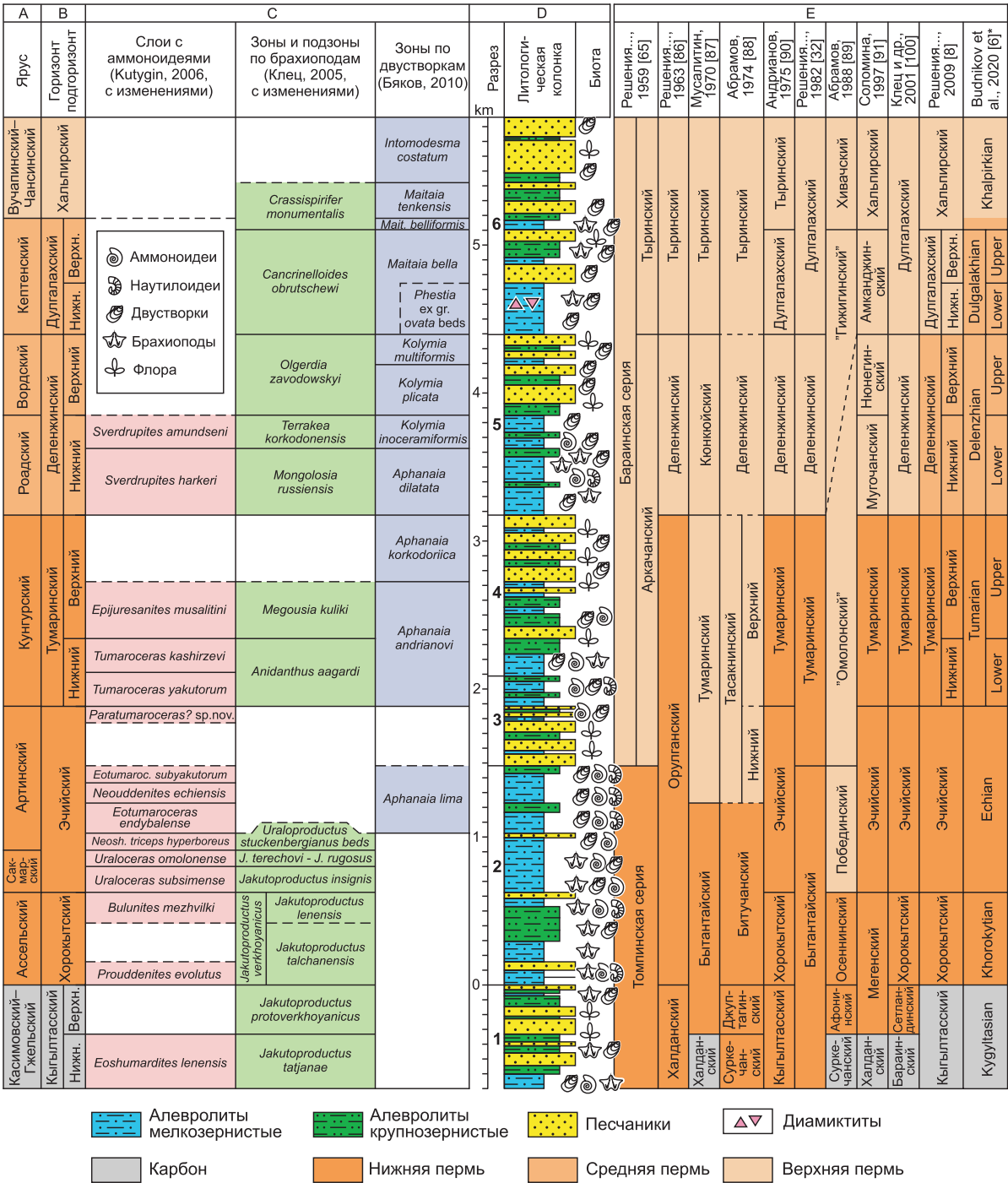


Рис. 5. Стратиграфическое деление верхнепенсильванских и пермских отложений в Верхоянье.

А – Международная хроностратиграфическая шкала; В – региональная стратиграфическая шкала (авторский вариант); С – региональные биостратиграфические шкалы; D – сводный разрез: **1** – р. Аллара-Хадарыня, **2** – р. Дьеленджа, **3** – р. Орол, **4** – р. Дулгалах, **5** – р. Нади, **6** – руч. Хальпирки. Е – История взглядов деления верхнекаменноугольных и пермских отложений Верхоянья на горизонты.

* Региональные ярусы (regional stages).

Fig. 5. Stratigraphic subdivision of the Upper Carboniferous and Permian deposits in Verkhoianie.

A – International Chronostratigraphic Chart, B – Regional Stratigraphic Scale, C – Regional stratigraphic scales, D – composite section: 1 – Allara-Khadarynia River, 2 – Dielendzha River, 3 – Orol River, 4 – Dulgalakh River, 5 – Nadi River, 6 – Khalpirki River; E – Subdivision options into regional horizons (=regional stages).

* Regional stages.

ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ СТРАТИГРАФИИ КАСИМОВСКО-ГЖЕЛЬСКИХ И ПЕРМСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ

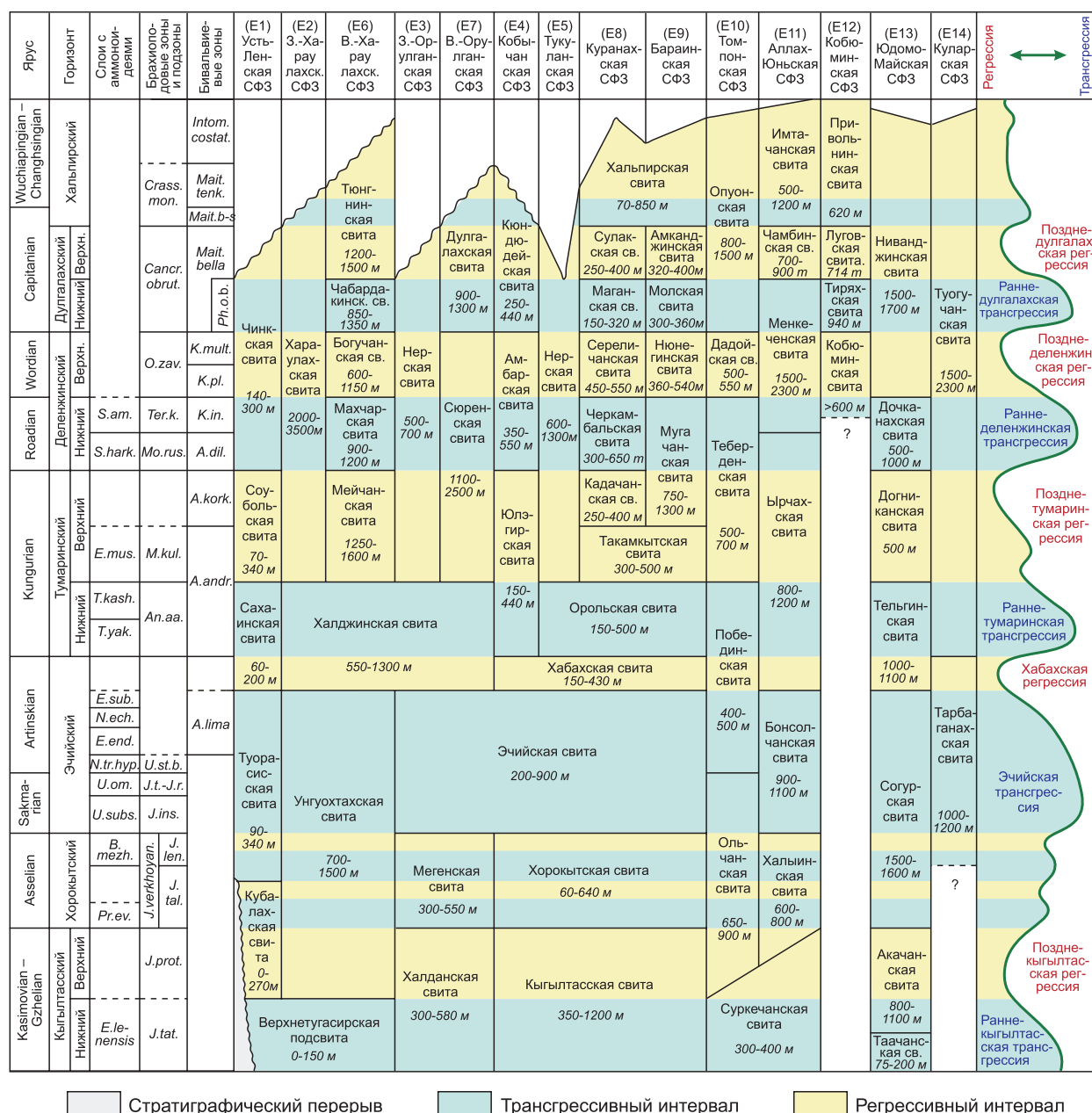


Рис. 6. Корреляция верхнепенсильванских и пермских отложений в Верхоянье.

Fig. 6. Correlation of the Upper Pennsylvanian and Permian deposits in Verkhoyanie.

объеме некучанского горизонта в Южном Верхоянье выделялись угамытский («зона *Otoceras*») и делиньинский («зона *Pachyproptychites*») горизонты [110], которые, в нашем понимании, соответствуют нижне- и верхнекучанскому подгоризонтам соответственно.

Закключение

Касимовско-гжельские и пермские отложения на Сибирской платформе и ее складчатом обрам-

лении относятся к пяти структурно-фациальным областям: Тунгусской, Лено-Енисейской, Вилюйской, Таймырской и Верхоянской. В этих областях выделяются структурно-фациальные зоны, каждая из которых характеризуется особой последовательностью местных стратонтов. Для внутри- и межрегиональной корреляции верхнепенсильванских и пермских отложений трех регионов (Сибирская платформа, Таймыр и Верхоянье) используются отдельные региональные страти-

графические шкалы, в основу подразделений которых положены вертикальная последовательность палеонтологических комплексов и этапность осадконакопления. Верхнепенсильванско-пермские отложения Сибирской платформы рассматриваются в составе шести последовательных региональных горизонтов (снизу вверх): катский (верхняя часть горизонта), клинтайгинский,

бургу克林ский, пеляткинский, дегалинский, гагареостровский и ивакинский. На Таймыре этому интервалу соответствуют турузовский, быррангский, соколинский, байкурский, ледянский и ивакинский, а в Верхоянье – кыгылтасский, хорыкский, эчийский, тумаринский, деленжинский, дулгалахский, хальпирский и некучанский (основание) региональные горизонты.

Поступила в редакцию 29.06.2020

Принята к публикации 21.10.2020

Об авторах

КУТЫГИН Руслан Владимирович, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией, Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, 677000, Якутск, пр. Ленина, 39, Россия, <http://orcid.org/0000-0003-4115-5976>, WOS ResearcherID J-3318-2018, Scopus AuthorID 9277169500, budnikov@sniiggims.ru, rkutygin@mail.ru;

БУДНИКОВ Игорь Васильевич, кандидат геолого-минералогических наук, директор департамента стратиграфии и региональной геологии, Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья, 630091, Новосибирск, Красный проспект, 67, Россия, budnikov@sniiggims.ru;

СИВЧИКОВ Виктор Игоревич, до 2015 г. научный сотрудник Сибирского научно-исследовательского института геологии, геофизики и минерального сырья.

Информация для цитирования

Кутыгин Р.В., Будников И.В., Сивчиков В.Е. Основные черты стратиграфии касимовско-гжельских и пермских отложений Сибирской платформы и ее складчатого обрамления // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2020, Т. 25, № 4. С. 5–29. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-4-1>

DOI 10.31242/2618-9712-2020-25-4-?

The main features of the Kasimovian – Gzhelian and Permian stratigraphy in the Siberian platform and adjacent fold belts

R.V. Kutugin^{1,*}, I.V. Budnikov², V.E. Sivtchikov

¹Diamond and Precious Metal Geology Institute, SB RAS, Yakutsk, Russia

²Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk, Russia

*rkutygin@mail.ru

Abstract. The main problems of the Kasimovian-Gzhelian (Upper Pennsylvanian) and Permian stratigraphy at the territory of Central Siberia are considered. Five structural-facies areas were identified: Tunguska, Lena-Yenisei, Vilyuy, Taimyr and Verkhoyanian (Verkhoyansk Region). Each of these areas is subdivided into structural-facies zones or districts characterized by a unique sequence of local strata (formations, subformations, units). To correlate the Upper Pennsylvanian – Permian deposits within each of the three regions – Siberian Platform, Taimyr, and Verkhoyanie, - independent regional stratigraphic scales are used, with their subdivisions based on the vertical sequence of paleontological complexes and stages of sedimentation. The Upper Pennsylvanian – Permian sediments of the Siberian Platform are considered as

part of seven successive regional horizons (from bottom to top): Katian (the upper part), Klintaygian, Burghuklian, Peliatkian, Degalian, Gagarieostrovian, and Ivakinian. In Taimyr, this interval corresponds to the Turuzavian, Byrrangian, Sokolinian, Bajkurian, Ledianian, Ivakinian regional horizons, and in Verkhoyanie – to the Kygyltassian, Khorokytian, Echian, Tumarian, Delenzhian, Dulgalakhian, Khalpirkian and Nekuchanian (the base part) regional horizons. The regional stratigraphic scales of the Siberian Platform, Taimyr, and Verkhoyanie are compared with the International Chronostratigraphic Scale. For all studied structural-facies areas, correlation schemes are presented that can be used as a framework for new (modern) Upper Paleozoic regional stratigraphic schemes of the Siberian Platform and its folded framing.

Key words: Stratigraphy, Siberian Platform, Verkhoyanie, Taimyr, Upper Carboniferous, Pennsylvanian, Permian system, correlation.

Acknowledgements. We express our sincere gratitude to K.V. Borissenkov, A.S. Biakov, M.F. Bogoslovskaya, V.G. Ganelin, V.S. Grinenko, V.I. Davydov, T.B. Leonova, V.I. Makoshin, Yu.V. Moseichik, L.G. Porokhovnichenko, A.V. Prokopiev and F.F. Tretyakov for fruitful discussions of individual issues of this article. This study is done on state assignment of DPMGI SB RAS and with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research (projects No. 18-05-00191, biostratigraphy of the Upper Carboniferous and Permian; 20-05-00604, the study of the Permian-Triassic boundary). The study of the Capitanian–Changhsingian sedimentogenesis was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation (project No. 19-17-00178).

References

1. Budnikov I.V., Grinenko V.S., Klets A.G., Kutygin R.V., Sivchikov V.E. Model formirovaniya verkhnepaleozojskikh otlozhenij vostoka Sibirskoj platformy i ee skladchatogo obramleniya (zakonomernosti osadkonakopleniya, rajonirovanie, korrelyaciya) // Otechestvennaya Geologiya. 2003. No. 6. P. 86–92.
2. Kheraskov N.P., Kolosov D.M. Geologiya i geomorfologiya Zapadnogo Verkhoyan'ya // Trudy VNIIMS. 1938. Iss. 116. P. 1–115.
3. Klets A.G. Verkhnij paleozoj okrainnykh morej Angaridy. Novosibirsk: Academic Publishing House «Geo», 2005. 240 p.
4. Andrianov V.N. Verkhnepaleozojskie otlozheniya Zapadnogo Verkhoyan'ya, Moscow: Nauka, 1966. 133 p.
5. Andrianov V.N. Permskie i nekotorye kamennougol'nye ammonoidei Severo-Vostoka Azii. Novosibirsk: Nauka, 1985. 180 p.
6. Budnikov I.V., Kutygin R.V., Shi G.R., Sivchikov V.E., Krivenko O.V. Permian stratigraphy and paleogeography of Central Siberia (Angaraland) – A review // Journal of Asian Earth Sciences. 2020. Vol. 196, Article 104365. P. 1–12. DOI: 10.1016/j.jseas.2020.104365
7. Pavlov S.F. Verkhnij paleozoj Tungusskogo bassejna, Novosibirsk: Nauka, 1974. 171 p.
8. Koren' T.N., Kotlyar G.V. (Eds.) Resheniya Tret'ego Mezhdomstvennogo regional'nogo stratigraficheskogo soveshchaniya po dokembriyu, paleozoyu i mezozoyu Severo-Vostoka Rossii / VSEGEI, St. Petersburg, 2009. 268 p.
9. Betekhtina O.A., Gorelova S.G., Dryagina L.L., Danilov V.I., Batyaeva S.P., Tokareva P.A. Verkhnij paleozoj Angaridy. Novosibirsk: Nauka, 1988. 265 p.
10. Pavlov S.F., Lomonosova T.K., Akulov N.I. Ugle-nosnaya formaciya yugo-vostochnoj okrainy Tungusskogo bassejna. Novosibirsk: Nauka, 1990. 152 p.
11. Chernaya T.A. Problemy biostratigrafii almazonosnykh terrigennykh tolshch Zapadnoj Yakutii / ALROSA, Mirny, 2002. 144 p.
12. Zinchuk N.N., Boris E.I., Yanygin Yu.T. Osobennosti mineragenii almaza v drevnih osadochnykh tolshchah (na primere verkhnepaleozojskikh otlozhenij Sibirskoj platformy). Mirny, 2004. 172 p.
13. Budnikov I.V., Budnikov V.I., Grausman V.V., Danilov V.I., Mikhaylova T.E. Litostratigrafiya verkhnego paleozoya kraevykh progibov severo-vostoka Sibirskoj platformy // Stratigrafiya i litofacial'nyj analiz verkhnego paleozoya Sibiri / SNIIGiMS, Novosibirsk, 1991. P. 5–14.
14. Grausman V.V., Matveev V.D., Meyen S.V. Stratigrafiya permskikh otlozhenij Vilyujskoj sineklizy // Izvestiya Akademii nauk SSSR. Seriya geologicheskaya. 1982. No. 11. P. 57–67.
15. Grausman V.V., Meyen S.V. Stratigrafiya verkhnepaleozojskikh otlozhenij Vilyujskoj sineklizy // Izvestiya Akademii nauk SSSR. Seriya geologicheskaya. 1987. No. 10. P. 53–60.
16. Golubeva I.I., Grausman V.V., Mejen S.V., Petrova E.K. O stratigraficheskom raschlenenii gazonosnykh otlozhenij permi central'noj chasti Vilyujskoj sineklizy // Stratigrafiya neftegazonosnykh otlozhenij Yakutii. Yakutskij filial SO AN SSSR. Yakutsk, 1980. P. 36–45.
17. Klets A.G., Budnikov I.V., Kutygin R.V., Biakov A.S., Grinenko V.S. The Permian of the Verkhoyansk-Okhotsk region, NE Russia // Journal of Asian Earth Sciences. 2006. Vol. 26, Iss. 3–4. P. 258–268. DOI: 10.1016/j.jseas.2005.10.001
18. Kutygin R.V. Posledovatel'nost' ammonoidej v kungurskom yaruse Kuranakhskoj podzony (Zapadnoe Verkhoyan'e) // Otechestvennaya Geologiya. 2012. No. 5. P. 37–40.
19. Protopopov R.I., Trushchelev A.M., Protopopov G.H., Fedorova S.S., Shcherbakov O.I., Kutygin R.V.,

- Zharikova L.P., Budnikov I.V. et al. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1 : 1 000 000 (tret'e pokolenie). Seriya Verhoyano-Kolym'skaya. List Q-53 – Verhoyansk. Ob'yasnitel'naya zapiska. SPb.: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI, 2016. 415 p.
20. Biakov A.S., Kutygin R.V. Bivalves from the Dendzhian–Dulgalakhian Boundary Beds of the Middle Permian of the Lower Reaches of the Lena River (Northern Verkhoyansk Region, Northern Siberia) // *Paleontological Journal*. 2018. Vol. 52, No. 7. P. 761–767. DOI: 10.1134/S0031030118070031
21. Kutygin R.V., Biakov A.S., Makoshin V.I., Budnikov I.V., Peregodov L.G., Krivenko O.V. Biostratigraphy and important biotic events in the Western Verkhoyansk Region around the Sakmarian–Artinskian boundary // *Palaeoworld*. 2020. Vol. 29, Iss. 2. P. 303–324. DOI: 10.1016/j.palwor.2018.10.001
22. Tolstych A.N. Pozdnepaleozojskaya flory vostochnoj chasti Tungusskoj sineklizy. Moscow: Nauka, 1969. 124 p.
23. Meyen S.V. The Carboniferous and Permian floras of Angaraland (a synthesis) // *Biological Memoirs*. 1982. Vol. 7, No. 1. P. 1–109.
24. Sivtchikov V.E. Proekt edinoj regional'noj shkaly verhnepaleozojskikh otlozhenij Sibiri // *Iskopaemye rasteniya i stratigrafiya pozdnego paleozoya Angaridy i sopredel'nyh territorij*. Moscow: GEOS, 2009. P. 70–74.
25. Kotlyar G.V., Pukhonto S.K., Burago V.I. Interregional Correlation of the Permian Continental and Marine Deposits of Northeastern Russia, Southern Far East, Siberia, and Pechora Cisurals // *Russian Journal of Pacific Geology*. 2018. Vol. 12, No. 1. P. 1–19. DOI: 10.1134/S1819714018010037
26. Sivtchikov V.E., Donova N.B. Stratigraphic subdivision of the Upper Palaeozoic deposits of the South Minuska Depression // *Lethaea rossica*. 2016. Vol. 13. P. 1–46.
27. Benediktova R.N., Khal'fin L.L. Sovremennoe sostoyanie stratigraficheskoy izuchennosti kamennougol'nyh i permskikh otlozhenij Srednej Sibiri // *Stratigrafiya paleozoya Srednej Sibiri*. Novosibirsk: Nauka, 1967. P. 155–169.
28. Verbitskaja N.G., Il'yuhina N.P. Osnovnye podrazdeleniya verhnego paleozoya Sibirskoj platformy // *Sovetskaya geologiya*. 1979. No. 9. P. 18–33.
29. Akulov N.I. Paleogeography and accumulation environments of Carboniferous sediments in the southern Siberian platform // *Stratigraphy and Geological Correlation*. 2005. Vol. 13, No. 6. P. 593–605.
30. Donova N.B. Fitostratigraficheskoe raschlenenie razreza chinokskoj svity po r. Chunya (verhnij paleozoj Sibirskoj platformy) // *Paleobotanicheskij vremennik*. 2015. Iss. 2. P. 220–226.
31. Mosseichik Yu.V. Etapy razvitiya flory i sistema makrofloristicheskikh zon karbona Angaridy // *Lethaea rossica*. 2016. Vol. 12. P. 1–28.
32. Koren' T.N., Kotlyar G.V. (Eds.). Resheniya Vsesoyuznogo soveshchaniya po razrabotke unificirovannyh stratigraficheskikh skhem dokembriya, paleozoya i chetvertichnoj sistemy Srednej Sibiri, chast' II (srednij i verhnij paleozoj) / *Leningradskaya kartograficheskaya fabrika VSEGEI*, Leningrad, 1979. 130 p.
33. Rasskazova E.S. Iskopaemaya flora katskoj svity Tungusskogo bassejna // *Trudy Geologicheskogo instituta AN SSSR*. 1962. Iss. 67. P. 1–67.
34. Peterson L.N. Palinologicheskie issledovaniya otlozhenij karbona v Tychanskom almazonosnom rajone // *Kuzbass – klyuchevoj rajon v stratigrafii verhnego paleozoya Angaridy*. Novosibirsk: Intergeo, 1996. P. 80–84.
35. Anisyutkin L.N. New Cockroaches from the Upper Carboniferous of Siberia (Insecta: Dictyoptera, Mylacridina) // *Paleontological Journal*. 2007. Vol. 41, No. 5. P. 542–548. DOI: 10.1134/S0031030107050097
36. Verbitskaja N.G., Radzenko G.P. Permskaya sistema // *Geologiya Sibirskoj platformy*. Moscow: Nedra, 1966. P. 110–122.
37. Radzenko G.P. Tungusskij ugol'nyj bassejn // *Geologiya mestorozhdenij uglja i goryuchih slantsev SSSR*. 1964. Vol. 8. P. 65–120.
38. Vereshagin V.N. (Ed.). *Stratigraficheskij slovar' SSSR. Karbon, perm'*. Leningrad: Nedra, 1977. 535 p.
39. Golubeva I.I. Paleogeografiya Sibirskoj platformy v pozdnem paleozoe // *Voprosy geologii, tektoniki i metallogenii Yakutii*. Yakutsk: Izdatel'stvo gosuniversiteta, 1980. P. 47–59.
40. Radzenko G.P., Schwedov N.A. Verhnepaleozojskaya flora uglenosnyh otlozhenij zapadnoj chasti bassejna reki Nizhnej Tunguski // *Trudy Arkticheskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta*. 1940. Vol. 157. P. 1–140.
41. Rasskazova E.S. K stratigrafii verhnepaleozojskikh otlozhenij Tungusskogo bassejna // *Bulletion MOIP. Geological serie*. 1958. Vol. 33, Iss. 5. P. 97–103.
42. Rasskazova E.S. K stratigrafii tungusskoj serii r. Gorbiachin // *Bulletion MOIP. Geological serie*. 1963. Vol. 38, Iss. 2. P. 46–55.
43. Betekhtina O.A. Verhnepaleozojskie nemorskie dvustvorki Sibiri i Kazahstana. Moscow: Nauka, 1966. 220 p.
44. Suchov S.V. Semena pozdnepaleozojskikh rastenij Srednej Sibiri. Leningrad: Nedra, 1969. 254 p.
45. Budnikov V.I., Baranov V.K. Litologiya i facii verhnego paleozoya Tungusskoj sineklizy // *Trudy SNIIGiMS*. 1971. Iss. 87. P. 1–85.
46. Betekhtina O.A. Zonal'noe raschlenenie i korrelyaciya uglenosnyh otlozhenij pozdnego paleozoya Sibiri po nemorskim dvustvorkam. // *Novoe v stratigrafii i paleontologii srednego i verhnego paleozoya Srednej Sibiri*. IGiG SO AN SSSR. Novosibirsk, 1978. p. 71–75.
47. Schwedov N.A. K stratigrafii verhnepaleozojskikh uglenosnyh otlozhenij v rajone nizhnego techeniya r. Nizhnej Tunguski // *Problemy Arktiki*. 1939. Iss. 2. P. 62–68.
48. Budnikov V.I. Zakonomernosti osadkonakopleniya v karbone i permi zapada Sibirskoj platformy // *Trudy SNIIGiMS*. 1976. Iss. 183. P. 1–135.
49. Sadovnikov G.N. K istorii izucheniya stratigrafii tungusskogo kompleksa // *Trudy TGU*. 1974. Iss. 232. P. 49–61.

50. Gluchova L.V., Sivtchikov V.E. Floristicheskie komplekсы permskih otlozhenij Zapadnogo Tajmyra // Kuzbass – klyuchевой rajon v stratigrafii verkhnego paleozoya Angaridy. Novosibirsk: Intergeo, 1996. P. 43–52.
51. Schwedov N.A. Permskaya flora Enisejsko-Lenskogo kraya // Trudy NIIGA. 1961. Vol. 103. P. 1–241.
52. Gor Yu.G. Granitsa permi i triasa na severe Angaridy // Stratigrafiya i paleontologiya mezozojskih osadochnyh bassejnov Severa Sibiri. Leningrad, 1985. P. 125–134.
53. Al'mukhamedov A.I., Medvedev A.Y., Kirda N.P. Comparative analysis of geodynamic settings of the Permian-Triassic magmatism in East and West Siberia // Geologiya i Geofizika. 1999. Vol. 40, No. 11. P. 1575–1587.
54. Sivtchikov V.E. Paleoekosistemnaya rekonstrukciya vzaimootnoshenij paleofita i mezofita v Angaride // Evolution of Life on the Earth. Tomsk: NTL, 2001. P. 397–400.
55. Prinada V.L. Iskopaemaya flora korvunchanskoj svity bassejna reki Nizhnej Tunguski. Moscow: Nauka, 1970. P. 1–79.
56. Meyen S.V. Evolyuciya i sistematika vysshih rastenij po dannym paleobotaniki, Moscow: Nauka, 1992. P. 1–174.
57. Mogucheva N.K., Naugolnykh S.V. Gagariostrobus cylindricus (Prynada) Mogutcheva and the Permian-Triassic ecosystem flora reorganization in the Tunguska Basin // Stratigraphy and Geological Correlation. 2010. Vol. 18, No. 1. P. 31–41. DOI: 10.1134/S086959381001003X
58. Mogucheva N.K. Flora from the Induan Stage (Lower Triassic) of Middle Siberia // Stratigraphy and Geological Correlation. 2016. Vol. 24, No. 3. P. 252–266. DOI: 10.1134/S0869593816020052
59. Sadovnikov G.N. Evolution of the biome of the Middle Siberian Trappean Plateau // Paleontological Journal. 2016. Vol. 50, No. 5. P. 518–532. DOI: 10.1134/S0031030116050129
60. Schwedov N.A., Ustritsky V.I., Tschernjak G.E., Gerke A.A., Sosipatrova G.P. Novaya stratigraficheskaya skhema verkhnepaleozojskih otlozhenij Tajmyra // Sbornik statej po paleontologii i biostratigrafii NIIGA. 1961. Iss. 24. P. 12–16.
61. Ustritsky V.I., Tschernjak G.E. Biostratigrafiya i brahiopody verkhnego paleozoya Tajmyra // Trudy NIIGA. 1963. Vol. 134, P. 1–235.
62. Ustritsky V.I., Tschernjak G.E. Kamennougol'nye otlozheniya poluostrova Tajmyr // Stratigrafiya paleozoya Srednej Sibiri. Novosibirsk: Nauka, 1967. P. 216–219.
63. Solomina R.V., Preobrazhenskaya E.N. K stratigraficheskoj skheme permi Tajmyra. Stratigrafiya // Geologicheskaya Korrelyatsiya. 1993. Vol. 1, No. 2. P. 13–25.
64. Gor Yu.G., Schneider G.V., Brekhov G.V., Volkova G.M., Markovskij V.A., Petrov O.V., Paderin P.G., Popov V.Yu., Sobolev N.N. Stratigrafiya verkhnepaleozojskih otlozhenij Central'nogo Tajmyra // Stratigrafiya i fauna paleozoya i mezozoya Arktiki / VNIIOkeangeologiya, St. Petersburg, 2000. P. 67–72.
65. Anikeev N.P. (Ed.). Resheniya Mezhdovedstvennogo soveshchaniya po razrabotke unifikirovannykh stratigraficheskikh skhem dlya Severo-Vostoka SSSR. Leningrad: Gosgeoltekhizdat, 1959. 80 p.
66. Schwedov N.A. Paleofitologicheskaya harakteristika verhnepaleozojskih (preimushchestvenno permskih) otlozhenij Tajmyra i severo-vostochnoj okrainy Sibirskoj platformy // Sbornik statej po paleontologii i biostratigrafii. 1957. Iss. 1. P. 13–18.
67. Ustritskiy V.I. Komplekсы brahiopod iz permskih otlozhenij Vostochnogo Tajmyra // Doklady AN SSSR. 1955. Vol. 105, Iss. 4. P. 805–807.
68. Ustritskiy V.I. Yarusnaya shkala permi Boreal'noj oblasti // Paleontologicheskoe obosnovanie raschleneniya paleozoya i mezozoya Arkticheskikh rajonov SSSR / Sevmorgeologiya. Leningrad, 1983. P. 16–37.
69. Proskurnin V.F., Gavrish A.V., Mezhubovskij V.V., Trofimov V.R., Egorov V.N., Sobolev N.N., Naumov M.V. et al. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1 : 1 000 000 (tret'e pokolenie). Seriya Tajmyrsko-Severozemel'skaya. List S-48 – oz. Tajmyr (vostochnaya chast'). Ob'yasnitel'naya zapiska / Kartfabrika VSEGEI, St. Petersburg, 2009. 253 p.
70. Shishlov S.B. Strukturno-geneticheskij analiz osadochnyh formacij / Gornyj Institut, LEMA. St. Petersburg, 2010. 276 p.
71. Shishlov S.B. Novaya regional'naya stratigraficheskaya skhema verkhnego paleozoya Tajmyra // Zapiski Gornogo instituta. 2009. Iss. 183. P. 40–52.
72. Einor O.L. O vozraste bazal'nyh sloev ugle-nosnyh otlozhenij Zapadnogo Tajmyra // Problemy Arktiki. 1946. No. 4. P. 89–104.
73. Teben'kov V.P., Schwedov N.A. K stratigrafii ugle-nosnyh otlozhenij Zapadnogo Tajmyra // Doklady Akademii nauk SSSR. 1941. Vol. 31, Iss. 8. P. 566–568.
74. Kotlyar G.V., Stepanov D.L. (Eds.). Osnovnye cherty stratigrafii permskoj sistemy SSSR. Leningrad: Nedra, 1984. 280 pp.
75. Biakov A.S. Zonal'naya stratigrafiya, sobytijnaya korrelyaciya, paleobiogeografiya permi Severo-Vostoka Azii (po dvustvorchatym mollyuskam) / SVKNII DVO RAN. Magadan, 2010. 264 p.
76. Ustritskiy V.I. Biostratigrafiya verkhnego paleozoya Arktiki. Leningrad: Nedra, 1971. 280 p.
77. Fedotov A.N., Sivchikov V.E., Krugovyh V.V. K voprosu stratigrafii verkhnepermskih otlozhenij Zapadnogo Tajmyra // Problemy stratigrafii i magmatizma Krasnoyarskogo kraya i Tuvinskoj ASSR. 1991. Iss. 2. P. 27–35.
78. Shishlov S.B., Verbitskaja N.G. K stratigrafii verhneppermskih ugle-nosnyh otlozhenij Zapadnogo Tajmyra // Sovetskaya geologiya. 1990. Iss. 7. P. 52–59.
79. Lyutkevich E.M., Lobanova O.V. Pelecipody permi sovet'skogo sektora Arktiki. Leningrad: Gostoptekhzizdat, 1960. 294 p.
80. Biakov A.S. New ideas on the system of the Permian Inoceramus-like bivalves of the Eastern Boreal

Zone // Paleontological Journal. 2008. Vol. 42, No. 3. P. 232–242. DOI: 10.1134/S0031030108030039

81. *Solomina R.V., Durante M.V.* Stratotipicheskij razrez chernoyarskogo gorizonta (verhnyaya perm') Central'nogo Tajmyra // Izvestiya AN SSSR. Ser. geologich. 1991. No. 3. P. 26–36.

82. *Parhanov M.N.* K stratigrafii uglenosnykh otlozhenij Zapadnogo Tajmyra // Problemy Arktiki. 1940. Iss. 6. P. 59–71.

83. *Proskurnin V.F., Shnejder G.V., Gavrish A.V., Nagajzeva N.N., Romanov A.P., Gromov P.A., Proskurnina M.A. et al.* Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1 : 1 000 000 (tret'e pokolenie). Seriya Tajmyrsko-Severozemel'skaya. List S-46 – Tareya. Ob'yasnitel'naya zapiska / Kartograficheskaya fabrika VSEGEI. St. Petersburg, 2016. 490 p.

84. *Biakov A.S., Prokopiev A.V., Kutygin R.V., Vedernikov I.L., Budnikov I.V.* Geodinamicheskie obstanovki formirovaniya permskih sedimentacionnykh bassejnov Verkhoyano-Kolymskoj skladchatoy oblasti // Otechestvennaya geologiya. 2005. No. 5. P. 81–84.

85. *Kutygin R.V., Rozhin S.S.* Osnovnye etapy i sobytija v istorii razvitiya biot Verkhoyanskogo bassejna permskogo perioda // Razvedka i ohrana neдр. 2015. No. 11. P. 9–12.

86. *Vasilenko V.K. (Ed.).* Resheniya Mezhdomstvennogo soveshchaniya po razrabotke unificirovannykh stratigraficheskikh skhem Yakutskoj ASSR, Moscow: Gosgeoltekhizdat, 1963. 60 p.

87. *Musalitin L.A.* Stratigrafiya osadochnykh i vulkanogenno-osadochnykh otlozhenij severo-zapadnoj chasti Verkhoyano-Chukotskoj skladchatoy oblasti // Materialy po geologii i poleznym iskopaemym Yakutskoj ASSR. 1970. Iss. 16. P. 3–32.

88. *Abramov B.S.* Stratigrafiya verkhnepaleozojskikh otlozhenij Yuzhnogo Verkhoyan'ya. Novosibirsk: Nauka, 1974. 96 p.

89. *Abramov B.S., Grigorjeva A.D.* Biostratigrafiya i brachiopody permi Verkhoyan'ya. Moscow: Nauka, 1988, 204 p.

90. *Andrianov V.N.* Biostratigraficheskaya skhema permskih otlozhenij Verkhoyanskogo khrebtа // Problemy stratigrafii devonskih, permskih i triasovykh otlozhenij Verkhoyan'ya. Yakutsk, 1975. P. 24–87.

91. *Solomina R.V.* Biostratigraficheskaya skhema permskih otlozhenij Verkhoyan'ya // Otechestvennaya Geologiya. 1997. No. 3. P. 37–43.

92. *Andrianov V.N., Tolstykh A.N.* Biostratigrafiya permskih otlozhenij Verkhoyan'ya // Dokembrij i paleozoj Severo-Vostoka SSSR. Magadan, 1974. P. 115–117.

93. *Makoshin V.I., Kutygin R.V.* Biostratigrafiya i brachiopody assel'sko-artinskiykh otlozhenij Arkachan-Echjiskogo mezhdurech'ya (Zapadnoe Verkhoyan'ye) // Otechestvennaya Geologiya. 2013. No. 5. P. 46–51.

94. *Makoshin V.I., Kutygin R.V.* Biostratigrafiya i brachiopody assel'sko-sakmarskih otlozhenij Kubalahskogo razreza (nizov'e r. Lena). Otechestvennaya Geologiya. 2014. No. 4. P. 17–21.

95. *Kutygin R.V., Makoshin V.I., Budnikov I.V., Peregoedov L.G.* Biostratigraphy of Asselian-Sakmarian deposits of the upper reaches Sobolokh-Mayan River of the Orulgan Range // Otechestvennaya Geologiya. 2018. No. 5, P. 74–80. DOI: 10.24411/0869-7175-2018-10018.

96. *Makoshina V.I., Kutygin R.V.* Asselian–Sakmarian (Lower Permian) brachiopod zonation of the Verkhoyansk Region, Northeast Russia // Stratigraphy and Geological Correlation. 2020. Vol. 28, No. 4. P. 382–410. DOI: 10.1134/S0869593820040061

97. *Zakharov Y.D., Biakov A.S., Horacek M.* Global Correlation of Basal Triassic Layers in the Light of the First Carbon Isotope Data on the Permian–Triassic Boundary in Northeast Asia // Russian Journal of Pacific Geology. 2014. Vol. 8, No. 1. P. 1–17. DOI: 10.1134/S1819714014010060

98. *Biakov A.S., Zakharov Yu.D., Horacek M., Richoz S., Kutygin R.V., Ivanov Yu.Yu., Kolesov E.V., Konstantinov A.G., Tuchkova M.I., Mikhailitsyna T.I.* New data on the structure and age of the terminal Permian strata in the South Verkhoyansk region (northeastern Asia) // Russian Geology and Geophysics. 2016. Vol. 57, No. 2. P. 282–293. DOI: 10.15372/GiG20160205

99. *Kutygin R.V., Budnikov I.V., Biakov A.S., Klets A.G., Grinenko V.S.* Opornyj razrez dulgalahskogo i hal'piskogo gorizontov (verkhnetatarskij pod'yarus) Zapadnogo Verkhoyan'ya // Tikhookeanskaya geologiya. 2003. No. 6. P. 82–97.

100. *Klets A.G., Budnikov I.V., Kutygin R.V., Grinenko V.S.* Sobytiynye urovni v srednem karbone – rannej permi Verkhoyan'ya i regional'naya stratigraficheskaya skhema // Tikhookeanskaya geologiya. 2001, No. 5, P. 45–57.

101. *Kutygin R.V.* Permian ammonoid associations of the Verkhoyansk Region, Northeast Russia // Journal of Asian Earth Sciences. 2006. Vol. 26, Iss. 3–4. P. 243–257. DOI: 10.1016/j.jseae.2005.10.004

102. *Makoshin V.I., Kutygin R.V.* Correlation of the Asselian-Sakmarian deposits of the Northern and Western Verkhoyansk regions by brachiopods // Prirodnyie resursy Arctici i Subarctici. 2019. Vol. 24, No. 3. P. 5–22. DOI: 10.31242/2618-9712-2019-24-3-1.

103. *Biakov A.S., Kutygin R.V., Goryachev N.A., Buratny S.S., Naumov A.N., Yadrenkin A.V., Vedernikov I.L., Tretyakov M.F., Brynko I.V.* Discovery of the Late Changhsingian Bivalve complex and two fauna extinction episodes in Northeastern Asia at the end of the Permian // Doklady Biological Sciences. 2018. Vol. 480, No. 1, P. 78–81. DOI: 10.1134/S0012496618030018

104. *Tolstykh A.N.* Pozdnepaleozojskaya flora Zapadnogo Verkhoyan'ya. Novosibirsk: Nauka. 1974. 103 p.

105. *Durante M.V., Izrailev L.M.* Floristicheskie komplekсы i stratigrafiya kamennougol'nykh i permskih otlozhenij meridional'noj chasti Zapadnogo Verkhoyan'ya // Bulletin MOIP. Geological serie. 1977. Vol. 52, No. 4. P. 112–124.

106. *Durante M.V.* Verkhnepaleozojskie flory i stratigrafiya Verkhoyan'ya // Paleobotanicheskij vremennik. 2013. Iss. 1. P. 109–111.

107. *Porokhovnichenko L.G.* Permskaya flora Zapadnogo Verkhoyan'ya i ee znachenie dlya stratigrafii verkhnepaleozojskih otlozhenij Srednej Sibiri // *Paleobotanicheskiy vremennik*. 2018. Iss. 3. P. 26–40.

108. *Yadrenkin A.V., Biakov A.S., Kutygin R.V., Kopylova A.V.* New dates and stratigraphical distribution of foraminifers from Permian-Triassic boundary deposits in the South Verkhoyan region // *Russian Journal of Pacific Geology*. 2020. Vol. 39, Iss. 5. P. 69–82.

109. *Kutygin R.V., Budnikov I.V., Biakov A.S., Davydov V.I., Kilyasov A.N., Silantiev V.V.* Pervye nachodki ceratitov roda v Kobuminskoj zone Yuzhnogo Verchoi-ania, severo-vostol Rossii // *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta-Seriya Estestvennye Nauki*. 2019. Vol. 161, No. 4. P. 550–570.

110. *Korostelev V.I.* Triasovye otlozheniya Vostochnogo Verkhoyan'ya. Yakutsk: Knizhnoe izdatel'stvo, 1972. 174 p.

About the authors

KUTYGIN Ruslan Vladimirovich, candidate of geological and mineralogical sciences, head of laboratory, Diamond and Precious Metal Geology Institute, SB RAS, 39 Lenina pr., Yakutsk 677000, Russia, <http://orcid.org/0000-0003-4115-5976>, WOS ResearcherID J-3318-2018, Scopus AuthorID 9277169500, budnikov@sniiggims.ru, rkutygin@mail.ru;

BUDNIKOV Igor Vasilyevich, candidate of geological and mineralogical sciences, director of the Department of Stratigraphy and Regional Geology of the Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Krasniy pr. 67, Novosibirsk 630091, Russia, budnikov@sniiggims.ru;

SIVTCHIKOV Victor Igorevich, until 2015 was a Researcher at the Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Krasniy pr. 67, Novosibirsk 630091, Russia

Citation

Kutygin R.V., Budnikov I.V., Sivtchikov V.E. The main features of the Kasimovian-Gzhelian and Permian stratigraphy in the Siberian platform and adjacent fold belts // *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2020, Vol. 25, No. 4. pp. 5–29. (In Russ.) <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-4-1>

Тектоника юго-восточного фланга Иньяли-Дебинского синклинория (Верхояно-Колымская складчатая область)

Д.А. Васильев*, Н.Н. Ермаков, А.В. Прокопьев**

Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, Якутск, Россия

*juorankhay@mail.ru

**prokopiev@diamond.ysn.ru

Аннотация. Приведены результаты исследований, проведенных на юго-восточном фланге Иньяли-Дебинского синклинория, расположенном в центральной части Верхояно-Колымской складчатой области. Главной тектонической структурой здесь является Момонтайская синклиналь, сложенная среднеюрскими терригенными отложениями. Синклиналь перекрыта несогласно залегающими вулканогенными и вулканогенно-осадочными породами позднеюрского возраста Уяндино-Ясачненской вулканической дуги. Впервые для этого района обнаружено и описано резкое угловое несогласие между интенсивно деформированными породами средней юры и верхнеюрскими вулканитами. Установлены два этапа деформаций. Сложная напряженная складчатость среднеюрских терригенных отложений имеет северо-западное простирание, тогда как наложенные простые крупные открытые складки, в которые смяты вулканогенно-осадочные толщи верхней юры, ориентированы в субширотном направлении. Деформации первого этапа представлены сжатыми асимметричными концентрическими, цилиндрическими, реже коническими, складками. Описаны крупные, вплоть до изоклинальных, опрокинутые на юго-запад складки первого этапа. Используя замеры элементов залегания плоскостей разломов и ориентировок штрихов на зеркалах скольжения, были рассчитаны оси сжатия и растяжения. Рассчитанные оси сжатия для тектонических структур северо-восточного крыла Момонтайской синклинали ориентированы почти ортогонально к простиранию складчатости первого этапа деформаций. Таким образом, установлено, что структурный парагенезис, представленный межслоевыми срывами, надвигами, сбросами и сдвигами, был образован в едином поле напряжений со складчатостью первого этапа деформаций. Накопление изученных среднеюрских отложений происходило в прибрежных шельфовых обстановках осадконакопления, изменяющихся временами на дельтовые. В конгломератах и песчаниках присутствуют крупные слабо окатанные валуны кварцитов и известняков, а также гальки аргиллитов и вулканических пород, что указывает на близкие источники сноса кластики. В конце средней юры или в начале поздней юры в этой части Иньяли-Дебинского синклинория произошла интенсивная складчатость северо-западного простирания. Накопление позднеюрских вулканогенных пород Уяндино-Ясачненской дуги и внедрение субвулканических образований происходило уже на/в деформированные отложения средней юры. Складчатость второго этапа произошла в постпозднеюрское время.

Ключевые слова: тектоника, Иньяли-Дебинский синклинорий, Момонтайская синклиналь, складки, разломы, оси палеонапряжений, угловое несогласие, деформации.

Благодарности. Исследование выполнено по плану НИР ИГАБМ СО РАН и при поддержке гранта РФФИ № 19-05-00945.

Введение

Район исследований расположен в зоне сочленения Иньяли-Дебинского синклинория и Омуповского террейна (Колымо-Омолонский супертеррейн Верхояно-Колымской складчатой области) [1]. Работы проводились в междуречье рек Момонтай и Урультун. Основной тектонической

структурой территории является Момонтайская синклиналь, сложенная среднеюрскими терригенными отложениями, перекрытыми верхнеюрскими вулканогенными и вулканогенно-осадочными толщами Уяндино-Ясачненской магматической дуги [2] (рис. 1). Ширина синклинали около 30 км, а протяженность превышает 80 км.

ТЕКТНИКА ЮГО-ВОСТОЧНОГО ФЛАНГА ИНЬЯЛИ-ДЕБИНСКОГО СИНКЛИНОРИЯ

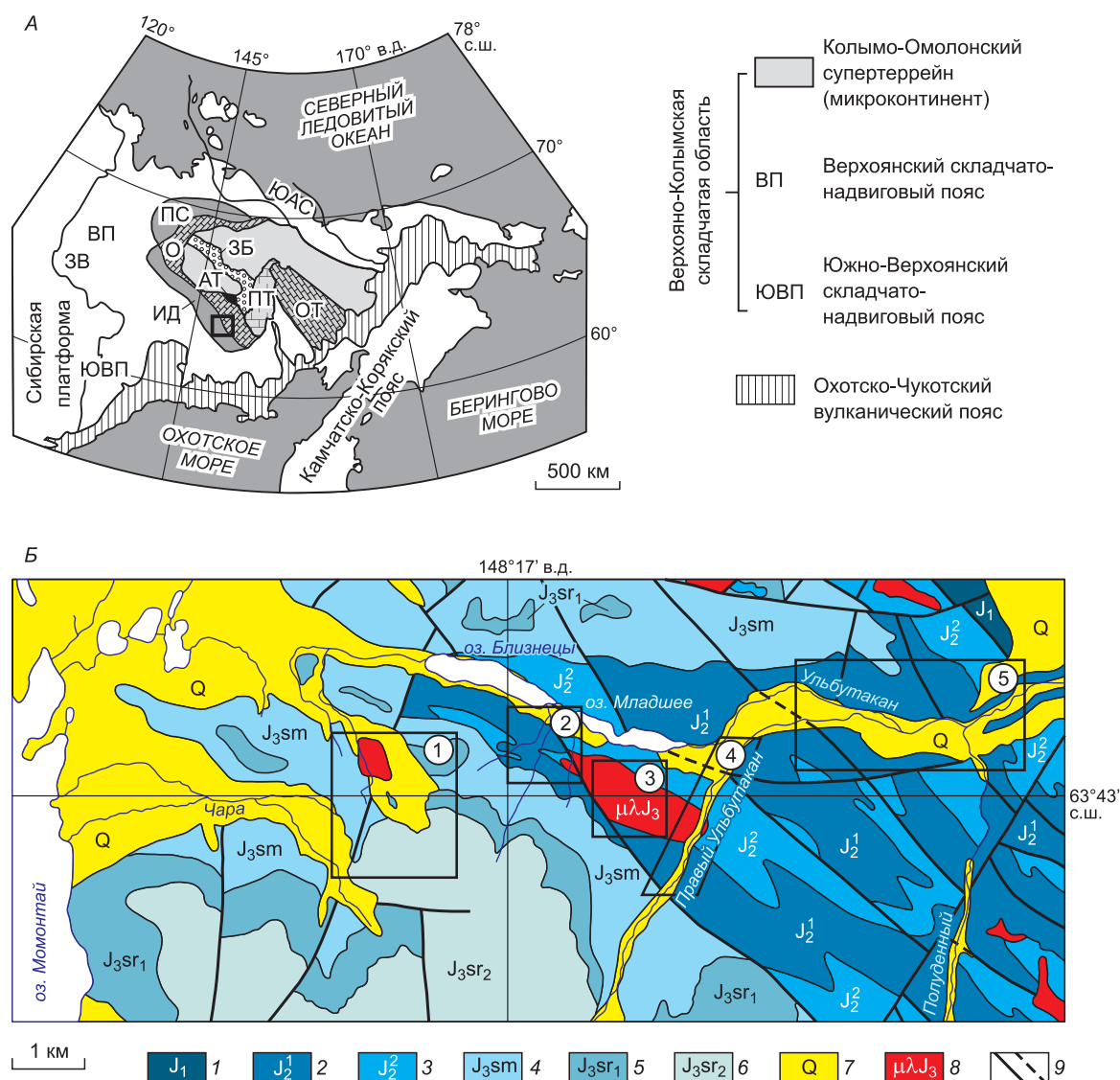


Рис. 1. Упрощенная тектоническая схема северо-востока Азии (прямоугольником показан район исследований) (А) и геологическая карта северо-восточного крыла Момотайской синклинали (Б).

Колымо-Омолонский микроконтинент: ПТ – Приколымский терреин, ОТ – Омолонский терреин, О – Омuleвский терреин, АТ – Арга-Тасский терреин, ЗБ – Зырянский бассейн; Верхоянский складчато-надвиговый пояс: ПС – Полоусный синклинорий, ИД – Иньяли-Дебинский синклинорий, ЗВ – Западно-Верхоянский сектор Верхоянского пояса; ЮАС – Южно-Ануйская сутура.

Отложения: 1 – верхней толщии нижней юры, 2 – нижней толщии средней юры, 3 – средней толщии средней юры, 4 – сумунской свиты, оксфордского и киммериджского ярусов верхней юры, 5 – нижней подсвиты серганынской свиты, волжского яруса верхней юры, 6 – верхней подсвиты серганынской свиты, волжского яруса верхней юры, 7 – четвертичные; 8 – позднелюрские субвулканические риолиты, 9 – разломы установленные и предполагаемые. Цифры в кружках – участки детальных исследований.

Fig. 1. Tectonic sketch map of NE Asia showing studied location (black rectangular) (A) and geological map of NE limb of the Momontai syncline (B).

Kolyma – Omolon microcontinent: ПТ – Prikolyma terrane, ОТ – Omolon terrane, О – Omulevka terrane, АТ – Arga-Tas terrane, ЗБ – Zyryanka basin; Verkhoyansk fold-and-thrust belt: ПС – Polousnyi synclinorium, ИД – In'yali-Debin synclinorium, ЗВ – West Verkhoyansk; ЮАС – South Anyui suture.

Deposits of: 1 – upper sequence of the Lower Jurassic, 2 – lower sequence of the Middle Jurassic, 3 – middle sequence of the Middle Jurassic, 4 – Sumun Fm., Oxfordian and Kimmeridgian stages of the Upper Jurassic, 5 – lower member of the Serganiya Fm., Volgian stage of the Upper Jurassic, 6 – upper member of the Serganiya Fm., Volgian stage of the Upper Jurassic, 7 – Quaternary; 8 – Late Jurassic subvolcanic rhyolites; 9 – faults, defined and assumed. Circled numbers – areas of detailed study.

На северо-восточном крыле синклинали известны Au- и Au–Ag-рудопоявления. Рудовмещающими являются субвулканические и вулканогенные образования верхней юры. Оруденение приурочено к системе разломов северо-восточного простирания. Задачей проведенных исследований являлось уточнение литологических и седиментологических особенностей средне- и верхнеюрских терригенных, вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород, а также установление характера и последовательности формирования тектонических структур.

Методы исследования

В процессе экспедиционных исследований производились детальные описания деформационных структур (скадок, разломов, кливажа, трещиноватости горных пород и пр.), сопровождавшиеся массовыми замерами ориентировок слоистости, кливажа, плоскостей разломов, трещин, штрихов на зеркалах скольжения [3, 4]. В дальнейшем изучение тектонических структур проводилось методами структурной геологии [5–9] на стереографических сетках и при помощи компьютерных программ (StereoNett, QuickPlot, FaultKinWin). Тектонофизические исследования и расчет осей палеонапряжений были выполнены по методикам [10, 11]. Стратиграфические, литологические и седиментологические наблюдения проводились непосредственно на обнажениях.

Стратиграфия, литология, седиментология

Среднеюрские отложения в пределах изученного района представлены двумя подразделениями – нижней (J_2^1) и средней (J_2^2) толщами [2].

Нижняя толща (J_2^1). Переслаивание алевролитов, кремнистых аргиллитов, песчаников, гравелитов, конгломератов и конгломератобрекчий. В песчаниках и алевролитах наблюдаются структуры нагрузки на подошвах слоев, следы взмучивания, разномасштабная косая слоистость. В конгломератах встречаются линзы кремнистых аргиллитов, обломки древесины и органического детрита. Плохо окатанные обломки размером до 10 см представлены в основном вмещающими породами. В пластах песчаников иногда присутствуют крупные блоки карбонатных пород размером до 0,4–1 м. Наблюдаются подводные каналы – следы древних потоков, прорезающих подстилающие отложения. Развиты структуры «hummocky cross-stratification» (рис. 2, А).

Средняя толща (J_2^2). Представлена переслаиванием алевролитов, песчаников и кремнистых (?) сланцев (рис. 2, Б). Породы косослоистые, наблюдаются структуры нагрузки, иногда темпеститы и органический детрит.

Верхнеюрские отложения подразделяются на две свиты – сумунскую (J_3sm) и серганьинскую (J_3sr) [2].

Сумунская свита (J_3sm) с резким угловым и, вероятно, стратиграфическим несогласием перекрывает ориентированные субвертикально терригенные отложения средней юры (рис. 3). Необходимо отметить, что настолько хорошее обнажение несогласия в основании верхнеюрских вулканитов уникально для этого региона. В основании свиты развиты конгломератобрекчии мощностью до 2 м, сменяющиеся по латерали конгломератами и гравелитами, сложенными плохо окатанными обломками (рис. 2, В). В составе обломочной части присутствуют подстилающие терригенные отложения и вулканиты. Матрикс этих образований имеет, скорее всего, вулканогенную (пирокластическую) природу. Вполне вероятно, что эти породы могут представлять собой лахары, возникшие во время начальных излияний на склонах палеовулкана. В целом свита сложена риолитами, риодацитами, риолитовыми порфирами, реже кислыми туфами, лавобрекчиями кислого состава. Кроме того, в разрезе присутствуют туфобрекчии, прослои туфопесчаников и, вероятно, андезитов.

Серганьинская свита (J_3sr) представлена в пределах изученного района дацитами, дацитовыми порфирами, туфами кислого состава, реже туфолавами, конгломератобрекчиями, туфопесчаниками, туфоаргиллитами. Туфы имеют полосчатую текстуру (рис. 2, Г). Для верхней части разреза свиты характерна столбчатая отдельность, образующая шестигранные и пятигранные призмы толщиной до 0,5 м. Общая мощность изученных верхнеюрских толщ превышает 1200 м.

Складчатые структуры

Мелкомасштабная складчатость на изученном северо-восточном крыле Момонтайской синклинали широко проявлена в среднеюрских отложениях. Породы смяты в сжатые асимметричные концентрические, цилиндрические и, реже, конические складки [3–7]. Складки разного размера шириной от первых метров до десятков и сотен метров. Часто встречаются крупные опрокину-

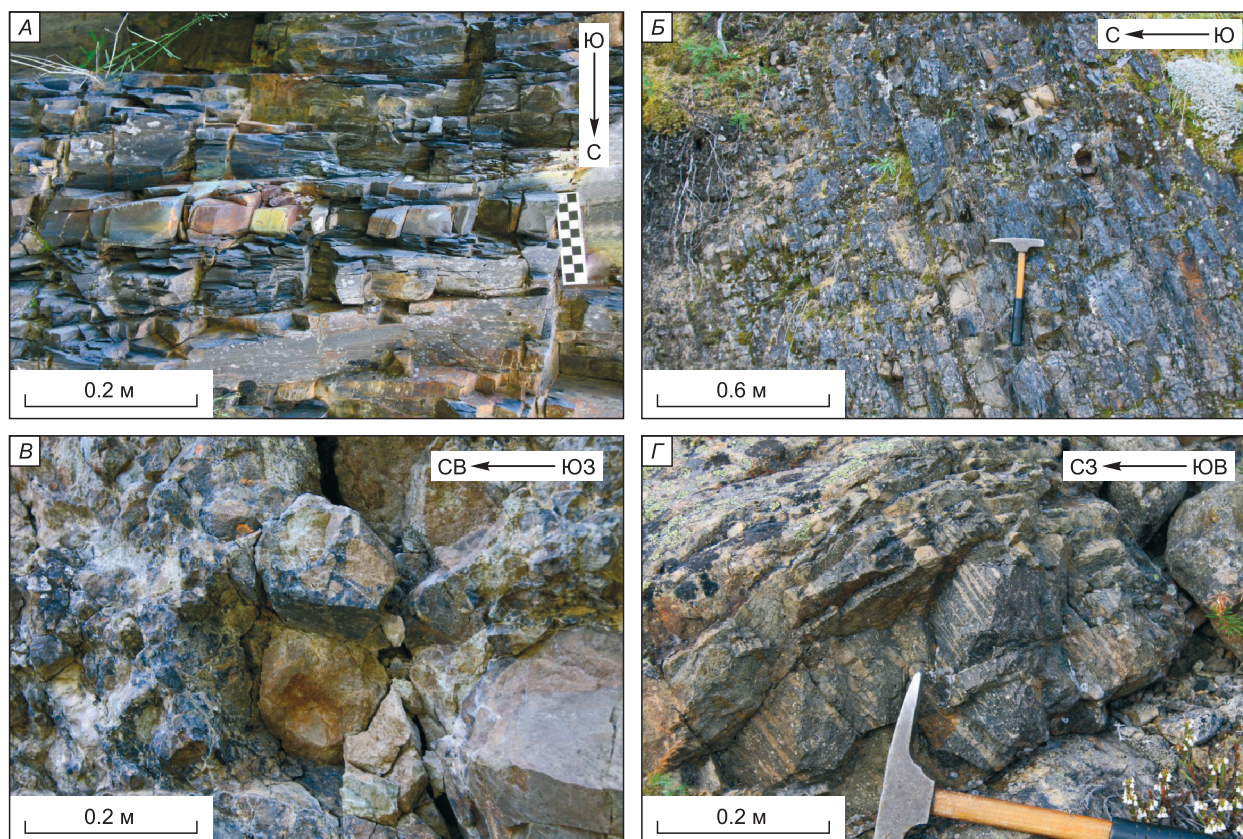


Рис. 2. Структуры «hummocky cross-stratification» в нижней толще средней юры (А); тонкое переслаивание песчаников, алевролитов и аргиллитов в терригенных породах средней толщи средней юры (Б); вулканическая брекчия в основании сумунской свиты верхней юры (В); туфы кислого состава в нижней части серганийской свиты верхней юры (Г).

Fig. 2. Hummocky cross-stratification (А) in lower part of Middle Jurassic; interbedded siltstone, sandstone, and cherty mudstone in clastic rocks of middle part of Middle Jurassic (Б); volcanic breccias at the base of Sumun Fm. of Upper Jurassic (В); felsic tuffs in the lower part of the Serganiya Fm. (Г).

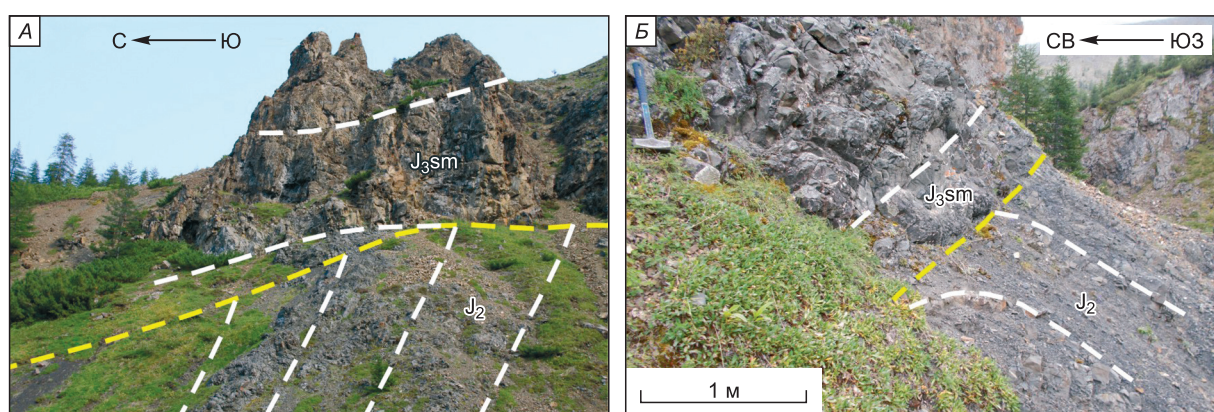


Рис. 3. Угловое несогласие между залегающими субвертикально терригенными среднеюрскими и полого залегающими вулканогенными верхнеюрскими породами. Штриховые линии: белая – слоистость, желтая – несогласие.

Fig. 3. Angular unconformity between subvertical Middle Jurassic clastic rocks and gently dipping Upper Jurassic volcanic rocks. Dashed lines: white – bedding, yellow – unconformity contact.

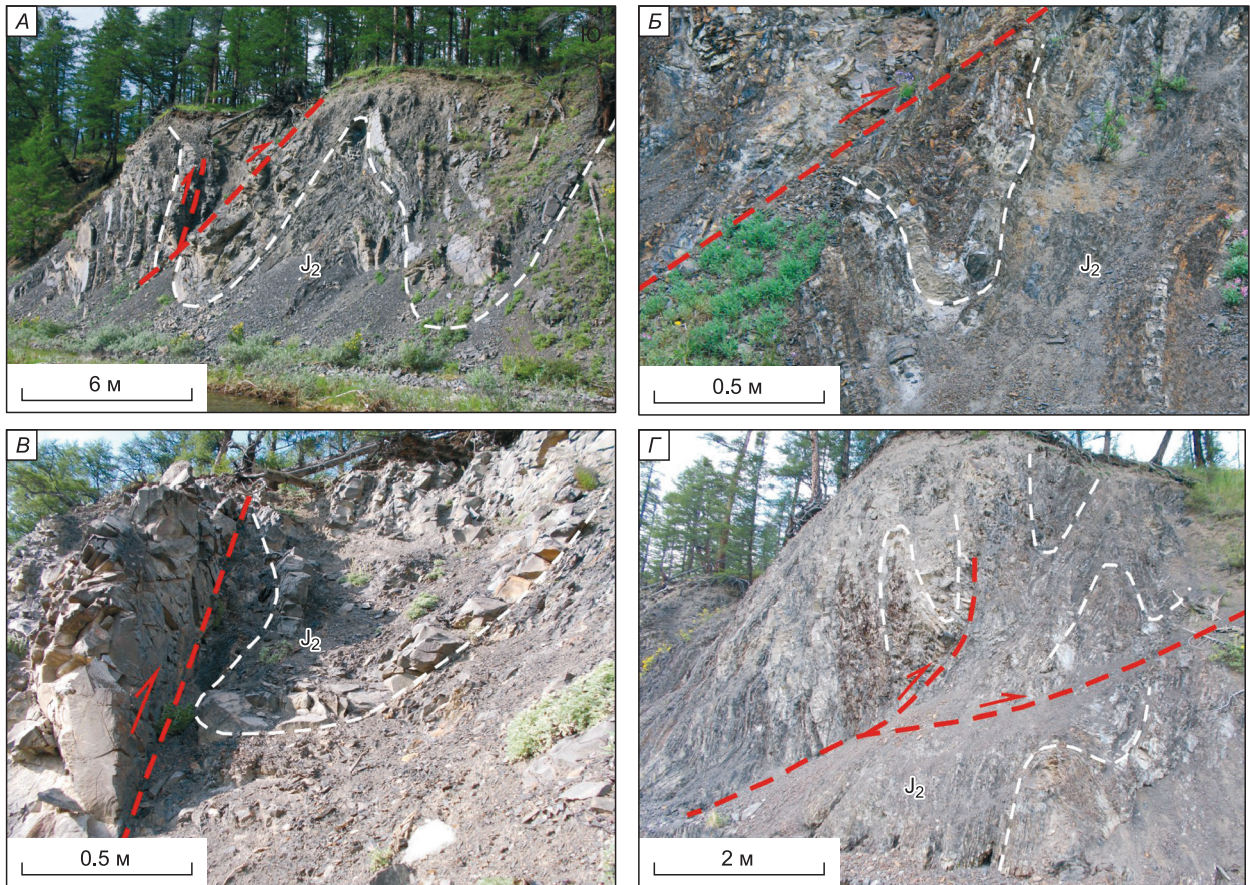


Рис. 4. Фотографии взаимоотношений складок и надвигов, наблюдаемых в среднеюрских породах на северо-восточном крыле Момонтайской синклинали. Штриховые линии: белая – слоистость, красная – разлом.

Fig. 4. Selected photo showing folds and thrusts observed in the Middle Jurassic rocks on NE limb of the Momontai syncline. Dashed lines: white – bedding, red – fault.

тые на юго-запад складки, вплоть до изоклинальных, что устанавливается по большой протяженности обнажений, в которых породы имеют опрокинутое залегание (рис. 4). Шарниры складок ориентированы как субгоризонтально, так и относительно круто (до 20–25°). Складчатость пород средней юры имеет северо-западное простирание, как и, в целом, основные структуры орогенного пояса (рис. 5, А). Кливаж встречается крайне редко и ориентирован конформно складчатости (рис. 5, Б). Кливаж непроникающий и отмечается только в прослоях алевролитов и аргиллитов; массивные прослои песчаников им не затронуты. Интенсивность складчатости увеличивается в восточном направлении. Ее вергентность преимущественно юго-западная.

Среднеюрские толщи прорваны субвулканическими телами риолитов и дацитов позднеюрского возраста (рис. 6).

Интенсивно деформированные породы средней юры перекрываются с описанным выше резким угловым несогласием полого залегающими верхнеюрскими вулканитами (см.рис. 3). Породы верхней юры, в свою очередь, деформированы в открытые складки шириной в несколько километров. Одна из таких антиклиналей шириной в несколько километров расположена в междуречье Ульбутакан–Прав. Ульбутакан–рч. Чара (рис. 7). Углы падения крыльев около 30°. Антиклиналь симметричная, цилиндрическая. Рассчитанная ось антиклинали субгоризонтальна (∠4°) и имеет субширотное (аз. пад. 273°) простирание (рис. 5, В).

Складчатость вулканитов ориентирована дискордантно по отношению к складкам средней юры. Таким образом, разделенные угловым несогласием породы средней и верхней юры деформированы по-разному, что свидетельствует

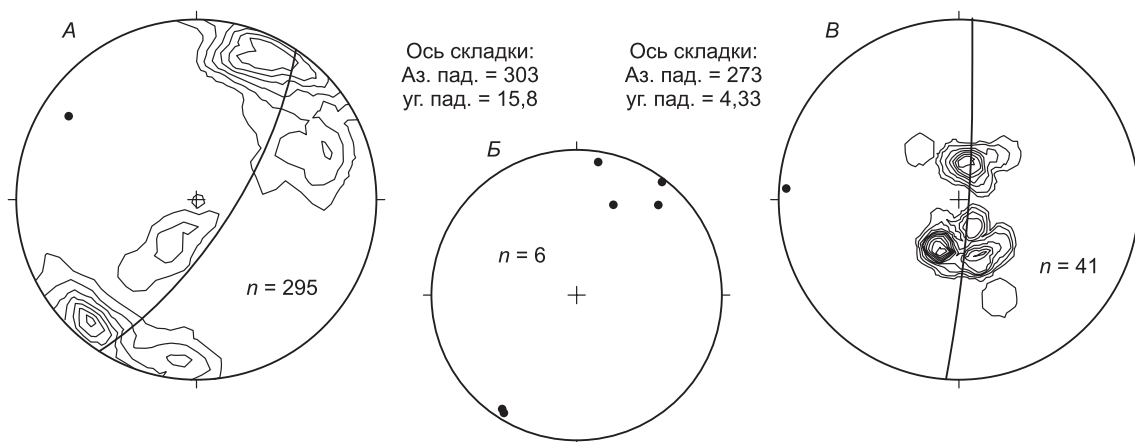


Рис. 5. Стереогаммы полюсов слоистости (А) и кливажа (Б) в среднеюрских терригенных породах и слоистости в верхнеюрских вулканогенных и вулканогенно-осадочных породах (В). Равноугольная проекция, нижняя полусфера; n – количество замеров.

Fig. 5. Diagram of pole to bedding of Middle Jurassic clastic rocks (А), to cleavage (Б) and to bedding of Upper Jurassic volcanic and volcanoclastic rocks (В). Equal-angle projection, lower hemisphere; n – number of measurements.

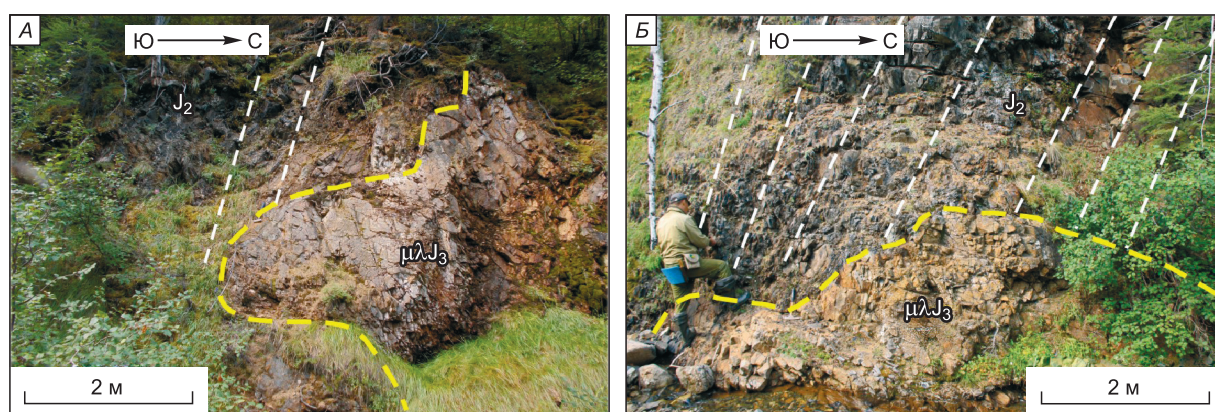


Рис. 6. Контакт позднеюрского субвулканического тела риолитов с субвертикально залегающим осадочными породами средней юры. Штриховые линии: белая – слоистость, желтая – контакт.

Fig. 6. Contact of a late Jurassic subvolcanic rhyolite body with subvertical sedimentary rocks of the Middle Jurassic. Dashed lines: white – bedding, yellow – contact.

о, по крайней мере, двух этапах деформаций, проявленных в этом районе.

Разломы

Из разломов, проявленных в среднеюрских отложениях, наиболее распространены надвиги и межпластовые срывы, простирание которых преимущественно северо-западное (рис. 8) [8, 9]. Однако, несмотря на общую юго-западную вергентность складчатости среднеюрских толщ, надвиги имеют как северо-восточное, так и юго-западное падения (рис. 9, А). Наблюдаемые амплитуды перемещения по ним оцениваются от

нескольких десятков сантиметров до первых десятков метров.

Отмечены левосторонние и правосторонние сдвиги зачастую с надвиговой и сбросовой составляющей. Простирание сдвигов меняется в широких пределах. Преобладают правосторонние сдвиги север-северо-восточного, реже восток-северо-восточного и север-северо-западного простирания (рис. 9, Б). Левосторонние сдвиги имеют в основном северо-восточное и, реже, северо-западное простирание (рис. 9, В). Ориентировка сдвигов позволяет предполагать, что они могут являться трансферными по отношению к

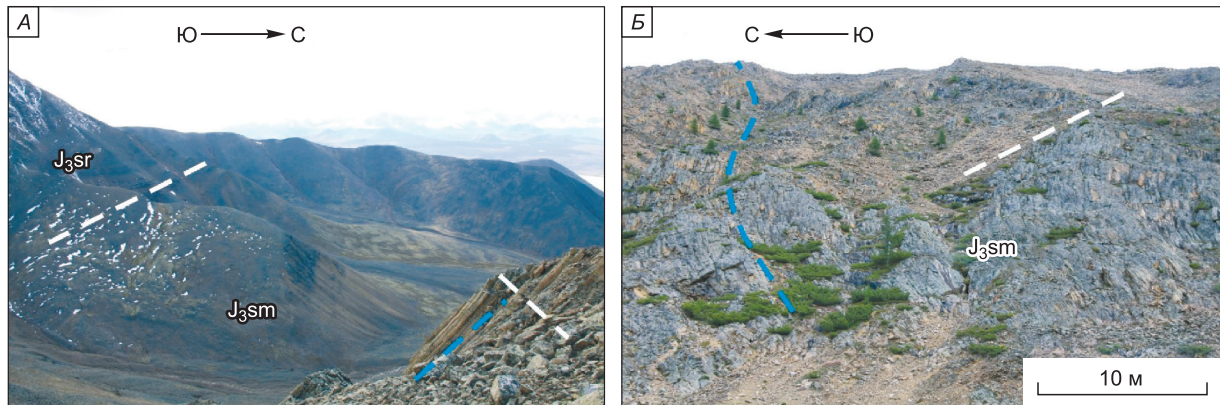


Рис. 7. Антиклиналь, в которую смяты верхнеюрские вулканогенные породы (А), столбчатая отдельность в вулканогенных породах серганийской свиты верхней юры (Б). Штриховые линии: белая – слоистость, синяя – столбчатая отдельность.

Fig. 7. Upper Jurassic volcanic rocks deformed into antnicle (А), columnar joints in volcanic rocks of the Upper Jurassic Serganiya Fm. (Б). Dashed lines: white – bedding, blue – columnar joints

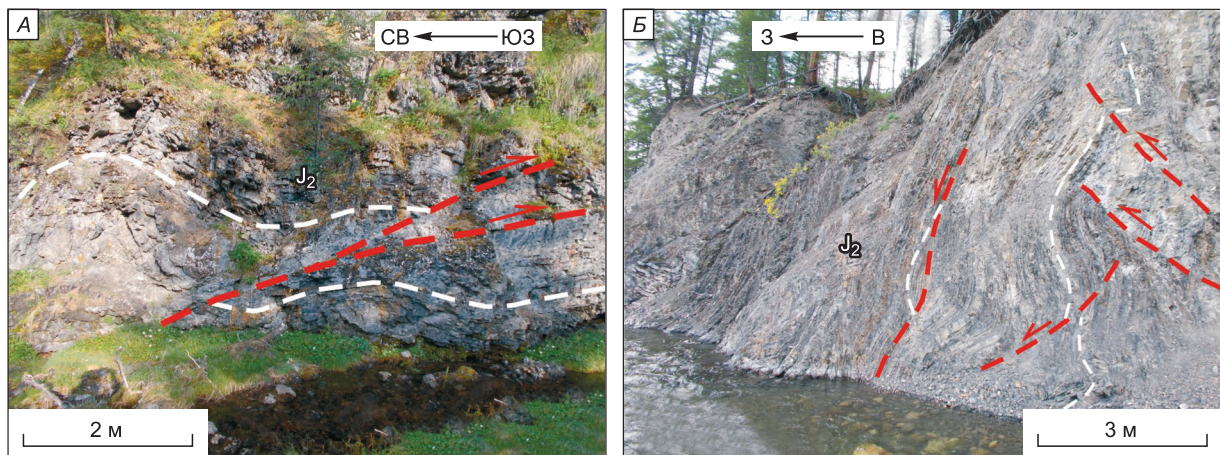


Рис. 8. Фотографии, иллюстрирующие взаимоотношения складок и надвигов, наблюдаемых в среднеюрских породах на северо-восточном крыле Момонтайской синклинали. Штриховые линии: белая – слоистость, красная – разломы.

Fig. 8. Selected photo showing folds and thrusts observed in the Middle Jurassic rocks on NE limb of the Momontai syncline. Dashed lines: white – bedding, red – fault.

надвиговым структурам. Амплитуду смещения по сдвигам оценить сложно.

Реже проявлены сбросы. Они имеют в основном север-северо-восточное и северо-западное простирание (рис. 9, Г). Наблюдаемые смещения по сбросам небольшие, до первых десятков сантиметров.

Разломы в вулканогенных породах верхней юры крайне редки. Они представлены в основном надвигами (рис. 10), реже сдвигами и сбросами. Простирание надвигов в основном субширотное (рис. 9, Д).

Тектоническая трещиноватость наиболее проявлена в вулканогенных породах верхней юры. Ее простирание меняется в очень широких пределах. Преобладающим направлением является север-северо-восточное (рис. 9, Е).

Оси палеонапряжений

С использованием замеров элементов залегания плоскостей разломов и ориентировок штрихов на их зеркалах скольжения были рассчитаны оси сжатия и растяжения по методике [10]. Всего использовалось 23 замера надвигов, 30 сдви-

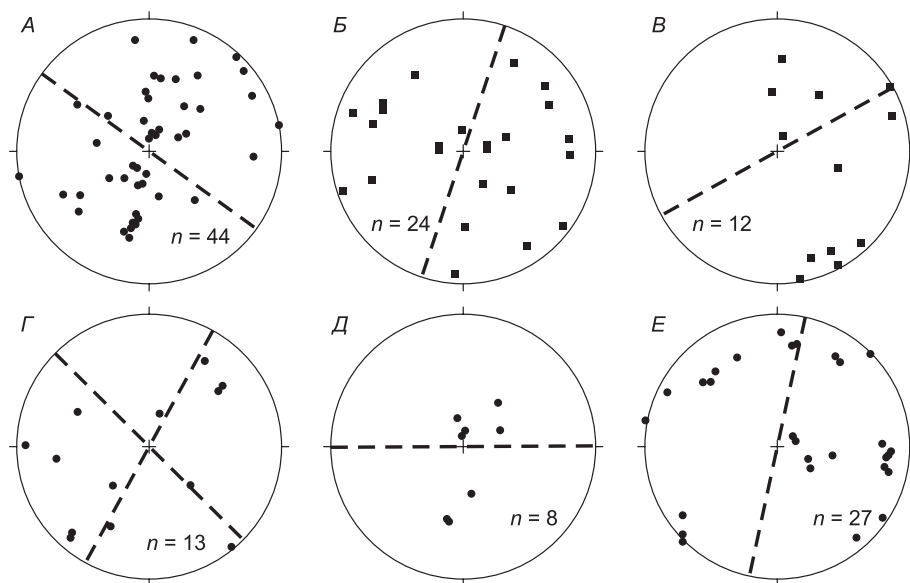


Рис. 9. Стереограммы полюсов разрывных нарушений.

A – надвиги, *Б* – правые сдвиги, *В* – левые сдвиги, *Г* – сбросы, *Д* – надвиги в вулканогенных верхнеюрских толщах, *Е* – тектоническая трещиноватость в вулканогенных толщах. Штриховой черной линией показано преобладающее простира-ние разломов (равноугольная проекция, нижняя полусфера; *n* – количество замеров).

Fig. 9. Pole to faults diagrams.

A – thrust, *Б* – dextral strike-slip fault, *В* – sinistral strike-slip fault, *Г* – normal fault, *Д* – thrusts in Upper Jurassic volcanogenic rocks, *Е* – tectonic jointing in volcanogenic rocks. Black dashed line shows dominant trend of faulting (equal-angle projection, lower hemisphere; *n* – number of measurements)

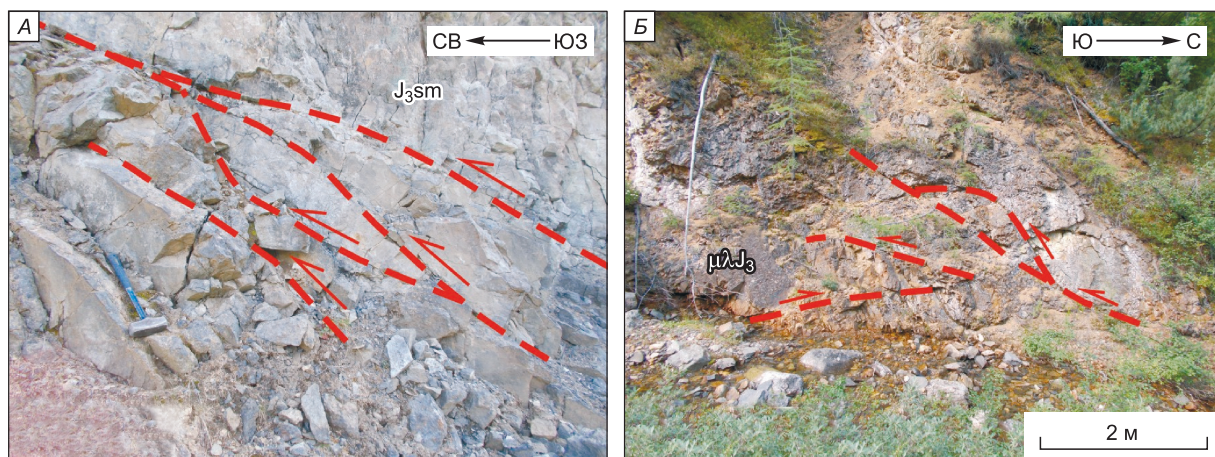


Рис. 10. Фотографии надвигов, наблюдаемых в верхнеюрских вулканогенно-осадочных (*A*) и субвулканических (*Б*) породах.

Красная штриховая линия – разломы.

Fig. 10. Selected photos showing thrusts observed in the Upper Jurassic volcanoclastic (*A*) and subvolcanic (*Б*) rocks. Dashed red line – faults.

гов и 5 сбросов [11]. Результаты показаны в таб-лице. Участки наблюдений показаны на рис. 1.

Установлено, что оси сжатия на всех участках, в целом, близко ориентированы, имеют пологий наклон ($\angle 7-22^\circ$) и северо-восточное (аз. $45-63^\circ$)

простираение. Несколько отличается ориентиров-ка оси сжатия, рассчитанной для участка 4. Здесь она наклонена ($\angle 12^\circ$) на север-северо-восток (аз. 20°). Оси растяжения, рассчитанные для всех участков, наклонены круто ($\angle 55-77^\circ$) (рис. 11).

**Рассчитанная ориентировка осей палеонапряжений
на северо-восточном крыле Момонтайской синклинали**

Estimated orientation of stress field axes on NE limb of the Momontai syncline

Участки наблюдений Areas	Кол-во замеров <i>n</i>	Оси палеонапряжений Stress field axes					
		растяжения (1) tension (1)		промежуточная (2) intermediate (2)		сжатия (3) compression (3)	
		Ориентировка Orientation					
		Азимут Azimuth	∠ Angle	Азимут Azimuth	∠ Angle	Азимут Azimuth	∠ Angle
1	3	167,5	77,0	313,4	10,9	44,8	7,1
2	15	284,6	61,8	145,1	22,2	48,1	16,5
3	5	252,8	71,7	153,3	3,1	62,3	18,0
4	17	79,0	67,4	293,7	18,9	199,6	12,0
5	18	7,1	54,7	141,3	26,3	242,7	21,8

Таким образом, рассчитанные оси сжатия для тектонических структур северо-восточного крыла Момонтайской синклинали ориентированы почти ортогонально к простиранию складчатости первого этапа деформаций.

Заключение

Впервые для этого района обнаружено резкое угловое несогласие между интенсивно деформированными породами средней юры и верхнеюрскими вулканитами.

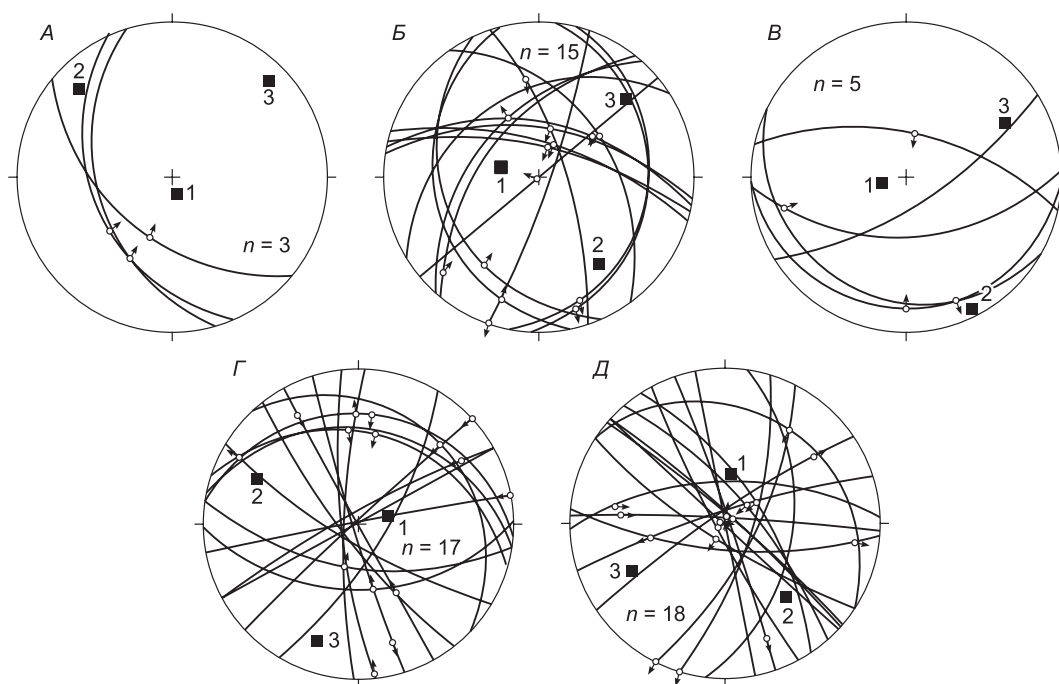


Рис. 11. Стереограммы с вычисленными осями палеонапряжений.

Точки наблюдений: А – 1, Б – 2, В – 3, Г – 4, Д – 5. Стрелка показывает направление движения висячего крыла разлома (равноугольная проекция, нижняя полусфера; n – количество замеров).

Fig. 11. Faults & striae data diagrams.

Areas: А – 1, Б – 2, В – 3, Г – 4, Д – 5. Arrow shows sense of motion of the hanging wall of fault (equal-angle projection, lower hemisphere; n – number of measurements).

Установлены два этапа деформаций. Сложная напряженная складчатость среднеюрских терригенных отложений имеет северо-западное простирание, тогда как наложенные простые крупные открытые складки, в которые смяты вулканогенно-осадочные толщи верхней юры, ориентированы в субширотном направлении.

Установлено, что структурный парагенезис, представленный межслоевыми срывами, надвигами, сбросами и сдвигами, был образован в едином поле напряжений со складчатостью первого этапа деформаций.

Определено, что накопление изученных среднеюрских отложений происходило в прибрежных шельфовых обстановках осадконакопления, изменяющихся временами на дельтовые. Наличие в конгломератах и песчаниках крупных слабо окатанных обломков кварцитов и карбонатных пород, а также галек аргиллитов и вулканитов указывает на близкие источники сноса кластики.

Таким образом, в конце средней юры или в начале поздней юры в регионе произошла интенсивная складчатость, приведшая к формированию современного структурного плана северо-западного простирания. Накопление позднеюрских вулканогенных пород и внедрение субвулканических образований происходило уже на/в деформированные отложения средней юры.

Литература

1. Прокопьев А.В., Дейкуненко А.В. Деформационные структуры складчато-надвиговых поясов // Тек-

тоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / Под ред. Л.М. Парфенова, М.И. Кузьмина. М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. С. 156–198.

2. Васькин А.Ф., Петухов В.В., Шпикерман В.И. (ред). Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (Третье поколение). Лист Р-55. Сусуман. Объяснительная записка. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2016.

3. Ажгирей Г.Д. Структурная геология. М.: Изд-во МГУ, 1956. 493 с.

4. Тевелев А.В. Структурная геология и геологическое картирование. Курс лекций. Учебно-методическое пособие. Тверь: ГЕРС, 2011. 292 с.

5. Родыгин А.И. Азимутальные проекции в структурной геологии. Томск: Изд-во ТГУ. 1992. 136 с.

6. Гайдук В.В., Прокопьев А.В. Методы изучения складчато-надвиговых поясов. Новосибирск: Наука, 1999. 160 с.

7. Родыгин А.И. Методы стрейн-анализа. Учебное пособие. Издание второе, исправленное и дополненное. Томск: Изд-во ТГУ, 2006. 168 с.

8. Прокопьев А.В., Фридовский В.Ю., Гайдук В.В. Разломы (морфология, геометрия, кинематика). Якутск: ЯФ Изд-ва СО РАН, 2004. 148 с.

9. Кирмасов А.Б. Основы структурного анализа. М.: Научный мир, 2011. 368 с.

10. Marrett R., Allmendinger R. Kinematic analysis of fault-slip data // Journal of Structural Geology. 1990. Vol. 12. P. 973–986.

11. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. М.: Наука, 1975. С. 376–535.

Поступила в редакцию 06.08.2020

Принята к публикации 14.10.2020

Об авторах

ВАСИЛЬЕВ Дмитрий Анатольевич, научный сотрудник, Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 39, Россия, <http://orcid.org/0000-0003-1201-3805>, juorankhay@mail.ru;

ЕРМАКОВ Николай Николаевич, младший научный сотрудник, Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 39, Россия, allforforest@mail.ru;

ПРОКОПЬЕВ Андрей Владимирович, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, заведующий лабораторией, Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 39, Россия <http://orcid.org/0000-0003-0985-9535>, prokopiev@diamond.ysn.ru.

Информация для цитирования

Васильев Д.А., Ермаков Н.Н., Прокопьев А.В. Тектоника юго-восточного фланга Иньяли-Дебинского синклинория (Верхояно-Колымская складчатая область) // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2020, Т. 25, № 4. С. 30–41. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-4-2>

Tectonic structures of the southeastern flank of the In'yali-Debin synclinorium (the Verkhoyansk-Kolyma orogenic region)

D.A. Vasiliev*, N.N. Ermakov, A.V. Prokopiev**

Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, Yakutsk, Russia

**juorankhay@mail.ru*

***prokopiev@diamond.ysn.ru*

Abstract. The paper reports the results of research conducted in the southeastern flank of the In'yali-Debin synclinorium located in the central part of the Verkhoyansk-Kolyma folded area. The main tectonic structure here is the Momontai syncline composed of Middle Jurassic clastic rocks. The syncline is unconformably overlain by the Late Jurassic volcanic and volcanoclastic rocks of the Uyandina-Yasachnaya volcanic arc. A sharp angular unconformity between the intensely deformed Middle Jurassic rocks and Upper Jurassic volcanics is described for the first time in this region. Two deformation stages are recognized. The compressive complex folding of Middle Jurassic clastic rocks has a NW strike, while the superposed large simple open folds of Upper Jurassic volcanoclastic strata are WE-oriented. The first-stage deformation is represented by tight asymmetric, concentric, cylindrical, rarely conical folds. Large, sometimes isoclinal folds overturned to SW are described. Compression and tension axes were calculated using the measurements of the orientation of fault planes and striae on the slickensides. The compression axes determined for tectonic structures of the NE limb of the Momontai syncline are almost normal to the strike of folds of the first deformation stage. Thus, it is established that the structural paragenesis including bedding-plane detachment faults, thrusts, normal faults, and strike slips was formed in the single stress field together with the development of folds of the first deformation stage. Accumulation of the studied Middle Jurassic rocks occurred in near-shore shelfal environments of sedimentation, sometimes changing to deltaic ones. The conglomerates and sandstones contain large, poorly rounded boulders of quartzite and limestone, as well as pebbles of mudstone and volcanic rocks, which is indicative of the proximity of clastics provenances. In the late Middle Jurassic or the early Late Jurassic, this part of the In'yali-Debin synclinorium underwent intense folding of NW strike. Accumulation of Late Jurassic volcanogenic rocks of the Uyandina-Yasachnaya arc and intrusion of subvolcanic rocks took place on/into the already deformed Middle Jurassic strata. Folding of the second deformation stage occurred in post-Late Jurassic time.

Key words: tectonics, In'yali-Debin synclinorium, Momontai syncline, folds, faults, paleostress axis, angular unconformity, deformation.

Acknowledgements. The study was completed in the framework of scientific research work at DPMGI SB RAS, and with support from RFBR (grant 19-05-00945).

References

1. Prokopiev A.V., Deikunenko A.V. The deformation of fold-and-thrust belts Deformatsionnye struktury skladchato-nadvigovykh poyasov // Tectonica, geodynamica i metallogeniya territorii Respubliki Sakha (Yakutia) / Pod red. L.M. Parfenova, M.I. Kuzmina. Moscow: MAIK «Nauka/Interperiodica», 2001. P. 156–198.
2. Vas'kin A.F., Petukhov V.V., Shpikerman V.I. (Ed.). Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1:1 000 000 (Tret'e pokolenie). List P-55. Susuman. Ob'yasnitel'naya zapiska. SPb: VSEGEI Press, 2016.
3. Azhgirey G.D. Struktural'naya geologiya. Izd-vo MGU, 1956. 493 p.
4. Tevelev A.V. Struktural'naya geologiya i geologicheskoe kartirovanie. Kurs lektsiy. Uchebno-metodicheskoe posobie. Tver: GERS, 2011. 292 p.
5. Rodygin A.I. Azimutal'nye proektsii v struktural'noy geologii. Tomsk: Izd-vo TGU, 1992. 136 p.
6. Gaiduk V.V., Prokopiev A.V. Metody izucheniya skladchato-nadvigovykh poyasov. Novosibirsk: Nauka, 1999. 160 p.
7. Rodygin A.I. Metody streyn-analiza. Uchebnoe posobie. Izdanie vtoroe, ispravlennoe i dopolnennoe. Tomsk: TGU. 2006. 168 p.

8. Prokopiev A.V., Fridovskiy V.Yu., Gayduk V.V. Razlomy (morfologiya, geometriya, kinematika). Yakutsk: YaF Izd-va SO RAN, 2004. 148 p.
9. Kirmasov A.B. Osnovy strukturnogo analiza. Moscow: Nauchnyi mir, 2011. 368 p.
10. Marrett R., Allmendinger R. Kinematic analysis of fault-slip data // Journal of Structural Geology. 1990. Vol. 12. P. 973–986.
11. Gzovskiy M.V. Osnovy tektonofiziki. Moscow: Nauka, 1975. P. 376–535.

About the authors

VASILIEV Dmitry Anatolyevich, researcher, Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenina pr., Yakutsk 677980, Russia,
<http://orcid.org/0000-0003-1201-3805>, juorankhay@mail.ru;

ERMAKOV Nikolay Nikolaevich, junior researcher, Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenina pr., Yakutsk 677980, Russia,
allforforest@mail.ru;

PROKOPIEV Andrey Vladimirovich, candidate of geological and mineralogical sciences, Associate Professor, Head of Laboratory, Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenina pr., Yakutsk 677980, Russia,
<http://orcid.org/0000-0003-0985-9535>, prokopiev@diamond.ysn.ru.

Citation

Vasiliev D.A., Ermakov N.N., Prokopiev A.V. Tectonic structures of the southeastern flank of the In'yali-Debin synclinorium (the Verkhoyansk-Kolyma orogenic region) // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2020, Vol. 25, No. 4. pp. 30–41. (In Russ.) <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-4-2>

Конвергентные минералогические особенности силикатных магматических и карбонатитовых пород Томторского массива на северо-востоке Сибирской платформы

А.В. Округин, А.И. Журавлев

Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, Якутск, Россия

okrugin@diamond.ysn.ru; ai.zhuravlevgeo@gmail.com

Аннотация. Приводится сравнительный анализ типоморфных особенностей минералов разных типов силикатных пород и карбонатитов Томторского массива с целью установления их конвергентных признаков. Чтобы исключить взаимное воздействие друг на друга пород, сформировавшихся в разное время, для изучения отобраны пробы из разных разрозненных самостоятельных трубочных тел мельтейгитов, пластового тела щелочных пикритов и секущей дайки карбонатита, расположенных южнее Томторского массива, а также из неизменных нефелиновых сиенитов с южной окраины массива. Показано, что среди породобразующих и акцессорных минералов, в том числе и редкометалльных рудных минералов разных силикатных магматических пород и карбонатитовых образований выявляются интересные конвергентные особенности. Такими особенностями обладают как породобразующие минералы – пироксены, слюды, полевые шпаты, фельдшпатоиды, гранаты, так и основные и редкие карбонаты, окисно-рудные минералы, в том числе хромсодержащие шпинелиды, а также сульфидные и другие экзотические фазы. Новые данные по типоморфным особенностям минералов подтверждают полученные нами ранее данные по выделению пяти кластеров по ассоциации петрогенных и ряда рудных компонентов среди пород Томторского массива. Наиболее интересным нюансом в этом плане оказалось подтверждение сближения группы явных высокотемпературных раннемагматических элементов – MgO , Cr и Ni с группой CaO , CO_2 , H_2O , P_2O_5 и Y – компонентов, образующих карбонатитовые дериваты. Например, наличие высокохромистых шпинелидов в щелочных пикритах и в карбонатитах указывает на сквозной характер формирования хромистых фаз в данных породах. Подобные исследования помогут раскрыть минералогические критерии генетического родства между силикатными расплавами и связанными с ними карбонатитовыми дериватами, которые могут формировать богатые редкими элементами оруденения.

Ключевые слова: щелочно-ультраосновные породы, мельтейгиты, щелочные пикриты, сиениты, карбонатиты, месторождения редких элементов, Томторский массив.

Благодарности. Авторы благодарят коллег, принимавших участие в выполнении полевых, лабораторных, аналитических работ и способствовавших проведению данных исследований. Работа выполнена в рамках НИР ИГАБМ СО РАН (№ 0381-2019-0003).

Введение

Томторский массив не только является уникально богатым редкометалльным месторождением, представляющим огромный стратегический интерес, но и относится, по своему геологическому и петрографическому строению, к одному из сложных объектов, требующих детальных научных изысканий. Подобные рудно-магматические комплексы могут быть источниками не только месторождений редких элементов, но и благородных металлов, образующих, по наше-

му мнению, широко распространенные в данном районе площадные комплексные золото-платиновые россыпепроявления. В предыдущей нашей статье [1] были даны результаты предварительных исследований петрохимических особенностей силикатных пород Томторского массива, представленных фойдолитами, нефелиновыми сиенитами, мелкими секущими телами щелочно-ультраосновных пород, а также жильными и линзовидными телами силикатно-апатит-магнетитовых пород – камафоритов, а так-

же были сделаны из них некоторые петрогенетические выводы.

Данная статья является продолжением вышеуказанной работы и посвящена сравнительному рассмотрению минералогических особенностей типичных силикатных магматитов и карбонатитовых пород Томторского массива с целью выявления конвергентных признаков среди этих разных петротипных, но генетически взаимосвязанных пород.

Методика исследований

Классификация щелочных ультраосновных пород, кимберлитов и карбонатитов севера Сибирской платформы, проводившаяся еще первыми их исследователями [2–5], продолжает видоизменяться [6–13; и др.]. Предлагается много вариантов разделения такой ассоциации петрогеохимически и минералогически родственных пород: от традиционного выделения двух автономных формаций – щелочно-ультраосновной с карбонатитами и кимберлитовой до их размежевания на множества по разным фаціальным, вещественным и другим признакам. Не дискутируя по этой сложной проблеме, мы пока придерживаемся точки зрения по [10, 13] о тройственном разделении карбонатит-кимберлитового формационного сообщества на 1 – алмазоносные кимберлиты; 2 – кимберлитоподобные пикрит-альпийские породы (альпикриты), ассоциирующие с редкометалльными карбонатитами, и 3 – неалмазоносные и убогоалмазоносные кимберлиты, нередко называемые пикритами или пикритовыми порфиритами («кимпикритами») по [3].

Такой подход импонирует нам тем, что использование понятия «кимберлит» *sensu stricto* (в узком смысле) ограничивает применение этого таксона областью алмазоносных пород, содержащих и минералы-спутники алмаза, что имеет важное прогнозно-минералогическое и генетическое значение. Еще А.Н. Заварицкий в своем знаменитом труде «Изверженные горные породы» [14] отметил, что за основание классификации горных пород должны браться не произвольно выбранные признаки, а важнейшие – характеризующие способ образования и происхождение этих природных объектов. Но в этом уяснении наблюдаемых признаков с их генетическими аспектами заключается, разумеется, и главная сложность естественной классификации. Поэтому совершенствование петрохимических и минералогических критериев размежевания потенциально алмазоносных

магматитов (типичных кимберлитов) от неалмазоносных кимпикритов, альпикритов и других конвергентных кимберлитам пород по [13], которые формируются в иных физико-химических условиях, является одной из актуальных задач в области исследования платформенного щелочно-ультраосновного магматизма, включающего как алмазоносную, так и редкометаллоносную формации. Это позволит найти для Томторского массива определенное место, полностью характеризующее его как единый целостный объект, обладающий редкометаллоносной специализацией. Поиски в составе данного массива признаков проявлений других формаций, например алмазоносных лампроитов, может привести не только к классификационной путанице, но и к ошибкам с практически-прогностической точки зрения.

Химический состав минералов изученных нами пород Томторского массива определялся на микрозондовом анализаторе Camebax-Micro французской фирмы Самеса, а их микроструктурные взаимоотношения изучались на сканирующем микроскопе JSM-6480LV японской фирмы JEOL в лаборатории рентгеноспектральных методов анализа в ИГАБМ СО РАН, аналитики: Христофорова Н.В., Журавлев А.И. В качестве эталонов применялись стандартизированные минералы, чистые металлы и их сплавы. Химический анализ силикатных пород выполнялся в отделе физико-химических методов анализа ИГАБМ СО РАН под руководством Л.Т. Галенчиковой. Ввиду сильной измененности некоторых силикатных пород и карбонатитов Томторского массива был выполнен их рентгенофазовый анализ на дифрактометре D2 PHASER фирмы Bruker (Германия), CuK_α -излучение, 30 Кв, 10 Ма, аналитики Емельянова Н.Н. и Тронина Т.Ф. Идентификация минеральных фаз выполнена Заякиной Н.В. с использованием базы данных PDF 2.

Минералого-петрографические особенности пород Томторского массива

Данные о геологическом строении и составе пород, в особенности, карбонатитовых образований Томторского массива приводятся в работах многих исследователей [11, 15–20] и хорошо известны широкому кругу геологов. Как было отмечено выше, мы здесь постараемся показать некоторые конвергентные минералогические особенности силикатных магматических пород и карбонатитовых образований, которые могут служить критерием оценки генетического родства

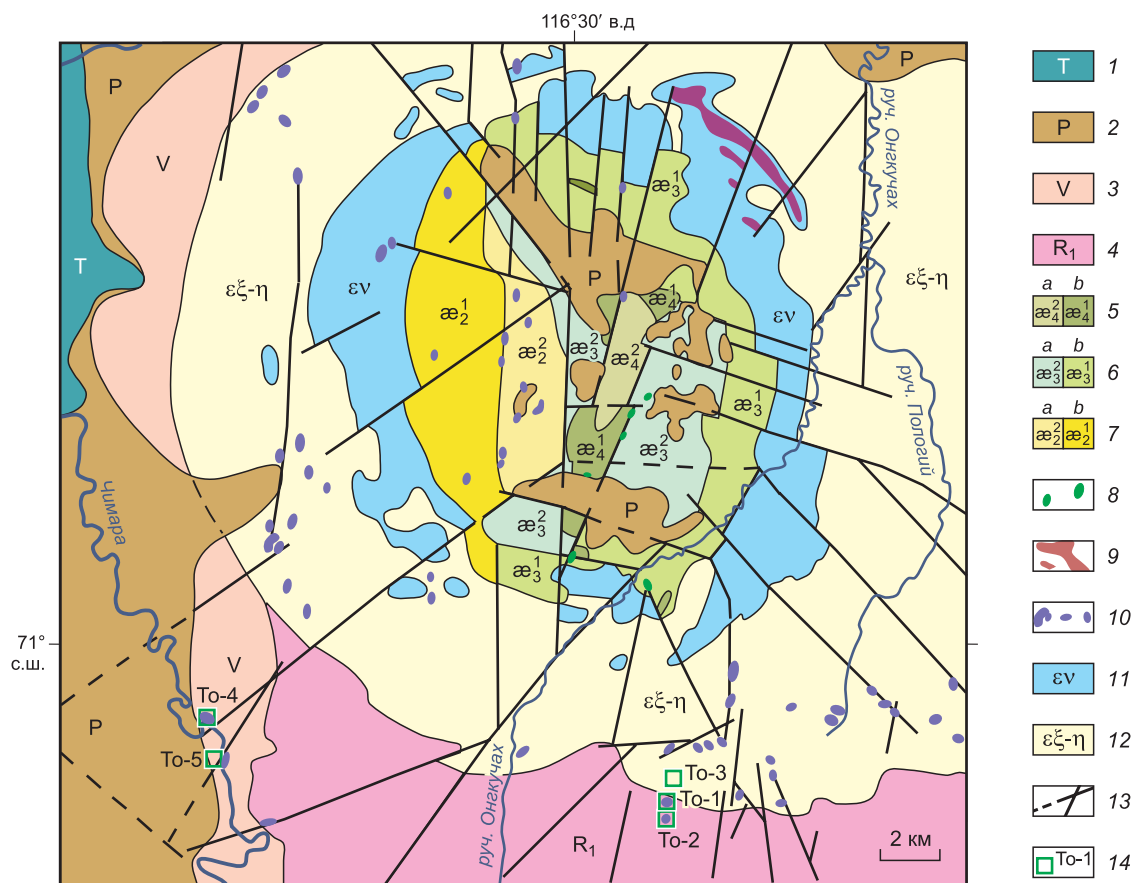


Рис. 1. Схематическая геологическая карта фрагмента Томторского массива по [10].

1 – нижнетриасовые туфы, лавы платобазальтов; 2 – пермские конгломераты, гравелиты, песчаники, алевролиты, угли; 3 – песчаники, гравелиты, алевролиты венда; 4 – доломиты, сланцы, алевролиты, песчаники улахан-курунгской свиты рифея; 5–7 – карбонатитовый комплекс: 5а – карбонатиты редкометалльные (анкеритовые), 5б – анкерит-шамозитовые породы, 6а – карбонатиты редкометалльные, 6б – апатит-микроклин-слюдистые породы, 7а – кальцитовые и доломит-кальцитовые карбонатиты, 7б – кальцит-микроклин-слюдистые породы; 8 – карбонатитовые брекчии; 9 – камафориты; 10 – мелкие секущие тела щелочно-ультраосновных пород; 11 – фойдолиты; 12 – щелочные и нефелиновые сиениты; 13 – разломы; 14 – места отбора исследованных образцов.

Fig. 1. Schematic geological map of the Tomtor massif [10].

1 – lower Triassic tuffs, lavas of plateau basalt; 2 – Permian conglomerates, gravelites, sandstones, silt-shales, coals; 3 – Vendian sandstones, gravelites, silt-shales; 4 – dolomites, shales, silt-shales, sandstones of Ulakhan-Kurug formation of Vendian; 5–7 – carbonatite complex: 5a – rare-metal carbonatites (ankerite), 5b – ankerite-chamosite rocks, 6a – rare-metal carbonatites, 6b – calcite-microcline-mica rocks, 7b – calcite and dolomite-calcite carbonatite, 7b – calcite-microcline-mica rocks; 8 – carbonatite breccias, 9 – kamaforites; 10 – small cross bodies of alkaline-ultrabasic rocks; 11 – foidolites; 12 – alkaline and nepheline syenites; 13 – fault; 14 – sampling sites.

между типичными силикатными магмами и карбонатным магматическим расплавом. Но к возможности существования последнего, несмотря на непосредственные факты излияния карбонатной лавы из вулканов, некоторые исследователи относятся с недоверием – от полного отрицания до паллиативного (двойственного) варианта образования карбонатитов, например, магматогенно-метасоматическим или гидротермально-метасоматическим путем.

В связи с этим, для чистоты эксперимента, чтобы исключить следы взаимовоздействия силикатного и карбонатитового расплавов, проявленного интенсивно в центральной части массива, мы ограничились изучением самостоятельных мелких секущих тел, расположенных в непосредственной близости от самого массива (рис. 1). Изученные трубчатые тела (То-1 и То-2) мельтейгитов прорывают отложения рифея в непосредственной близости (200–500 м) от юж-

Составы изученных проб из пород Томторского массива

Table 1

Compositions of studied samples from rocks of Tomtor massif

Проба	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁺	CO ₂	п.п.п.	Сумма
То-1-2	33,72	3,23	11,36	7,86	3,37	0,23	7,44	16,75	3,40	2,33	0,89	4,54	3,76	0,69	99,57
То-2-1	31,70	2,73	11,79	5,19	4,83	0,32	5,75	15,65	4,84	2,91	1,26	5,71	5,95	0,46	99,09
То-3-1	49,50	0,76	19,37	4,74	1,41	0,21	1,47	3,07	7,42	3,48	0,06	5,50	2,33	0,18	99,50
То-4-2	31,25	2,87	8,38	10,29	5,82	0,18	15,18	11,12	0,63	2,57	1,22	4,45	5,37	0,65	99,98
То-5-1	14,12	1,86	5,17	6,71	7,18	0,34	4,99	29,23	0,21	0,82	1,25	2,60	24,96	0,50	99,94

ного контакта массива. Возраст трубки То-2, определенный $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом по флогопиту, составляет $379,4 \pm 3$ млн лет [1], в то время как становление самого Томторского массива и карбонатитов в основном охватывало венд-позднерифейское и среднедевонское время [15, 21, 22; и др.]. В 0,5 км севернее от этих тел, с южной окраины массива для изучения был отобран образец свежих нефелиновых сиенитов (То-3-1). Пластовое тело щелочных пикритов (То-4) изучено в обрыве правого берега р. Чимара в 2 км юго-западнее от массива, а недалеко от этого тела на левом берегу частично обнажается вертикальное дайкообразное (?) секущее тело (То-5) карбонатитов (см. рис. 1). Присутствие по р. Чимара жильных карбонатитов мощностью 1–4,5 м и сопровождающих их даек карбонитизированных альнеитов более древнего возраста было установлено в 60-е годы в 5–30 км к югу от Томторского массива, они маркируют глубинный разлом субмеридионального простирания, контролирующей массивы Томтор и Богдо, и соответственно расширяют возможность прогнозирования сателлитовых тел [9].

Составы изученных образцов показаны в табл. 1. В описанных телах не наблюдается следов вторичных наложенных процессов, что позволяет установить некоторые интересные конвергентные минералогические особенности между силикатными магматическими и карбонатитовыми породами, свидетельствующие об их глубинном генетическом родстве. Рассмотрев многие варианты диаграмм компонентного состава щелочных ультраосновных пород, кимберлитов и карбонатитов, мы для сравнительно анализа этих пород предлагаем следующую М–S–C–H₂O диаграмму (рис. 2). Ее тройная система построена в координатах: М – фемических (мафических) компонен-

тов ($\text{MgO} + \text{FeO}_{\text{tot}} + \text{MnO} + \text{TiO}_2 + \text{P}_2\text{O}_5$); S – щелочно-сиалических составляющих ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) и C – летучих компонентов ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$) и CaO. Она напоминает диаграмму А. Холмса [23], но мы переместили CaO из фемической вершины к летучим компонентам, чтобы более контрастно оттенить роль карбонатитовой составляющей от фемических. Это позволяет более наглядно демонстрировать три основных тренда изменения состава пород – магнезиальную (М), щелочно-сиалическую (А) и карбонатитовую (К).

Нижняя двойная система ($\text{CaO} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$) – H₂O показывает роль воды в составе летучих. С повышением CaO в карбонатитах содержание воды постепенно снижается и ближе к вершине (С) ее количество практически сводится к нулю, т. е. в существенно кальцитовых карбонатитах роль воды ничтожна. С повышением доли других петрогенных оксидов в интрузивных карбонатитах содержание воды постепенно возрастает и поля составов карбонатитов примыкают к кимберлитам. Повышенное содержание воды характерно для кимберлитов и меймечитов, обычно 4–10 мас. %, реже достигая 13–14 мас. %. Это выражается в широком развитии водных минералов в указанных породах, в особенности, серпентинизации оливинов. В карбонатитовых брекчиях Восточного Прианабарья [6], щелочных базальтоидах [24], мелилитовых породах [5] и оливинитах из кольцевых массивов [25] Маймеча-Котуйской провинции, а также в сиенитах Томторского массива содержание воды редко превышает 4 %.

Мы предполагаем [1], что исходный расплав магматитов Томторского массива был близок пикритовым порфиридам Гулинского массива, фракционная дифференциация которых при осаждении оливина и хромшпинелида по [25] приво-

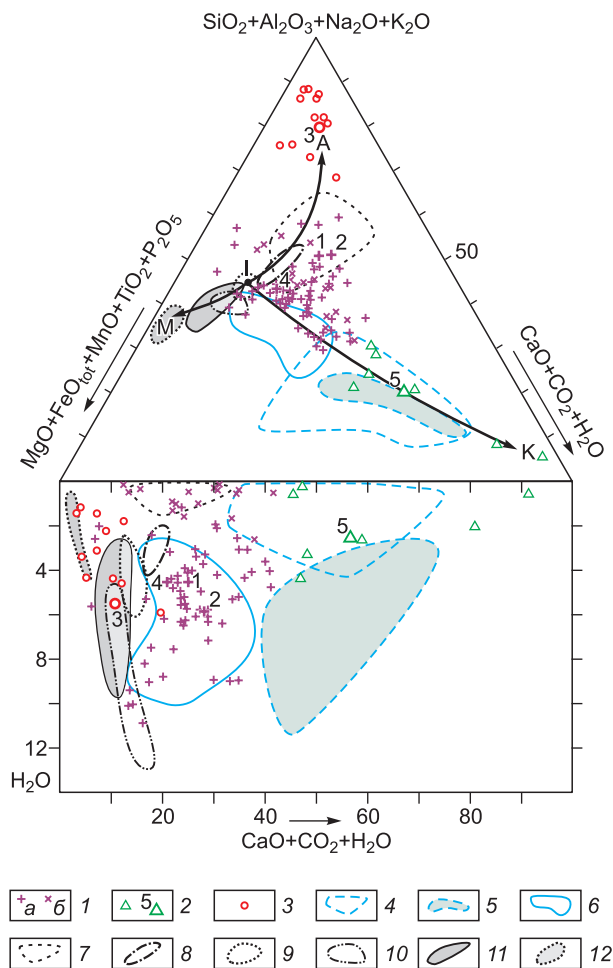


Рис. 2. Составы пород щелочных, ультраосновных, кимберлитовых и карбонатитовых комплексов на севере Сибирской платформы на диаграмме М–S–C–H₂O (мас. %). 1–3 – Томторский массив: 1 – мелкие секущие тела щелочных пикритов (а – данные авторов; б – по [12]); 2 – карбонатиты, цифры 1–5 на более крупных значках соответствуют номерам изученных проб То-(1, 2, 3, 4, 5); 3 – нефелиновые и щелочные сиениты; 4–6 – поля составов кимберлитов и карбонатитов Восточного Прианбарья: 4 – карбонатитовые брексии (n = 72); 5 – интрузивные карбонатиты (n = 7) по [6] и 6 – интрузивные кимберлиты (n = 52) по [4]; 7–11 – Маймеча-Котуйская провинция: 7 – мелилитовые породы (n = 16) по [5]; 8 – эффузивы пикритов и щелочных базальтоидов (n = 4) по [24]; 9 – пикритовые порфиры (n = 8); 10 – меймечиты (n = 26); 11 – дуниты-перидотиты (n = 19) Гулинского массива и 12 – оливиниты (n = 14) щелочно-ультраосновных массивов по [25]. Кривые линии со стрелками – тренды изменения исходного состава пикритовой магмы (I) к ультрамафитовым (М), щелочно-сиалическим (А) и карбонатитовым (К) дифференциатам.

Fig. 2. Compositions of rocks from alkaline, ultrabasic, kimberlite and carbonatite complexes in the north of the Siberian platform on the M–S–C–H₂O diagram (wt. %). 1–3 Tomtor massif: 1 – small cross-cutting bodies of alkaline picrites (a – authors data, b – according to [12]); 2 – carbonatites, numerals 1–5 on larger badges correspond to numbers of the studied samples То-(1, 2, 3, 4 and 5); 3 – nepheline and al-

kaline syenites; 4 – carbonatite breccias (n = 72); 5 – intrusive carbonatites (n = 7) according to [6] and 6 – intrusive kimberlites (n = 52) according to [4]; 7–11 – Maymecha-Kotuysskaya province: 7 – melilite rocks (n = 16) according to [5]; 8 – effusives of picrites and alkaline basaltoids (n = 4) according to [24]; 9 – picrite porphyrites (n = 8); 10 – meimechites (n = 26); 11 – dunites-peridotites (n = 19) of Guli massif and 12 – olivin-ites (n = 14) alkaline-ultrabasic massifs according to [25]. Curved lines with arrows - trends of changes of initial composition of picrite magma (I) to ultramafic (M), alkaline-sialic (A) and carbonatite (K) differentiates.

дит к появлению меймечитов, а далее и дунитов (рис. 2, тренд М). Такому исходному составу магматитов Томторского массива соответствуют щелочные пикриты То-4, а мельтейгиты То-(1, 2) и нефелиновые сиениты То-3 являются, по всей видимости, щелочно-сиалическими дифференциатами (тренд А). Как видно на рис. 2, породы Томторского массива образуют второй ярко выраженный карбонатитовый тренд (К) в результате постепенного возрастания в них СаО и СО₂. Породы То-5 представляют собой переходную разновидность от обычных силикатных магматитов к типичным карбонатитам, содержащим обычно более 50 вес. % карбоната и менее 10–15 % кремнезема [9].

Нами ранее [1] было показано, что даже незначительные изменения содержаний SiO₂ и СаО в щелочных магмах могут кардинально поменять тренды кристаллизации исходной пикритовой магмы. На данной диаграмме мы можем наблюдать следующие тренды, приводящие к появлению разных ассоциаций пород, в процессе длительного эволюционного становления сложных рудно-магматических комплексов. Ранняя высокотемпературная интенсивная кристаллизация и отсадка оливина с хромшпинелидом приводят к появлению дунитов, как в Гулинском массиве. «Сухие» оливиниты из более мелких массивов Маймеча-Котуйской провинции характеризуются очень свежим обликом, оливин в них практически не серпентинизирован и ассоциирует с магнетитом [25]. Магнезиальный тренд уводит составы этих пород от исходного состава пикритов в сторону М-вершины диаграммы. Другой тренд изменения составов, в результате накопления щелочей и СаО, прослеживается в сторону практически безводных мелилитовых пород через промежуточное поле эффузивных щелочных базальтоидов. Далее наблюдается обособленное поле щелочных и нефелиновых сиенитов, которые в Томторском массиве имеют преобладающее распространение.

Если существование указанных двух трендов, в определенной мере, различными исследователями объясняется разными механизмами кристаллизационной дифференциации, то причины возникновения карбонатитовой ветви от пикритов к карбонатитам, по-видимому, имеют более глубокие корни как в прямом, так и переносном смысле и пока остаются не совсем понятными.

Основными минералами мельтейгитов трубчатых тел То-1 и То-2 являются моноклинный пироксен и слюда флогопит-биотитового ряда, образующие порфиновые выделения в мелкозернистой кальцит-натролит-мезолитовой основной массе с обильными вкраплениями апатита, титаномагнетита в ассоциации с лейкоксеном, титанитом, перовскитом и гранатом андрадит-шорломитового состава (рис. 3, *а–в*). Реже встречаются мельчайшие включения карбонатов редкоземельных элементов (РЗЭ), находящиеся часто в сростании с апатитом (рис. 3, *г*). Наиболее представительные анализы минералов представлены в таблицах 2 и 3, а их фигуративные точки вынесены на диаграммах составов (рис. 4–6). Натролит-мезолитовые цеолиты являются типичными продуктами изменения нефелина, т. е. по химическому составу и минеральным ассоциациям данные породы относятся к недосыщенным кремнеземом щелочным (бесплагмаклазовым) породам соответствующим мельтейгитам.

Ввиду значительных позднемагматических аутометасоматических изменений пород и мелких размеров включений аксессуарных и рудных фаз, мы в данном сообщении использовали ограниченный круг представительных микрозондовых определений, подтверждаемых рентгенофазовым анализом на дифрактометре. На классификационных диаграммах пироксены из мельтейгитов в основном попадают в поля диопсида и авгита, реже эгирин-авгита или эгирина (см. рис. 4), а слюды располагаются преимущественно в области флогопита, частично переходя в поле аннита (см. рис. 5, *а*). Состав гранатов (рис. 5, *б*) изменяется от практически чистых андрадитов до поля меланитов Ti-андрадитов, охватывая более широкую область, чем гранаты, установленные нами в камафоритах Томторского массива [26].

Породы пластового тела То-4 отличаются от выше рассмотренных тел мельтейгитов большей магнезиальностью, но меньшим содержанием алюминия, кальция и натрия (см. табл. 1), что отражается в их минеральном составе. Пироксен характеризуется повышенной долей энстатито-

вого минала (см. рис. 4, *б*), появляется серпентинизированный оливин. Карбонат в них представлен доломитом (рис. 6, *а*), мезолит, характерный для мельтейгитов, уступает место менее кальциевому натролиту. Появляются титанистые высокохромистые шпинелиды, постепенно переходящие в хромистые титаномагнетиты (табл. 4 и рис. 7). Все эти химические и минеральные особенности приближают данные породы к пикритам щелочного уклона.

В сиенитах То-3, наряду с нефелином (рис. 3, *д, е*), широко развит ортоклаз с микропертитовыми вросками альбита и гиалофана, содержащего до 10–20 % BaO (см. табл. 2), что соответствует примерно 20–30 % цельзианового компонента. Пироксен представлен эгирином, а редкие мелкие выделения слюды – мусковитом. Среди свежей нефелин-К-Na-ПШ основной массы сиенитов наблюдаются мелкие (до 10–20 мкм) включения карбоната РЗЭ, близкого по составу калкинситу (см. табл. 3). Также установлены более крупные (до 150 мкм) амёбовидные интерстиционные выделения минерала (см. рис. 3, *е*), состоящего из 30–32 % SiO₂, 1–3,5 % TiO₂, 25–27 % CaO, 7–8 % Na₂O, 14–17 % ZrO₂ и 12–16 % Nb₂O₅, что хорошо соответствует составу велерита, являющегося аксессуарным минералом нефелиновых сиенитов и связанных с ними пегматитов и карбонатитов.

Мелкие включения карбонатов РЗЭ обнаружены также в мельтейгитах (То-1 и То-2), они по составу сходны с минералами из камафоритов Томторского массива [26]. В некоторых зернах карбонатов РЗЭ из пробы То-1-2 фиксируется высокое содержание WO₃ до 20 % (см. табл. 3), по-видимому, в этих фазах присутствует большая доля минала Се-тунгустита – минерала (Ce, Nd, Y) W₂O₆(OH)₃, обнаруженного в касситерит-вольфрамитовых рудах, залегающих на турмалиновых гранитах Малайзии [34].

Апатит в мельтейгитах трубчатых тел То-1 и То-2 встречается в основном в виде идиоморфных удлиненных кристаллов гексагонального сечения в основной массе породы, тесно ассоциируя обычно с рудно-окисными ильменит–Ti-магнетитовыми агрегатами, а также мелкими (1–50 мкм) сульфидными минералами – пиритом и галенитом. По составу минерал соответствует фторсодержащей (F до 2–2,4 %) разновидности апатита. В некоторых зернах, по данным микрозондового анализа, отмечается снижение содержания P₂O₅ до 35–38 %, вместо 40–42 %

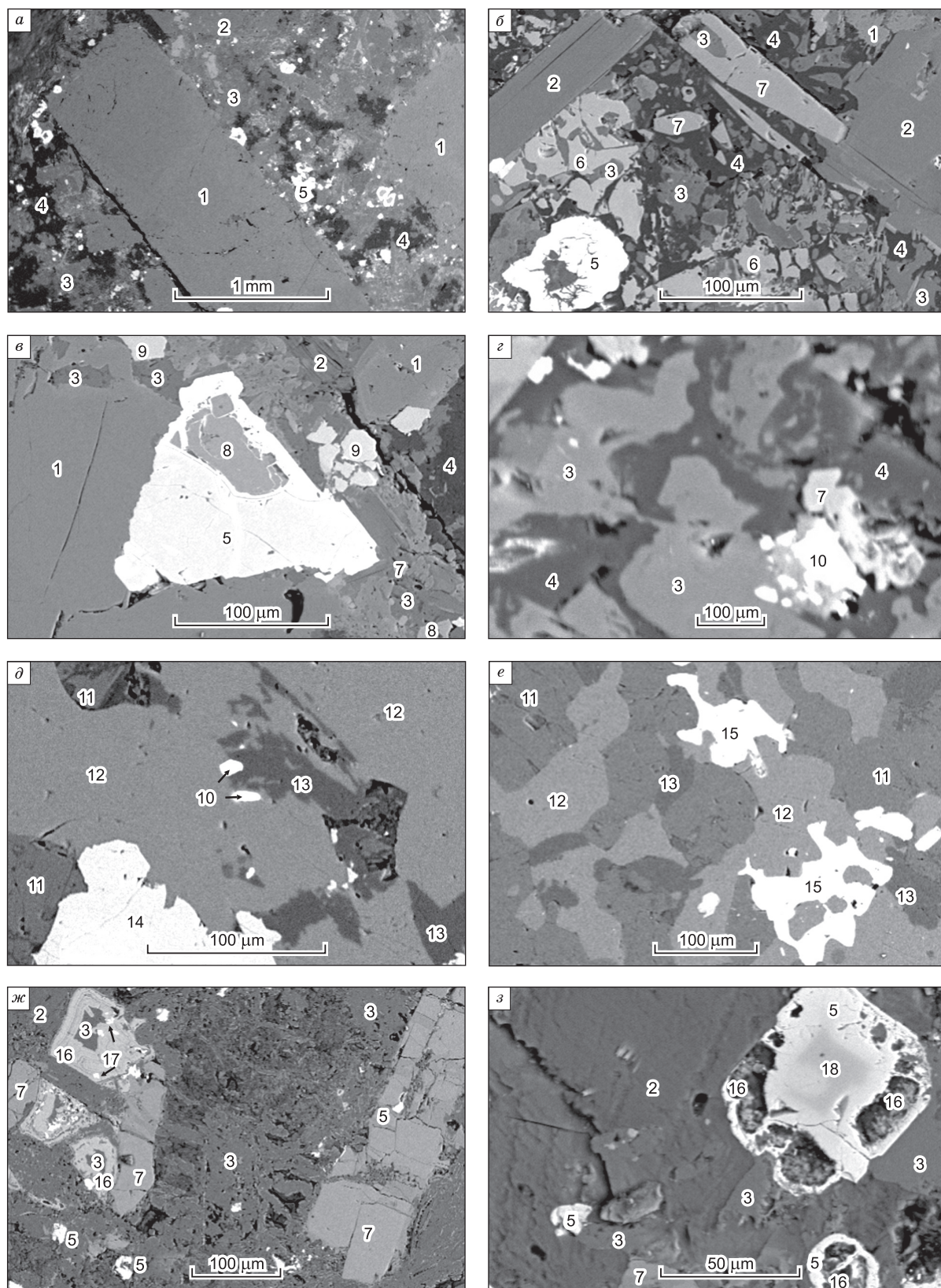


Рис. 3. Порообразующие и рудные минералы пород Томторского массива.
а–г – мельтейгиты (обр. То-1-2): *а* – порфиновые выделения диопсида (1) в основной массе из флогопита (2), кальцита (3), мезолита (4) и магнетита (5); *б* – порфиновые кристаллы флогопита (2) в зернистой основной массе, содержащей диоп-

сид (1), кальцит (3), мезолит (4), магнетит (5), гранат (6) и апатит (7); *в* – сростание пироксена (1), магнетита (5), сфена (8) и перовскита (9), окруженное флогопит (2)-кальцит (3)-мезолитовой (4) основной массой; *з* – мелкие выделения карбонатов РЗЭ (10) в ассоциации с апатитом (7) в кальцит (3)-мезолитовой (4) симплектитовой массе; *д*, *е* – нефелиновые сиениты (обр. То-3-1): *д* – мелкие включения карбонатов РЗЭ (10) в альбит (13) – ортоклазовом (12) микропертите в сростке с нефелином (11) и эгирином (14); *е* – «амебовидные» вкрапления велерита (15) в нефелин (11)-альбит (12)-ортоклазовый (13) симплектитовой матрице; *жс*, *з* – карбонатиты (обр. То-5-1): *жс* – идиоморфные кристаллы апатита (7) и футляровидных зональных выделений лейкоксена (16) с мелкими включениями Се-монацита (17) в глинисто-сидерит-кальцитовой (3) основной массе; *з* – зональное зерно магнетита (5) с реликтом ядра хромистого шпинелида (18) в сростании с флогопитом (2) и кальцитом (3). Изображения в обратно рассеянных электронах.

Fig. 3. Rock-forming and ore minerals from rocks of Tomtor massif.

a-z – melteigites (samp. To-1-2): *a* – porphyry of diopside (1) in the groundmass of phlogopite (2), calcite (3), mesolite (4) and magnetite (5); *б* – porphyry crystals of phlogopite (2) in grained groundmass that contained diopside (1), calcite (3), mesolite (4), magnetite (5), garnet (6) and apatite (7); *в* – intergrowth of pyroxene (1), magnetite (5), titanite (8) and perovskite (9), surrounded by phlogopite (2)-calcite (3)-mesolite (4) groundmass; *з* – small particles of REE carbonates (10) in association with apatite (7) in calcite (3)-mesolite (4) symplectite mass; *д*, *е* – nepheline syenites (samp. To-3-1): *д* – small inclusions of REE carbonates (10) in albite (13)-orthoclase (12) microperthite in intergrowth with nepheline (11) and aegirine (14); *е* – «amoeba-shaped» inclusions of wöhlerite (15) in nepheline (11)-albite (12)-orthoclase (13) symplectite matrix; *жс*, *з* – carbonatites (samp. To-5-1): *жс* – euhedral crystals of apatites (7) and «case-shaped» zoned substance of leucoxene (16) with small inclusions Ce-monazite (17) in clay-siderite-calcite (3) groundmass; *з* – zoned grain magnetite (5) with a relict core of chromium spinellid (18) in intergrowth with phlogopite (2) and calcite (3). Image in back-scattered electrons.

P_2O_5 в фторапатитах, что связано, по-видимому, с повышением количества CO_2 и появлением карбонатапатита или франколита при наличии $F > 1$ %. В таких случаях, в связи с невозможностью определения содержания CO_2 на микрозонде, сумма анализов карбонатапатитов стабильно снижается до 90–88 %. В них также отмечается частое появление незначительных (не более первых %) примесей других петрогенных элементов, что вызвано, вероятно, захватом микровключений силикатной матрицы. Роль углерода в структуре карбонатапатита пока полностью не решена, но уменьшение доли P_2O_5 в франколитах То-1-2 мы склонны связать с изоморфизмом $PO_4 \leftrightarrow CO_2$, а не замещением группой CO_3 группы (ОН F, Cl) или $C \leftrightarrow 2Ca$. В пикритах пластового тела То-4 и карбонатите дайки То-5 все апатиты имеют низкое содержание P_2O_5 34–39 % при низкой сумме (менее 90–93 %) анализов, что также указывает на их принадлежность к карбонатапатитам.

Интересной общей характерной особенностью щелочных пикритов То-4 и карбонатитов То-5 является сходство в них трендов изменения хромисто-титанистых шпинелидов (см. рис. 7), аналогичных таковым из щелочно-ультраосновных пород Гулинского массива [27], пикритовых габбро-долеритов Норильского района [28, 29] и убогоалмазонасной кимберлитовой трубки Малокуонамская [30]. В реликтовых ядрах Ti-Cr-шпинелидов в карбонатите То-5 содержание Cr_2O_3 достигает 43 % (рис. 3, *жс*, табл. 4), а к периферии зерен со снижением хромистости шпинели возрастает её титанистость. Ti-магнетиты То-5 содер-

жат постоянную примесь MnO 1–2 % и MgO до 5 %. В мельтейгитах То-1 и То-2 титаномagnetиты имеют подобный состав, но в них в ассоциации с магнетитом появляются мелкие зерна Mn-ильменита, содержащего MnO от 2 до 22 %.

Карбонатит дайки То-5 в основном состоит из кальцита с повышенной примесью FeO и MgO до 4 % каждого окисла. Возможно, этим объясняется широкое развитие сидерита, содержащего до 13 % CaO, 11 % MgO и 4 % MnO, в виде тонких (до 50 мкм) сетчатых прожилков, в матрице кальцита. Кальцит находится также в тесном сростании с хлоритом и монтмориллонитом (см. табл. 2), среди которых часто встречаются футляровидные зональные выделения лейкоксена с ядром кальцита (см. рис. 3, *жс*). В пределах лейкоксеновой оболочки часто наблюдаются мельчайшие ксеноморфные светлые включения, обогащенные TiO_2 до ~40 %, Se_2O_3 до ~20 % и P_2O_5 до ~10 %. Если допустить, что из-за мелких размеров ярко-светлых включений микрозондовым пучком захватывается частично и лейкоксеновая матрица, то истинный состав самих включений может соответствовать Се-монациту. Таким образом, мы считаем, что данные исследования имеют предварительный характер и требуют своего продолжения на более обширном материале.

Генетическое единство комплексов ультраосновных, щелочных пород и карбонатитов подтверждается не только их структурной связью, но и общностью петрохимических и минералогических признаков. Согласно модели фракционирования глобального магматического океана Земли

Представительные анализы силикатных минералов

Table 2

Representative analyzes of silicate minerals

№ проб	№ ан	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ *	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Сумма
Диопсид (12-183; 283), авгит (23-2; 20-10; 287), эгирин (11-27; 4-7)												
To-1-2	12-183	44,93	2,74	6,57	1,23	6,09	0,09	13,02	24,43	0,48		99,58
To-1-2	23-2	46,78	2,64	2,66	4,70	13,11	0,10	8,51	20,18	1,82		100,50
To-1-2	11-27	49,91	1,72	1,66	30,08	0,00	0,08	1,76	2,71	12,41		100,32
To-2-1	20-10	49,59	1,76	2,05	0,00	15,83	0,52	9,58	21,09	0,10		100,52
To-4-2	283	51,74	0,89	0,65	2,31	6,01	0,30	12,76	24,09	0,90		99,64
To-4-2	287	50,49	1,62	2,65	2,59	5,43	0,21	13,79	20,62	1,22		98,63
To-3-1	4-7	51,41	0,23	0,40	17,70	8,75	0,12	2,21	12,65	6,86		100,33
Флогопит (11-1; 3-7; 23-10), антит (11-11; 18-183), мусковит (20-3)												
To-1-2	11-1	39,34		11,40	1,61F**	12,28		20,16			10,44	95,22
To-1-2	11-11	37,73		11,04		28,38		9,95			9,80	96,90
To-4-2	3-7	37,13	6,32	15,12		8,52		19,80			9,18	96,07
To-4-2	18-183	40,80	0,93	11,03		20,25	0,35	12,21	0,54	0,34	8,86	95,30
To-5-1	23-10	37,25	5,08	16,72		9,78		19,59			8,98	97,40
To-3-1	20-3	45,90		36,02						3,89	7,30	93,11
Мезолит (14-1), натролит (23-5; 7-1), хлорит (26-1), монтмориллонит (19-2)												
To-1-2	14-1	41,65		31,19					5,19	11,31		89,33
To-1-2	23-5	46,62		27,78					1,95	14,71		91,06
To-4-2	7-1	47,52		27,34					0,32	16,42		91,60
To-5-1	26-1	33,91		15,61		13,42		22,59			1,63	87,16
To-5-1	19-2	54,69		18,12		9,76		3,62	1,55		0,88	88,62
Нефелин (19-1), ортоклаз (5-5), альбит (5-7), гиалофан (5-12; 16-4)												
To-3-1	19-1	43,29		32,84						15,54	5,97	97,64
To-3-1	5-5	64,25		19,81						1,29	14,75	100,10
To-3-1	5-7	68,51		20,20						11,67	0,28	100,66
To-3-1	5-12	47,31		30,73	10,95BaO				1,18	7,52	1,08	98,77
To-3-1	16-4	43,81		28,27	19,84BaO					4,05	2,20	98,17
Андрадит (14-5; 5-10), шорломит (14-12; 10-8)												
To-1-2	14-5	34,86	3,24	2,23	26,21				34,37			100,91
To-1-2	14-12	33,36	12,56	2,21	18,29				33,17			99,59
To-4-2	5-10	34,16	2,95	14,01	12,17			1,84	35,01			100,14
To-4-2	10-8	34,29	6,20		26,01				33,50			100,00

Примечание: * – содержание Fe₂O₃ вычислено по стехиометрической формуле минерала, ** – указано содержание другого элемента, обнаруженного в данном анализе (F и BaO). Пустые клетки в таблицах 2–4 означают, что элемент не обнаружен в пределах чувствительности микрозондового метода анализа.

Note. * – the Fe₂O₃ content is calculated using the stoichiometric formula of the mineral, ** – content of other element (F and BaO). Empty cells in Tables 2–4 indicate that the element was not detected within sensitivity of microprobe analysis.

по В.С. Шкодзинскому [35], щелочно-ультра-основные, кимберлитовые, карбонатитовые и лампроитовые магмы являются остаточными распла-

вами, возникающими при затвердевании нижних пикритового и перидотитового слоев магматического океана. Им было показано, что на глубин-

Составы карбонатов РЗЭ

Table 3

Composition of REE carbonate

№ проб	№ ан	CaO	SrO	WO ₃	Ce ₂ O ₃	La ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Сумма	Минерал
To-1-2	29-2	3,66			29,17	20,25	7,84	60,92	Калкинсит
To-1-2	20-2	6,43	11,75		20,84	12,62	4,70	56,34	Амбатоаринит
To-1-2	27-2	5,62	18,01		21,51	12,36	7,61	65,11	Амбатоаринит
To-1-2	22-6	5,60		20,00	20,90	10,96	5,47	62,93	La-се-тунгустит
To-1-2	23-8	6,44		18,70	22,31	13,80	5,38	66,63	La-се-тунгустит
To-2-1	2-2	20,32	9,06		19,25	8,71		57,34	Карбоцернаит
To-2-1	3-4	6,17	16,79		27,84	13,31		64,11	Амбатоаринит
To-2-1	20-7	3,17	19,57		19,01	10,21	8,79	60,75	Амбатоаринит
To-3--1	3-7	1,59			31,22	22,37		55,18	Калкинсит
To-3--1	15-3	1,78			31,33	17,96	6,96	58,03	Калкинсит
To-3--1	15-7	3,26			28,78	13,86	5,69	51,59	Калкинсит

ных и среднеглубинных стадиях всплывания и тектонического выжимания подплавленных пород происходит увеличение количества расплава, а на заключительных малоглубинных этапах подъема содержание расплава в магмах резко уменьшается в результате декомпрессионного затвердевания в связи с падением парциального давления и содержания летучих компонентов в расплаве вследствие их перехода в самостоятель-

ную флюидную фазу. Такие затвердевавшие расплавы из-за повышения вязкости уже не могли перемещаться по дайкообразным магмоводам, и они далее прорывались в виде цилиндрических диапироподобных тел. Но низкотемпературные магмы, к которым могут относиться и карбонатитовые магмы, в близповерхностных условиях затвердевали в результате декомпрессионного выделения в них флюидной фазы. При этом про-

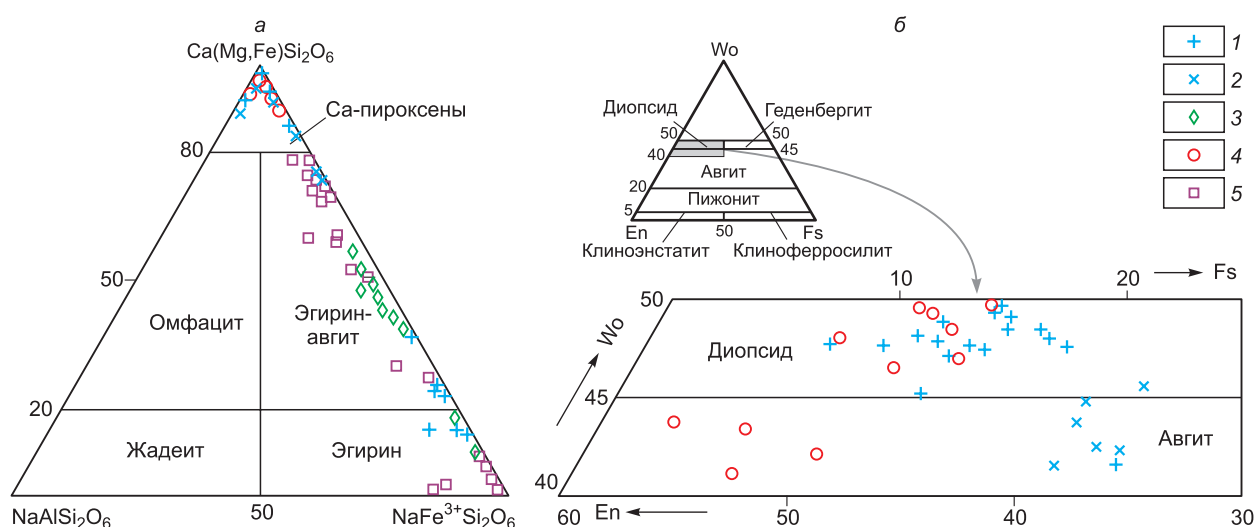


Рис. 4. Состав пироксенов на Ca-Mg-Fe-пироксены-жадеит-эгирин (а) и En-Wo-Fs (б) диаграммах.

1, 2 – мельтейгиты To-1 и To-2 соответственно; 3 – нефелиновые сиениты To-3; 4 – пикриты To-4; 5 – апофидолиты и камафориты по [26].

Fig. 4. Composition of pyroxenes on Ca-Mg-Fe-pyroxenes-jadeite-aegirine (a) and En-Wo-Fs (b) diagrams.

1, 2 – melteigite To-1 and To-2 respectively; 3 – nepheline syenites To-3; 4 – picrites To-4; 5 – apofidolites and kamaforites according to [26].

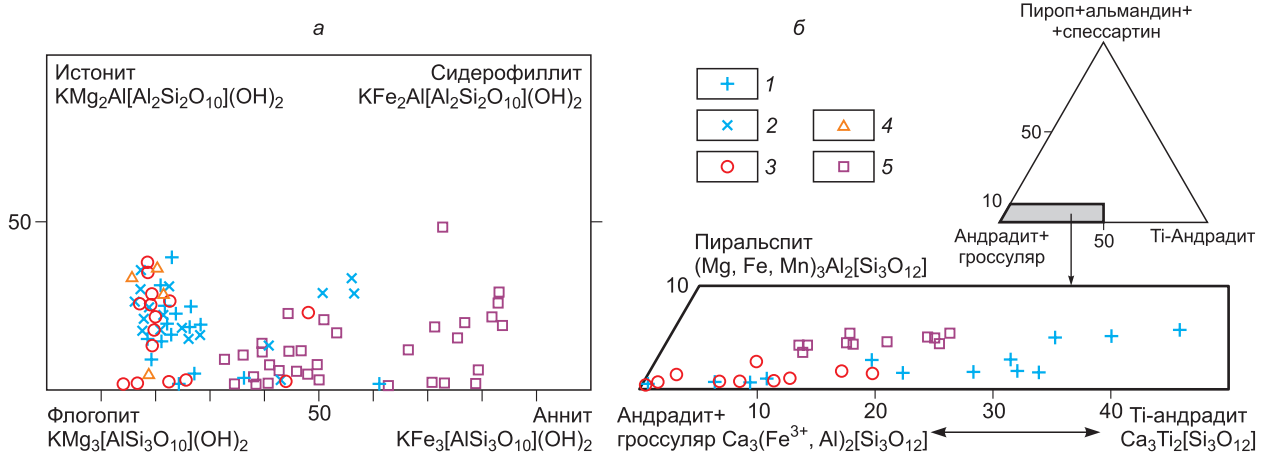


Рис. 5. Диаграммы составов биотитов (а) и гранатов (б).

1, 2 – мельтейгиты То-1 и То-2 соответственно; 3 – пикриты То-4; 4 – карбонатиты То-5-1 и 5 – апофоидолиты и камафориты по [26].

Fig. 5. Composition diagrams of biotites (a) and garnets (b).

1, 2 – melteigites To-1 and To-2 respectively; 3 – picrites To-4; 4 – carbonatites To-5-1 and 5 – apofoidolites and kamaforites according to [26].

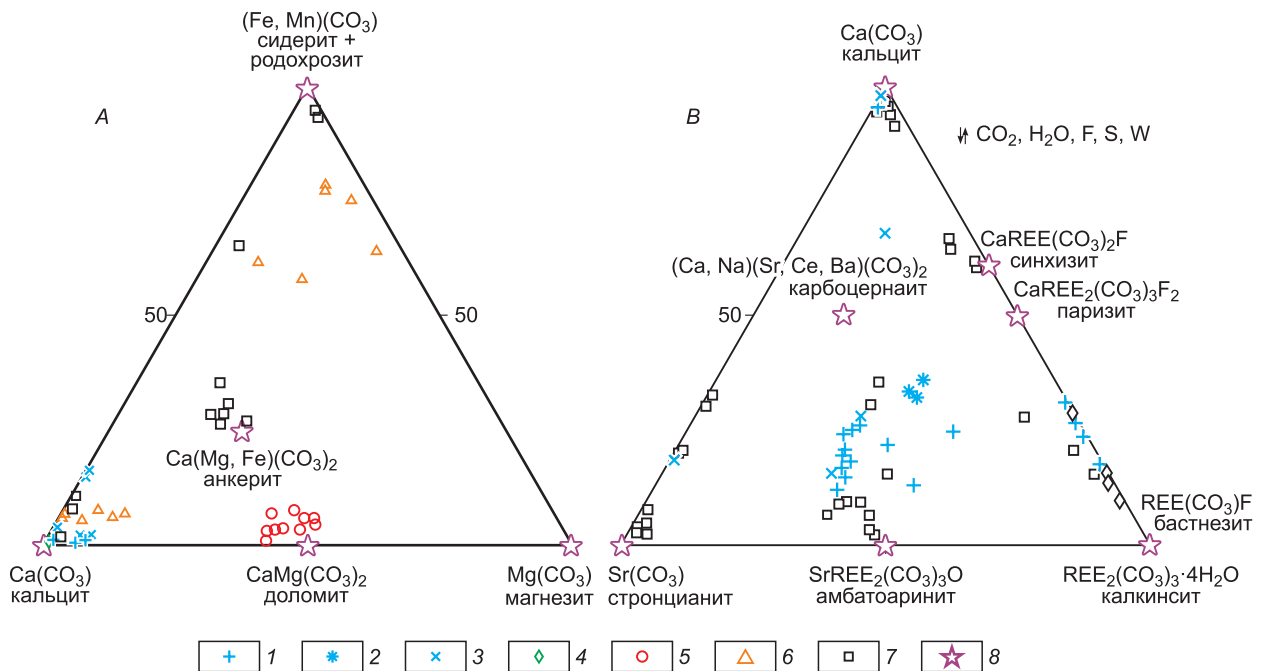


Рис. 6. Составы основных карбонатных минералов (а) и редких карбонатов Sr и РЗЭ (б).

1 – из мельтейгитов То-1-2; 2 – то же с заметной примесью минерала Се-иттротунгусита $\text{Ce,Nd,Y} \text{W}_2\text{O}_6(\text{OH})_3$; 3 – мельтейгиты То-2-1; 4 – нефелиновые сиениты То-3-1; 5 – пикриты То-4-2; 6 – карбонатиты То-5-1; 7 – апофоидолиты и камафориты по [26]; 8 – стехиометрические составы карбонатных минералов.

Fig. 6. Compositions of main carbonate minerals (a) and rare carbonates of Sr and REE (b).

1 – from melteigites To-1-2; 2 – same with significant admixture Ce-иттротунгусита $\text{Ce,Nd,Y} \text{W}_2\text{O}_6(\text{OH})_3$; 3 – melteigites To-2-1; 4 – nepheline syenites To-3-1; 5 – picrites To-4-2; 6 – carbonatites To-5-1; 7 – apofoidolites and kamaforites according to [26]; 8 – stoichiometric compositions of carbonate minerals.

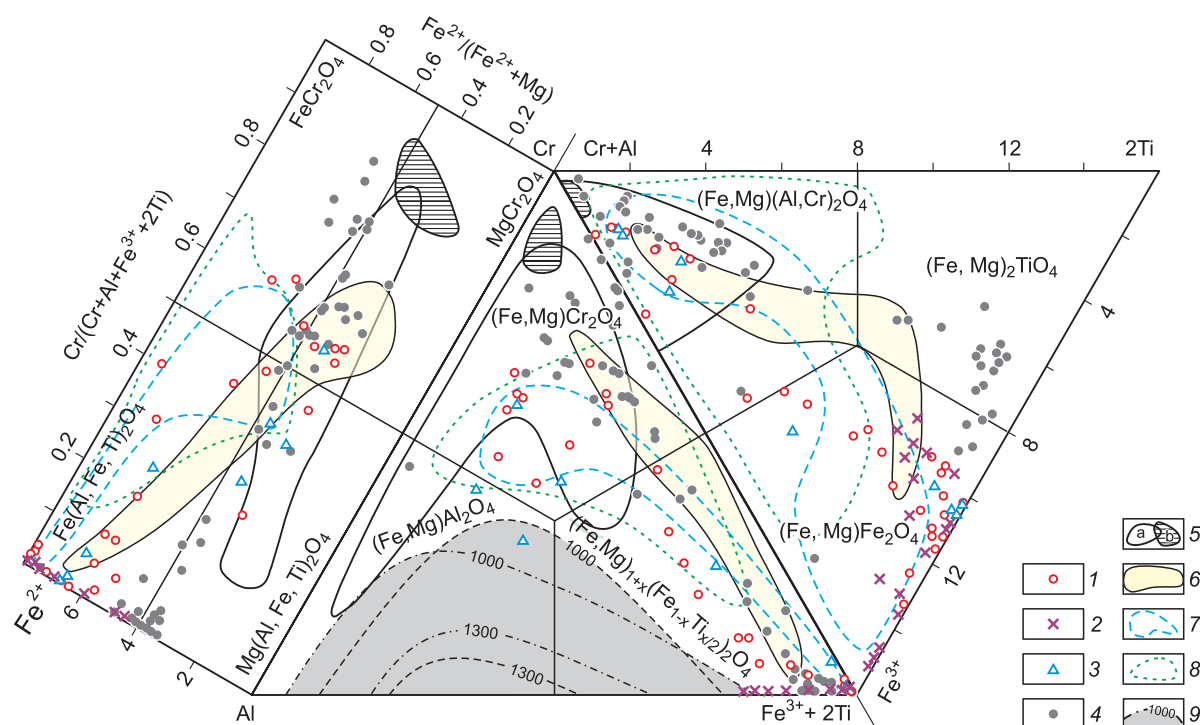


Рис. 7. Состав шпинелидов из пород севера Сибирской платформы

1–3 – Томторский массив (данные авторов): 1 – щелочные пикриты То-4; 2 – мельтейгиты трубки То-1; 3 – дайка карбонатитов То-5; 4 – микрокристаллы шпинелидов убогоалмазонаносной тр. Малокуонамская [30]; 5–8 – поля составов (n – количество анализов): 5 – алмазонаносные кимберлиты (а) Якутии ($n = 118$) [31, 32], в том числе хромиты алмазной ассоциации (б); 6 – дуниты, перидотиты, меймечиты и пикриты ($n = 36$) Гулинского массива [27]; 7 – пикритовые габбро-долериты ($n = 61$) Норильского и Талнахского интрузивов [28]; 8 – ($n = 4077$) [29]; 9 – изотермы (T , °C) сольвусов систем MgCr_2O_4 – MgAl_2O_4 – Mg_2TiO_4 (пунктирные линии) и FeCr_2O_4 – FeAl_2O_4 – Fe_2TiO_4 (штрихпунктирные линии) по [33].

Fig. 7. Composition of spinellids from rocks of north of Siberian platform

1–3 – Tomtor massif (author data): 1 – alkaline picrite To-4; 2 – melteigite of the pipe To-1; 3 – carbonatite dyke To-5; 4 – micro crystals of spinellids of Malokuonamskaya pipe [30]; 5–8 – composition fields (n – number of analyzes): 5 – diamondiferous kimberlites (a) of Yakutia ($n = 118$) [31, 32], including chromite of diamond association (b); 6 – dunites, peridotites, meimechites and picrites ($n = 36$) of Guli massif [27]; 7 – picrite gabbro-dolerites ($n = 61$) of Norilsk and Talnakh intrusions [28]; 8 – ($n = 4077$) [29]; 9 – isotherms (T , °C) of solvus of systems MgCr_2O_4 – MgAl_2O_4 – Mg_2TiO_4 (dotted lines) and FeCr_2O_4 – FeAl_2O_4 – Fe_2TiO_4 (dash-dotted lines) according to [33].

исходит консервация флюидной фазы, но увеличение давления в них со временем приводит к дезинтеграции верхних частей магматических колонн, обуславливая вулканические взрывы. Следы таких процессов на Томторском массиве фиксируются в виде многочисленных трубчатых тел брекчированных щелочных пикритов и карбонатитов.

Наиболее острым в этой проблеме является выяснение происхождения карбонатитов и характера взаимосвязи с пространственно ассоциирующими с ними силикатными магмами. В результате изучения силикатно-солевых включений в минералах Л.И. Паниной и И.В. Моториной [36] доказывается, что именно силикатно-карбонатная несмешимость является причиной появления исходных карбонатитовых расплавов, ассоции-

рующих с глубинными магмами. Также интересно отметить, что факт расслоения расплава на две несмешивающиеся жидкие фазы с резкой границей установлено в результате непосредственной экспериментально-технологической плавки пироклор-монацитов и пироклор-монацит-крандаллитовой проб из самого Томторского массива [37].

Заключение

В результате проведенных исследований нами получены новые данные о типоморфных особенностях породообразующих, второстепенных, акцессорных и рудных минералов силикатных магматических пород Томторского массива, и ассоциирующих с ними карбонатитовых образований. Многофазность становления разных петрогео-

Представительные анализы Cr-Ti шпинелидов и магнетитов

Table 4

Representative analyzes of Cr-Ti-spinels and magnetites

№ пробы	№ анализа	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	Сумма
To-4-1	9-116	3,54	6,03	45,76	11,58	24,86	0,40	6,86	99,03
To-4-1	3-116	3,58	6,20	42,14	16,17	21,18	0,48	9,18	98,93
To-4-1	16-116	0,55	11,71	35,46	21,47	20,00	0,36	8,60	98,15
To-4-1	18-116	7,45	5,36	30,58	19,67	28,31	0,49	6,58	98,44
To 4-1	22-116	6,89	7,79	18,64	33,13	18,86	0,48	12,51	98,30
To-4-1	285-183	9,19	6,36	7,56	36,86	31,97	0,94	4,66	97,54
To-4-1	283-183	7,35	0,22	1,31	54,10	28,61	0,80	5,03	97,42
To-5-1	9-179	2,12	14,68	43,26	9,00	16,97	0,44	11,94	98,41
To-5-1	20-1	2,28	23,67	31,91	10,71	16,25	0,32	13,74	98,88
To-5-1	23-4	5,31	21,72	23,84	14,68	21,62	0,55	11,88	99,60
To-5-1	4-5	5,38	5,01	17,12	36,14	29,85	1,12	4,35	98,97
To-5-1	20-9	12,03	0,37	1,11	45,80	35,92	1,55	2,99	99,77

химических типов магматитов и карбонатитов с разной степенью оруденения усложняет разработку петрогенетических прогнозно-поисковых критериев оценки разных типов минерализаций. В то же время установлено наличие сквозных минеральных серий в разных породах и рудах, например, Cr-Ti-шпинелидов, редкометалльных и других рудных фаз с аналогичными трендами изменения составов. Отсутствие минералов гроссуляр-альмандин-пиропового состава, хромитов алмазной ассоциации, пикроильменитов и других высокобарических индикаторных фаз, характерных для алмазоносных кимберлитов и лампроитов, свидетельствует о более низких P-T-параметрах глубинной эволюции Томторской материнской магмы. Выявление минералогических критериев генетического родства между силикатными расплавами и связанными с ними карбонатитовыми дериватами в последующем позволит адекватно оценить масштабы разнотипного оруденения сложного Томторского комплекса.

Литература

1. Округин А.В., Толстов А.В., Слепцов А.П., Баранов Л.Н. Петрохимические особенности ассоциации ультраосновных щелочных пород и карбонатитов Томторского массива и интерпретация возможных трендов их эволюции // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2019. № 4. С. 7–24.

2. Шейнманн Ю.М. Формация ультраосновных-щелочных пород // Щелочные интрузии, их размещение и связанная с ними минерализация. М.: Госгеолтехиздат, 1961. Вып. 12–13. С. 15–54.

3. Милашев В.А., Крутойарский М.А., Рабкин М.И., Эрлих Э.Н. Кимберлитовые породы и пикритовые порфиры северо-восточной части Сибирской платформы. М.: Госгеолтехиздат, 1963. 216 с.

4. Ковальский В.В., Никишов К.Н., Егоров О.С. Кимберлитовые и карбонатитовые образования Анабарской антеклизы. М.: Наука, 1969. 288 с.

5. Егоров Л.С. Мелилитовые породы Маймеча-Котуйской провинции. Л.: Недра, 1969. 248 с.

6. Маршинцев В.К. Карбонатитовые образования восточного склона Анабарского сводового поднятия. Якутск: Кн. изд-во, 1974. 120 с.

7. Корнилова В.П., Никишов К.Н., Ковальский В.В., Зольников Г.В. Атлас текстур и структур кимберлитовых пород. М.: Наука, 1983. 158 с.

8. Егоров Л.С. Ийолит-карбонатитовый плутонизм (на примере Маймеча-Котуйского комплекса Полярной Сибири). Л.: Недра, 1991. 260 с.

9. Багдасаров Ю.А., Гусев Г.С., Гуцин А.В., Межеловский Н.В., Морозов А.Ф. Металлогения магматических комплексов внутриплитовых геодинамических обстановок. М.: ГЕОС, 2001. 640 с.

10. Фролов А.А., Лапин А.В., Толстов А.В., Зинчук Н.Н., Белов С.В., Бургомистров А.А. Карбонатиты и кимберлиты (взаимоотношения, минерогения, прогноз). М.: НИИ-Природа, 2005. 540 с.

11. Эпштейн Е.М., Аникеева Л.И. Некоторые вопросы геологии и петрологии комплекса ультраос-

новых щелочных интрузивных пород // Физико-химические проблемы формирования горных пород и руд. Т. 2. М.: Изд-во АН СССР. 1963. С. 182–195.

12. Владыкин Н.В., Торбеева Т.С. Лампроиты Томторского массива (Восточное Прианабарье) // Геология и геофизика. 2005. Т. 46, № 10. С. 1038–1049.

13. Белов С.В., Липин А.В., Толстов А.В., Фролов А.А. Минерогения платформенного магматизма (траппы, карбонатиты, кимберлиты). Новосибирск. Изд-во СО РАН, 2008. 537 с.

14. Заварицкий А.Н. Изверженные горные породы. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 479 с.

15. Энтин А.Р., Зайцев А.И., Ненашев Н.И., Василенко В.Б., Орлов А.И., Тянь О.А., Ольховик Ю.А., Ольштынский С.И., Толстов А.В. О последовательности геологических событий, связанных с внедрением Томторского массива ультраосновных щелочных пород и карбонатитов (Северо-западная Якутия) // Геология и геофизика. 1990. Т. 31, № 12. С. 42–51.

16. Кравченко С.М., Беляков А.Ю., Покровский Б.Г. Геохимия и генезис Томторского массива (север Сибирской платформы) // Докл. РАН. 1992. Т. 322, № 5. С. 966–972.

17. Kravchenko S.M., Pokrovsky B.G. The Tomtor alkaline ultrabasic massif and related REE-Nb deposits, northern Siberia // Econ. Geol. 1995. Vol. 71 (7). P. 676–689.

18. Толстов А.В. Особенности минералогии и геохимии апатит-магнетитовых руд массива Томтор (С-З Якутия) // Геология и геофизика. 1994. Т. 35, № 9. С. 91–100.

19. Энштейн Е.М., Данильченко Н.А., Постников С.А. Геология Томторского уникального месторождения редких металлов (север Сибирской платформы) // Геология рудных месторождений. 1994. Т. 36, № 2. С. 83–110.

20. Багдасаров Ю.А. Геохимические особенности карбонатитов и сопровождающих их силикатных пород щелочно-карбонатитового массива Томтор (Восточное Прианабарье, Якутия) // Геохимия. 1997. № 1. С. 10–20.

21. Владыкин Н.В., Котов А.Б., Борисенко А.С. и др. Возрастные рубежи формирования щелочно-ультраосновного массива Томтор: результаты геохронологических U-Pb и $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ исследований // Докл. РАН. 2014. Т. 454, № 2. С. 195–199.

22. Skublov S.G., Tolstov A.V., Baranov L.N., Melnik A.E., Levashova E.V. First data on the geochemistry and U-Pb age of zircons from the kamaphorites of the Tomtor alkaline-ultrabasic massif, Arctic Yakutia // В: Chemie der Erde, 2019.

23. Holmes A. A contribution to the petrology of the kimberlite and its inclusions // Trans. Geol. Soc. S. Africa. 1936. Vol. 39. P. 379–428.

24. Жук-Почекутов К.А., Гладких В.С., Леонтьев Л.Н. Ассоциация щелочных базальтоидов–базальтов Маймеча-Котуйской вулcano-плутонической формации // Петрология и геохимические особенности комплекса ультрабазитов и карбонатитов. М.: Наука, 1965. С. 5–90.

25. Васильев Ю.Р., Золотухин В.В. Петрология ультрабазитов севера Сибирской платформы и некоторые проблемы их генезиса. Новосибирск: Наука, 1975. 272 с.

26. Баранов Л.Н., Толстов А.В., Округин А.В., Слепцов А.П. Новое в минералогии и геохимии апатит-магнетитовых руд массива Томтор, северо-восток Сибирской платформы // Руды и металлы. 2018. № 2. С. 42–54. DOI: 10.24411/0869-5997-2018-00011.

27. Васильев Ю.Р., Коненко В.Ф., Королюк В.Н. Акцессорные хромшпинелиды из ультраосновных пород Маймеча-Котуйского района // Материалы по генетической и экспериментальной минералогии. Новосибирск: Наука, 1976. С. 7–16.

28. Генкин А.Д., Дистлер В.В., Лапутина И.П. Хромитовая минерализация дифференцированных трапповых интрузий и условия ее образования // Условия образования магматических рудных месторождений. М.: Наука, 1979. С. 105–126.

29. Chayka I.F., Zhitova L.M., Antsiferova T.N., Abersteiner A., Shevko A.Ya., Izokh A.E., Tolstykh N.D., Gora M.P., Chubarov V.M., Kamenetsky V.S. In-Situ Crystallization and Continuous Modification of Chromian Spinel in the «Sulfide-Poor Platinum-Group Metal Ores» of the Norilsk-I Intrusion (Northern Siberia, Russia) // Minerals. 2020. Vol. 10. P. 498.

30. Бабушкина С.А. Состав микрокристаллов шпинелидов трубки Малокуонапская // Отечественная геология. 2008. № 5. С. 85–95.

31. Соболев Н.В., Похилenko Н.П., Лаврентьев Ю.Г., Усова Л.В. Особенности состава хромшпинелидов из алмазов и кимберлитов Якутии // Геология и геофизика. 1975. № 11. С. 7–24.

32. Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Похилenko Н.П. Морфология и морфогенез индикаторных минералов кимберлитов. Новосибирск: Филиал «Гео» Изд-ва СО РАН, 2001. 276 с.

33. Muan A., Huack J., Loffal T. Equilibrium studies with a bearing on lunar rocks // Proceedings of the Third Lunar Science Conference. 1972. Vol. 1. P. 185–196.

34. Davis R.J., Smith G.W. Yttrotungstite // Mineral. Mag. 1971. Vol. 38. P. 261–285.

35. Шкодзинский В.С. Глобальная петрология по современным данным о горячей гетерогенной аккреции Земли. Якутск: Издательский дом СВФУ, 2018. 244 с.

36. Панина Л.И., Моторина И.В. Жидкостная несмесимость глубинных магм и зарождение карбонатитовых расплавов // Геохимия. 2008. № 5. С. 487–504.

37. Делицын Л.М., Мелентьев Г.Б., Батенин В.М., Толстов А.В. Сосуществование двух несмешивающихся жидких фаз в силикатно-солевой ниобий-редкоземельной системе // Докл. РАН. 2014. Т. 462, № 4. С. 440–443.

Поступила в редакцию 25.09.2020

Принята к публикации 12.11.2020

Об авторах

ОКРУГИН Александр Витальевич, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, 677000, Якутск, пр. Ленина, 39, Россия,

<https://orcid.org/0000-0002-1248-8993>, okrugin@diamond.ysn.ru;

ЖУРАВЛЕВ Анатолий Иванович, младший научный сотрудник, Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, 677000, Якутск, пр. Ленина, 39, Россия,

<https://orcid.org/0000-0003-0115-5146>, ai.zhuravlevgeo@gmail.com.

Информация для цитирования

Округин А.В., Журавлев А.И. Конвергентные минералогические особенности силикатных магматических и карбонатитовых пород Томторского массива на северо-востоке Сибирской платформы // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2020, Т. 25, № 4. С. 42–58. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-4-3>

DOI 10.31242/2618-9712-2020-25-4-3

Convergent mineralogical features of silicate igneous and carbonatite rocks of the Tomtor massif in the northeast of the Siberian platform

A.V. Okrugin, A.I. Zhuravlev

Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, Yakutsk, Russia,

okrugin@diamond.ysn.ru; ai.zhuravlevgeo@gmail.com

Abstract. A comparative analysis of typomorphic features of the minerals of different types of silicate rocks and carbonatites of the Tomtor massif is provided to establish their convergent features. To exclude the mutual influence of the rocks formed at different times, samples for investigation were taken from different scattered independent pipe bodies consisting of the rocks of melteigite-malignite composition, a sheet body of alkaline picrites, a transverse carbonatite dike located to the south from the Tomtor massif, and also unaltered nepheline syenites from the southern margin of the massif. It is demonstrated that interesting convergent features are revealed for the rock-forming and accessory minerals, including rare-metal ore minerals of various silicate igneous rocks and carbonatite formations. These features are exhibited by rock-forming minerals – pyroxenes, micas, feldspars, garnets, as well as by basic and rare carbonates, oxide ore minerals, including chromium-containing spinellids, sulfide and other exotic phases. New data related to the typomorphic features of minerals confirm our earlier information about the identification of five clusters by the association of petrogenic and a number of ore components among the rocks of the Tomtor massif. The most interesting nuance in this regard was the confirmation of the convergence of a group of definitely high-temperature early magmatic elements – MgO, Cr and Ni with a group of CaO, CO₂, H₂O, P₂O₅ and Y – components that formed carbonatite derivatives. For example, the detection of significant amounts of high-chromium spinellids (Cr₂O₃ up to 46%, NiO up to 0.3% in alkaline picrites To-4-1 and Cr₂O₃ up to 32% in carbonatites To-5-1) indicates the through character of their presence in these rocks. Such studies will help

revealing the mineralogical criteria of the genetic relationship between silicate melts and related carbonate derivatives, which can form mineralization rich in rare elements.

Key words: alkali-ultrabasic rocks, melteigite, alkaline picrites, syenite, carbonatites, rare element deposits, the Tomtor massif.

Acknowledgements. This work was supported by the RFBR grant 18-45-140043 p_a «Trapps of the East of the Siberian Platform» and within the framework of the research plan of the Institute of Socio-Physical Engineering SB RAS.

References

1. Okrugin A.V., Tolstov A.V., Sleptsov A.P., Baranov L.N. Petrohimicheskie osobennosti associatsii ul'traosnovnykh shchelochnykh porod i karbonatitov Tomtorskogo massiva i interpretatsiya vozmozhnykh trendov ih evolyucii // Prirodnye resursy Arktiki i Subarktiki. 2019. Vol. 24. No. 4. P. 7–24.
2. Sheinmann Yu.M. Formatsiya ul'traosnovnykh-shchelochnykh porod // Shchelochnye intruzii, ikh razmeshchenie i svyazannaya s nimi mineralizatsiya. M.: Gosgeoltekhizdat, 1961. Iss. 12–13. P. 15–54.
3. Milashev V.A., Krutoyarskiy M.A., Rabkin M.I., Erlih E.N. Kimberlitovye porod i pikritovye porfiry severo-vostochnoj chasti Sibirskoj platformy. M.: Gosgeoltekhizdat, 1963. 216 p.
4. Koval'skii V.V., Nikishov K.N., Egorov O.S. Kimberlitovye i karbonatitovye obrazovaniya Anabarskoi anteklizy. M.: Nauka, 1969. 288 p.
5. Egorov L.S. Melilitovye porod Maimecha-Kotuiskoj provintsii. L.: Nedra, 1969. 248 p.
6. Marshintsev V.K. Karbonatitovye obrazovaniya vostochnogo sklona Anabarskogo svodovogo podnyatiya. Yakutsk: Kn. izd-vo, 1974. 120 p.
7. Kornilova V.P., Nikishov K.N., Koval'skij V.V., Zol'nikov G.V. Atlas tekstur i struktur kimberlitovykh porod. M.: Nauka, 1983. 158 p.
8. Egorov L.S. Ijolit-karbonatitovyj plutonizm (na primere Majmecha-Kotjskogo kompleksa Polyarnoj Sibiri). L.: Nedra, 1991. 260 p.
9. Bagdasarov Yu.A., Gusev G.S., Gushchin A.V., Mezhelevskij N.V., Morozov A.F. Metallogeniya magmaticheskikh kompleksov vnutriplityvnykh geodinamicheskikh obstanovok. M.: GEOS, 2001. 640 p.
10. Frolov A.A., Lapin A.V., Tolstov A.V., Zinchuk N.N., Belov S.V., Burgomistrov A.A. Karbonatity i kimberlity (vzaimootnosheniya, minerageniya, prognoz). M.: NIA-Priroda, 2005. 540 p.
11. Epshtein E.M., Anikeeva L.I. Nekotorye voprosy geologii i petrologii kompleksa ul'traosnovnykh shchelochnykh intruzivnykh porod // Fiziko-khimicheskie problemy formirovaniya gornykh porod i rud. Vol. 2. M.: Izd-vo AN SSSR, 1963. P. 182–195.
12. Vladikin N.V., Torbeeva T.S. Lamproity Tomtorskogo massiva (Vostochnoe Priabar'e) // Geologiya i Geofizika. 2005. Vol. 46. No. 10. P. 1038–1049.
13. Belov S.V., Lapin A.V., Tolstov A.V., Frolov A.A. Minerageniya platformennogo magmatizma (trappy, karbonatity, kimberlity). Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2008. 537 p.
14. Zavarickij A.N. Izverzhennyye gornyye porod. M.: Izd. AN SSSR, 1961. 479 p.
15. Entin A.R., Zaitsev A.I., Nenashev N.I. i dr. O posledovatel'nosti geologicheskikh sobytii, svyazannykh s vnedreniem Tomtorskogo massiva ul'traosnovnykh shchelochnykh porod i karbonatitov (Severo-zapadnaya Yakutiya) // Geologiya i geofizika. 1990. Vol. 31, No. 12. P. 42–51.
16. Kravchenko S.M., Belyakov A.Yu., Pokrovskii B.G. Geokhimiya i genezis Tomtorskogo massiva (sever Sibirskoi platformy) // Doklady RAN. 1992. Vol. 322, No. 5. P. 966–972.
17. Kravchenko S.M., Pokrovsky B.G. The Tomtor alkaline ultrabasic massif and related REE-Nb deposits, northern Siberia // Econ. Geol. 1995. Vol. 71 (7). P. 676–689.
18. Tolstov A.V. Osobennosti mineralogii i geokhimii apatit-magnetitovykh rud massiva Tomtor (S-Z Yakutiya) // Geologiya i geofizika. 1994. Vol. 35, No. 9. P. 91–100.
19. Epshtein E.M., Danil'chenko N.A., Postnikov S.A. Geologiya Tomtorskogo unikal'nogo mestorozhdeniya redkikh metallov (sever Sibirskoi platformy) // Geologiya Rudnykh Mestorozhdenii. 1994. Vol. 36, No. 2. P. 83–110.
20. Bagdasarov Yu. A. Geokhimicheskie osobennosti karbonatitov i soprovozhdayushchikh ikh silikatnykh porod shchelochno-karbonatitovogo massiva Tomtor (Vostochnoe Priabar'e, Yakutiya) // Geokhimiya. 1997. No. 1. P. 10–20.
21. Vladikin N.V., Kotov A.B., Borisenko A.S. i dr. Vozrastnye rubezhi formirovaniya shchelochno-ul'traosnovnogo massiva Tomtor: rezul'taty geokhronologicheskikh U-Pb i $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ issledovaniy // Doklady RAN. 2014. Vol. 454, No. 2. P. 195–199.
22. Skublov S.G., Tolstov A.V., Baranov L.N., Melnik A.E., Levashova E.V. First data on the geochemistry and U-Pb age of zircons from the kamaphorites of the Tomtor alkaline-ultrabasic massif, Arctic Yakutia // B: Chemie der Erde, 2019.
23. Holmes A. A contribution to the petrology of the kimberlite and its inclusions // Trans. Geol. Soc. S. Africa. 1936. Vol. 39. P. 379–428.
24. Zhuk-Pochekutov K.A., Gladkikh V.S., Leont'ev L.N. Assotsiatsiya shchelochnykh bazal'toidov-bazal'tov Maimecha-Kotuiskoj vulkano-plutonicheskoi formatsii // Petrologiya i Geokhimicheskie Osobennosti

Комплекса Ул'трабазитов и Карбонатитов. М.: Наука, 1965. P. 5–90.

25. Vasil'ev Yu.R., Zolotukhin V.V. Petrologiya ul'trabazitov severa Sibirskoi platformy i nekotorye problemy ikh genezisa. Novosibirsk: Nauka, 1975. 272 p.

26. Baranov L.N., Tolstov A.V., Okrugin A.V., Sleptsov A.P. Novoe v mineralogii i geokhimii apatit-magnetitovykh rud massiva Tomtor, severo-vostok Sibirskoi platformy // Rudy i Metally. 2018. No. 2. P. 42–54. DOI: 10.24411/0869-5997-2018-00011.

27. Vasil'ev Yu.R., Konenkov V.F., Korolyuk V.N. Akcessornye hromshpinelidy iz ul'traosnovnykh porod Majmecha-Kotujskogo rajona // Materialy po Geneticheskoy i Eksperimental'noj Mineralogii. N.: Nauka, 1976. P. 7–16.

28. Genkin A.D., Distler V.V., Laputina I.P. Hromitovaya mineralizatsiya differencirovannykh trappovykh intruzij i usloviya eyo obrazovaniya // Usloviya obrazovaniya magmaticheskikh rudnykh mestorozhdenij. M.: Nauka, 1979. P. 105–126.

29. Chayka I.F., Zhitova L.M., Antsiferova T.N., Abersteiner A., Shevko A.Ya., Izokh A.E., Tolstykh N.D., Gora M.P., Chubarov V.M., Kamenetsky V.S. In-Situ Crystallization and Continuous Modification of Chromian Spinel in the «Sulfide-Poor Platinum-Group Metal Ores» of the Norilsk-1 Intrusion (Northern Siberia, Russia) // Minerals. 2020. Vol. 10. P. 498.

30. Babushkina S.A. Sostav mikrokristallov shpinelidov trubki Malokuonamskaya // Otechestvennaya Geologiya. 2008. No. 5. P. 85–95.

31. Sobolev N.V., Pohilenko N.P., Lavrent'ev Yu.G., Usova L.V. Osobennosti sostava hromshpinelidov iz almazov i kimberlitov YAKutii // Geologiya i Geofizika. 1975. No. 11. P. 7–24.

32. Afanas'ev V.P., Zinchuk N.N., Pohilenko N.P. Morfologiya i morfogenez indikatornykh mineralov kimberlitov. Novosibirsk: Filial «Geo» izd-va SO RAN, 2001. 276 p.

33. Muan A., Huack J., Loffal T. Equilibrium studies with a bearing on lunar rocks // Proceedings of the Third Lunar Science Conference. 1972. Vol. 1. P. 185–196.

34. Davis R.J., Smith G.W. Yttrotungstite // Mineral. Mag. 1971. Vol. 38. P. 261–285.

35. Shkodzinskii V.S. Global'naya petrologiya po sovremennym dannym o goryachei geterogennoi akkretsii Zemli. Yakutsk: Izdatel'skii dom SVFU, 2018. 244 p.

36. Panina L.I., Motorina I.V. Zhidkostnaya nesmesimost' glubinykh magm i zarozhdenie karbonatitovykh rasplavov // Geokhimiya. 2008. No. 5. P. 487–504.

37. Delitsyn L.M., Melent'ev G.B., Batenin V.M., Tolstov A.V. Sosushchestvovanie dvukh nesmeshivayushchikhsya zhidkikh faz v silikatno-solevoi niobii-redkozemel'noi sisteme // Dokl. RAN. 2014. Vol. 462, No. 4. P. 440–443.

About the authors

OKRUGIN Aleksandr Vitalievich, doctor of geological and mineralogical sciences, chief researcher, Diamond and Precious Metals Geology Institute SB RAS, 39 Lenina pr., Yakutsk 677000, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-1248-8993>, okrugin@diamond.ysn.ru;

ZHURAVLEV Anatoliy Ivanovich, researcher, Diamond and Precious Metals Geology Institute SB RAS, 39 Lenina pr., Yakutsk 677000, Russia, <https://orcid.org/0000-0003-0115-5146>, ai.zhuravlevgeo@gmail.com.

Citation

Okrugin A.V., Zhuravlev A.I. Convergent mineralogical features of silicate igneous and carbonatite rocks of the Tomtor massif in the northeast of the Siberian platform // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2020, Vol. 25, No. 4. pp. 42–58. (In Russ.) <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-4-3>

Геохимия нафтидов среднекаменноугольных отложений Приколымского поднятия (Северо-Восток России)

И.Н. Зуева, О.Н. Чалая, Ю.С. Глязнецова, С.Х. Лифшиц

Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия

inzu@ipng.yasn.ru

Аннотация. Приведены результаты геохимического изучения проб из поверхностных битумопроявлений нятвенской толщи среднекаменноугольных отложений по обнажениям правого берега р. Поповка, притока р. Колыма, с целью выяснения типа нафтидопроявлений и их генетической взаимосвязи с вмещающими породами. Согласно полученным данным, изученные нафтиды относятся к битумам гипергенного ряда, которые в значительной степени окислены в зоне гипергенеза, но не несут заметных следов влияния процессов биохимического окисления. Установленное высокое содержание органического углерода и выхода битумоидов в породах и особенности распределения реликтовых углеводородов свидетельствуют об аквагенной природе исходного органического вещества. В изученных образцах катагенетические изменения органического вещества соответствуют средним грациям мезакатагенеза и оно сохранило свой углеводородный потенциал. Это позволяет считать, что битуминозная нятвинская толща генерировала жидкие углеводороды и могла быть их источником для широко развитых битумопроявлений в среднекаменноугольных отложениях Омuleвского и Приколымского поднятий вплоть до формирования скоплений углеводородов в погруженных частях Индигиро-Зырянского прогиба. Новые данные об особенностях группового состава и химической структуре хлороформенных битумоидов и спиртобензольных смол являются свидетельством многоэтапности миграционных процессов и указывают на смешанный характер битумопроявлений в нятвенской толще в результате наложения миграционных углеводородных флюидов из новинской свиты на сингенетичные битумопроявления нятвенской толщи, уже испытавшие значительные гипергенные изменения. С геохимических позиций полученные результаты подтверждают точку зрения на палеозойские отложения юго-восточной части Индигиро-Зырянского прогиба и прежде всего – девонские и каменноугольные – как самостоятельный объект для поиска залежей углеводородов.

Ключевые слова: органическое вещество, битумоиды, нефти, мальты, углеводороды, смолы, ИК-фурье-спектрометрия, хромато-масс-спектрометрия, катагенез, гипергенез.

Благодарности. Авторы благодарят коллег, принимавших участие в выполнении аналитических определений, А.В. Прокопьева (ИГАБМ СО РАН) за предоставленные геологические образцы. Работа выполнена по Программе ФНИ государственных академий наук Рег. № НИОКТР АААА-А17-117040710037-1.

Введение

В терригенно-карбонатных толщах нижне-среднекаменноугольных отложений Омuleвского и Приколымского поднятий (ОПП) широко развиты различные по масштабу и характеру нефте- и битумопроявления [1–3]. Позднее большой материал по геологическому строению и нефтегазонасности Магаданской области был проанализирован специалистами СНИИГиМС [4]. Как и предыдущие исследователи, отмечая широкое развитие черносланцевых и битуминозных толщ

в палеозойском разрезе, они не рассматривали территорию Омuleвского поднятия перспективной на поиски нефти и газа. По результатам последующих полевых тематических и лабораторных исследований был сделан вывод о перспективности возможно нефтегазоносной Омuleвской области [5]. Дальнейшее развитие эта точка зрения получила в работе [6], в которой на основе комплексного геолого-геофизического моделирования геологического строения была проведена оценка перспектив нефтегазоносности Омuleв-

ского поднятия. В ней автор обосновывает расширение нефтегазоносных районов за счет территорий со сложным геологическим строением, т. е. предлагает расширить границы потенциально нефтегазоносной Омудевской области за счет территорий, прилегающих с севера к Омудевскому поднятию.

В ряде работ приводится подробное геологическое описание нефтепроявлений в районе р. Поповка на границе ОПП, приуроченных к центральной части Нятовенской грабен-синклинали [1, 2]. Что касается геохимических исследований органического вещества (ОВ) пород, то они для каменноугольных отложений малочисленны. Так, в обобщающей работе по нефтегазоносности палеозойских отложений [5] детальная битуминологическая характеристика ОВ среднекаменноугольных отложений ограничена всего тремя образцами из нятовенской толщи. Для выяснения роли ниже-среднекаменноугольных отложений в процессах нефтегазообразования в палеозойском разрезе нами были выполнены детальные геохимические исследования для более представительного количества образцов.

Материал и методы исследования

В данной работе с целью определения типа нафтидопроявлений и выяснения их генетической взаимосвязи со вмещающими породами выполнено геохимическое изучение проб из поверхностных битумопроявлений (нятовенская толща, среднекаменноугольные отложения, р. Поповка) современными геохимическими методами. Мощность нятовенской толщи составляет около 100 м, накопление осадков происходило в мелководной обстановке, характерной для прибрежной зоны морей и лагун бореальных бассейнов с преобладанием восстановительной обстановки [7, 8]. Судя по присутствию в породах известняков с фрагментами среднекаменноугольной фауны (брахиопод и остатков раковин), исходное ОВ соответствовало аквагенному типу [1]. Поповкинская свита сложена, главным образом, осадочными породами палеозойского возраста суммарной мощностью 4–5 км, в которых обнаружены жидкие битумы в полостях раковин, в конкрециях и обломках известняков, а также твердые хрупкие смоляно-черные битумы в туфоалевролитах в виде рассеянной вкрапленности. По люминесцентно-битуминологическим определениям би-

тумопроявления были отнесены к эпигенетическому нефтяному ряду нафтидов [1].

Были изучены 10 образцов битуминозных пород, отобранных из обнажения № 5 по правому берегу р. Поповка, в 2,7 км ниже устья ручья Широкий и в 1 км выше устья ручья Осока, любезно предоставленных А.В. Прокопьевым (ИГАБМ СО РАН). По данным Н.И. Караваевой, битуминозные породы относятся к нятовенской толще среднего карбона C_2^{nt} [9].

Аналитические определения выполнены по общепринятой схеме битуминологических исследований [10,11]. Содержание органического углерода в породах (C_{org}) определяли методом сжигания, выход хлороформенного битумоида (ХБ) – методом горячей экстракции хлороформом. ХБ после осаждения асфальтенов избытком петролейного эфира разделяли методом колоночной хроматографии (на силикагеле АСК) на смолы и углеводороды (УВ). Структурно-групповой состав ХБ и их фракций определяли методом ИК-фурье-спектроскопии. ИК-спектры записаны на спектрометре «Protégé 460» фирмы «Nicolet» в области $4000\text{--}600\text{ см}^{-1}$, в кювете с окошками КВг, толщина поглощающего слоя 33×10^{-6} м, расшифровка ИК-спектров проводилась по руководству Л. Беллами [12]. Хромато-масс-спектрометрические (ХМС) исследования насыщенных УВ масляных фракций проводили на системе, включающей газовый хроматограф Agilent 6890 с интерфейсом и высокоэффективным масс-селективным детектором Agilent 5973N. Хроматограф снабжен кварцевой капиллярной колонкой длиной 25 м, диаметром 0,25 мм, импрегнированной фазой HP-5MS. Газ-носитель – гелий, скорость потока 1 мл/мин. Температура испарителя $320\text{ }^{\circ}\text{C}$; программирование подъема температуры – от 100 до $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ со скоростью $4\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ с последующей изотермой в течение 30 мин. Ионизирующее напряжение источника – 70 эВ, температура источника – $220\text{ }^{\circ}\text{C}$. Масс-хроматограммы УВ получены по общему ионному току и характеристическим фрагментным ионам. По иону $m/z = 57$ определены алифатические УВ: n-алканы, монометилалканы и изопреноиды. Идентификация индивидуальных УВ проводилась компьютерным поиском в библиотеке Национального института стандартов NIST-05, по литературным данным и реконструкцией структур по характеру ионной фрагментации при электронном ударе [13,14].

Результаты исследования и обсуждение

Изученные образцы представлены черными глинисто-битуминозными алевролитами, с обломками осадочных и эффузивных пород; известняками, известковистыми песчаниками, органогенными известняками, алевролитами с остатками раковин. У берега под обнажением на воде обнаружены маслянистые пятна со слабым запахом керосина, отмечается периодический характер появления пленки, подобные маслянистые пленки наблюдали и ниже по течению р. Поповки в районе устья р. Белая ночь [15].

По нашим данным, высокое содержание $S_{\text{орг}}$ до 6 %, а также от 2,3 до 3,6 % [15] и 1,4–4,7 % [5] и большие значения выхода ХБ до 0,219 % в изученных образцах (табл. 1) и до 0,190–0,200 % [2, 15] позволяют сделать вывод о доманикоидной природе пород поповкинской свиты. Учитывая низкие коэффициенты битуминозности, можно предположить параавтохтонный характер битумопроявлений. Вместе с тем нельзя исключить возможный подток УВ из нижележащей новинской свиты нижнего карбона, что указывает на смешанный характер нафтидов [2].

Изученные образцы различаются по содержанию УВ и смолистых компонентов в составе ХБ и особенностям химической структуры ХБ и их фракций. По групповому составу (см. табл. 1) они относятся к нефтям (8 образцов) и мальтам (2 образца). Судя по высокому содержанию УВ (до 85 %) и низкому – смол (13–14 %) и асфальтеновых компонентов (2 %), большая часть образцов, по-видимому, отобрана из нефтепроявлений. Близок по составу к этим образцам и образец из нефтепроявления из обнажений по р. Поповка, который представлял собой жидкий битум в полостях конкреций нятвенской толщи [2]. Два изученных образца (10726 и 10717) с содержанием УВ около 61 %, смол до 34 % и асфальтенов до 5 % тяготеют к мальтам и, вероятнее всего, занимают промежуточное положение между классами нефтей и мальт по классификации [11]. Различия по ряду геохимических параметров для нефтей и мальт показаны на рис. 1.

По характеру ИК-спектров установлено, что в химической структуре усредненной молекулы нефтей доминирующими являются алифатические соединения с длинными метиленовыми цепями (интенсивная полоса поглощения (п.п.) 720 см^{-1}) при менее значительном участии ароматических

циклов – п.п. 750, 810, 880 и 1600 см^{-1} (рис. 2). По типу ИК-спектров и групповому компонентному составу близким к этим нефтям можно считать образец из нефтепроявления (см. табл. 1) из коллекции В.В. Иванова и Б.А. Клубова [2], генезис которого авторы этой работы связывают с ОВ нижележащей новинской свиты нижнего карбона. По ИК-спектру он обнаруживает большое сходство с образцом из другого нефтепроявления, отобранным Г.А. Семеновым в 1971 г. также на р. Поповка [2]. В этом нефтепроявлении в виде маслянистых пленок и примазок загустевшей нефти по трещинам обломков органогенных и глинистых известняков были обнаружены фаунистические находки нижнего карбона. Изученные два образца мальт различаются по структурно-групповому составу. В образце мальты (обр. 10726) отчетливо выражено преобладание ароматических циклов над соединениями с длинными метиленовыми цепями, что отражает характерный тип ИК-спектра (см. рис. 2) и значения относительной оптической плотности полос поглощения (см. рис. 3).

По ИК-спектру отличительной особенностью состава ароматических УВ в мальте является высокое содержание фенантронов, на что указывает появление в спектре фракции УВ (наряду с интенсивной п.п. 1600 см^{-1}) высоко интенсивных п.п. 880 и 810 см^{-1} , значительно превышающих п.п. 750 см^{-1} . От этого образца резко отличается другой – обр. 10717 (мальта) с преобладанием алифатических структур в химической структуре ХБ.

В целом следует отметить, что при преобладающем алифатическом характере состава среди нефтей встречаются образцы со значительным содержанием ароматических УВ, а среди мальт – образец, близкий к нефтям алифатического состава (см. рис. 2).

Отмеченные большие различия в химической структуре ХБ могут указывать на различную степень воздействия многообразных геологических факторов и их меняющийся характер, что повлияло на изменение первоначального состава нафтидов.

Сведения о высокой информативности данных о химической структуре смол и асфальтенов при изучении генезиса нафтидов можно найти в работах [15, 16]. Наши данные ИК-спектроскопии показали, что мальты характеризуются большей степенью окисленности. Это отражают высокие значения относительной плотности по-

**Геохимическая характеристика битумоидов из поверхностных нефтидопроявлений
нятвенской толщи (среднекаменноугольные отложения, правый берег р. Поповка)**

Table 1

**Geochemical characteristics of bitumoids from surface naphthide shows of the Nyatvin strata
(Middle Carboniferous deposits, right bank of the Popovka River)**

Номер образца Number of sample	Порода Rock	C_{org} C_{org}	$\alpha_{хб}$ α_{CHB}	$\beta_{хб}$ β_{CHB}	Групповой состав ХБ, % Group composition CHB, %					УВ-состав, % на Σ УВ HC-composition, % on Σ HC	
		%	%	%	УВ HC	смолы resins			асф. asph. компоненты components	M-H Mn-Na	H-A Na-Ar
						бенз. benz.	сп/бенз alch/benz	сумма sum			
10723	темно/серые плотные	5,20	0,205	3,93	75,9	7,3	13,4	20,5	3,6	86,4	13,5
10722	песч. алевролиты	6,01	0,096	1,59	64,9	9,0	22,2	31,2	3,9	69,3	30,7
10726	черные углисто-глинистые	5,34	0,053	0,99	61,4	14,0	20,6	34,6	4,0	н.о. n.d.	н.о. n.d.
10725	битуминозные алевролиты	5,32	0,047	0,88	78,3	11,5	8,2	19,7	2,0	н.о. n.d.	н.о. n.d.
10724	dark gray sandstones	5,25	0,197	3,75	84,2	6,0	8,0	14,0	1,8	73,7	26,3
10721	siltstones, black coal-clay bituminous siltstones	5,12	0,158	3,08	85,3	4,3	9,1	13,4	1,3	79,7	20,3
10720		5,55	0,219	3,94	73,6	16,1	8,2	24,3	2,1	81,3	18,7
10719		5,25	0,165	3,13	69,2	17,2	12,2	29,4	1,4	н.о. n.d.	н.о. n.d.
10718	органоген. изв-ки, известк. песч-ки organogenic limestones, calcareous sands	4,97	0,098	1,97	77,5	10,0	10,3	20,3	2,2	н.о. n.d.	н.о. n.d.
10717	черные слабослоистые алевролиты black weakly stale siltstones	5,12	0,104	2,04	60,8	9,8	24,1	33,9	5,4	н.о. n.d.	н.о. n.d.
10716	черные слабослоистые алевролиты black weakly stale siltstones	7,37	0,090	1,22	42,41	9,49	32,28	41,77	15,82	н.о. n.d.	н.о. n.d.
45*	примазки нефти по трещинам в обломках известняков oil inclusions along cracks in the wreckage limestone	n.d.	n.d.	n.d.	71,2	11,8	16,5	28,3	0,5	94,1	5,9

Обозначения: * жидкий битум в полостях конкреций нятвинской толщи C_2^m , р. Поповка в 118 км от устья [2]; ХБ – хлороформные битумоиды; УВ – углеводороды; бенз. – бензольные смолы; сп/бенз – спиртобензольные смолы; асф – асфальтены.

Signs: n.d. – no data; * liquid bitumen in the cavities of concretions of the Nyatva strata C_2^m , r. Popovka 118 km from the mouth [2]; CHB – chloroform bitumoid, HC – hydrocarbons, benz – benzol resins, alch/benz – alcoholbenzene resins, asph – asphaltene components.

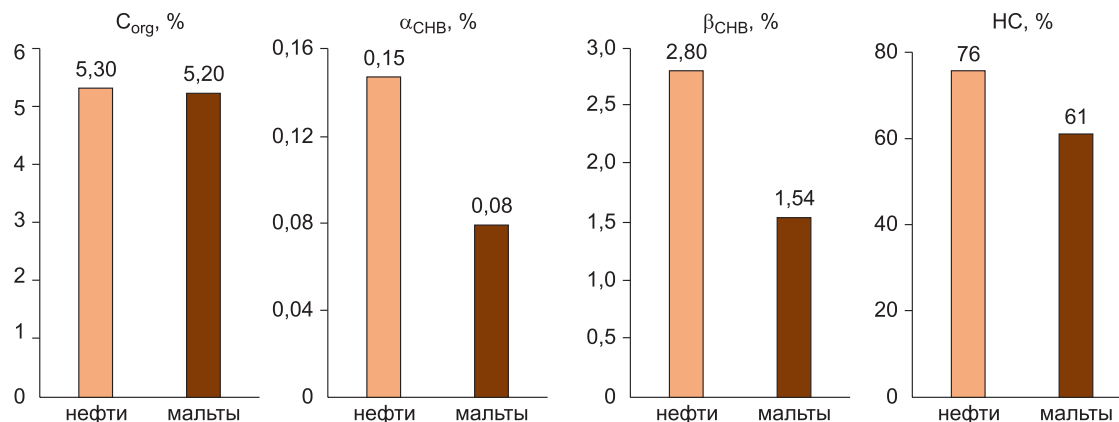


Рис. 1. Средние значения геохимических параметров для нефтей и мальт нятвенской толщи.

α_{CHNB} – содержание хлороформенного битумоида; β_{CHNB} – величина отношения α_{CHNB} к C_{org} , НС – углеводороды.

Fig. 1. Average values of geochemical parameters for oils and malthas of the Nyatvin strata.

α_{CHNB} – chloroform bitumoid content, β_{CHNB} – relation value of α_{CHNB} to C_{org} ; HC – hydrocarbons.

глощения карбонильных групп (D'_{1700}), в три раза и более превышающие значения для нефтей (рис. 4). Вместе с тем следует отметить такой интересный установленный нами факт – фракции спиртобензольных смол как в мальтах, так и в нефтях характеризуются одинаково высокой окисленностью, что отражают достаточно близкие высокие значения поглощения карбонильных групп – $D'_{1700} \geq 1$ в химической структуре спиртобензольных смол в тех и других. Это свидетельствует о высокой степени воздействия процессов интенсивного окисления нафтидов в результате долгого пребывания в зоне гипергенеза. Большие вариации в количестве карбонильных групп в химической структуре в изученных образцах нефтей и мальт определяются количественным содержанием в их составе смолистых компонентов и прежде всего спиртобензольных смол. Это отражают высокие коэффициенты корреляции $R(D'_{1700} : \text{количество спиртобензольных смол}) = 0,75$ и $R(D'_{1700} : \text{сумма смол}) = 0,84$. Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод о том, что большие колебания в содержании смолистых компонентов и количестве карбонильных групп в химической структуре нафтидов (см. табл. 2, рис. 4) могут быть обусловлены различной степенью «наложения» новых подтоков легких УВ из нижележащих отложений на нафтидопроявления, уже ранее испытывавшие значительные изменения в зоне гипергенеза. Полученные результаты подтверждают наблюдения предшествующих исследователей о периодическом характере появления маслянистой пленки на водной поверхности р. По-

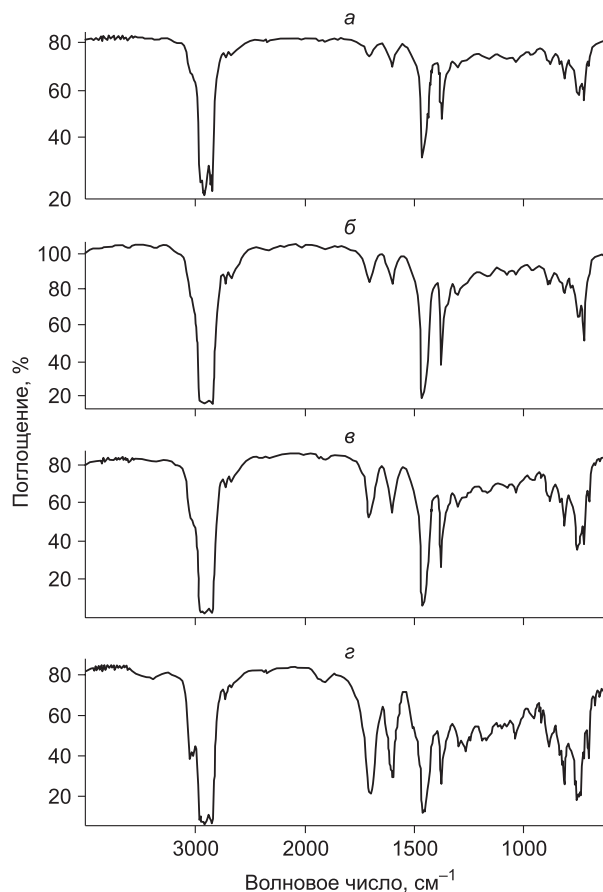


Рис. 2. ИК-спектры ХБ пород из нафтидопроявлений нятвенской толщи.

а–в – нефти: *а* – обр.10724, *б* – обр.10721, *в* – обр.10718; *г* – мальта – обр.10726.

Fig. 2. IR spectra of chloroform bitumoids of rocks from naphthide shows of the Nyatvin strata. Oils – *а* (s.10724), *б* (s.10721), *в* (s.10718); maltha – *г* (s.10726).

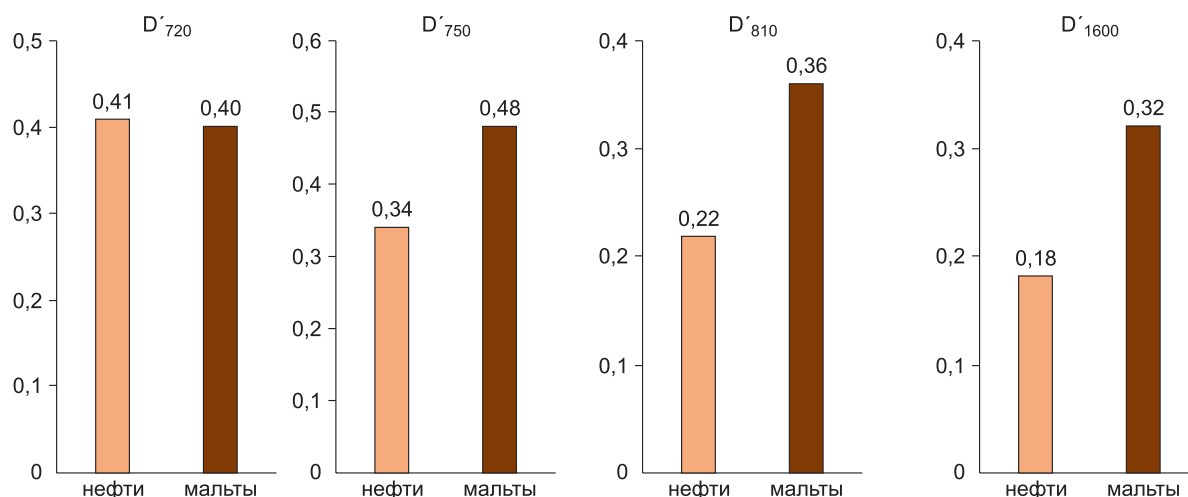


Рис. 3. Средние значения относительной оптической плотности поглощения длинных метиленовых цепей (D'_{720}) и ароматических циклов (D'_{750} и D'_{1600}) в нефтях и мальтах.

Fig. 3. Average values of the relative optical absorption density of long methylene chains (D'_{720}) and aromatic rings (D'_{750} and D'_{1600}) in oils and malthas.

повка и ее пространственной приуроченности к зоне разлома, с которой связана поровая битумонасыщенность нятвенской толщи, что скорее

всего обусловлено разгрузкой нефтяной залежи нижележащей новинской свиты по системе тектонических трещин [17].

Таблица 2

Индивидуальный состав насыщенных УВ в битумоидах из поверхностных нафтидопроявлений нятвинской толщи (среднекаменноугольные отложения, правый берег р. Поповка, приток Колымы)

Table 2

Individual composition of saturated hydrocarbons from surface naphthide shows of the Nyatvin strata (Middle Carboniferous deposits, right bank of the Popovka River)

Параметры Parameters	Тип нафтида naphthides type	$\frac{\sum \text{н.к.}-\text{nC}_{20}/\sum \text{н.к.}-\text{к.к.}}{\sum \text{б.б.}-\text{nC}_{20}/\sum \text{н.к.}-\text{к.к.}}$	максимум н-алканов max. n-alkanes	изопр./ н-алк. isopr./ n-alk.	нч/ч odd/even	п/ф Pr/Ph	п/н C_{17} Pr/n C_{17}	ф/н C_{18} Ph/n C_{18}	п+ф/ н C_{17} +н C_{18} Pr+Ph/ n C_{17} +n C_{18}
мин min	нефти oils	1,51	н $C_{15,16}$ nC $_{15,16}$	0,02	0,95	0,97	0,04	0,03	0,04
макс max	нефти oils	2,19	н $C_{16,18,19}$ nC $_{16,18,19}$	0,04	0,98	2,19	0,08	0,06	0,07
среднее mean	нефти oils	1,89	н $C_{16,17,18}$ nC $_{16,17,18}$	0,03	0,97	1,31	0,06	0,05	0,05
мин min	мальты malthas	0,94	н C_{18} nC $_{18}$	0,04	0,96	0,93	0,1	0,05	0,09
макс max	мальты malthas	1,84	н $C_{15,16}$ nC $_{15,16}$	0,04	1,01	3,06	0,16	0,09	0,11
среднее mean	мальты malthas	1,39	н $C_{15,16,18}$ nC $_{15,16,18}$	0,04	0,99	2,00	0,13	0,07	0,10

Обозначения: н.к. – начало кипения, к.к. – конец кипения, п – пристан, ф – фитан.

Signs: b.b. – beginning boiling; e.b. – end boiling; Pr – pristan; Ph – phytan.

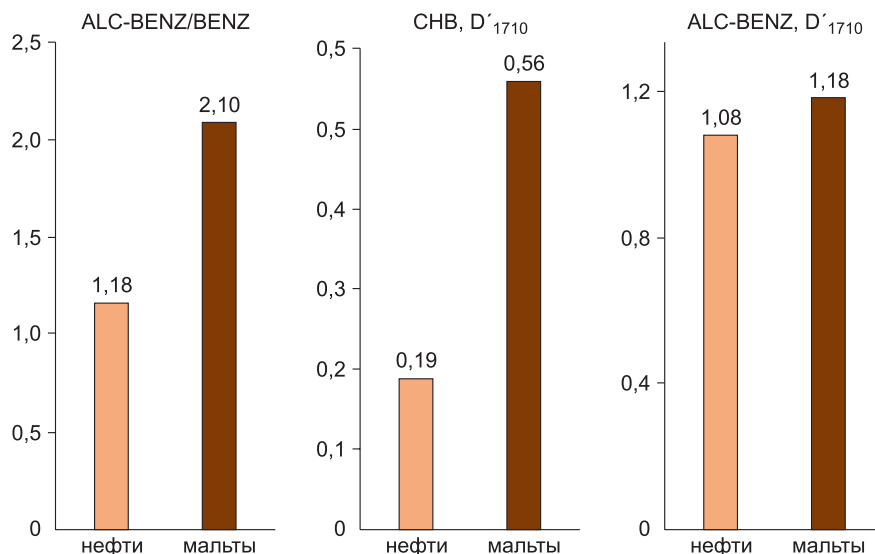


Рис. 4. Сравнение относительной оптической плотности поглощения карбонильных групп в ЧВБ, спиртобензольных смолах (ALC-BENZ) и отношение содержания ALC-BENZ смол к бензольным (BENZ) в нефтях и мальтах.

Fig. 4. Comparison of the relative optical absorption density of carbonyl groups (D'_{1710}) in chloroform bitumoids (CHB), alcohol-benzene resins (ALC-BENZ) and the ratio of ALC-BENZ resins content to benzene resins content (BENZ) in oils and malthas.

Исследование ациклических УВ-биомаркеров выполнено методом ХМС. Изученные образцы близки по составу и характеру распределения насыщенных УВ (см. табл. 2, рис. 5).

В образцах как нефтей, так и мальт доминируют алканы нормального строения (71,85–82,63 %) с одномодальным распределением и преобладанием относительно низкомолекулярных гомологов. Об этом свидетельствуют значения отношений $\sum n.C_{20}/\sum n.C_{21}$ – к.к. = 1,51–2,19. Только в одном образце мальты (обр.10717) это соотношение близко к единице (0,94). Максимум распределения н-алканов расположен в области н- C_{15} –н- C_{19} , при этом основной максимум в большинстве образцов расположен на н- C_{15} и н- C_{16} , что типично для аквагенного ОВ [18–20]. Вариации в соотношениях относительно низко- и высокомолекулярных н-алканов авторы работы [5] объясняют разнообразием геологических условий залегания пород.

Изученные битумоиды характеризуются практически одинаковыми соотношениями н-алканов с нечетным и четным количеством атомов углерода в молекуле. Значение коэффициента $n_{ч}/n_{нч}$ близко к единице (0,95–1,01), что указывает на термическую зрелость генерировавшего ОВ, достигшего главной фазы нефтеобразования, и свойственно для битумоидов и нефтей нефтегазоносных районов [21–27]. Согласно данным [17], судя по плотности аргиллитов (2,55–2,59 г/см³), степень ката-

генетической преобразованности пород нижнего и среднего карбона соответствовала грациям $МК_1$ – $МК_2$ (за исключением локальных зон проявления контактового метаморфизма). Внутри прогиба эти породы могут находиться в интервале ГФН. Подобный характер распределения насыщенных УВ и степень катагенетической зрелости ОВ были установлены и для ОВ пород саггирской и доманикоидной неличенской свит нижнего девона Селенняхского поднятия, а также ниже-среднедевонских отложений о. Котельный, исходным для которых послужило аквагенное ОВ [28, 29].

Отличительной особенностью ХБ являются невысокие концентрации изопреноидов 1,8–3,1 % и низкие значения соотношений с н-алканами 0,02–0,04. Это характерно для процесса преобразования ОВ в зоне катагенеза, сопровождающегося уменьшением концентрации изопреноидов относительно н-алканов с увеличением степени катагенеза [13]. В составе изопреноидов пристан преобладает над фитаном. Соотношения пристана (п) и фитана (ф) с рядом элюируемыми н-алканами значительно меньше единицы: $p/n-C_{17} = 0,04–0,16$, $f/n-C_{18} = 0,04–0,09$, что может указывать на отсутствие заметного влияния процессов биodeградации на формирование состава нафтидов. Увеличение количества изопреноидов сопровождается повышением отношений p/n -гептадекан и f/n -октадекан. Содерж-

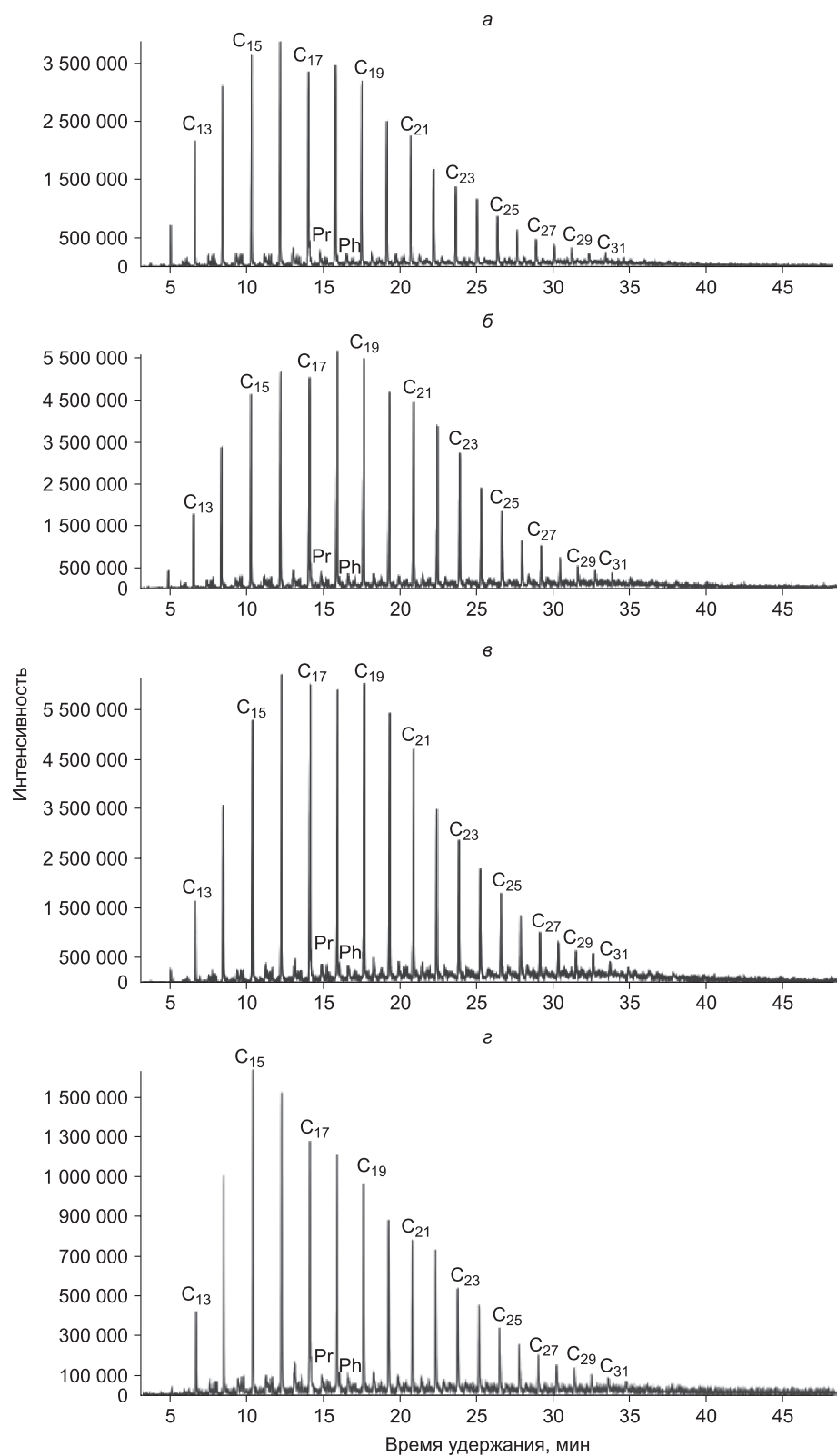


Рис. 5. Масс-фрагментограммы (m/z 57) насыщенных УВ в нефтях нятвинской толщи.
 а–в: нефти (а – обр.10724, б – обр.10721, в – обр.10718); г – мальта – обр.10726; C₁₃–C₃₁ – н-алканы; Pr – пристан; Ph – фитан.

Fig. 5. Mass fragmentograms (m/z 57) of saturated hydrocarbons in naphthides of the Nyatvin strata.
 Oil samples – а (s.10724); б (s.10721); в (s.10718); maltha sample – г (s.10726); C₁₃–C₃₁ – n-alkanes; Pr –pristan; Ph – phytan.

жание изопреноидов в мальтах несколько выше, чем в нефтях (2,7–3,1 % против 1,8–2,8 %). Такая же тенденция отмечается и для соотношений п/н-гептадекан (0,10–0,16 в мальтах; 0,04–0,08 в нефтях) и ф/н-октадекан (0,05–0,09 в мальтах; 0,03–0,06 в нефтях).

В составе УВ-фракции изученных нафтидов отсутствуют реликтовые УВ ряда 12- и 13-монометилалканов, которые являются характерными метками ОВ пород докембрийских отложений востока Сибирской платформы [5, 20, 27]. По нашим данным, реликтовые УВ ряда 12- и 13-монометилалканов также не были обнаружены в составе нафтидов из битумопроявлений в отложениях нижнего и среднего девона в Индигиро-Зырянском бассейне и на о. Котельный Новосибирского архипелага [28, 29]. Это может указывать на отсутствие заметного вклада ОВ докембрийских отложений в процессы нефтеобразования в девонских и каменноугольных отложениях в данном регионе.

Перечисленные выше особенности состава и распределения биомаркеров указывают на то, что нафтиды нятвинской толщи сингенетичны вмещающим отложениям и генетически связаны с ОВ морских фаций, формировавшимся в восстановительных условиях диагенеза в мелководной обстановке с нормальной соленостью вод и обладали высоким нефтегенерационным потенциалом.

По мнению авторов работы [5], западные районы Омурского поднятия, где наиболее распространены черносланцевые толщи, обогащенные РОВ, были областью активного нефтеобразования, но по условиям геологического развития региона возможные скопления УВ здесь были разрушены. Согласно полученным данным, изученные нафтиды нятвенской толщи относятся к битумам гипергенного ряда, которые в значительной степени окислены в зоне гипергенеза, но не несут заметных следов влияния процессов биохимического окисления.

Заключение

Таким образом, полученные результаты по геохимии изученных нафтидопроявлений в среднекаменноугольных отложениях Омурского и Приколымского поднятий по обнажениям р. Поповка – высокие концентрации органического углерода и выхода битумоида, особенности распределения реликтовых углеводородов свидетельствуют об аквагенной природе исходного органи-

ческого вещества и сингенетичности нафтидов вмещающим отложениям. В изученных нафтидопроявлениях катагенетические изменения ОВ соответствуют средним грациям мезакатагенеза и ОВ сохранило свой УВ-потенциал. Это позволяет считать, что битуминозная нятвинская толща генерировала жидкие УВ и могла быть источником для широко развитых битумопроявлений в среднекаменноугольных отложениях ОПП вплоть до формирования скоплений УВ в погруженных частях Индигиро-Зырянского бассейна.

Новые данные об особенностях группового состава и химической структуры ХБ и спиртобензольных смол являются свидетельством многоэтапности миграционных процессов и указывают на смешанный характер битумопроявлений в нятвенской толще в результате наложения миграционных углеводородных флюидов из новинской свиты нижнего карбона на сингенетичные битумопроявления нятвинской толщи, уже испытавшие значительные гипергенные изменения.

С геохимических позиций полученные результаты подтверждают точку зрения на палеозойские отложения юго-восточной части Индигиро-Зырянского прогиба и прежде всего – девонские и каменноугольные – как самостоятельный объект для поиска залежей углеводородов [15, 30, 31].

Литература

1. Иванов В.В., Семенов Г.А., Пепеляев В.Б. Нафтидопроявления на юго-восточном обрамлении Индигиро-Зырянского прогиба // Докл. АН СССР. 1975. Т. 224, № 4. С. 918–921.
2. Иванов В.В., Клубов Б.А. Нафтиды и нафтоиды Северо-Востока СССР. М.: Наука, 1979. 147 с.
3. Клубов Б.А., Мерзляков В.М. Кериты и антраксолиты девонских доминикойдов Омурского поднятия (северо-восток СССР) // Тихоокеанская геология. 1989. № 5. С. 37–43.
4. Комплексный анализ геолого-геофизических материалов с целью обоснования на нефть и газ наиболее перспективных районов Магаданской области и составление плана региональных работ / отв. исп. Ларичев А. И. Отчет. Новосибирск: СНИИГГиМС, 1995. 83 с.
5. Изучение верхнедокембрийских и палеозойских отложений Омурского поднятия с целью прогноза нефтегазоносности / Ларичев А.И., Соболев П.Н. Отчет. Новосибирск: СНИИГГиМС, 2002. 258.
6. Мигурский Ф.А. Перспективы нефтегазоносности Омурского поднятия: Автореф. дис канд. геол.-мин. наук. Новосибирск, 2007. 19 с.
7. Гагиев М.Х. Стратиграфия девона и нижнего карбона Приколымского поднятия (Северо-Восток

Азии). Магадан: СВНЦ ДВО РАН: СВКНИИ ДВО РАН, 2009. 290 с.

8. Ганелин В.Г. Стратиграфия и брахиоподы верхнепалеозойских отложений Колымо-Омолонского массива: Дис. канд. геол.-мин. наук. М.: ГИН, 1973. С. 191.

9. Сопоставление опорных разрезов Омудевского и Приколымского поднятий / Караваева Н.И. Отчет по теме: 1173. 1990–1993 г. г. Магадан, 1993.

10. Руководство по анализу битумов и рассеянного органического вещества горных пород (1966) // Под ред. В.А. Успенского, К.Ф. Родионовой, А.И. Горской, А.П. Шишкиной. Л.: Недра, 1966. 316 с.

11. Основы генетической классификации битумов / В.А. Успенский, О.А. Радченко, Е.А. Глебовская и др. Л.: Недра, 1964. 268 с.

12. Беллами Л. Инфракрасные спектры молекул. М.: ИЛ, 1963. 590 с.

13. Петров Ал.А., Головкина Л.С., Русинова Г.В. Масс-спектры нефтяных углеводородов. Справочник (атлас). М.: Недра, 1986. 312 с.

14. Лебедев А.Т. Масс-спектрометрия в органической химии. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003. 493 с.

15. Борисова Л.С. Геохимия смол рассеянного органического вещества и нефтей Западной Сибири // Докл. РАН. 2008. Т. 420, № 3. С. 382–384.

16. Борисова Л.С. Геохимия асфальтенов и смол рассеянного органического вещества пород и нефтей юры и нижнего мела Западно-Сибирского бассейна. Автореф. дисс. ... докт. геол.-мин. наук. Новосибирск, 2020. 36 с.

17. Иванов В.В., Семенов Г.А., Ваццлов Ю.Я. О перспективах нефтегазоносности палеозойских отложений Индигиро-Зырянского прогиба // Докл. АН СССР. 1978. Т. 239, № 6. С. 1170–1173.

18. Изосимова А.Н., Чалая О.Н. Реликтовые углеводороды в органическом веществе и нефтях Западной Якутии. Новосибирск: Наука, 1989. 127 с.

19. Геохимия нефтей востока Сибирской платформы. Якутск: ЯНЦ СО РАН, 2009. 180 с.

20. Каширцев В.А., Конторович А.Э., Ким Н.С., Чалая О.Н., Зуева И.Н. Стераны в неопротерозойских нефтях Непско-Ботуобинской антеклизы Сибирской платформы и Южно-Оманского соленосного бассей-

на аравийской платформы // Нефтехимия. 2015. Т. 55, № 5. С. 197–205. DOI: 10.7868/S0028242115020136

21. Конторович А.Э. Геохимические методы количественного прогноза нефтегазоносности. М.: Недра, 1976. 250с.

22. Moldovan J.M., Seifert W.K., Gallegos E.J. Relationship between petroleum composition and depositional environment of petroleum source rocks // Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull. 1985. Vol. 69. P. 1255–1268.

23. Peters K.E., Moldovan J.M. The biomarker guide. New Jersey: Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1993. 363 p.

24. Неручев С.Г. Нефтепроизводящие свиты и миграция нефти. Изд. 1. М.: Гостоптехиздат, 1962. 224 с.

25. Неручев С.Г., Рогозина Е.А. Геохимические основы прогноза нефтегазоносности. СПб.: ВНИГРИ. 2010. 280 с.

26. Оценка потенциальных ресурсов углеводородов на основе моделирования процессов их генерации, миграции и аккумуляции С.Г. Неручев, Т.К. Баженова, С.В. Смирнов и др. СПб.: Недра, 2006. 364 с.

27. Арефьев О.А., Забродина М.Н., Русинова Г.И., Петров Ал.А. Биометки нефтей Восточной Сибири // Нефтехимия. 1993. Т.33. С.488–504.

28. Зуева И.Н., Чалая О.Н., Лифшиц С.Х., Глязнецова Ю.С. Нафтиды нижнедевонских отложений Селеняхского поднятия (северо-восток Якутии) // Материалы VI ВНКП «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России». 6–8 апреля. Якутск: Издательский дом СВФУ. 2016. С. 346–349.

29. Зуева И.Н., Чалая О.Н., Глязнецова Ю.С., Лифшиц С.Х., Прокопьев А.В., Еришова В.Б., Васильев Д.А., Худолей А.К. Геохимические особенности битумопроявлений в нижне-среднедевонских отложениях северо-западной части о. Котельный //Георесурсы. 2019. Т. 21, № 3. С. 31–38. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2019.3.31-38>

30. Иванов В.В., Гревцов А.В., Щербань О.В. Седикахиты осадочных бассейнов Северо-Восточной Азии. М.: Наука, 1988. 166 с.

31. Шишкин В.А., Ганов А.П. Перспективы нефтегазоносности южной части Тасканской структурной зоны Омудевского поднятия // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2010. № 2. С. 8–13.

Поступила в редакцию 16.08.2020

Принята к публикации 05.11.2020

Об авторах

ЗУЕВА Ираида Николаевна, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, Институт проблем нефти и газа СО РАН, 677980, Якутск, ул. Петровского, 2, Россия, Researcher ID: J-9373-2018; <https://orcid.org/0000-0001-7576-8282>; inzu@ipng.ysn.ru;

ЧАЛАЯ Ольга Николаевна, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, Институт проблем нефти и газа СО РАН. 677980, Якутск, ул. Петровского, 2, Россия, Researcher ID: J-9329-2018; <https://orcid.org/0000-0002-9662-2028>; oncha@ipng.ysn.ru;

ГЛАЗНЕЦОВА Юлия Станиславовна, кандидат химических наук, заведующая лабораторией, Институт проблем нефти и газа СО РАН, 677980, Якутск, ул. Петровского, 2, Россия, Researcher ID: J-9714-2018; <https://orcid.org/0000-0002-9195-5296>; glyaz1408@mail.ru;

ЛИФШИЦ Сара Хаимовна, кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник, Институт проблем нефти и газа СО РАН. 677980, Якутск, ул. Петровского, 2, Россия, Researcher ID: K-1438-2018; <https://orcid.org/0000-0001-5881-2720>; shlif@ipng.ysn.ru.

Информация для цитирования

Зуева И.Н., Чалая О.Н., Глазнецова Ю.С., Лифшиц С.Х. Геохимия нафтидов среднекаменноугольных отложений Приколымского поднятия (Северо-Восток России) // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2020, Т. 25, № 4. С. 59–71. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-4-4>

DOI 10.31242/2618-9712-2020-25-4-4

Geochemistry of naphthides of the Middle Carboniferous sediments of the Prikolym Uplift (North-East of Russia)

I.N. Zueva, O.N. Chalaya, Yu.S. Glyaznetsova, S.Kh. Lifshits

*Institute of Oil and Gas Problems SB RAS, Yakutsk, Russia
inzu@ipng.ysn.ru*

Abstract. *The paper presents the results of the geochemical investigation of samples from the surface bitumen occurrences in the Nyatvin stratum of the Middle Carboniferous sediments over the outcrops of the right bank of the Popovka river, a tributary of the Kolyma river, for the purpose of determining the type of naphthides and their genetic relations with the enclosing rocks. According to the obtained data, the studied samples relate to naphthides of hypergenic row, which are oxidized to a high extent in the hypergenesis zone but do not bear any evident traces of biochemical oxidizing. The detected high content of organic carbon and bitumoids in the rocks, together with the features of the distribution of relict hydrocarbons, prove evidence of the aquagenic nature of initial organic matter. In the studied samples, catagenic changes of the organic matter correspond to the average stage of mesocatagenesis, and the matter had conserved its hydrocarbon potential. This allows us to suppose that the bituminous Nyatvin stratum had generated liquid hydrocarbons and could be their source for widespread bitumen occurrences in the Middle Carboniferous sediments of the Omulev and Prikolym uplifts up to the formation of hydrocarbon pools in the submerged parts of the Indigiro-Zyryan trough. The new data on the features of group composition and chemical structure of the chloroform bitumoids and alcohol-benzene resins prove evidence of the multistage nature of migration processes and point to the mixed character of bitumen shows in the Nyatvin stratum as a result of the overlay of hydrocarbon migration fluids from the Novin suite on syngenetic butumens of the Nyatvin stratum, which had already underwent substantial changes in the hypergenesis zone. From the geochemical point of view, the obtained results confirm the opinion that the Paleozoic sediments, first of all Devonian and Carboniferous, in the south-eastern part of the Indigiro-Zyryan trough are a self-object for the search of hydrocarbon pools.*

Key words: organic matter, bitumoids, oils and malthas, hydrocarbons, resins, IR-Fourier spectrometry, gas chromatography-mass spectrometry, catagenesis, hypergenesis.

Acknowledgements. *The authors are thankful all colleagues who participated in the laboratory and analytical studies and geologist Andrey Prokopiev for geological samples. The work was carried out in the framework of fundamental scientific research program No. ИИОКТР АААА-А17-117040710037-1.*

References

1. *Ivanov V.V., Semjonov G.A., Pepeljaev V.B.* Naftidoproyavleniya na jugo-vostochnom obramlenii Indigiro-Zyrjanskogo progiba // Dokl. SSSR. 1975. Vol. 224, No 4. P. 918–921.
2. *Ivanov V.V., Klubov B.A.* Naftidy i naftoidy Severo-Vostoka SSSR. Moscow: Nauka, 1979. 147 p.
3. *Klubov B.A., Merzljakov V.M.* Kerity i antrakso-lity devonskih dominikoidov Omulevskogo podnjatija (severo-vostok SSSR) // Tihookeanskaja geologija. 1989. No 5. P. 37–43.
4. *Kompleksnyj analiz geologo-geofizicheskikh materialov s cel'ju obosnovaniya na neft' i gaz naibolee perspektivnyh rajonov Magadanskoj oblasti i sostavlenie plana regional'nyh rabot / otv. isp. Larichev A. I. Otchjot.* Novosibirsk: SNIIGGiMS, 1995. 83 p.
5. *Izuchenie verhnedokembrijskih i paleozojskih otlozhenij Omulevskogo podnjatija s cel'ju prognoza neftegazonosnosti / Larichev A.I., Sobolev P.N. Otchet.* Novosibirsk: SNIIGGiMS, 2002. 258 p.
6. *Migurskij F.A.* Perspektivy neftegazonosnosti Omul'jovskogo podnjatija: Avtoref. diss. cand. geol.-min. nauk. Novosibirsk: 2007. 19 p.
7. *Gagiev M.H.* Stratigrafija devona i nizhnego karbona Prikolym'skogo podnjatija (Severo-Vostok Azii). Magadan: SVNC DVO RAN, SVKNII DVO RAN. 2009. 290 p.
8. *Ganelin V.G.* Stratigrafija i brahiopody verhnepaleozojskih otlozhenij Kolymo-Omolonskogo massiva. Avtoref. diss. cand. geol.-min. nauk. Moscow: Geologicheskij Institut, 1973. 191 p.
9. *Sopostavlenie opornyh razrezov Omul'jovskogo i Prikolym'skogo podnjatij / Karavaeva N.I. Otchjot po teme: 1173. 1990–1993.* Magadan, 1993.
10. *Rukovodstvo po analizu bitumov i rassejannogo organicheskogo veshhestva gornyh porod / Pod red. Uspenskogo V.A., Rodionovoj K.F., Gorskoj A.I., Shishkinov A.P.* Leningrad: Nedra, 1966. 316 p.
11. *Uspenskij V.A., Radchenko O.A., Glebovskaja E.A. i dr.* Osnovy geneticheskoy klassifikacii bitumov. Leningrad: Nedra, 1964. 268 p.
12. *Bellami L.* Infrakrasnye spektry molekul. Moscow: IL, 1963. 590 p.
13. *Petrov A.A., Golovkina L.S., Rusinova G.V.* Mass-spektry neftyanyh uglevodorodov. Spravochnik (atlas). Moscow: Nedra, 1986. 312 p.
14. *Lebedev A.T.* Mass-spektrometrija v organicheskoy himii. Moscow: BINOM. Laboratorija znanij, 2003. 493 p.
15. *Borisova L.S.* Geohimija smol rassejannogo organicheskogo veshhestva i neftej Zapadnoj Sibiri // Dokl. RAN. 2008. Vol. 420, No 3. P. 382–384.
16. *Borisova L.S.* Geohimija asfal'tenov i smol rassejannogo organicheskogo veshhestva porod i neftej jury i nizhnego mela Zapadno-Sibirskogo bassejna. Avtoref. diss. doct. geol.-min. nauk. Novosibirsk, 2020. 36 p.
17. *Ivanov V.V., Semjonov G.A., Vashhilov Ju.Ja.* O perspektivah neftegazonosnosti paleozojskih otlozhenij Indigiro-Zyrjanskogo progiba // Dokl. AN SSSR. 1978. Vol. 239, No 6. P. 1170–1173.
18. *Izsimova A.N., Chalaja O.N.* Reliktovye uglevodorody v organicheskom veshhestve i neftyah Zapadnoj Jakutii. Novosibirsk: Nauka, 1989. 127 p.
19. *Geohimija neftej vostoka Sibirskoj platformy.* Jakutsk: JaNC SO RAN, 2009. 180 p.
20. *Kashircev V.A., Kontorovich A.Je., Kim N.S., Chalaja O.N., Zueva I.N.* Sterany v neoproterozojskih neftyah Nepsko-Botuobinskoj anteklizy Sibirskoj platformy i Juzhno-Omanskogo solenosnogo bassejna aravijskoj platformy // Neftehimija. 2015. Vol. 55, No 5. P. 197–205. <https://doi.org/0.7868/S0028242115020136>
21. *Kontorovich A.Je.* Geohimicheskie metody kolichestvennogo prognoza neftegazonosnosti. Moscow: Nedra, 1976. 250 p.
22. *Moldovan J.M., Seifert W.K., Gallegos E.J.* Relationship between petroleum composition and depositional environment of petroleum source rocks // Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull. 1985. Vol. 69. P. 1255–1268.
23. *Peters K.E., Moldovan J.M.* The biomarker guide. New Jersey: Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1993. 363 p.
24. *Neruchev S.G.* Nefteprodukcijashhie svity i migracija nefti. Izd. 1. Moscow: Gostoptehizdat, 1962. 224 p.
25. *Neruchev S.G., Rogozina E.A.* Geohimicheskie osnovy prognoza neftegazonosnosti. St. Petersburg: VNIGRI, 2010. 280 p.
26. *Neruchev S.G., Bazhenova T.K., Smirnov S.V.* Ocenka potencial'nyh resursov uglevodorodov na osnove modelirovaniya processov ih generacii, migracii i akumuljacii. St. Petersburg: Nedra, 2006. 364 p.
27. *Aref'ev O.A., Zabrodina M.N., Rusinova G.I., Petrov A.A.* Biometki neftej Vostochnoj Sibiri // Neftehimija. 1993. Vol. 33. P. 488–504.
28. *Zueva I.N., Chalaja O.N., Lifshic S.H., Glyaznetsova Yu.S.* Naftidy nizhnedevonskih otlozhenij Selen'janskogo podnjatija (severo-vostok Jakutii) // Materialy VI VNPk «Geologija i mineral'no-syr'evye resursy Severo-Vostoka Rossii». Jakutsk: Izdatel'skij dom SVFU, 2016. P. 346–349.
29. *Zueva I.N., Chalaja O.N., Glyaznetsova Yu.S., Lifshic S.H., Prokop'ev A.V., Ershova V.B., Vasil'ev D.A., Hudolej A.K.* Geohimicheskie osobennosti bitumoprojavenij v nizhne-srednedevonskih otlozhenijah severo-zapadnoj chasti o. Kotel'nyj // Georesursy. 2019. Vol. 21. No 3. P. 31–38. <https://doi.org/10.18599/grs.2019.3.31-38>
30. *Ivanov V.V., Grevcov A.V., Shherban' O.V.* Sedikahity osadochnyh bassejnov Severo-Vostochnoj Azii. Moscow: Nauka, 1988. 166 p.
31. *Shishkin V.A., Ganov A.P.* Perspektivy neftegazonosnosti juzhnoj chasti Taskanskoj strukturnoj zony Omulevskogo podnjatija // Vestnik SVNC DVO RAN. 2010. No 2. P. 8–13.

About the authors

ZUEVA Iraida Nikolaevna, candidate of geological and mineralogical sciences, leading researcher, Institute of Oil and Gas Problems SB RAS, 2 Petrovsky st., Yakutsk 677980, Russia,

Researcher ID: J-9373-2018; <https://orcid.org/0000-0001-7576-8282>; inzu@ipng.ysn.ru;

CHALAYA Olga Nikolaevna, candidate of geological and mineralogical sciences, leading researcher, Institute of Oil and Gas Problems SB RAS, 2 Petrovsky st., Yakutsk 677980, Russia,

Researcher ID: J-9329-2018; <https://orcid.org/0000-0002-9662-2028>; oncha@ipng.ysn.ru;

GLYAZNETSOVA Yuliya Stanislavovna, candidate of chemical sciences, head of laboratory, Institute of Oil and Gas Problems SB RAS, 2 Petrovsky st., Yakutsk 677980, Russia,

Researcher ID: J-9714-2018; <https://orcid.org/0000-0002-9195-5296>; glyaz1408@mail.ru;

LIFSHITS Sara Khaimovna, candidate of chemical sciences, leading researcher, Institute of Oil and Gas Problems SB RAS, 2 Petrovsky st., Yakutsk 677980, Russia,

Researcher ID: K-1438-2018; <https://orcid.org/0000-0001-5881-2720>; shlif@ipng.ysn.ru.

Citation

Zueva I.N., Chalaya O.N., Glyaznetsova Yu.S., Lifshits S.Kh. Geochemistry naphthides of the Middle Carboniferous sediments of the Prikolym Uplift (North-East of Russia) // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2020, Vol. 25, No. 4. pp. 59–71. (In Russ.) <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-4-4>

Местонахождение остатков представителей мамонтовой фауны «Енге-Юрюе» Среднеколымского района Республики Саха (Якутия)

С.Д. Колесов

Академия наук Республики Саха (Якутия), Якутск, Россия

kolesov.stanislav@mail.ru

Аннотация. Проведено полное фаунистическое описание ископаемых животных на местонахождении верхнего течения реки Енге-Юрюе Среднеколымского района Якутии. Приведены описания и стандартные морфометрические показатели костных остатков млекопитающих мамонтовой фауны. Видовая принадлежность и морфометрические показатели были определены по стандартным методикам, приведенным в оригинальной статье. Представленные костные остатки обнаружены непосредственно на местонахождении на площади примерно 60 м² в одном костеносном слое. Материал содержит данные по девяти млекопитающим мамонтовой фауны. Среди материала имеются и останки грызунов, но ввиду сложности определения вида они не рассматриваются в настоящей работе. Геологический возраст находок предположительно средний и поздний неоплейстоцен.

Ключевые слова: неоплейстоцен, местонахождение, мамонтовая фауна, ископаемые животные, остеологические остатки.

Благодарности. Настоящая работа выполнена в рамках выполнения Государственного задания НИР «Палеоэкологические исследования условий обитания мамонтовой фауны в плейстоцене и голоцене на территории Якутии».

Введение

Изучение остатков мамонтовой фауны с каждым годом выходит на новый уровень, не только по прибавлению новых объектов исследования, но и по охвату перспективных районов и местонахождений. Одно из таких расположено в Среднеколымском районе, в бассейне реки Енге-Юрюе, которая питает р. Колыма через протоку Сухановское. Данное местонахождение остатков представителей мамонтовой фауны входит в территорию обширного природного парка «Колыма». С давних времен входящие в территорию парка реки, и часть самой р. Колыма, являются объектами внимания ученых – палеонтологов, и ряда других дисциплин, таких как зоология, орнитология, ботаника, геология.

Подавляющее большинство опорных местонахождений, известных науке, находятся на территории Яно-Индигирской низменности [1–4 и др.]. Среди наиболее известных местонахождений Колымской низменности такие как Дуванный Яр [5–7] и Крестовка [8], палеонтологических находок – Березовский мамонт [9] и Колымский носорог [10], давшие большой вклад в науку.

В настоящей статье приводятся результаты полевых научно-исследовательских работ на ме-

стонахождении Енге-Юрюе Среднеколымского района (улуса) Республики Саха (Якутия).

В ходе работ были проведены первичные геологические описания местонахождения, выявление условий сохранения палеоостатков животных мамонтовой фауны, стратиграфические и тафономические исследования, описана современная растительность на местонахождении.

Проведенная научно-исследовательская работа дала новые сведения по условиям формирования местонахождений мамонтовой фауны.

Материал и методика

Местонахождение остатков представителей мамонтовой фауны находится в среднем течении реки, на обрывистом склоне. Местность типично таежная, в пойме обильны карликовые березы и ивняк, в лесу преобладает лиственница с редкими березовыми просеками.

Кости млекопитающих были встречены только в кровле льдистой толщи, в темноокрашенных лессовидных отложениях, максимальная мощность которых около 60 см. Максимальная мощность современной почвы на изученном участке не превышает 15 см. Находки костей плейстоценовых млекопитающих прикреплены

к темному лессовидному слою кровли льдистых отложений. Кости залегают либо в самих лессовидных отложениях, либо на контакте основания лессовидных отложений и льда.

Обнаружены остеологические остатки представителей мамонтовой фауны различной степени сохранности, определен следующий видовой состав с присвоением полевых номеров: шерстистый мамонт *Mammuthus primigenius* (Blumenbach, 1799), шерстистый носорог *Coelodonta antiquitatis* (Blumenbach, 1799), степной бизон *Bison priscus* (Bojanus, 1827), ленская лошадь *Equus lenensis*, северный олень *Rangifer tarandus* (Linnaeus, 1758), предположительно бурый медведь *Ursus arctos* (Linnaeus, 1758), пещерный лев *Panthera spelaea* (Goldfuss, 1810), серый волк *Canis lupus* (Linnaeus, 1758), лисица обыкновенная *Vulpes vulpes* (Linnaeus, 1758), а также несколько представителей грызунов, видовой принадлежность которых в настоящий момент не определена, поэтому они не рассматриваются в настоящей работе.

Морфометрические показатели отобраны по методике Angela von den Driesch [2], все промеры представлены в миллиметрах (мм).

Основные результаты

Череп лисицы обыкновенной СК-16-3. Обломана часть мозговой коробки правой стороны, отсутствует левая скуловая дуга, выпали все резцы, 1 клык, и 2 первых предкоренных с обеих сторон (рис. 1).

При сопоставлении морфометрических данных с таковыми у современной *Vulpes vulpes* различий не обнаружено, все входит в пределы вариаций. Ранее считалось, что ее ареал обитания в позднем плейстоцене не включал более северные районы чем центральная Яку-

тия, но в данный момент коллекция АН РС(Я) располагает в общей сложности пятью черепами из таких районов как Абыйский, Верхоянский и Среднеколымский, в центральной же Якутии известны находки остатков лисицы в раннепалеолитической стоянке Дюктяйская пещера в верховьях реки Алдан [6], палеолитической стоянке Ихинэ в низовьях реки Алдан [1], палеолитической стоянке, пещера Хаергас, устье реки Малый Патом [5].

Лопатка степного бизона СК-17-1. Правая лопатка взрослой особи рыжевато-го цвета, обломан проксимальный конец. Некоторые морфометрические показатели взяты с долей реконструкции (рис. 2). Длина наибольшая – 470; ширина проксимального конца наибольшая – 255; ширина дистального конца наименьшая – 82; ширина дистального конца наибольшая – 89; длина сустава – 78; ширина сустава – 69. Принадлежит взрослой особи.

Бедренная кость степного бизона НК-17-3. Коричневого цвета, обломана поперечно в медиальной части, сохранился костный мозг светлого кремового цвета. Края проксимального конца обгрызены (рис. 3). Кость довольно крупная и массивная, предположительно принадлежит взрослому самцу.

Эпистрофей шерстистого носорога НК-17-2. 2-й шейный позвонок светло-коричневого цвета, в целом сохранность самой кости хорошая, однако остистый отросток обгрызен современными хищниками–падальщиками (рис. 4). Высота тела позвонка – 82; ширина тела позвонка – 74; длина тела позвонка – 141; ширина спинномозгового канала – 34; высота спинномозгового канала – 22.

Большая берцовая кость шерстистого мамонта НК-17-4. Следует отметить, что данная кость,

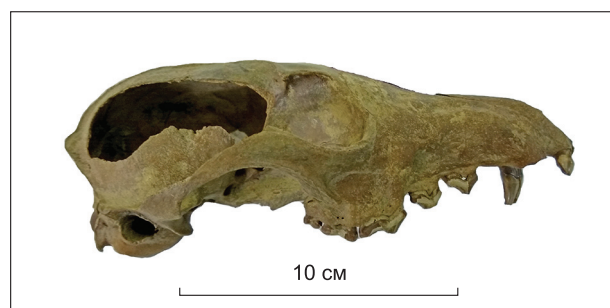


Рис. 1. Череп лисицы обыкновенной СК-16-3.

Fig. 1. Skull of a red fox SK-16-3.

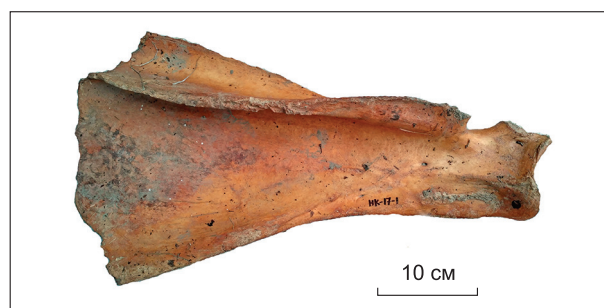


Рис. 2. Лопатка степного бизона СК-17-1.

Fig. 2. Scapula of steppe bison SK-17-1.

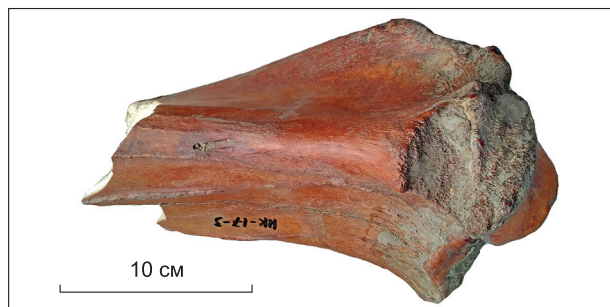


Рис. 3. Бедренная кость степного бизона НК-17-3.
Fig. 3. Femur of steppe bison NK-17-3.



Рис. 4. Эпистрофей шерстистого носорога НК-17-2.
Fig. 4. Epistrophy of woolly rhinoceros NK-17-2.



Рис. 5. Большая берцовая кость шерстистого мамонта НК-17-4.

Fig. 5. Tibia of woolly mammoth NK-17-4.



Рис. 6. Большая берцовая кость шерстистого мамонта НК-17-5.

Fig. 6. Tibia of woolly mammoth NK-17-5.



Рис. 7. Лопатка шерстистого мамонта НК-17-6.
Fig. 7. Scapula of woolly mammoth NK-17-6.

а также следующие, под полевыми номерами НК-17-5, НК-17-6, НК-17-7, НК-17-8, НК-17-9, НК-17-10 принадлежат одной взрослой, крупной особи. Все кости были найдены в одном месте, разброс около 5–6 м, однако конечности лежали в одной куче. Кость левой конечности светло-коричневого цвета, общая сохранность хорошая (рис. 5). Длина наибольшая – 730; ширина проксимального конца – 240; длина проксимального кон-

ца – 199; ширина дистального конца – 187; длина дистального конца – 154.

Большая берцовая кость шерстистого мамонта НК-17-5. Кость правой конечности светло-коричневого цвета, общая сохранность хорошая (рис. 6). Длина наибольшая – 718; ширина проксимального конца – 245; длина проксимального конца – 200; ширина дистального конца – 195; длина дистального конца – 146.

Лопатка шерстистого мамонта НК-17-6. Обломок дистального конца левой лопатки (рис. 7). длина сустава – 195; ширина сустава – 126; длина дистального конца – 272; ширина дистального конца – 156; длина дистального конца наименьшая – 223.

Лопатка шерстистого мамонта НК-17-7. Обломок правой лопатки (рис. 8). Длина сустава – 204; ширина сустава – 125; длина дистального конца – 275; ширина дистального конца – 149; длина дистального конца наименьшая – 236.

Локтевая кость шерстистого мамонта НК-17-8. Правая локтевая кость коричневого цвета, довольно хорошей сохранности (рис. 9). Длина наибольшая – 890; длина дистального конца наибольшая – 180; длина медиальной части – 102.



Рис. 8. Лопатка шерстистого мамонта НК-17-7.

Fig. 8. Scapula of woolly mammoth NK-17-7.



Рис. 9. Локтевая кость шерстистого мамонта НК-17-8.

Fig. 9. Ulna of woolly mammoth NK-17-8.

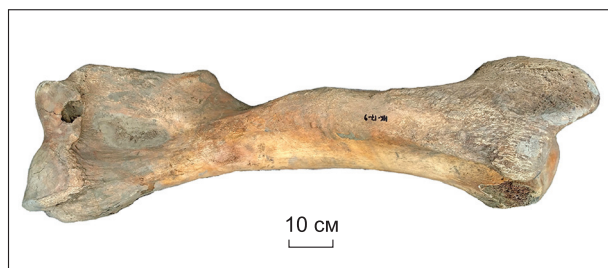


Рис. 10. Плечевая кость шерстистого мамонта НК-17-9.

Fig. 10. Humeral bone of woolly mammoth NK-17-9.



Рис. 11. Бедренная кость шерстистого мамонта НК-17-10.

Fig. 11. Femur of woolly mammoth NK-17-10.

Плечевая кость шерстистого мамонта НК-17-9. Правая плечевая кость хорошей сохранности светло-коричневого цвета (рис. 10). Длина наибольшая – 1075; ширина медиальной части – 115; ширина проксимального конца наибольшая – 274; ширина дистального конца по суставу – 240.

Бедренная кость шерстистого мамонта НК-17-10. Правая бедренная кость довольно хорошей сохранности светло-коричневого цвета (рис. 11). Длина наибольшая – 1230; ширина медиальной части – 138; ширина проксимального конца наибольшая – 269; ширина дистального конца наибольшая – 247.

Череп серого волка СК-17. С мамонтовой эпохи серый волк перешел в наше время без видимых изменений. Костные остатки, в основном черепа, встречаются гораздо чаще, нежели других хищников плейстоценового времени, это по-видимому объясняется высокой численностью волков. Можно предположить, что волки были доминирующей группой хищников (рис. 12).

Череп крупного волка темно-коричневого цвета без нижней челюсти. Общая сохранность черепа хорошая. Зубная формула: $i\ 3/3$, $c\ 1/1$, $pm\ 4/4$, $m\ 2/3$. С левой стороны отсутствуют 1-й и 3-й



Рис. 12. Череп серого волка СК-17.

Fig. 12. Skull of gray wolf SK-17.

предкоренные зубы, клык и 2-й резец. С правой стороны выпал клык и все резцы. Морфометрические показатели всех имеющихся в коллекции АН РС(Я) остатков (черепов) волков полностью идентичны показателям современных серых волков по возрастной и половой структурам, но следует отметить, что бывают некоторые отклонения, однако они несут, скорее, сугубо индивидуальный характер.

Копытная фаланга степного бизона СК-17-1. Левая копытная фаланга взрослой особи темно-серого, коричневого цвета. Общая сохранность хорошая (рис. 13). Какой конечности принадле-



Рис. 13. Копытная фаланга степного бизона СК-17-1.
Fig. 13. Steppe bison phalanx SK-17-1.



Рис. 14. Копытная фаланга лошади СК-17-2.
Fig. 14. Horse phalanx SK-17-2.



Рис. 15. Череп серого волка СК-17-3.
Fig. 15. Skull of gray wolf SK-17-3.

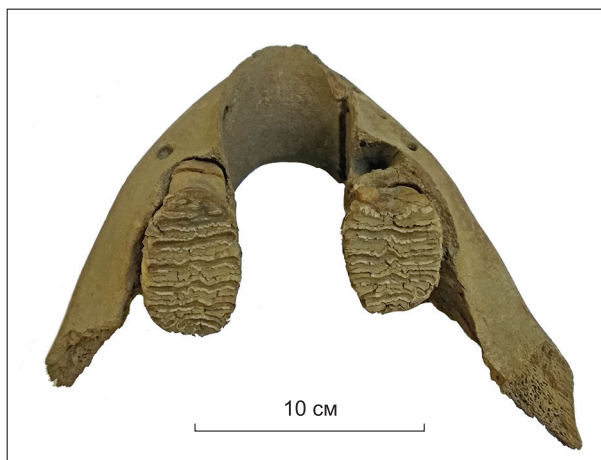


Рис. 16. Нижняя челюсть детеныша шерстистого мамонта СК-17-13/6.
Fig. 16. The lower jaw of a baby woolly mammoth SK-17-13 / 6.

жит, определить не представляется возможным. Длина наибольшая – 98; ширина наибольшая – 42; высота – 56.

Копытная фаланга лошади СК-17-2. Копытная фаланга взрослой лошади светло-коричневого цвета хорошей сохранности (рис. 14). Длина наибольшая – 63; ширина наибольшая – 79; высота – 29,5.

Череп волка СК-17-3. Передняя часть черепа взрослого волка светло-коричневого цвета, черепная коробка полностью отсутствует, также выпала носовая кость. Из зубов сохранились 4-й предкоренной, 1-й коренной с левой стороны и

3-й резец, клык, 3-й, 4-й предкоренные, 1-й коренной с правой стороны (рис. 15). Длина наибольшая – 162; ширина наибольшая – 87; высота наибольшая – 93.

Нижняя челюсть детеныша шерстистого мамонта СК-17-13/6. Нижняя челюсть мамонтенка бурого цвета. На рисунке (рис. 16) видно, что у мамонтенка функционируют и довольно сильно стерты зубы 2-й смены (DP3), вероятно зубы 3-й смены только начинали прорезываться из костной альвеолы. По данным стертости зубов возраст может быть определен как 14–16 месяцев [11].



Рис. 17. Бивень детеныша шерстистого мамонта СК-17-14.

Fig. 17. Tusk of a Woolly Mammoth Cub SK-17-14.

Индивидуальный возраст слонов и мамонтов точнее всего определяется по смене зубов. Зубы у слонов и мамонтов сменяются последовательно, один за другим. Последующий зуб меняет предыдущий не вертикально, а сзади, выходя из костной альвеолы, по мере стирания предыдущего зуба. С зубами первой смены слоны рождаются (иногда они прорезываются вскоре после рождения), и в течение их жизни зубы сменяются еще 5 раз. То есть всего у слонов и мамонтов 6 смен зубов. Для современных азиатских слонов известно, в каком возрасте прорезывается каждый из зубов [12]. Эту шкалу используют и для определения индивидуального возраста мамонтов. Стадия прорезывания и время полного стирания зуба у слонов сравнивается с имеющейся у конкретного мамонта стадией развития и стирания зуба той же смены, и так определяют его возраст [13].

У детенышей мамонта отмечена особенность в скорости прорезывания и стирания зубов первых трех смен [9]. Эти зубы у детенышей мамонта быстрее прорезываются и быстрее стираются. Палеонтологи, изучающие рост детенышей мамонта, полагают, что это связано с более быстрым переходом на пищу взрослых особей. Детеныш африканского слона питается только молоком приблизительно до возраста в 1 год, а полностью переходит на пищу взрослых приблизительно в 2 года. Детеныши мамонта из-за холодного климата, видимо, не могли получать достаточно молока в первую зиму их жизни (приблизительно в 5–6 месяцев), поскольку самки мамонта не имели достаточно корма зимой, поэтому раньше, чем детеныши слонов, переходили на корм взрослых особей, поэтому у мамонтов зубы первых трех смен стирались относительно быстрее, чем у детенышей современных слонов [9].



Рис. 18. Лучевая кость пещерного льва СК-17-10.

Fig. 18. Radial bone of the cave lion SK-17-10.

Такой индивидуальный возраст соответствует стадии стирания зубов второй смены у детеныша азиатского слона индивидуального возраста 16–24 месяца [12]. Индивидуальный возраст данного детеныша при аналогичной стадии стирания зубов меньше, поскольку у детенышей мамонтов прорезывание и изнашивание зубов первых смен происходило быстрее из-за того, что детеныши мамонта начинали питаться самостоятельно раньше [8].

Бивень детеныша шерстистого мамонта СК-17-14. Правый постоянный бивень светло-коричневого цвета. Имеются незначительные повреждения кончика, а также поперечные насечки у выхода из альвеолы, вероятно, искусственного происхождения (рис. 17). Длина наибольшая – 184; ширина медиальной части – 253; длина от выхода из альвеолы до кончика – 45; ширина у выхода из альвеолы – 26.

У детенышей мамонтов постоянные бивни прорезаются приблизительно к концу первого года жизни, вскоре после выпадения бивней первой смены, которые обозначаются как Di/молочные бивни [10].

Лучевая кость пещерного льва СК-17-10. Лучевая кость взрослого, крупного пещерного льва бурого цвета (рис. 18). Судя по достаточно внушительным размерам, вероятно, принадлежит самцу (в среднем особи пещерных львов были крупнее современных на 5–10 %). Находки остатков пещерных львов очень редки, это связано с тем, что львы, как известно, сами по себе очень мощные и подвижные животные, и шанс выбраться из какой-либо западни (природной ловушки) у них достаточно высокий, львы очень терпеливые и осторожные хищники, и львы в то время не имели естественных врагов

Длина наибольшая – 329; ширина медиальной части наименьшая – 28,7; ширина дистального конца – 45,2; ширина проксимального кон-



Рис. 19. Пястная кость пещерного льва СК-17-10/1.

Fig. 19. Metacarpal bone of the cave lion SK-17-10 / 1.



Рис. 20. Локтевая кость северного оленя СК-17-11.

Fig. 20. Ulna of a reindeer SK-17-11.



Рис. 21. Большая берцовая кость северного оленя СК-17-27.

Fig. 21. Reindeer tibia SK-17-27.



Рис. 22. Клык медведя sp СК-17-23.

Fig. 22. Fang of bear sp SK-17-23.

ца – 71,2; длина проксимального конца суставной части – 49,3; ширина проксимального конца суставной части – 32,2; длина дистального конца суставной части – 44,9; ширина дистального конца суставной части – 33.

Пястная кость пещерного льва СК-17-10/1. Пястная кость бурого цвета хорошей сохранности (рис. 19). Принадлежит особи, описанной выше. Длина наибольшая – 126,5; ширина дистального конца наибольшая – 26,1; ширина дистального конца суставной части – 24,2; ширина проксимального конца наибольшая – 32; ширина медиальной части наименьшая – 17,2.

Локтевая кость северного оленя СК-17-11. Локтевая кость желтоватого цвета, хорошей сохранности (рис. 20). Остатки северных оленей присутствуют практически на всех местонахождениях животных плейстоценовой эпохи. Северные олени наряду со степными бизонами и лошадьми были одними из доминирующих видов того периода, поэтому они являются типичными спутниками мамонтовой фауны.

Длина наибольшая – 331; ширина медиальной части – 26,5; ширина дистального конца наибольшая – 45,1; ширина проксимального конца – 47,2.

Большая берцовая кость северного оленя СК-17-27. Большая берцовая кость желтоватого цве-

та, хорошей сохранности (рис. 21). Вероятно, принадлежит вышеописанной особи.

Длина наибольшая – 230; ширина проксимального конца – 48,8; ширина дистального конца – 30,2; ширина медиальной части наименьшая – 16,9.

Клык медведя sp СК-17-23. Клык медведя средней сохранности, имеются многочисленные мелкие повреждения по всей поверхности зуба, а также продольные трещины (рис. 22). Видовую принадлежность определить невозможно. По своим размерам принадлежит взрослой крупной особи.

Длина наибольшая – 115; длина из выхода из альвеолы до кончика – 28,9; ширина у выхода из альвеолы – 19,9.

Заключение

Видовой состав млекопитающих показывает, что данная фауна является вариантом мамонтовой фауны северо-востока Евразии. Она включает в себя хоботных (шерстистый мамонт), непарнопалых (плейстоценовая лошадь, шерстистый носорог), парнопалых (первобытный бизон, северный олень) и хищных млекопитающих (лисица, волк, пещерный лев и бурый медведь). Следует отметить, что местные охотники доволь-

но часто встречаются различные костные остатки практически по всему руслу речки, видимо, кости вымываются с берегов, когда речка поднимается по весне.

По предварительным палеонтологическим исследованиям, данное местонахождение является весьма перспективным, так как в результате проведенных экспедиционных работ собраны ископаемые остатки практически всех представителей фауны, предварительно, позднего плейстоцена. К наиболее интересным находкам можно включить остатки годовалого мамонтенка (нижняя челюсть и бивень), хорошо сохранившийся череп лисицы, а также остатки мелких млекопитающих, в настоящее время не определенных.

Изучение местонахождения ископаемых животных «Енге-Юрюе» позволило получить важные данные о распространении животных мамонтового комплекса, в том числе плейстоценовой лисицы на территории Якутии.

Список литературы

1. Гончаров В.Ф., Титков А.С. Кайнозойские отложения в обнажении Мус Хая (низовье р. Яны) // Кайнозой Северо-Востока СССР. М.: Наука, 1968. С. 88–93.
2. Гусев А.И., Цырина Т.С. Материалы к изучению верхнечетвертичной флоры Севера Сибири // Сборник статей по геологии Арктики. Т. 72. Вып. 4. М.; Л. 1953. С. 202–213.
3. Русанов Б.С. Биостратиграфия кайнозойских отложений Южной Якутии. М.: Наука, 1968. 459 с.
4. Черский И.Д. Описание коллекции послетретичных млекопитающих животных, собранных Новосибирской экспедицией 1885–1886 гг. // Зап. АН. 1891. Т. 65, Прилож. № 1. 706 с.
5. Баранова Ю.П. Геоморфологический очерк восточной части Колымской низменности // Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР. Магадан, 1957. Вып. 11. С. 208–222.
6. Бискэ С.Ф. Четвертичные отложения Колымской низменности // Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР. Магадан, 1957. Вып. 11. С. 68–81.
7. Шер А.В. Млекопитающие и стратиграфия плейстоцена Крайнего Северо-Востока СССР и Северной Америки. М., 1971. 310 с.
8. Лазарев П.А. Крупные млекопитающие антропогена Якутии. Новосибирск: Наука, 2008. 160 с.
9. Заленский В.В. Остеологические и одонтографические исследования над мамонтом (*Elephas primigenius* Blum) и слонами (*El. indicus* и *El. africanus* Blum) // Научные результаты экспедиции, снаряженной Академией наук для раскопки мамонта, найденного на реке Березовке в 1901 г. СПб., 1903. Т. 1. С. 1–124.
10. Боескоров Г.Г., Лазарев П.А., Бакулина Н.Т., Щелчкова М.В., Давыдов С.П., Соломонов Н.Г. Предварительные данные о находке мумифицированного трупа ископаемого шерстистого носорога в низовьях реки Колымы // Докл. РАН. 2009. Т. 424, № 4. С. 570–573.
11. Боескоров Г.Г. К вопросу об изменении состава териофауны с конца плейстоцена и в голоцене (по археологическим данным) // Млекопитающие антропогена Якутии. Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1998. С. 126–138.
12. Кузьмина И.Е., Мащенко Е.Н. Возрастные морфологические изменения черепа и скелета детенышей мамонта Русской равнины // Труды ЗИН РАН. Т. 275. 1999. С. 51–131.
13. Вангенгейм Э.А. Палеонтологическое обоснование стратиграфии антропогеновых отложений Северной Азии. М.: Наука, 1977. С. 1–169.

Поступила в редакцию 12.06.2020

Принята к публикации 15.09.2020

Об авторе

КОЛЕСОВ Станислав Дмитриевич, соискатель, научный сотрудник, Академия наук Республики Саха (Якутия), 677007, Якутск, пр. Ленина, 33, Россия, <http://orcid.org/0000-0003-4632-8813> kolesov.stanislav@mail.ru.

Информация для цитирования

Колесов С.Д. Местонахождение остатков представителей мамонтовой фауны «Енге-Юрюе» Средне-колымского района Республики Саха (Якутия) // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2020, Т. 25, № 4. С. 72–80. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-4-5>

Location of the remains of the mammoth fauna in «Enge-Yuryue» of the Srednekolymsky region of the Republic of Sakha (Yakutia)

S.D. Kolesov

*Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Russia**kolesov.stanislav@mail.ru*

Abstract. A complete faunistic description of fossil animals at the location of the upper reaches of the Enge-Yuryue river in the Srednekolymsky region of Yakutia was carried out. Descriptions and standard morphometric parameters of the bone remains of mammals of the mammoth fauna are presented. Species and morphometric parameters were determined according to the standard methods described in the original article. The presented bone remains were found directly at the site at the area of approximately 60 square meters in one bone-bearing layer. The material contains data on 9 mammals of the mammoth fauna. There are also the remains of rodents, but they are not included in this work due to the complexity of identifying the species. The geological age of the finds is presumably Middle and Late Neopleistocene.

Key words: Neopleistocene, locality, mammoth fauna, fossil animals, osteological remains.

Acknowledgements. This work was carried out within the framework of the research program of the Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia) «Study of Biological Aspects of Mammoth Fauna».

References

1. Goncharov V.F., Titkov A.S. Kainozoiskie otlozheniya v obnazhenii Mus Khaya (nizov'e r. Yany) // Kainozoi Severo-Vostoka SSSR. Moscow: Nauka, 1968. P. 88–93.
2. Gusev A.I., Tsyryna T.S. Materialy k izucheniyu verkhnechetvertichnoi flory Severa Sibiri // Sbornik statei po geologii Arktiki. Vol. 72, No. 4. M.; L. 1953. P. 202–213.
3. Rusanov B.S. Biostratigrafiya kainozoiskikh otlozhenii Yuzhnoi Yakutii. Moscow: Nauka, 1968. 459 p.
4. Cherskii I. D. Opisanie kollektsii posletretichnykh mlekopitayushchikh zhivotnykh, sobrannykh Novosibirskoi ekspeditsiei 1885–1886 gg // Zap. AN. 1891. Vol. 65, prilozh. No. 1. 706 p.
5. Baranova Yu.P. Geomorfologicheskii ocherk vostochnoi chasti Kolymskoi nizmennosti // Materialy po geologii i poleznym iskopaemym Severo-Vostoka SSSR. Magadan, 1957. No. 11. P. 208–222.
6. Biske S.F. Chetvertichnye otlozheniya Kolymskoi nizmennosti // Materialy po geologii i poleznym iskopaemym Severo-Vostoka SSSR. Magadan, 1957. No. 11. P. 68–81.
7. Sher A.V. Mlekopitayushchie i stratigrafiya pleistotsena Krainego Severo-Vostoka SSSR i Severnoi Ameriki. Moscow, 1971. 310 p.
8. Lazarev P.A. Krupnye mlekopitayushchie antropogena Yakutii. Novosibirsk: Nauka, 2008. 160 p.
9. Zalskii V.V. Osteologicheskie i odontograficheskie issledovaniya nad mamontom (*Elephas primigenius* Blum) i slonami (*El. indicus* i *El. africanus* Blum) // Nauchnye rezul'taty ekspeditsii, snaryazhennoi Akademiei nauk dlya raskopki mamonta, naidennogo na reke Berezovke v 1901 g. Saint-Petersburg, 1903. Vol. 1. 124 p.
10. Boeskorov G.G., Lazarev P.A., Bakulina N.T., Shchelchkova M.V., Davydov S.P., Solomonov N.G. Predvaritel'nye dannye o nakhodke mumifitsirovannogo trupa iskopaemogo sherstistogo nosoroga v nizov'yakh reki Kolymy // Dokl. RAN. 2009. Vol. 424, No. 4. P. 570–573.
11. Boeskorov G.G. K voprosu ob izmenenii sostava teriofauny s kontsa pleistotsena i v golotsene (po arkheologicheskim dannym) // Mlekopitayushchie antropogena Yakutii. Yakutsk: YaNTs SO RAN, 1998. P. 126–138.
12. Kuz'mina I.E., Mashchenko E.N. Vozrastnye morfologicheskie izmeneniya cherepa i skeleta detenyshei mamonta Russkoi ravniny // Trudi ZIN RAN. 1999. Vol. 275. P. 51–131.
13. Vangengeim E.A. Paleontologicheskoe obosnovanie stratigrafii antropogenovykh otlozhenii Severnoi Azii. Moscow: Nauka, 1977. 169 p.

About the author

Kolesov Stanislav Dmitrievich, researcher, Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia), 33 Lenina pr. 677007, Yakutsk, Russia, <http://orcid.org/0000-0003-4632-8813> kolesov.stanislav@mail.ru.

Citation

Kolesov S.D. Location of the remains of the mammoth fauna in «Enge-Yuryue» of the Srednekolymsky region of the Republic of Sakha (Yakutia) // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2020, Vol. 25, No. 4. pp. 72–80. (In Russ.) <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-4-5>

ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ

Экология

УДК 574.583:574.632

DOI 10.31242/2618-9712-2020-25-4-6

К изучению влияния тяжелых металлов на развитие фитопланктона озер г. Якутска и окрестностей

В.А. Габышев, О.И. Габышева

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия

v.a.gabyшев@yandex.ru

Аннотация. По данным собственных наблюдений, в фитопланктоне 11 озер на территории г. Якутск и пригорода определены видовой состав фитопланктона, его общая численность, а также выявлен комплекс доминирующих видов. Одновременно с альгологическими наблюдениями проведена оценка содержания в воде ионов четырех тяжелых металлов (меди, никеля, марганца и цинка). По ряду химических компонентов выявлено превышение ПДК. Из полученных данных был сформирован массив, включающий 24 количественные непрерывные переменные, характеризующие концентрацию тяжелых металлов и показатели развития фитопланктона. Путем последовательного применения к полученному массиву данных различных методов статистического анализа выявлена значимая связь между концентрацией в воде ионов тяжелых металлов и показателями развития фитопланктона. Доказано, что повышенная концентрация цинка и меди вызывает сокращение общей численности фитопланктона, его видового богатства, а также влияет на изменение в составе доминирующих видов, когда доминанты из цианопрокариот замещаются представителями диатомовых водорослей. Подтверждена перспективность изучения влияния ионов тяжелых металлов на живые компоненты водной экосистемы городских озер Якутска, а также пригодность фитопланктона в качестве тест-объекта для таких исследований.

Ключевые слова: тяжелые металлы, численность фитопланктона, видовое богатство, виды-доминанты, городские озера, Якутск.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания “Фундаментальные и прикладные аспекты изучения разнообразия растительного мира Северной и Центральной Якутии” (№ АААА-А17-117020110056-0).

Введение

Тяжелые металлы являются одной из наиболее опасных групп поллютантов [1]. Результаты исследований гидрохимического состава вод озер г. Якутск свидетельствуют о широком распространении тяжелых металлов [2]. По данным мониторинга, содержание таких микроэлементов, как свинец, медь, цинк и марганец, в якутских городских озерах не превышает ПДК_{кб}, но в условиях современного антропогенного воздействия имеет тенденцию к увеличению [3]. Применительно к нормативам, принятым для водоемов, используемых для рыбохозяйственных целей, содержание меди в водах якутских

городских озер достигает 1 ПДК_{вр} [4]. Оценка токсического загрязнения донных отложений озер г. Якутск с учетом повышенной концентрации в них различных компонентов, в том числе и тяжелых металлов, была предпринята в публикации Т.П. Трофимовой [5] с использованием в качестве тест-объекта личинок хирономид. Вопросу накопления микроэлементов в стебле и корнях камыша, произрастающего в озерах г. Якутск, посвящена работа В.Н. Макарова [6]. Исследований воздействия тяжелых металлов на планктонных обитателей озер г. Якутск ранее не проводилось. Фитопланктон часто используется как индикатор, позволяющий выявлять ухудшение

состояния водной экосистемы на начальной стадии. Изучение собственно водорослевых сообществ городских озер было начато в 1964–1966 гг., когда для оз. Хатынг-Юрях, Ытык-Кюель и Белое были получены данные о сезонной динамике развития фитопланктона [7]. Мониторинговые исследования были продолжены в 1990–1996 гг. и расширены на озерах Сайсары, Теплое, Талое, Сергелях, Кызыл-Кюель, Белое и Соленое [8]. Изучению биоразнообразия эпифитных водорослей городских озер на примере оз. Сергелях посвящена работа Л.И. Копыриной [9]. Диатомовый анализ поверхностных осадков ряда озер долины Туймаада был выполнен в работе Л.А. Пестряковой [10].

Цель настоящей работы – используя собственные альгологические и гидрохимические данные о нескольких городских и пригородных озерах Якутска, с последовательным применением различных статистических методов, определить характер воздействия содержания в воде четырех тяжелых металлов (медь, никель, марганец и цинк) на показатели развития фитопланктона.

Материалы и методы исследования

Материалом для исследования послужили сборы альгологических и гидрохимических проб в июле 2019 г. Пробы отбирались в 19 точках из 11 озер на территории г. Якутск и пригорода: Губинское, Белое, Хатынг-Юрях, Ытык-Кюель, Сергелях, Сайсары, Талое, Теплое, Атласовское и два безымянных озера в окрестностях с. Табага и хатасского свиного комплекса.

В работе использованы единые, общепринятые унифицированные методики сбора и обработки альгологического материала [11]. Пробы воды отобраны в прибрежной зоне из поверхностного горизонта (0–0,3 м). Отбор проб фитопланктона произведен планктонной сетью Апштейна (фильтровальная ткань SEFAR NITEX, размером ячеек 30 мкм), образцы для изучения количественного развития планктонных водорослей получены путем фильтрации 10–20 л воды. Всего отобрано 38 альгологических проб (19 проб на качественный состав фитопланктона, 19 – для изучения его количественного развития). Определение видового состава проводилось на фиксированном материале. Пробы фитопланктона фиксировались 40%-м раствором формальдегида в соотношении 1:10 и таким образом доводились до концентрации 4,0 %. Микроскопирование препаратов выполнено с при-

менением микроскопа Olympus BH-2. Подсчет численности клеток водорослей осуществлен на счетной камере Нажотта объемом 0,01 см³. Систематическая принадлежность каждого вида приведена в соответствие с всемирной базой данных по водорослям AlgaBase.org.

Одновременно со сбором альгологических проб и по единой сетке станций было отобрано 19 проб воды для гидрохимического анализа. Аналитические работы по выявлению массовой концентрации ионов тяжелых металлов (марганец, никель, медь, цинк) выполняли на базе Аккредитованного испытательного лабораторного центра ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Саха (Якутия)». Работы выполнены согласно стандартам РФ [12].

К данным о видовом богатстве, численности фитопланктона и отдельных видов доминантов, а также данным о содержании в озерных водах тяжелых металлов последовательно применены различные методы статистического анализа: кластеризация наблюдений, дисперсионный анализ [13] и анализ сопряженности градаций качественных группирующих переменных методом критерия согласия Пирсона хи-квадрат [14]. Процедуры статистического анализа выполнялись с помощью программного пакета STATISTICA 10.

Результаты и обсуждение

В результате изучения собранного альгологического материала было выявлено 289 видов и разновидностей водорослей. Комплекс доминантов фитопланктона исследованных озер насчитывает 16 видов и две формы были определены нами только до рода.

Нарушений ПДК_{кб} ни по одному из микроэлементов обнаружено не было. Однако по ПДК_{вр} для ряда компонентов, особенно для цинка (от 1 до 2,5 ПДК_{вр}) и меди (от 1 до 26 ПДК_{вр}), в водах данных озер было выявлено превышение.

Из полученных в настоящем исследовании данных был сформирован массив, включающий 24 количественные непрерывные переменные. Часть переменных являются гидрохимическими признаками, характеризующими концентрацию тяжелых металлов (медь, никель, марганец и цинк). Другая часть – признаками, характеризующими фитопланктон, – общее число видов, общая численность водорослей, а также численность видов-доминантов фитопланктона.

Поскольку анализируемые признаки имеют разные масштабы и шкалы, для устранения до-

минирования отдельных признаков с максимальными числовыми значениями проведена процедура стандартизации. Для этого исходные признаки были преобразованы в признаки с нулевыми средними и единичными стандартными отклонениями. Для кластеризации использовалось евклидово расстояние с применением алгоритма Варда, который обеспечивает минимальную вариацию расстояний в получаемых кластерах [15].

С применением метода k-средних рассчитаны значения евклидова расстояния (дистанции) между центрами двух полученных кластеров (1,05) и квадрат этого расстояния (1,09). Чем больше это расстояние, тем больше различие свойств пары кластеров.

В табл. 1 приводятся средние значения переменных внутри выделенных кластеров и результаты их сравнения с помощью однофакторного дисперсионного анализа. Это информация о значениях F-критерия Фишера и уровнях статической значимости для данной величины. Чем больше F-критерий, тем меньше величина уровня значимости и тем больше различие средних значений. Данные ранжированы по убыванию F-критерия, таким образом, в верхней части таблицы расположены те признаки, по которым установлено максимальное различие между кластерами. Достигнутые уровни значимости подтверждают достоверность анализа. Как видно из таблицы, кластеризация наблюдений, основанная на концентрации тяжелых металлов (далее градация Кл_2ТМ), образована различием по концентрации цинка и меди.

На рис. 1 приведен график, отражающий взаимные расположения средних стандартизованных значений признаков по двум кластерам. По вертикальной оси откладываются средние значения стандартизованных величин, а по горизонтальной – признак (химический компонент). Использование стандартизованных величин позволяет наглядно увидеть их соотношение. Чем дальше на графике стандартизованные средние друг от друга, тем больше разница средних значений и у нестандартизованных (исходных) признаков. Здесь легко выделить те признаки, по которым отличается каждый кластер.

Таким образом, средние наблюдений второго кластера выше по содержанию в воде цинка и меди. Разница по концентрации никеля отсутствует, а содержание марганца в воде из пунктов наблюдений первого кластера лишь незначительно больше, чем второго.

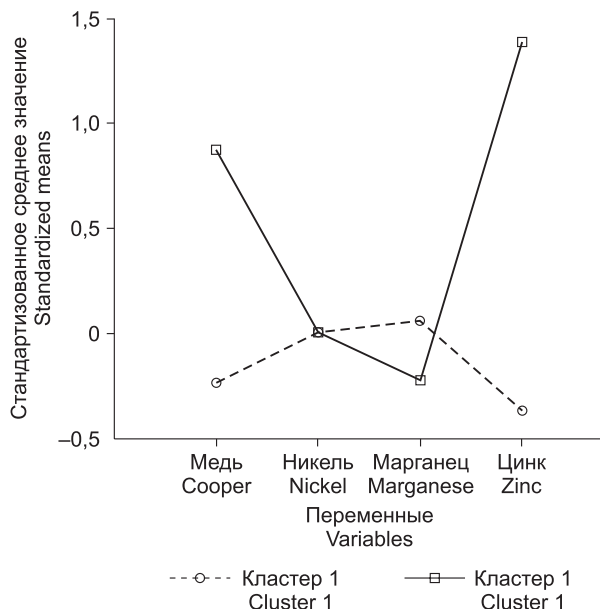


Рис. 1. Средние стандартизованные значения признаков градации Кл_2ТМ.

Fig. 1. Plot of standardized means for each cluster of Cl_2NM grouping variable.

Кластеризация наблюдений была также проведена по показателям развития фитопланктона. Рассчитанные с применением метода k-средних значения евклидова расстояния между центрами двух кластеров указывают на наибольшее различие между четвертым и первым, четвертым и третьим, а также третьим и первым кластерами

Таблица 1
Значения групповых средних для концентрации тяжелых металлов и достоверность различий между ними

Table 1
Analysis of variance for heavy metals concentration and cluster means

Параметр Variable	Кластеры Cluster number		F	p
	1	2		
Цинк, мг/дм ³ Zinc, mg/dm ³	0,0124	0,0215	19,9	0,000
Медь, мг/дм ³ Copper, mg/dm ³	0,0017	0,0080	4,7	0,045
Марганец, мг/дм ³ Manganese, mg/dm ³	0,0100	0,0086	0,2	0,628
Никель, мг/дм ³ Nickel, mg/dm ³	0,005	0,005	—	—

Таблица 2
**Евклидово расстояние (под диагональю)
и квадрат расстояния (над диагональю)
для центров кластеров, выделенных
по показателям развития фитопланктона**

Table 2

**Euclidean distances (below diagonal)
between phytoplankton growth indices clusters
and squared distances (above diagonal)**

Номер кластера Cluster number	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
No. 1	0,00	2,05	3,14	3,90	2,59
No. 2	1,43	0,00	1,29	2,31	0,59
No. 3	1,77	1,14	0,00	3,30	1,81
No. 4	1,97	1,52	1,82	0,00	2,95
No. 5	1,61	0,77	1,35	1,72	0,00

(табл. 2). Пятый и второй кластеры различаются в наименьшей степени.

Результаты сравнения средних значений кластеров с помощью однофакторного дисперсионного анализа приведены в табл. 3. Согласно ранжированным величинам F-критерия, максимальное различие между кластерами достигнуто по численности цианопрокариот, потенциально способных вызывать цветение воды (*Aphanizomenon flosaquae*, *Microcystis aeruginosa* и *Coelosphaerium kuetzingianum*), общей численности фитопланктона и по числу видов водорослей (далее грация Кл_5ФП).

На графике средних стандартизованных признаков (рис. 2) видно, что четвертый кластер отличается от остальных наименьшим числом видов водорослей и самой низкой общей численно-

Таблица 3

**Значения групповых средних для показателей развития фитопланктона
(общее число видов, численность фитопланктона и отдельных видов-доминантов в тыс. кл./л)
и достоверность различий между ними**

Table 3

**Analysis of variance for phytoplankton growth indices (total species richness,
total phytoplankton abundance, abundance of dominants, $\cdot 10^3$ cells/L) and cluster means**

Параметр Variable	Кластеры Clusters					F	p
	1	2	3	4	5		
<i>Aphanizomenon flosaquae</i>	12,85	86,17	3496,46	0	14,12	118,8	0,00
Численность фитопланктона Total phytoplankton abundance	134,81	358,12	3738,67	4,90	515,50	30,8	0,00
<i>Microcystis aeruginosa</i>	0	1,28	0	0	124,24	21,8	0,00
Общее число видов Total number of species	48,0	68,8	49,5	22,0	80,7	4,8	0,01
<i>Coelosphaerium kuetzingianum</i>	0	21,90	0	0	273,70	4,2	0,02
<i>Dolichospermum flosaquae</i>	0	2,86	103,53	0	0	2,9	0,06
<i>Aulacoseira granulata</i>	0	7,38	0	0	0	0,2	0,91
<i>Coelosphaerium dubium</i>	0	89,17	0	0	0	0,2	0,91
<i>Dinobryon sociale</i> var. <i>americanum</i>	0	0,89	0	0	0	0,2	0,95
<i>Mucidosphaerium pulchellum</i>	0	0,24	0	0	0	0,1	0,97
<i>Pandorina morum</i>	0	0,24	0	0	0	0,1	0,97
<i>Pediastrum subgranulatum</i>	0	1,86	0	0	0	0,1	0,97
<i>Dolichospermum scheremetieviae</i>	0	2,66	0	0	0	0,1	0,97
<i>Oscillatoria chalybea</i> f. <i>conoidea</i>	0	59,26	0	0	0	0,1	0,97
<i>Oscillatoria limosa</i>	0	49,19	0	0	0	0,1	0,97
<i>Trachelomonas volvocina</i>	0	0,36	0	0	0	0,1	0,97
<i>Gomphonema</i> sp.	0	0	0	0,95	0	—	—
<i>Navicula</i> sp.	0	0	0	1,67	0	—	—
<i>Pseudopediastrum boryanum</i>	33,3	0	0	0	0	—	—
<i>Merismopedia tenuissima</i>	60,9	0	0	0	0	—	—

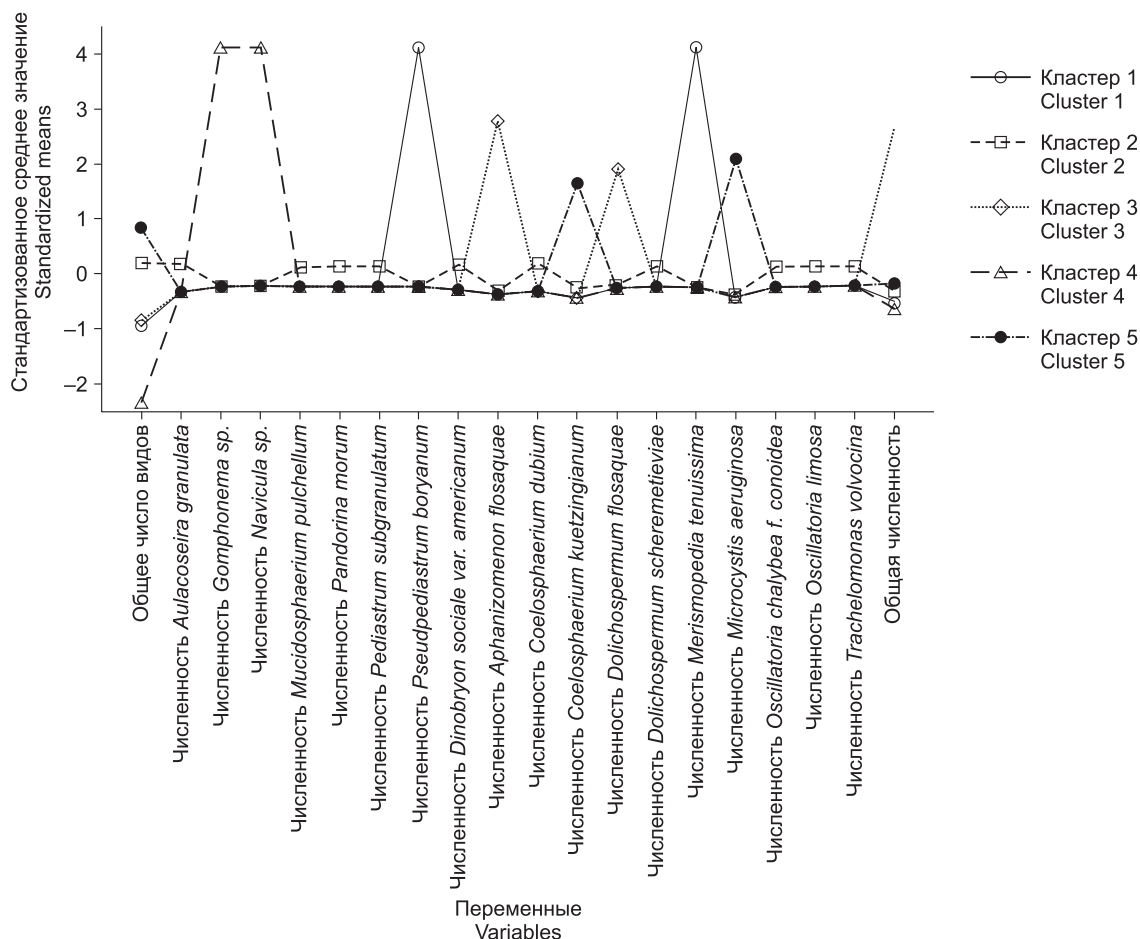


Рис. 2. Средние стандартизованные значения признаков градации Кл_5ФП.

Fig. 2. Plot of standardized means for each cluster of Cl_5Ph grouping variable.

стью фитопланктона, с комплексом доминантов, представленным диатомеями. Третий кластер характеризуется повышенной численностью водорослей, пятый – повышенным числом видов. В первом, третьем и пятом кластерах в комплексе доминантов преобладают цианопрокариоты.

Для анализа сопряженности градаций полученных выше двух качественных группирующих переменных был применен критерий согласия Пирсона хи-квадрат (χ^2), в качестве показателя интенсивности связи использован V-критерий Крамера – разновидность меры ассоциации качественных признаков, меняющийся от 0 до 1.

Критерий хи-квадрат (критерий согласия, критерий соответствия) был предложен К. Пирсоном [16] для проверки гипотез о соответствии накопленных фактических данных некоторому теоретическому закону распределения. Наряду с этим применением, в настоящее время предложено использование критерия хи-квадрат для оцен-

ки сопряженности между признаками [17, 18] и соотношения числа элементов, вошедших в разные градации качественной переменной [19].

Использование этого подхода и применение фактических данных, полученных в ходе исследований, в отсутствие теоретических частот (полученных из теоретического закона распределения) предполагает искусственное построение неких теоретических частот, с которыми будет проходить сравнение. Теоретические частоты вычисляются на основе фактических данных, исходя из условия независимости двух признаков. Критерий хи-квадрат применяется для сравнения фактических (наблюдаемых) и рассчитанных, теоретических (ожидаемых) частот. При этом, если фактическая частота выше теоретической, то связь (как и разность между этими частотами) является положительной, и наоборот.

Под ограничение на использование данного подхода попадают случаи, когда значения ожи-

Таблица 4

**Статистики анализа сопряженности
качественных переменных Кл_2ТМ
«тяжелые металлы» и Кл_5ФП
«численность общая и отдельных видов-
доминантов, общее число видов»**

Table 4

**Basic statistics of cross-tabulation analysis
of Cl_2HM "heavy metals" and Cl_5Ph
"total phytoplankton abundance, abundance
of dominants, total species richness"
grouping variables**

Хи-квадрат Pearson Chi-square	4,961
Уровень значимости (p) Statistical significance (p)	0,0295
V-критерий Крамера Cramer's V	0,51
Количество степеней свободы (df) Degrees of freedom (df)	4

даемых частот, вычисляемые из условия независимости двух признаков, оказываются менее 5. В этих случаях конечный результат анализа данной таблицы сопряженности (достигнутые уровни статистической значимости p) оказывается не вполне надежным. В соответствии с теорией анализа таблиц сопряженности для двух признаков, существует ряд дополнительных алгоритмов, по которым получается более надежный результат [20]. Один из таких алгоритмов предлагает метод Монте-Карло, при этом с помощью генератора случайных величин моделируется большой набор аналогичных таблиц, на основе анализа которых вычисляются доверительные интервалы для уровня статистической значимости.

Для того чтобы оценить влияние концентрации тяжелых металлов в водах исследованных озер на развитие фитопланктона, был проведен анализ сопряженности качественных переменных Кл_2ТМ и Кл_5ФП (табл. 4). Достигнутый в анализе уровень значимости подтверждает достоверность полученного результата. Величина V-критерия Крамера свидетельствует об относительно сильной связи между двумя этими качественными переменными.

Из сводной таблицы результатов анализа сопряженности (табл. 5) видно, что в ряде случаев ячейки содержат значение ожидаемой частоты, которое меньше 5.

Для проверки достоверности анализа применен метод Монте-Карло (табл. 6), в рамках которого было сгенерировано 100000 случайных таблиц, имеющих аналогичную сумму по строкам и столбцам, при случайном начальном значении. Достигнутые уровни значимости подтверждают достоверность результатов анализа.

Значение критерия хи-квадрат из табл. 4 представляет собой сумму вкладов по всем ячейкам сводной табл. 5. Максимальное значение критерия хи-квадрат, а следовательно, и сила связи между признаками, находится в ячейке на пересечении строки «кластер 4» категориальной переменной Кл_5ФП и столбца «кластер 2» градации Кл_2ТМ (см. табл. 5). При этом фактическая частота почти в 5 раз выше ожидаемой, т. е. связь между признаками в этой ячейке положительная. Следовательно, четвертый кластер, выделенный на основе показателей развития фитопланктона, который характеризуется наименьшим числом видов водорослей, самой низкой общей численностью фитопланктона и комплексом доминантов из отдела Bacillariophyta (рис. 2), положительно связан со вторым кластером градации Кл_2ТМ, в котором объединились наблюдения с самыми высокими значениями по концентрации меди и цинка (см. рис. 1).

Таким образом, анализ выявляет следующую тенденцию: повышенная концентрация в водах исследованных озер ионов тяжелых металлов оказывает воздействие на развитие фитопланктона, которое проявляется в сокращении числа видов и общей численности водорослей. При этом высокая альгостатическая и альгицидная активность тяжелых металлов была отмечена и ранее [21]. Наши данные показали, что токсическое воздействие на фитопланктон проявили не все четыре включенных в анализ тяжелых металла, а только медь и цинк. Другими исследованиями подтверждается, что медь и цинк проявляют наибольшую токсичность в ряду тяжелых металлов [22].

Ранее было показано [21], что цианопрокариоты наиболее чувствительны к концентрации тяжелых металлов, диатомеи и зеленые водоросли проявляют наибольшую устойчивость к загрязнению этими микроэлементами. Это согласуется с полученными нами результатами. Так, в комплекс доминантов большинства пунктов наблюдений входят представители цианопрокариот, но в наблюдениях из четвертого кластера гра-

Таблица 5

Результаты анализа сопряженности качественных переменных Кл_2ТМ «тяжелые металлы» и Кл_5ФП «численность фитопланктона и отдельных видов-доминантов, общее число видов»

Table 5

Cross-tabulation analysis of Cl_2HM “heavy metals” and Cl_5Ph “total phytoplankton abundance, abundance of dominants, total species richness” grouping variables

Сводные результаты Summary			Кластеры Кл_2ТМ Clusters Cl_2HM		Все градации Row totals
			1	2	
Фактическая частота Observed frequency	Кластеры Кл_5ФП Clusters Cl_5Ph	1	1	0	1
Ожидаемая частота Expected frequency			0,789	0,211	–
Разность между фактической и ожидаемой частотами Observed minus Expected Frequencies			0,211	–0,211	0
Хи-квадрат по ячейке Cell value of Pearson Chi-square			0,056	0,211	–
Фактическая частота Observed frequency		2	10	2	12
Ожидаемая частота Expected frequency			9,474	2,526	–
Разность между фактической и ожидаемой частотами Observed minus Expected Frequencies			0,526	–0,526	0
Хи-квадрат по ячейке Cell value of Pearson Chi-square			0,029	0,110	–
Фактическая частота Observed frequency		3	2	0	2
Ожидаемая частота Expected frequency			1,579	0,421	–
Разность между фактической и ожидаемой частотами Observed minus Expected Frequencies			0,421	–0,421	0
Хи-квадрат по ячейке Cell value of Pearson Chi-square			0,112	0,421	–
Фактическая частота Observed frequency		4	0	1	1
Ожидаемая частота Expected frequency			0,789	0,211	–
Разность между фактической и ожидаемой частотами Observed minus Expected Frequencies			–0,789	0,789	0
Хи-квадрат по ячейке Cell value of Pearson Chi-square			0,789	2,961	–
Фактическая частота Observed frequency		5	2	1	3
Ожидаемая частота Expected frequency			2,368	0,632	–
Разность между фактической и ожидаемой частотами Observed minus Expected Frequencies			–0,368	0,368	0
Хи-квадрат по ячейке Cell value of Pearson Chi-square			0,057	0,215	–
Фактическая частота Observed frequency		Все градации All Groups	15	4	19

Таблица 6

**Оценка методом Монте-Карло
для точного анализа результатов сопряженности
качественных переменных Кл_2ТМ
«тяжелые металлы» и Кл_5ФП
«численность фитопланктона и отдельных
видов-доминантов, общее число видов»**

**Table 6
Monte Carlo simulation for cross-tabulation analysis
of CI_2HM “heavy metals” and CI_5Ph
“total phytoplankton abundance,
abundance of dominants, total species richness”
grouping variables**

Уровень значимости (p) значения Хи-квадрат Statistical significance (p) for value of Pearson Chi-square	0,0000
Нижний предел доверительного интервала 99% Lower limit of the 99% confidence interval	0,0000
Верхний предел доверительного интервала 99% Upper limit of the 99% confidence interval	0,0000
Количество выборок Number of samples	100000
Начальное значение Starting value	1866649587

дации Кл_5ФП, положительно связанного со вторым кластером градации Кл_2ТМ (с наиболее высокой концентрацией меди и цинка), представители цианопрокариот были замещены двумя доминантами из отдела диатомовых водорослей.

Минимальная концентрация цинка, по всем пунктам наблюдений на исследованных озерах, составила 0,0062 мг/л, меди – 0,001 мг/л. По данным некоторых исследователей, при такой концентрации данные микроэлементы уже начинают проявлять токсическое действие на культуры водорослей. Например, для штаммов золотистых водорослей чувствительность к ионам меди проявляется при концентрации 0,00025–0,005 мг/л после 2 мин экспозиции [23]. Однако, известно, что природные воды обладают модифицирующим действием на токсичность тяжелых металлов. Токсическое действие ионов меди и цинка может снижаться в природных водах в результате взаимодействия токсиканта с компонентами этих вод – различными комплексообразующими

веществами, способными связывать тяжелые металлы и, таким образом, нейтрализовать их [24]. Очевидно, поэтому статистически значимое ингибирующее воздействие на фитопланктон нами отмечено только во втором кластере наблюдений группирующей переменной Кл_2ТМ, с наибольшими для исследованных водоемов значениями средней (см. табл. 1) и максимальной концентрацией меди (0,026 мг/л) и цинка (0,025 мг/л). Тем не менее, возможен и синергетический эффект, когда присутствующие в природной воде несколько тяжелых металлов в комплексе оказывали более сильный ингибирующий эффект на фитопланктон, нежели по отдельности [25].

Заключение

В результате исследования получены данные о концентрации в водах городских и пригородных озер Якутска четырех тяжелых металлов. По цинку и меди для некоторых пунктов наблюдений отмечено превышение ПДК. Гидробиологическая часть настоящего исследования позволила определить видовой состав и численность фитопланктона, а также комплекс доминирующих видов. С применением различных статистических методов установлена связь между концентрацией в водах исследованных озер тяжелых металлов (цинк, медь) и показателями развития фитопланктона. Наше исследование показало, что тяжелые металлы в водах городских озер Якутска оказывают токсическое действие на сообщества фитопланктона, что проявляется в модерировании его численности, видового богатства и смене состава доминирующих видов. Наши результаты подтверждают, что изучение влияния тяжелых металлов на живые компоненты водной экосистемы городских озер является перспективным направлением гидробиологических исследований в регионе, а фитопланктон является пригодным тест-объектом.

Литература

1. Cimboláková I., Uher I., Laktičová K.V., Vargová M., Kimáková T., Papajová I. Heavy metals and the environment. IntechOpen, 2019. [Online First]. DOI: 10.5772/intechopen.86876. <https://www.intechopen.com/online-first/heavy-metals-and-the-environment>
2. Руфова А.А., Ксенофонтова М.И. Гидрохимический состав как один из индикаторов современных условий формирования озер (на примере г. Якутска) // Наука и образование. 2015. Т. 2, №78. С. 145–151.
3. Руфова А.А., Татарина А.В. Антропогенное влияние на гидрохимическое и гидробиологическое

состояние поверхностных вод северных городов (на примере г. Якутска) // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 4. С. 503.

4. Макаров В.Н. Экогеохимия окружающей среды города, расположенного в криолитозоне, на примере Якутска // Региональная экология. 2016. № 4(46). С. 80–94.

5. Трофимова Т.П. Оценка уровня токсического загрязнения донных отложений исследованных озер г. Якутска методом биотестирования // Материалы IX всероссийской научно-практической конференции «Эколого-географические проблемы регионов России». 2018. Самара: Изд-во Самарского государственного социально-педагогического университета. С. 166–169.

6. Макаров В.Н. Камыш озер Якутска – естественный эколого-биогеохимический барьер // Наука и техника в Якутии. 2016. № 2 (31). С. 16–43.

7. Васильева И.И. Состав и сезонная динамика фитопланктона озер окрестностей г. Якутска: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 1968. 14 с.

8. Иванова А.П. Водоросли городских и пригородных озер долины средней Лены: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2000. 24 с.

9. Копырина Л.И. Таксономический анализ эпифитных водорослей озера Сергелях // Материалы международной конференция «Озера холодных регионов». Т. 2. Гидробиологические вопросы. Якутск: Изд-во Якутского ун-та, 2000. С. 82–93.

10. Пестрякова Л.А. Процесс эвтрофирования озер долины Туймаада (Центральная Якутия) // Наука и образование. 2010. № 4. С. 82–87.

11. Садчиков А.П. Методы изучения пресноводного фитопланктона: методическое руководство. М., 2003. 157 с.

12. ГОСТ Р 57162-2016 Вода. Определение содержания элементов методом атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией.

13. Афифи А., Эйзен С. Статистический анализ: Подход с использованием ЭВМ. М.: Мир, 1982. 488 с.

14. Гланц С. Медико-биологическая статистика. М.: Практика, 1998. 459 с.

15. Ким Дж.-О., Мьюллер Ч.У., Клекка У.Р. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. М.: Финансы и статистика, 1989. 215 с.

16. Pearson K. On the criterion that a given system of deviations from the probable in the case of a correlated system of variables is such that it can be reasonably supposed to have arisen from random sampling // Philosophical Magazine Series 5. 1900. Vol. 50, I. 302. P. 157–175.

17. Бакаева О.А., Щенников В.Н. Использование критерия χ^2 для выявления связи между качественными переменными на основе «идеальных» таблиц сопряженности // Ярославский педагогический вестник. 2011. № 4. С. 15–20.

18. Дегтева С.В., Новаковский А.Б. Эколого-ценоотические группы сосудистых растений в фитоценозах ландшафтов бассейна верхней и средней Печоры. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2012. 182 с.

19. Гржибовский А.М. Выбор статистического критерия для проверки гипотез // Экология человека. 2008. № 11. С. 48–57.

20. Антон Г. Анализ таблиц сопряженности. М.: Финансы и статистика, 1982. 143 с.

21. Jindal R., Verma A. Copper toxicity to plankton // Pollution Research. 1989. 8(3). P. 123–128.

22. Прошкина Е.А. Влияние тяжелых металлов на сообщества почвенных и эпифитных водорослей: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Уфа, 1997. 20 с.

23. Волошко Л.Н., Чаплыгина О.Я. Оценка чувствительности штаммов золотистых водорослей (Chryso-phyta) к ионам тяжелых металлов // Астраханский вестник экологического образования. 2016. № 4 (38). С. 92–100.

24. Стравинскене Е.С., Григорьев Ю.С. Модифицирующее действие природных вод на токсичность тяжелых металлов для водоросли *Chlorella vulgaris* // Водные ресурсы. 2012. Т. 39, № 3. С. 332–336. DOI: 10.1134/s0097807812030104

25. Kaladharan P., Alavandi S.V., Pillai V.K., Balachandran V.K. Inhibition of primary production as induced by heavy metal ions on phytoplankton population off Cochin // Indian Journal of Fisheries. 1990. 37 (1). P. 51–54.

Поступила в редакцию 15.04.2020
Принята к публикации 27.08.2020

Об авторах

ГАБЫШЕВ Виктор Александрович, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 41, Россия, <http://orcid.org/0000-0002-1656-4383>, Researcher ID: J-7831-2018, v.a.gabyshhev@yandex.ru:

ГАБЫШЕВА Ольга Ивановна, младший научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 41, Россия, <http://orcid.org/0000-0002-7435-4384>, Researcher ID: K-6082-2018, g89248693006@yandex.ru.

Габышев В.А., Габышева О.И. К изучению влияния тяжелых металлов на развитие фитопланктона озер г. Якутска и окрестностей // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2020, Т. 25, № 4. С. 81–91. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-4-6>

DOI 10.31242/2618-9712-2020-25-4-6

On the study of the effects of heavy metals on the growth of lake phytoplankton in Yakutsk and its vicinity

V.A. Gabyshev, O.I. Gabysheva

Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk, Russia

v.a.gabyshev@yandex.ru

Abstract. Our hydrobiological studies revealed the species composition, total abundance and a complex of dominant species of phytoplankton in 11 urban and suburban lakes of Yakutsk. In addition, water samples were collected to determine the concentrations of heavy metal ions (copper, nickel, manganese, zinc). For some chemical components, an excess over the MAC was detected. A data set was compiled from the obtained data. The data set includes 24 quantitative continuous variables characterizing the concentrations of heavy metals and the parameters of phytoplankton development. Through consecutive application of various methods of statistical analysis to the obtained data set, a significant correlation was revealed between the concentrations of heavy metal ions in water and the parameters of phytoplankton growth. It is proved that increased concentrations of zinc and copper cause a decrease in the total abundance of phytoplankton, its species richness, and affect the changes in the composition of dominant species through replacing Cyanoprokaryota species by Bacillariophyta ones. The relevance of studying the effect of heavy metal ions on the living components of the aquatic ecosystem of urban lakes in Yakutsk is confirmed, as well as suitability of phytoplankton as a test object for these studies.

Key words: heavy metals, phytoplankton abundance, species diversity, dominants, urban lakes, Yakutsk.

Acknowledgements. This study was performed within the framework of the state task of the Institute of Biological Problems of the Cryolithozone SB RAS for 2017–2020, topic “Fundamental and Applied Aspects of Studying the Diversity of the Plant World of Northern and Central Yakutia,” registration number AAAA-A17-117020110056-0.

References

1. Cimboláková I., Uher I., Laktičová K.V., Varogová M., Kimáková T., Papajová I. Heavy metals and the environment. IntechOpen, 2019. [Online First]. DOI: 10.5772/intechopen.86876. <https://www.intechopen.com/online-first/heavy-metals-and-the-environment>
2. Rufova A.A., Ksenofontova M.I. Hidrokhimicheskiy sostav kak odin iz indikatorov sovremennykh usloviy formirovaniya ozer (na primere g. Yakutsk) // Nauka i obrazovaniye. 2015. Vol. 2, No. 78. P. 145–151.
3. Rufova A.A., Tatarinova A.V. Antropogennoye vliyaniye na gidrokhimicheskoye i gidrobiologicheskoye sostoyaniye poverkhnostnykh vod severnykh gorodov (na primere g. Yakutsk) // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. 2015. No. 4. P. 503.
4. Makarov V.N. Ekogeokhimiya okruzhayushchey sredy goroda, raspolozhennogo v kriolitozone, na primere Yakutsk // Regional'naya ekologiya. 2016. No. 4(46). P. 80–94.
5. Trofimova T.P. Otsenka urovnya toksicheskogo zagryazneniya donnykh otlozheniy issledovannykh ozer g. Yakutsk metodom biotestirovaniya // Materialy IX vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Ekologo-geograficheskiye problemy regionov Rossii». 2018. Samara: Izd-vo Samarskogo gosudarstvennogo sotsial'no-pedagogicheskogo universiteta. P. 166–169.
6. Makarov V.N. Kamysh ozor Yakutsk – yestestvennyy ekologo-biogeokhimicheskiy bar'yer // Nauka i tekhnika v Yakutii. 2016. No. 2 (31). P. 16–43.
7. Vasil'yeva I.I. Sostav i sezonnaya dinamika fitoplanktona ozer okrestnostey g. Yakutsk: Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Novosibirsk, 1968. 14 p.

8. *Ivanova A.P.* Vodorosli gorodskikh i prigorodnykh ozor doliny sredney Leny: Avtoref. dis. kand. biol. nauk. M., 2000. 24 p.
9. *Kopyrina L.I.* Taksonomicheskiy analiz epifitnykh vodorosley ozera Sergelyakh // *Materialy mezhdunarodnoy konferentsiya «Ozera kholodnykh regionov»*. Vol. 2. Gidrobiologicheskiye voprosy. Yakutsk: Izd-vo Yakutskogo un-ta, 2000. P. 82–93.
10. *Pestryakova L.A.* Protsess evtrofirovaniya ozer doliny Tuymaada (Tsentral'naya Yakutiya) // *Nauka i obrazovaniye*. 2010. No. 4. P. 82–87.
11. *Sadchikov A.P.* Metody izucheniya presnovodnogo fitoplanktona: metodicheskoye rukovodstvo. M., 2003. 157 p.
12. GOST R 57162-2016 Voda. Opredeleniye soderzhaniya elementov metodom atomno-absorbtsionnoy spektrometrii s elektrotermicheskoy atomizatsii.
13. *Affi A.A., Azen S.P.* Statisticheskiy analiz: Podkhod s ispol'zovaniyem EVM. M.: Mir, 1982. 488 p.
14. *Glantz S.* Mediko-biologicheskaya statistika. M.: Praktika, 1998. 459 p.
15. *Kim J.-O., Mueller C.U., Klecka C.* Faktornyy, diskriminantnyy i klasternyy analiz. M.: Finansy i statistika, 1989. 215 p.
16. *Pearson K.* On the criterion that a given system of deviations from the probable in the case of a correlated system of variables is such that it can be reasonably supposed to have arisen from random sampling // *Philosophical Magazine Series 5*. 1900. Vol. 50, I. 302. P. 157–175.
17. *Bakayeva O.A., Shchennikov V.N.* Ispol'zovaniye kriteriya ch2 dlya vyyavleniya svyazi mezhdu kachestvennymi peremennymi na osnove «ideal'nykh» tablits sopryazhennosti // *Yaroslavskiy pedagogicheskiy vestnik*. 2011. No. 4. P. 15–20.
18. *Degteva S.V., Novakovskiy A.B.* Ekologo-tsenoticheskiye gruppy sosudistyykh rasteniy v fitotsenozakh landshaftov basseyna verkhney i sredney Pechory. Yekaterinburg: Izd-vo UrO RAN, 2012. 182 p.
19. *Grzhibovskiy A.M.* Vybor statisticheskogo kriteriya dlya proverki gipotez // *Ekologiya cheloveka*. 2008. No. 11. P. 48–57.
20. *Upton G.J.G.* Analiz tablits sopryazhennosti. M.: Finansy i statistika, 1982. 143 p.
21. *Jindal R., Verma A.* Copper toxicity to plankton // *Pollution Research*. 1989. 8(3). P. 123–128.
22. *Proshkina Ye.A.* Vliyaniye tyazhelykh metallov na soobshchestva pochvennykh i epifitnykh vodorosley: Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Ufa, 1997. 20 p.
23. *Voloshko L.N., Chaplygina O.Ya.* Otsenka chuvstvitel'nosti shtammov zolotistyykh vodorosley (Chryso-phyta) k ionam tyazhelykh metallov // *Astrakhanskiy vestnik ekologicheskogo obrazovaniya*. 2016. No. 4 (38). P. 92–100.
24. *Stravinskene Ye.S., Grigor'yev Yu.S.* Modifitsiruyushcheye deystviye prirodnykh vod na toksichnost' tyazhelykh metallov dlya vodorosli *Chlorella vulgaris* // *Vodnyye resursy*. 2012. Vol. 39, No. 3. P. 332–336. DOI: 10.1134/s0097807812030104
25. *Kaladharan P., Alavandi S.V., Pillai V.K., Balachandran V.K.* Inhibition of primary production as induced by heavy metal ions on phytoplankton population off Cochin // *Indian Journal of Fisheries*. 1990. 37 (1). P. 51–54.

About the authors

GABYSHEV Viktor Alexandrovich, doctor of biological sciences, principal researcher, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk 677980, Russia, <http://orcid.org/0000-0002-1656-4383>, Researcher ID: J-7831-2018, v.a.gabyshev@yandex.ru;
 GABYSHEVA Olga Ivanovna, junior researcher, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk 677980, Russia, <http://orcid.org/0000-0002-7435-4384>, Researcher ID: K-6082-2018, g89248693006@yandex.ru.

Citation

Gabyshev V.A., Gabysheva O.I. On the study of the effects of heavy metals on the growth of lake phytoplankton in Yakutsk and its vicinity // *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2020, Vol. 25, No. 4. pp. 81–91. (In Russ.) <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-4-6>

Антиоксидантная активность плодов *Lonicera L.* в условиях центральной Якутии

Т.С. Коробкова, С.М. Сабарайкина

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия

korobkova_t@list.ru

Аннотация. Изучена суммарная антиоксидантная активность (АОА) экстрактов, полученных последовательным экстрагированием листьев и плодов рода *Lonicera L.*, растворителями возрастающей полярности (этанол, дистиллированная вода). Использован спектрофотометрический метод определения АОА по ингибированию DPPH. Антиоксидантную активность экстрактов оценивали нейтрализацией свободных радикалов и определением общей антиоксидантной активности. Определение флавоноидных соединений осуществляли методом ВЭЖХ на микроколоночном хроматографе Милихром А-02 фирмы «ЭкоНова» (Россия) с последующей компьютерной обработкой результатов исследования, используя программу «МультиХром для «Windows». Для исследований взяты пробы *Lonicera edulis Turcz.* и *L. altaica* 6 популяций, а также 9 сортов жимолости различного происхождения, произрастающих в коллекциях Якутского ботанического сада. Результаты проведенных биохимических исследований показали, что содержание сухих веществ в плодах жимолости колеблется от 10,7 до 13,4 % и составляет в среднем 11,4 %, сумма сахаров 8,1 %, пределы варьируют от 6,0 (*Lonicera altaica*) до 13,2 (*Lonicera edulis* Горный р-н, уч. Май). Содержание растворимых и легкогидролизуемых углеводов в жимолости составило 5,3–15 мг/г сырой массы. Содержание аскорбиновой кислоты в ягодах дикорастущей жимолости выше 51,7–71,2 мг %, чем у сортообразцов (31,7–65,5 мг %). Биохимический анализ плодов выявил 2 из 8 определяемых компонентов – лютеолин-гликозид и рутин. Наибольшее содержание обнаруженных флавоноидов отмечено в образцах свежесобранных спелых плодов *Lonicera altaica* (лютеолин-гликозид 51,3±2,6 мкг/г сырой ткани, рутин 96,3±4,8 мкг/г сырой ткани). Накопление флавоноидов в сортообразцах изменяется по годам. Сравнение АОА плодов жимолости различной спелости показало, что АОА выше в спелых плодах (до 50 %). Полученные результаты показывают, что жимолость является потенциальным источником как лиофильных, так и липофильных антиоксидантов.

Ключевые слова: жимолость, ягоды, Якутия, ботанический сад, интродукция, экстракция, антиоксиданты, флавоноиды, спектрофотометрия, хроматографический метод.

Благодарности. Работа выполнена в рамках госзадания ИБПК СО РАН на 2017–2020 гг. по теме «Фундаментальные и прикладные аспекты изучения разнообразия растительного мира Северной и Центральной Якутии» (рег. номер АААА-А17-117020110056-0). Авторы выражают особую признательность к.б.н. Шеину А.А. за оказанную помощь при проведении биохимических исследований.

Введение

Неферментные антиоксиданты, каротиноиды, токоферолы, катехины, аскорбиновая кислота относятся к низкомолекулярным антиоксидантным веществам, положительное действие которых на организм связано с тем, что они, соединяясь со свободными радикалами, препятствуют ускоренному окислению липидов и образованию продуктов окисления, способствуя тем самым поддержанию нормальной структуры компонентов клетки. В организм человека антиоксиданты поступают извне, с пищей, богатой биологически активными веществами [1–8]. В условиях Севера

доступным источником витаминов, других биологически активных веществ являются плоды ягодных растений.

Исследования последних лет свидетельствуют о постоянно растущем интересе к изучению высоковитаминной, скороспелой культуры жимолости [9–14]. Анализ данных литературы о химическом составе данной культуры свидетельствует о его богатом содержании. Так, известно о присутствии кумаринов, антоцианов, полисахаридов, эфирного масла [15–21]. Данный вид обладает широким спектром биологической активности, вызванной присутствием фенольных соедине-

ний [22, 23]. Противовоспалительная и спазмолитическая активность обусловлена преимущественно флавоноидами [24, 25].

Несмотря на довольно узкий экологический ареал, приуроченный к долинам рек, жимолость встречается достаточно широко, поселяясь во влажных условиях различных типов лесов. Однако, население мало собирало плоды и не занималось культивированием жимолости. Возможно, это связано с тем, что распространенная во флоре Якутии жимолость алтайская (*Lonicera altaica* Pall. Caprifoliaceae) имеет плоды горького вкуса, легко переопыляется с жимолостью съедобной (*L. edulis* Turcz.ex Freyn.), что придает ягодам последней горечь. В литературе [26] описывается еще один вид жимолости, жимолость Палласа (*L. pallasi* Ledeb.) как вид, очень близкий к *L. altaica*. В Якутском ботаническом саду (ЯБС) жимолость интродуцируется с конца 80-х годов, с 2005 г. проводится сортоиспытание жимолости.

Целью работы является изучение содержания биологически активных веществ, а также общей антиоксидантной активности водно-этанольных экстрактов *Lonicera edulis* и *L. altaica* 6 популяций, а также 9 сортов в условиях Якутского ботанического сада (ЯБС).

Материалы и методы исследования

Исследования проводились на территории Якутского ботанического сада ИБПК СО РАН (далее ЯБС). Сад расположен в 7 км юго-западнее г. Якутск на второй надпойменной террасе долины р. Лена и на водораздельном пространстве Лено-Вилуйской равнины.

Объектом исследования являются дикорастущие виды жимолость *Lonicera altaica* и *L. edulis*. Виды были привезены саженцами из центрально-якутских (Горный, Кобяйский районы, окр. г. Якутск) и южно-якутских (Алданский, Олекминский) районов Якутии. Сорта жимолости приобретены саженцами из Новосибирска и Барнаула. В эксперименте участвовали сорта – Катюша, Селена, Волшебница, Берель, Морена, Славянка, Бакчарский великан, Гордость Бакчар, Бакчарский юбилейный.

Все образцы выращивались на коллекционных участках в равных агротехнологических условиях, на фоне искусственного орошения. Почва участков мерзлотная лугово-черноземная.

Для определения антиоксидантной активности брали среднюю пробу свежесобранных ягод.

Навески плодов измельчали, готовили экстракты дистиллированной водой и этанолом при непрерывном перемешивании на встряхивателе (12 ч). Полученные растворы фильтровали через обеззоленный фильтр.

Оценка антиоксидантной активности проводилась методом колориметрии свободных радикалов, основанной на реакции DPPH (2,2-дифенил-1-пикрилгидразил ($C_{18}H_{12}N_5O_6$, $M = 394,33$)), растворенного в метаноле, с образцом антиоксиданта (АН) по схеме: $DPPH^* + AN \rightarrow DPPH-H + A^*$. В результате восстановления DPPH антиоксидантом снижается пурпурно-синяя окраска DPPH в метаноле, а реакция контролируется по изменению оптической плотности при 514 нм на спектрофотометре [27, 28].

Изучение содержания суммы флавоноидов, каротиноидов проводили спектрофотометрическими методами [29, 30], растворимых сухих веществ – рефрактометрическим методом, ГОСТ 28562-90 [31], аскорбиновой кислоты – общепринятым методом титрования с применением краски Тильманса [30].

Для определения флавоноидов воздушно-сухое сырье экстрагировали метанолом в соотношении 1:10, в течение 1 дня, при постоянном перемешивании, в комнатных условиях. Полученные экстракты пропускали через мембранный фильтр с диаметром пор 0,20 мкм. Определение осуществляли методом ВЭЖХ на микроколоночном хроматографе Милихром А-02 фирмы «Эко-Нова» (Россия) с последующей компьютерной обработкой результатов исследования, используя программу «МультиХром для «Windows». В качестве стандартных образцов флавоноидов использовали рутин, кверцетин, апигенин, апигенин-7-О-глюкозид, лютеолин, лютеолин-7-О-гликозид, нарингенин и дигидрокверцетин производства Sigma-Aldrich. [32–34].

Обсуждение результатов

Вода является доминирующим химическим компонентом для большинства видов растительного сырья и составляет 80–90 % их свежей массы. Остальная часть представлена сухими веществами – углеводами, азотистыми веществами, витаминами, минеральными солями, ароматическими веществами.

Результаты проведенных биохимических исследований показали, что содержание сухих веществ в плодах жимолости колеблется от 10,7 (*Lonicera altaica*) до 13,4 % (*Lonicera edulis*) и

составляет в среднем 11,4 %. В анализируемый период содержание сухих веществ в плодах изменялось незначительно (коэффициент вариации составил 1,5–3,5 %). В листьях изучаемых видов и сортов среднее содержание сухих веществ колебалось от 12,5 (*Lonicera edulis*) до 13,8 % (сорт Бакчарский юбилейный) со средним значением 12,8 %. Полученные нами данные оказались несколько ниже по сравнению с аналогично проведенными опытами в других регионах – 12,9–16,5 % в Тамбовской области [35] и 14,6–15,0 % в Алтайском крае [19, 20, 36].

Большую часть сухих веществ в ягодах составляют сахара, содержащиеся во всех частях растения. Среднее содержание сахаров в плодах изученных нами видов и сортов составило 8,1 %, минимальное – 6,0 % у *Lonicera altaica*, максимальное – 10,8 % у *Lonicera edulis* – образца, привезенного с местности Май, Горный район, Республика Саха (Якутия). Во второй период отбора проб содержание сахаров в плодах повысилось, составив у *Lonicera altaica* – 7,6 %, у *Lonicera edulis* – 13,2 %. Сорта имели меньшую сахаристость (Гордость Бакчар – 9,5 %, Бакчарский великан – 8,74 %). По нашим данным, сумма сахаров жимолости съедобной превышает их содержания в плодах жимолости, отмеченные рядом авторов для других регионов

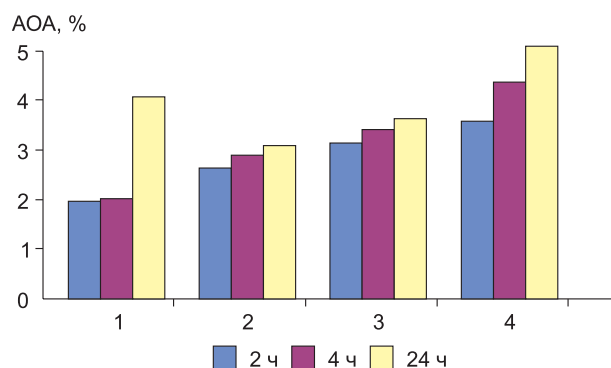


Рис. 1. Антиоксидантная активность экстрактов ягод *Lonicera* L., по степени созревания ягод.

1 – *L. altaica*, неполная спелость; 2 – *L. altaica*, полная спелость; 3 – *L. edulis*, Горный р-н, участок Май, неполная спелость; 4 – *L. edulis*, Горный р-н, участок Май, полная спелость.

Fig. 1. Antioxidant activities of berry extracts in respect of ripeness. Berry extracts were exposed in ethanol solution for 2, 4 and 24 hours

1 – *L. altaica*, unripe; 2 – *L. altaica*, ripe; 3 – *L. edulis* May locality, Gorny raion, the Republic of Sakha (Yakutia), unripe; 4 – *L. edulis* May locality, Gorny raion, the Republic of Sakha (Yakutia), ripe.

(Алтайский край – 4,7–9,8; Тамбовская область – 8,8–12,7 %). Возможно, это является косвенным свидетельством повышенной устойчивости местных видов растений к ранним заморозкам и перепадам температур [19, 20, 36].

Содержание растворимых и легкогидролизуемых углеводов в жимолости составило 5,3–15 мг/г сырой массы.

Аскорбиновая кислота в ягодах жимолости содержится в достаточных количествах, у дикорастущих видов 31,7–65,5 мг %, у сортообразцов 51,7–71,2 мг %.

Биохимический анализ плодов выявил два из восьми определяемых компонентов – лютеолин-гликозид и рутин. Наибольшее содержание обнаруженных флавоноидов отмечено в образцах свежесобранных спелых плодов *Lonicera altaica* (лютеолин-гликозид 51,3±2,6 мкг/г сырой ткани, рутин 96,3±4,8 мкг/г сырой ткани). Накопление флавоноидов в сортообразцах изменяется по годам. Так, в 2016 г. среднее содержание рутина составило 490 мг% (пределы варьирования 250–740 мг%), в 2017 г. – 340 мг% (пределы варьирования 229 – 609 мг%). Среди сортов больше всего рутина отмечено у сортов Катюша (609 мг%) и Селена (470 мг%), сеянцев от свободного опыления *Lonicera altaica* (оригинаторы – НЗПЯОС им И.В. Мичурина, НИИСС им. М.А. Лисавенко). Волшебница и Берель – сорта, производные от опыления жимолости алтайской пылью жимолости камчатской, имели меньше рутина в ягодах – 270 и 320 мг% соответственно.

Анализ результатов показал, что плоды жимолости обладают высокой антиоксидантной активностью. Наблюдение АОА в динамике показало, что антиоксидантная активность повышается по мере созревания ягод (рис. 1). Максимальным значением антиоксидантной активности отмечены пробы *Lonicera edulis*, привезенного с Горного района в фазе полной спелости ягод (до 50 %).

Максимальное извлечение биологически активных веществ отмечено при длительной выдержке экстрактов (30–50 %, 24 ч), причем спиртовое извлечение было выше, чем дистиллированной водой. Это находит подтверждение и в работах других ученых по другим культурам [36].

Анализ зависимости антиоксидантной активности экстрактов ягод жимолости, от места произрастания образцов, не выявил больших различий. Виды жимолости, отличающиеся плодами со сладким вкусом, содержат больше биологичес-

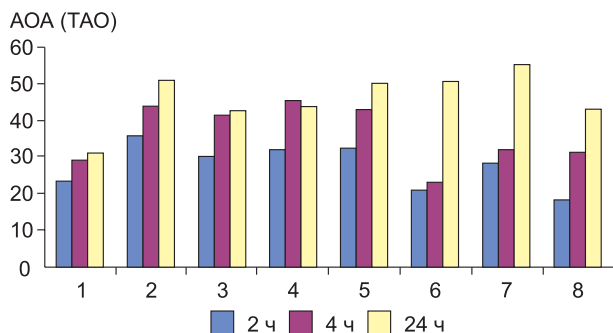


Рис. 2. Антиоксидантная активность экстрактов ягод видов и сортов жимолости.

1 – *L. altaica*, окрестности Якутска; 2 – *L. altaica*, участок Май, Горный р-н; 3 – *L. edulis*, участок Май, Горный р-н; 4 – *L. edulis*, Кобяйский р-н; 5 – *L. edulis*, Алданский р-н; 6 – *L. edulis*, Олекминский р-н; 7 – сорт Катюша; 8 – сорт Берель.

Fig. 2. Antioxidant activity of berries extracts of *Lonicera* L. species and varieties. Berry extracts were exposed in ethanol solution for 2, 4 and 24 hours.

1 – *L. altaica*, Yakutsk; 2 – *L. altaica*, (May locality, Gorny raion, the Republic of Sakha (Yakutia); 3 – *L. edulis* (May locality, Gorny raion, the Republic of Sakha (Yakutia); 4 – *L. edulis* (Kobyaysky raion, the Republic of Sakha (Yakutia); 5 – *L. edulis* Aldan raion, the Republic of Sakha (Yakutia); 6 – *L. edulis* Olekminsky raion, the Republic of Sakha (Yakutia); 7 – variete Katyusha; 8 – variete Berel.

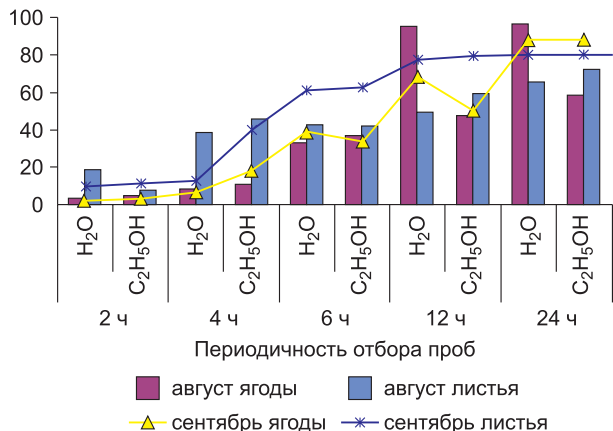


Рис.3. Динамика антиоксидантной активности в плодах и листьях шиповника иглистого различных фаз зрелости.

Fig.3. Antioxidant activity dynamics in fruits and leaves of *Rosa acicularis* Lindl. in respect of ripeness.

Fruits and leaves extracts were exposed in ethanol and water solution for 2, 4, 6, 12 and 24 hours (august – fruits; august – leaves; september – fruits; september – leaves).

ки активных веществ независимо от района их произрастания (рис. 2). Среди сортов выделились сорта Катюша (54 %) и Берель (42 %).

Характер извлечения веществ находился в динамике в зависимости от типа растворителя

(вода–спирт), а также изменялся в процессе вегетации. Так, например, антиоксидантная активность водных экстрактов плодов сортов Морена и Славянка в конце июня была выше на 2 %, чем в июле у созревших плодов. Аналогичные особенности выявлены и на других культурах, например у шиповника (рис. 3). В плодах неполной зрелости шиповника иглистого (август) по сравнению с плодами съемной зрелости (сентябрь) обнаружено повышенное содержание АОА. При этом максимальная АОА достигается через 12 ч выдержки и составляет 98,24 % в незрелых плодах и 83,4 % – в зрелых.

В этот же период происходит перераспределение аскорбиновой кислоты в листья. Если в августе АОА составляла 66 %, то в сентябре – 80 %. В обоих случаях максимального значения она достигает через 24 ч экспонирования листьев в спиртовом растворе.

В работах В.Б. Кулиева, В.А. Волкова выявлено, что этанольный и водный экстракты ягодных культур оказывали антирадикальное действие, связывая радикал 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила. При этом этанольный экстракт проявляет себя как более антирадикальный агент, что согласуется с нашими данными [4, 36].

Заключение

Таким образом, наибольшее количество антиоксидантных веществ обнаружили у жимолости съедобной со сладкими плодами из популяций Горного района, среди сортов – у сорта Катюша (сеянцев от свободного опыления *Lonicera altaica*).

Результаты биохимических исследований плодов и листьев ягодных видов растений показали, что накапливается значительное количество низкомолекулярных антиоксидантов, таких как аскорбиновая кислота, а-токоферол, каротиноиды, флавоноиды. Выявлено два индивидуальных флавоноида – лютеолин-гликозид и рутин. Наибольшее содержание обнаруженных флавоноидов отмечено в образцах свежесобранных плодов жимолости алтайской. Повышенная антиоксидантная активность жимолости съедобной связана с накоплением аскорбиновой кислоты.

Проведенное исследование позволяет рекомендовать не только жимолость съедобную, но жимолость алтайскую (несмотря на плоды с выраженным горьким вкусом) как источник ценных антиоксидантных соединений.

Литература

1. Хасанов В.В., Рыжова Г.А., Мальцева Е.Р. Методы исследования антиоксидантов // Химия растительного сырья. 2004. № 3. С. 18–22.
2. Gutteridge V., Westekmarck T., Halliwell B. Oxygen damage in biological systems / Free radical, Aging and Degenerative Disease. – Ed. By Yohson Y. New York, 1986. 142 p.
3. Mullen W., Marks S.C., Crozier A. Evaluation of phenolic compounds in commercial fruit juices and fruit drinks // Agric and Food Chem. 2007. Vol. 5, No. 8. P. 3148–3157. DOI: 10.1021/jf062970x.
4. Волков В.А. Физико-химические закономерности взаимодействия 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила с антиоксидантами растительного происхождения: Автореф. дис. ... канд. хим. наук. Тверь, 2010. 20 с.
5. Зюзина А.В. Разработка и оценка потребительских свойств соков с повышенным антиоксидантным действием: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Орел, 2012. 21 с.
6. Базарнова Ю.Г. Исследование антиокислительных свойств экстрактов фенольных соединений некоторых растений // Ресурсосберегающие технологии пищевых производств: сб. науч. тр. СПб.: СПбГАХТП, 1998. С. 193.
7. *The Flavonoid* / Eds J.B. Harborne, T.J. Mabry, H. Mabry. Lond., 1981. 1204 p.
8. Плешков Б.П. Практикум по биохимии растений. М.: Колос, 1985. 254 с.
9. Елсакова С.Д. Перспективы выращивания жимолости в Заполярье // Состояние и перспективы развития редких садовых культур в СССР: сб. науч. тр. / ВНИИ садоводства им. И.В. Мичурина. Мичуринск, 1989. С. 48–50.
10. Скворцов А.К. Голубые жимолости: Ботаническое изучение и перспективы культуры в средней полосе России. М.: Наука, 2002. 159 с.
11. Жидехина Т.В. Интродукция и селекция жимолости в ЦЧР // Тр. Всероссийского научно-исследовательского института садоводства: сб. науч. трудов. Воронеж: Кварта, 2005. С. 415–437.
12. Швирст Е.П. Особенности селекции жимолости синей в условиях Крайнего Севера Дальнего Востока // Плодоводство и ягодоводство России. 2017. Т. 51. С. 47–51.
13. Сорокопудов В.Н., Куклина А.Г. Хозяйственно-биологическая характеристика декоративных сортов и форм жимолости (*Lonicera L.*) в России // Экосистемы. 2017. № 6 (36). С. 100–106.
14. Козак Н.В., Имамкулова З.А., Куликов И.М., Медведев С.М. Источники хозяйственно-ценных признаков коллекционных образцов жимолости синей (*Lonicera caerulea L.*) // Садоводство и виноградарство. 2018. № 1. С. 16–23.
15. Плеханова М.Н. Актинидия, лимонник, жимолость. Л.: Агропромиздат, 1990. 87 с.
16. Лукиша В.В. Жимолость. М.: Лесная промышленность, 1990. 64 с.
17. Макарова Н.В., Мусифуллина Э.В., Дмитриева А.Н., Соболев Г.И. Контроль исследования химического состава различных сортов жимолости // Изв. вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2012. № 2(3). С. 171–172.
18. Чулков А.Н., Макаревич С.Л., Дейнека В.И., Сорокопудов В.Н., Дейнека Л.А., Сазонова С.А. Жимолость голубая – сопоставление некоторых свойств плодов, выращенных в Белгороде и в Москве // Научные ведомости БелГУ. Сер. Естественные науки. 2011. № 9 (104), Вып. 15/2. С. 233–237.
19. Бочарова Т.Е., Трунов Ю.В. Биохимический состав плодов жимолости в условиях Тамбовской области // Университет им. В.И. Вернадского. 2007. Т. 2, № 4(10). С. 56–60.
20. Кильдиярова Р.Р. Биохимический состав плодов жимолости синеплодной на южных черноземах Оренбургской области // Плодоводство и ягодоводство России: сб. науч. работ / ВСТИСП. М., 2002. Т. 9. С. 163–168.
21. Образцова П.А., Шмелева И.Ю., Рожнов Е.Д. Перспективы использования плодов жимолости в производстве винных напитков // Ломоносовские чтения на Алтае: Фундаментальные проблемы науки и образования. 2017. С. 1054–1055. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.01.003.
22. Боярских И.Г., Юшкова Ю.В., Черняк Е.И., Морозов С.В. Содержание биологически активных фенольных соединений в плодах *Lonicera caerulea L.* различного происхождения в условиях лесостепи Приобья // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2011. № 3(77). С. 39–46.
23. Саякова Г.М., Изатова А.Е., Токушева Д.С. Разработка лечебного спрея из густого экстракта жимолости татарской и жимолости Палласа для лечения экземы // Инновации в здоровье нации: Сбор. материалов III Всероссийской научно-практической конференции. 2015. С. 385–388.
24. Саякова Г.М., Дроздова И.В. Количественный анализ флавоноидов в надземной части жимолости илийской и жимолости алтайской // Современная медицина: Актуальные вопросы. 2014. № 28. С. 98–107.
25. Сорокопуд А.Ф., Игушов Н.В. Особенности переработки замороженных плодов жимолости в аппарате с вибрационной тарелкой // Вестник Международной академии холода. 2017. № 3. С. 3–9. DOI: 10.21047/1606-4313-2017-16-3-3-9.
26. Конспект флоры Якутии: Сосудистые растения / сост. Л.В. Кузнецова, В.И. Захарова. Новосибирск: Наука, 2012. 272 с.
27. Sanches M., Larrauri C., Saura A., Calixto F. A procedure to measure the antioxidant efficiency of polyphenols // J. Sci. Food Agric. 1998. Vol. 76. P. 270–276.

28. *Программа* и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / Под ред. Е.Н. Седова. Орел, 1999. 119 с.
29. Бурова Т.Е. Влияние обработки на состав и свойства растительного сырья: учеб.-метод. пособие / Под ред. А.Л. Ишевского. СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2014. 85 с.
30. Беликов В.В. Методы анализа флавоноидных соединений // Фармация. 1970. № 1. С. 68.
31. Рефрактометрический метод определения растворимых сухих веществ // Продукты переработки плодов и овощей. Методы анализа: ГОСТ 28562-90. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002.
32. Коренман И.М. Методы определения органических соединений. М.: Химия, 1970. 343 с.
33. Муравьева Д.А. Фармакогнозия. М.: Медицина, 1991. 465 с.
34. Полюдек-Фабини Р., Бейрих Т. Органический анализ. Л.: Химия, 1981. 624 с.
35. Кулиев В.Б. Антиоксидантная активность экстрактов из плодов *Crataegus Meyer* (Rosaceae) // Растительные ресурсы. 2013. Вып. 1. С. 279–286.
36. Крысова А.Я., Шелковская Н.К. Оценка сортообразцов жимолости по биохимическому составу плодов и листьев // Вестник Алтайской науки, 2015. № 1. С. 412–414.

Поступила в редакцию 28.08.2020

Принята к публикации 15.10.2020

Об авторах

КОРОБКОВА Татьяна Сергеевна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, 677007, Якутск, пр. Ленина, 41, Россия, Researcher ID J-7915-2018, korobkova_t@list.ru;

САБАРАЙКИНА Светлана Михайловна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны, Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр СО РАН», 677007, Якутск, пр. Ленина, 41, Россия, <https://orcid.org/0000-0001-8248-8326>, sabaraikina@mail.ru.

Информация для цитирования

Коробкова Т.С., Сабарайкина С.М. Антиоксидантная активность плодов *Lonicera L.* в условиях Центральной Якутии // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2020, Т. 25, № 4. С. 92–99. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-4-7>

DOI 10.31242/2618-9712-2020-25-4-7

Antioxidant activity of the berries of *Lonicera L.* under the conditions of Central Yakutia

T.S. Korobkova, S.M. Sabaraikina

Institute for Biological Problems of Cryolithozone, SB RAS, Yakutsk, Russia
korobkova_t@list.ru

Abstract. The total antioxidant activity (TOA) of ethanolic and water successive extracts of *Lonicera* leaves and berries was studied. A spectrophotometric determination of TOA by DPPH inhibition was used. The antioxidant activity was evaluated by free radical scavenging and by the estimation of total antioxidant activities. Flavonoid compounds were determined by means of high performance liquid chromatography with a microcolumn chromatograph Milichrom A-02 (EkoNova, Russia), followed by computer processing of the results using the MultiKhrom software for Windows. Antioxidants were extracted from leaves and berries of 6 populations of *Lonicera edulis* Turcz and *L. altaica*, as well as 9 varieties of *Lonicera* of various origins growing in the collections of the Yakut Botanical Garden (YBS). Results of biochemical investigation showed that the content of dry substances in the berries varies from 10,7 to 13,4%, with 11,4 % on

average; the sum of saccharides is 8,1 %, varying within the range from 6,0 (*Lonicera altaica*) to 13,2 (*Lonicera edulis*, Gorniy District, May). Total sugar content was found maximum in berries *Lonicera edulis* (13,2 mg/g) and minimum in *L. altaica* (6,0 mg/g). The content of soluble and easily hydrolyzable carbohydrates in *Lonicera* ranged from 5,3 to 15 mg/g of the raw mass. The content of ascorbic acid in wild-growing *Lonicera* berries (51,7 – 71,2 mg %) was higher than in the varieties (31,7 – 65,5 mg %). Biochemical analysis of the berries revealed 2 of 8 detectable components - luteolin glycoside and rutin. The highest content of detected flavonoids was revealed in samples of freshly picked ripe berries of *L. altaica* (luteolin glycoside $51.3 \pm 2.6 \mu\text{g/g}$ of raw tissue, rutin $96.3 \pm 4.8 \mu\text{g/g}$ of raw tissue). The accumulation of flavonoids in cultivars varied from year to year. Comparison of *Lonicera* berries TOA in respect of ripeness showed that it was higher in ripe fruits (up to 50 %). Accumulation of flavonoids in the varieties changes from one year to another. A comparison of the antioxidant activity (AOA) of the berries of different maturity showed that AOA is higher in mature berries (up to 50 %). The results show that *Lonicera* is a potential source of both lyophilic and lipophilic antioxidants.

Key words: *Lonicera*, berries, Yakutia, botanical garden, introduction, extraction, antioxidants, flavonoids, spectrophotometry, chromatography.

Acknowledgements. This work was carried out as part of the state task of the IBPC SB RAS for 2017-2020 "Fundamental and applied aspects of studying the diversity of the plant world of North and Central Yakutia", reg. Number AAAA-A17-117020110056-0).

References

1. Hasanov V.V., Ryzhova G.A., Mal'ceva E.R. Metody issledovaniya antioksidantov // Himiya rastitel'nogo syr'ya. 2004. No. 3. P. 18–22.
2. Gutteridge V., Westekmarck T., Halliwell B. Oxygen damage in biological systems / Free radical, Aging and Degenerative Disease. – Ed. By Yohson Y. New York, 1986. 142 p.
3. Mullen W., Marks S.C., Crozier A. Evaluation of phenolic compounds in commercial fruit juices and fruit drinks // Agric and Food Chem. 2007. Vol. 5, No. 8. P. 3148–3157. DOI: 10.1021/jf062970x.
4. Volkov V.A. Fiziko-himicheskie zakonomernosti vzaimodejstviya 2,2-difenil-1-pikrilgidrazila s antioksidantami rastitel'nogo proiskhozhdeniya: Avtoref. dis. ... kand. chim. nauk. Tver', 2010. 20 p.
5. Zyuzina A.V. Razrabotka i ocenka potrebitel'skih svoystv sokov s povyshennym antioksidantnym dejstviem: Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Orel, 2012. 21 p.
6. Bazarnova Yu.G. Issledovanie antiokislitel'nyh svoystv ekstraktov fenol'nyh soedinenij nekotoryh rastenij: «Resursoberegayushchie tekhnologii pishchevyh proizvodstv». SPb.: SPbGAHTP, 1998. P. 193.
7. The Flavonoid / Eds J.B. Harborne, T.J. Mabry, H. Mabry. Lond., 1981. 1204 p.
8. Pleshkov B.P. Praktikum po biohimii rastenij. M.: Kolos, 1985. 254 p.
9. Elsakova S.D. Perspektivy vyrashchivaniya zhimolosti v Zapolyar'e // Sostoyanie i perspektivy razvitiya redkih sadovykh kul'tur v SSSR: sb. nauch. tr. / VNI sadovodstva im. I.V. Michurina. Michurinsk, 1989. P. 48–50.
10. Skvorcov A.K. Golubye zhimolosti: Botanicheskoe izuchenie i perspektivy kul'tury v srednej polose Rossii. M.: Nauka, 2002. 159 p.
11. Zhidyohina T.V. Introdukciya i selekciya zhimolosti v CChR // Trudy Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta sadovodstva: Sb. nauch. trudov. Voronezh: Kvarta, 2005. P. 415–437.
12. Shvirst E.P. Osobennosti selekcii zhimolosti sinej v usloviyakh Krajnego Severa Dal'nego Vostoka // Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii. 2017. Vol. 51. P. 47–51.
13. Sorokopudov V.N., Kuklina A.G. Hozyajstvenno-biologicheskaya harakteristika dekorativnykh sortov i form zhimolosti (*Lonicera* L.) v Rossii // Ekosistemy. 2017. No. 6 (36). P. 100–106.
14. Kozak N.V., Imamkulova Z.A., Kulikov I.M., Medvedev S.M. Istochniki hozyajstvenno-cennykh priznakov kollekcionnykh obrazcov zhimolosti sinej (*Lonicera caerulea* L.) // Sadovodstvo i vinogradarstvo. 2018. No. 1. P. 16–23.
15. Plekhanova M.N. Aktinidiya, limonnik, zhimolost'. Leningrad: Agrompromizdat, 1990. 87 p.
16. Lukisha V.V. Zhimolost'. M.: Lesnaya Promyshlennost', 1990. 64 p.
17. Makarova N.V., Musifullina E.V., Dmitrieva A.N., Sobolev G.I. Kontrol' issledovaniya himicheskogo sostava razlichnykh sortov zhimolosti // Izv. vuzov. Prikladnaya himiya i biotekhnologiya. 2012. No. 2(3). P. 171–172.
18. Chulkov A.N., Makarevich S.L., Dejneka V.I., Sorokopudov V.N., Dejneka L.A., Sazonova S.A. Zhimolost' golubaya – sopostavlenie nekotorykh svoystv plodov, vyrashchennykh v Belgorode i v Moskve // Nauchnye vedomosti BelGU. S. Estestvennye nauki. 2011. No. 9 (104). Vol. 15/2. P. 233–237.
19. Bocharova T.E., Trunov Yu.V. Biohimicheskij sostav plodov zhimolosti v usloviyakh Tambovskoj oblasti // Universitet im. V.I. Vernadskogo. Vol. 2, No. 4(10). 2007. P. 56–60.
20. Kil'diyarova P.P. Biohimicheskij sostav plodov zhimolosti sinep-lodnoj na yuzhnykh chernozyomah

Orenburgskoj oblasti // Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii: sb. nauch. rabot / VSTISP. M., 2002. Vol. 9. P. 163–168.

21. *Obrazcova P.A., Shmeleva I.Yu., Rozhnov E.D.* Perspektivy ispol'zovaniya plodov zhimolosti v proizvodstve vinnykh napitkov // Lomonosovskie chteniya na Altae: fundamental'nye problemy nauki i obrazovaniya. 2017. P. 1054–1055. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.01.003.

22. *Boyarshikh I.G., Yushkova Yu.V., Chernyak E.I., Morozov S.V.* Soderzhanie biologicheskii aktivnykh fenol'nykh soedinenij v plodakh *Lonicera caerulea L.* Razlichnogo proiskhozhdeniya v usloviyakh lesostepi Priob'ya // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2011. No. 3(77). P. 39–46.

23. *Sayakova G.M., Izatova A.E., Tokusheva D.S.* Razrabotka lechebnogo spreya iz gustogo ekstrakta zhimolosti tatarskoj i zhimolosti Pallasa dlya lecheniya ekzemy // Innovacii v zdorov'e natsii. Sbornik materialov III Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii. 2015. P. 385–388.

24. *Sayakova G.M., Drozdova I.V.* Kolichestvennyj analiz flavonoidov v nadzemnoj chasti zhimolosti ilijskoj i zhimolosti altajskoj // Sovremennaya medicina: Aktual'nye voprosy. 2014. No. 28. P. 98–107.

25. *Sorokopud A.F., Igushov N.V.* Osobennosti pererabotki zamorozhennykh plodov zhimolosti v apparate s vibracionnoj tarelkoj // Vestnik Mezhdunarodnoj akademii holoda. 2017. No. 3. P. 3–9. DOI: 10.21047/1606-4313-2017-16-3-3-9.

26. *Konspekt flory Yakutii: Sosudistye rasteniya / sost. L.V. Kuznecova, V.I. Zaharova.* Novosibirsk: Nauka, 2012. 272 p.

27. *Sanches M., Larrauri C., Saura A., Calixto F.* A procedure to measure the antioxidant efficiency of polyphenols // J. Sci. Food Agric. 1998. Vol. 76. P. 270–276.

28. *Programma i metodika sortoizucheniya plodovykh, yagodnykh i orekhoplodnykh kul'tur.* Orel, 1999. 119 p.

29. *Burova T.E.* Vliyanie obrabotki na sostav i svoystva rastitel'nogo syr'ya: Ucheb.-metod. posobie / Pod red. A.L. Ishevskogo. SPb.: NIU ITMO; IHiBT, 2014. 85 p.

30. *Belikov V.V.* Metody analiza flavonoidnykh soedinenij // Farmaciya. 1970. No. 1. P. 68.

31. *Refraktometricheskij metod opredeleniya rastvorimyykh suhih veshchestv // Produkty pererabotki plodov i ovoshchej. Metody analiza: GOST 28562-90.* M.: IPK Izdatel'stvo standartov, 2002.

32. *Korenman I.M.* Metody opredeleniya organicheskikh soedinenij. M.: Himiya, 1970. 343 p.

33. *Murav'eva D.A.* Farmakognosiya. M: Medicina, 1991. 465 p.

34. *Polyudek-Fabini R., Bejrih T.* Organicheskij analiz. L.: Himiya, 1981. 624 p.

35. *Kuliev V.B.* Antioksidantnaya aktivnost ekstraktov iz plodov Crataegus Meyeri_Rosaceae // Rastitelnie Resursy. 2013. Iss. 1. P. 279–286.

36. *Krisova A.Ya., Shelkovskaya N.K.* Ocenka sortoobrazcov zhimolosti po biokhimicheskomu sostavu plodov i listev // Vestnik Altaiskoi nauki. 2015. No. 1. P. 412–414.

About the authors

KOROBKOVA Tatyana Sergeevna, candidate of biological sciences, leading researcher, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk 677980, Russia, Researcher ID J-7915-2018, korobkova_t@list.ru;

SABARAİKINA Svetlana Michailovna, candidate of biological sciences, senior researcher, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk 677980, Russia, <https://orcid.org/0000-0001-8248-8326>, sabaraikina@mail.ru.

Citation

Korobkova T.S., Sabaraikina S.M. Antioxidant activity of the berries of *Lonicera L.* under the conditions of Central Yakutia // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2020, Vol. 25, No. 4. pp. 92–99. (In Russ.) <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-4-7>

Профиль жирных кислот плазмы крови беременных женщин как биомаркер риска невынашивания беременности в условиях Севера

О.Н. Колосова^{1,*}, Е.С. Хлебный¹, Н.В. Баишева²

¹Институт биологических проблем криолитозоны ФИЦ ЯНЦ СО РАН, Якутск, Россия

²Мединститут Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия

*kolosova.olga8@inbox.ru

Аннотация. Различные классы жирных кислот (ЖК) плазмы крови беременных женщин в условиях Севера выполняют тройную нагрузку, обеспечивая оптимальную адаптацию организма к экстремальным климатогеофизическим условиям, участвуя в сложнейших перестройках, происходящих в организме женщин в этот период, и обеспечивая питание, рост и развитие плода. Целью настоящей работы является исследование профиля ЖК плазмы крови беременных женщин с целью идентификации биомаркеров риска невынашивания беременности в условиях Севера. Исследована плазма крови 56 женщин-добровольцев, находящихся в первом триместре беременности. По критерию степени акушерского риска все исследуемые были разделены на две группы: группа 1 «Здоровые» ($n = 24$), группа 2 «Риск» ($n = 32$). Идентификацию и определение концентрации ЖК в образцах плазмы крови проводили методом газожидкостной хроматографии с масс-спектрометрией. Были идентифицированы 32 ЖК плазмы крови. Выявлено высокое содержание насыщенных ЖК (более 80 % от суммы ЖК) в обеих обследуемых группах. Установлено, что особенности содержания индивидуальных ЖК плазмы крови беременных женщин в первом триместре могут служить биомаркерами риска невынашивания беременности на Севере: 1) соотношение содержания пальмитиновой/олеиновой ЖК ниже 17,6 ед; 2) более низкое (в 2,51 раза) содержание короткоцепочечных и длинноцепочечных ЖК, чем у женщин с нормально протекающей беременностью; 3) процентное содержание α -линоленовой ЖК в 2,4 раза более низкое, чем у здоровых беременных женщин; 4) более низкое суммарное (Σ) содержание $\omega 3$ -ПНЖК (ниже 0,02 %), чем у здоровых беременных женщин; 5) соотношение суммарного содержания $\Sigma \omega 6$ -ПНЖК/ $\Sigma \omega 3$ -ПНЖК равное или больше 74:1. Используя соответствующие биологически активные добавки или корректируя рацион питания беременных женщин в первом триместре в соответствии с индивидуальным профилем ЖК, вероятно, можно повысить долю вынашивания беременности и рождения здоровых детей в условиях Севера.

Ключевые слова: адаптация, Север, индивидуальные жирные кислоты, биомаркеры, газожидкостная хроматография с масс-спектрометрией, беременные женщины, риск невынашивания, 1 триместр, питание.

Благодарности. Исследование было проведено в рамках проекта VI.62.1.8. «Разработка биопрепаратов из тканей растений и животных Якутии на основе изучения особенностей их биохимического состава и механизмов адаптации к условиям Севера» (№ 0376-2019-0005 регистрационный номер АААА-А17-117020110055-3) Института биологических проблем криолитозоны ФИЦ ЯНЦ СО РАН и проекта № 0297-2020-0013 «Исследование психофизиологических, функциональных и биоритмологических механизмов адаптации человека (коренных и приезжих жителей) в условиях Арктики и Субарктики» госзадания № 0297-2020-0013 ФИЦ ЯНЦ СО РАН.

Введение

Экстремальные климатогеофизические факторы (гелиогеомагнитные возмущения, резко-континентальный климат, холод, специфический фотопериодизм и др.), оказывающие влияние на

организм человека в условиях Севера, могут становиться еще более стрессорирующими в периоды метаболических перестроек в организме. Наиболее оптимальное и экономное в экстремальных условиях функционирование организма основа-

но на предпочтительном использовании в биоэнергетических процессах липидов. Поэтому одной из основных особенностей эколого-физиологических механизмов адаптации организма жителей Севера является белково-липидный тип обмена веществ [1–3]. Структурными элементами липидов являются жирные кислоты (ЖК), которые обеспечивают жизнедеятельность организма человека и его взаимодействие с окружающей средой, принимая участие практически во всех важнейших физиологических процессах. ЖК являются основными источниками энергии в условиях Севера, вовлечены в процессы обеспечения целостности клеточных мембран, в регуляцию воспалительных процессов, экспрессию генов и т. д. [4–7]

Нормальное протекание беременности определяет здоровое внутриутробное развитие человека и оказывает влияние на всю последующую жизнь. Обеспеченность плода жирными кислотами зависит от содержания их в плазме крови матери [7–9]. ЖК, являясь важнейшими энергетическими субстратами, особенно на Севере, участвуют в метаболических, регуляторных и структурных процессах.

Во время беременности в организме происходят серьезные метаболические перестройки, направленные на сохранение здоровья женщины в этот период и обеспечение растущего плода кислородом, питательными веществами, необходимыми для его нормального роста и развития. Известно, что наиболее чувствительным к влияниям условий внешней среды и воздействию неблагоприятных факторов организм беременной женщины становится на ранних сроках, когда и происходит закладка основных органов и систем плода. В этот период повышается риск невынашивания беременности, особенно в экстремальных условиях окружающей среды. Результаты проведенных ранее исследований показывают, что в течение первых 10 недель беременности начинает увеличиваться общее содержание жирных кислот в плазме крови. Беременность, как правило, ассоциируется с выраженной гиперлипидемией, и предполагается, что повышенные концентрации липидов улучшают доступ плода к насыщенным жирным кислотам (НЖК) [10]. Различия в профиле ЖК плазмы крови беременной женщины могут влиять на функцию плаценты, на рост и здоровье ребенка даже после рождения [8, 11].

Жирные кислоты можно разделить по количеству двойных связей (ДС), на основании функциональных свойств и того, с какими целями клетки используют их *in vivo*: 1) НЖК – насыщенные ЖК, которые не имеют ДС; 2) МНЖК – мононенасыщенные ЖК, имеющие одну ДС; 3) ПНЖК – полиненасыщенные ЖК содержат 2 и более ДС. Клетки организма синтезируют биологически активные гуморальные медиаторы, такие как эйкозаноиды, только из ПНЖК. Кроме того, ЖК делятся на короткоцепочечные, имеющие длину, равную С4–С8 атомам углерода; среднецепочечные – С10–С14; длинноцепочечные – С16–С22 и очень длинноцепочечные ЖК – С22–С26.

В последние годы большое внимание уделяется выявлению специфических эффектов индивидуальных ЖК и их роли в качестве биомаркеров функционального состояния организма. Целью настоящей работы является исследование профиля жирных кислот плазмы крови беременных женщин с целью идентификации биомаркеров риска невынашивания беременности в условиях Севера.

Материалы и методы

Исследована плазма крови 56 женщин, находящихся в первом триместре беременности, состоящих на учете по беременности в Центре охраны здоровья семьи и ребенка г. Якутск, женской консультации № 1 Поликлиники № 1. По критерию степени акушерского риска все исследуемые были разделены на две группы: группа 1 «Здоровые» – практически здоровые женщины с нормально протекающей беременностью ($n = 24$), группа 2 «Риск» – женщины, относящиеся к группе риска по невынашиванию беременности ($n = 32$). Протокол исследования был одобрен Комитетом по биомедицинской этике ЯНЦ КМП РАН. Подписанное информированное согласие было получено от каждого участника исследований.

Идентификацию и определение концентрации ЖК в образцах плазмы крови проводили методом газожидкостной хроматографии с масс-спектрометрией (ГХ-МС) [12]. Для получения метиловых эфиров ЖК использовали метод кислотного гидролиза. 100 мкл сыворотки вносили в герметичные контейнеры, добавляли 1 мл 2,5%-го метанольного раствора H_2SO_4 и помещали на 1 ч в термошейкер при 80 °С и 1000 об/мин. После охлаждения до комнатной температуры (20 °С) к полученному раствору добавляли 1 мл

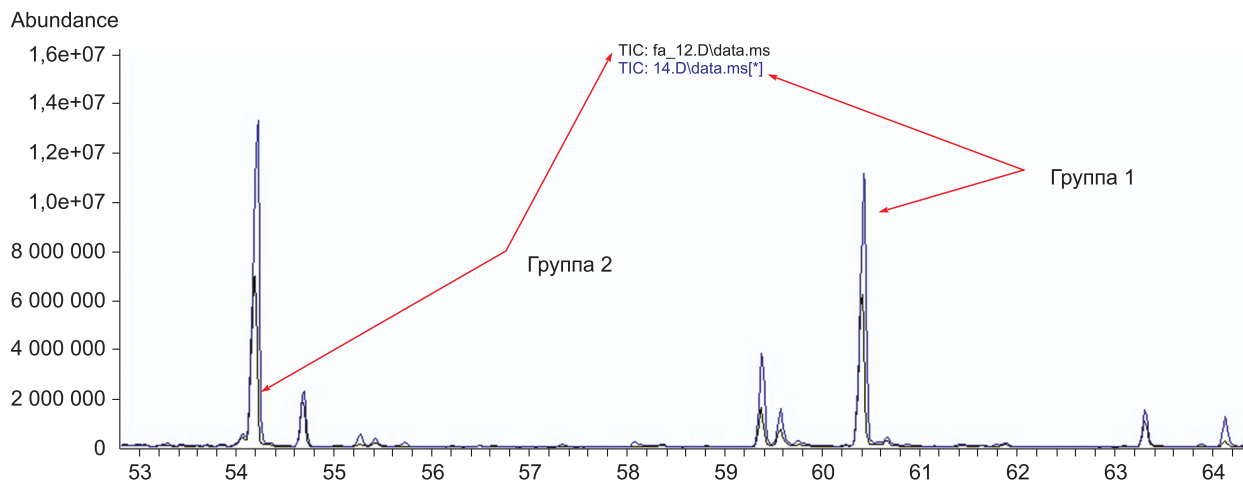


Рис. 1. Пики жирных кислот на типичной хроматограмме, полученной методом ГХ-МС: группа 1 «Здоровые» – синий цвет, группа 2 «Риск» – черный цвет.

Fig. 1. Peaks of fatty acids on typical chromatograms obtained by GC-MS: group 1 «Health» – blue, group 2 «Risk» – black.

0,9%-го раствора NaCl. Далее метиловые эфиры жирных кислот экстрагировали 0,5 мл гексана. Полученную смесь помещали в шейкер на 1 мин, затем центрифугировали 1 мин при 10 тыс. об./мин. Метиловые эфиры жирных кислот отбирали декантацией из супернатанта. Для анализа отбирали 200 мкл.

Гексановый экстракт эфиров ЖК помещали в автосамплер хроматографа «МАЭСТРО» 7820/5975, построенного на базе газового хроматографа Agilent 7820 и масс-спектрометрического детектора 5975 того же производителя. Для разделения использовали капиллярную колонку HP-INNOWax (30 м, 0,25 мм, 0,25 мкм), скорость газа-носителя (гелий) 2 мл/мин. Для ввода пробы объемом 10 мкл использовали лайнер без деления потока, температура инжектора 270 °С. Температурная программа разделения: 40 °С (5 мин); 250 °С (4 °С/мин, 5 мин). Температура линии, соединяющей хроматограф и масс-спектрометр, 270 °С, температура источника ионов – 230 °С, температура детектора – 150 °С. Регистрацию осуществляли по полному ионному току (режим SCAN).

Идентификацию (рис. 1) метиловых эфиров ЖК проводили с использованием набора стандартов метиловых эфиров ЖК фирмы Supelco. 37-Component FAME Mix (кат. номер 18919-1MP).

Были идентифицированы следующие 32 ЖК (по классам): насыщенные (НЖК; C6:0, C8:0, C10:0, C11:0, C12:0, C13:0, C14:0, C15:0, C16:0, C17:0, C18:0, C20:0, C21:0, C22:0, C23:0, C24:0); мононенасыщенные (МНЖК; C14:1, C15:1, C16:1,

C18:1, C20:1, C22:1); цис-п-6 полиненасыщенные (ω6-ПНЖК; C18:2, C18:3, C20:2, C20:3, C20:4, C22:2); и цис-п-3 полиненасыщенные (ω3-ПНЖК; C18:3, C20:3, C20:5). Состав ЖК выражали в процентах от общего количества идентифицированных ЖК и логарифмически преобразовывали по мере необходимости для нормализации.

Статистическая обработка материала произведена с использованием статистической программы «StatPlus 2007» для операционной системы Microsoft Office 2007, а также программного пакета IBM.SPSS.Statistiks.v22. При оценке всей совокупности вычислялись средние значения (M) и значения средних ошибок средних арифметических (m). Оценку значимости различий средних величин сравнивали по критерию Стьюдента для не связанных между собой вариационных рядов (группа 1 – «Здоровые» и группа 2 – «Риск»). Критический уровень значимости при проверке статистических гипотез принимали при $p \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение

Содержание индивидуальных ЖК в исследуемых группах беременных женщин, постоянно проживающих в условиях Севера, показано в таблице.

Самую большую долю среди всех ЖК занимает C16:0 пальмитиновая НЖК, которая составляет более 48 % в обеих исследуемых группах. Связано это с тем, что C16:0 синтезируется в каждой клетке организма из ацетата без образования промежуточных по длине ЖК, но митохондрии ее использовать активно не способны.

ПРОФИЛЬ ЖИРНЫХ КИСЛОТ ПЛАЗМЫ КРОВИ БЕРЕМЕННЫХ ЖЕНЩИН КАК БИОМАРКЕР РИСКА

Содержание некоторых жирных кислот в плазме крови беременных женщин
(% от суммы жирных кислот $M \pm m$)

The content of some fatty acids in the blood plasma of pregnant women (% of the total fatty acids $M \pm m$)

Химический класс Chemical class	Жирная кислота Fatty acids	Группа 1 «Здоровые» Group 1 «Healthy»	Группа 2 «Риск» Group 2 «Risk»	
1	2	3	4	5
НЖК SFA	Капроновая Hexanoic acid, C6:0	0,024±0,005	0,010± 0,002	p = 0,012
НЖК SFA	Каприловая Caprylic acid, C8:0	0,010± 0,003	0,003±0,001	p = 0,031
НЖК SFA	Каприновая Capric acid, C10:0	0,007±0,002	0,002±0,001	p = 0,029
НЖК SFA	Ундециловая Undecanoic acid, C11:0	0,002±0,001	0,001±0,001	
НЖК SFA	Лауриновая Lauric acid, C12:0	0,009±0,003	0,004±0,001	p = 0,029
НЖК SFA	Тридекановая Tridecanoic acid, C13:0	0,008±0,003	0,001±0,001	p = 0,031
НЖК SFA	Миристиновая Myristic acid, C14:0	0,004±0,002	0,006±0,002	
ω5-МНЖК ω5-MUSFA	Миростеиновая Myristoleic acid, C14:1	0,089±0,071	0,055±0,085	
НЖК SFA	Пентадекановая Pentadecanoic acid, C15:0	0,068±0,017	0,025±0,012	p = 0,043
НЖК SFA	Цис-10-пентадекановая cis-10-Pentadecenoic acid, C15:1	0,030±0,009	0,011±0,004	
НЖК SFA	Пальмитиновая Palmitic acid, C16:0	48,938±0,641	48,588±1,895	
ω7-МНЖК ω7-MUSFA	Пальмитолеиновая Palmitoleic acid, C16:1Δ7	14,944±0,265	15,136±0,62	
НЖК SFA	Маргариновая Heptadecanoic acid, C17:0	0,163±0,041	0,104±0,073	
ω7-МНЖК ω7-MUSFA	Цис-10-гептадекановая cis-10-Heptadecenoic, C17:1Δ10	0,023±0,006	0,003±0,001	p = 0,002
ω6-ПНЖК ω6-PUSFA	γ-Линоленовая γ-Linolenic acid, C18:3Δ6,9,12	0,032±0,01	0,001±0,001	p = 0,003
ω6-ПНЖК ω6-PUSFA	Линолевая Linoleic acid, C18:2Δ9,12	0,103±0,031	0,125±0,04	
ω9-МНЖК ω9-MUSFA	Олеиновая Oleic acid, C 18:1Δ9	2,364±0,655	2,775±0,676	
ω3-ПНЖК ω3-PUSFA	Альфа-линоленовая Linolenic acid, C18:3Δ3	0,031±0,008	0,013±0,003	p = 0,039
НЖК SFA	Стеариновая Stearic acid, C18:0	31,834±1,008	31,949±2,548	
ω6-ПНЖК ω6-PUSFA	Арахидоновая Arachidonic acid, C20:4Δ5,8,11,14	0,069±0,023	0,042±0,034	
ω3-ПНЖК ω3-PUSFA	Цис-5,8,11,14,17-эйкозапентаеновая cis-5,8,11,14,17-Eicosapenoic acid, C20:5Δ5,8,11,14,17	0,011±0,004	0,002±0,001	p = 0,034

1	2	3	4	5
ω6-ПНЖК ω6-PUSFA	Цис-8,11,14-эйкозатриеновая cis-8,11,14-Eicosatrienic acid, C22:3Δ11,14,17	0,022±0,009	0,002±0,001	p = 0,032
ω6- ПНЖК ω6-PUSFA	Цис-11,14-экозодиеновая cis-11-14-Eicosadienoic acid, C20:2Δ11,14	0,003±0,002	0,006±0,003	
ω9-МНЖК ω9-MUSFA	Цис-11-эйкозеновая cis-11-Eicosenoic acid, C 20:1Δ11	0,017±0,003	0,014±0,005	
ω3-ПНЖК ω3-PUSFA	Цис-11,14,17-эйкозатриеновая cis-11-14-17-Eicosatrienic acid, C22:3Δ11,14,17	0,008±0,002	0,002±0,001	p = 0,009
НЖК SFA	Арахидиновая Arachidic acid, C20:0	0,062±0,069	0,044±0,056	
НЖК SFA	Генэкозановая Heneicosanoic acid C21:0	0,007±0,002	0,013±0,005	
ω6-ПНЖК ω6-PUSFA	Цис-13,16-докозодиеновая cis-13,16-Docosadienoic acid, C22:2Δ13,16	1,128±0,315	1,098±0,249	
ω9-МНЖК ω9-MUSFA	Эруковая Erucic acid, C22:1Δ9	0,018±0,005	0,006±0,002	p = 0,049
НЖК SFA	Бегеновая Behenic acid, C22:0	0,008±0,002	0,002±0,001	p = 0,009
НЖК SFA	Трикозановая Tricosanoic acid, C23:0	0,009±0,003	0,002±0,001	p = 0,031
НЖК SFA	Лигноцеридовая Lignoceric acid, C24:0	0,003±0,002	0,002±0,001	

Примечание. НЖК – насыщенные жирные кислоты, МНЖК – мононенасыщенные жирные кислоты, ПНЖК – полиненасыщенные жирные кислоты.

Notes. SFA – saturated fatty acid, MUSFA – monounsaturated fatty acid, PUSFA – polyunsaturated fatty acid.

При использовании в качестве основного субстрата пальмитиновой ЖК возможности митохондрий нарабатывать аденозинтрифосфорную кислоту (АТФ) ниже, чем при использовании олеиновой кислоты, которая относится к классу ω-9-МНЖК. В то же время, олеиновую кислоту митохондрии способны поглощать активно, нарабатывая максимальное количество АТФ [13–15]. В обеих исследуемых группах процентное содержание пальмитиновой кислоты выше, чем олеиновой (см. таблицу). У беременных женщин 2 группы «Риск» отношение содержания пальмитиновой ЖК к олеиновой МНЖК (пальмитиновая, C16:0/ олеиновая, C 18:1Δ9) ниже, чем в 1 группе «Здоровые» (рис. 2).

Данное соотношение ЖК определяется, прежде всего, поступлением ЖК с пищей: НЖК по-

ступают при поедании пищи животного происхождения, а МНЖК и ПНЖК при преобладании в рационе растительной пищи и растительных масел. И, во-вторых, вероятно, большей необходимостью поступления у беременных энергетического субстрата (C16:0) в организм интенсивно растущего плода.

Известно, что чем выше данное отношение, тем ниже риск формирования атероматоза интимы артерий, развития ишемической болезни сердца и других патологий сердечно-сосудистой системы, системы кровоснабжения органов и тканей, включая кровоснабжение растущего плода. Следовательно, более низкая величина данного параметра в группе «Риск» обуславливает некоторое ухудшение кровоснабжения растущего организма [13, 17, 18].

Суммарное (Σ) содержание НЖК в плазме крови беременных женщин на Севере составляет в группе «Здоровые» 81,1 %, в группе «Риск» 80,6 % (рис. 3), что выше, чем у беременных женщин в других регионах и небеременных практически здоровых людей на Севере, на 10–30 % [19–20]. Содержание короткоцепочечных и длинноцепочечных ЖК в группе «Риск» в 2,51 раза ниже, чем у женщин группы «Здоровые» (см. табл. 1). Недавние исследования показали, что короткоцепочечные и среднецепочечные ЖК играют важную роль в материнско-эмбриональном метаболизме [14]. В диетах женщин, которые родили недоношенных детей (35–37 недель), или тех, кто родил в срок, но с низкой массой тела, было выявлено меньшее потребление среднецепочечных и короткоцепочечных ЖК, по сравнению с женщинами, которые родили здоровых новорожденных.

В плазме крови беременных женщин (см. таблицу) группы «Риск» процентное содержание α -линоленовой ЖК в 2,4 раза ниже, чем в группе «Здоровые» ($p = 0,039$). Данная кислота относится к незаменимым, поскольку не синтезируется в организме. Основная роль незаменимых ЖК в организме человека состоит в том, что они являются предшественниками физиологически значимых длинноцепочечных ПНЖК с 20–22 атомами углерода [21, 22].

Содержание ПНЖК в плазме крови в обеих исследуемых группах беременных женщин в усло-



Рис. 2. Соотношения концентраций пальмитиновой кислоты C16:0 к олеиновой (C18:1 Δ 9) ω 9-МНЖК в исследованных группах беременных женщин (ед.).

Fig. 2. The ratio of the content of palmitic acid C16:0 SFA to oleic acid C18: 1 ω 9-MUSFA in the studied groups of pregnant women (units).

виях Севера практически не различается и составляет примерно 1,4 % (см. рис. 3). Но при анализе различных классов ПНЖК (рис. 4, а) выявляется достоверно более низкое суммарное (Σ) содержание ω 3-ПНЖК в группе «Риск» ($p = 0,049$).

Если НЖК и некоторые МНЖК (например, олеиновая кислота) могут синтезироваться в организме развивающегося плода, то ПНЖК, особенно длинноцепочечные, плод получает только из организма матери [13]. Длинноцепочечные ПНЖК оказывают влияние на многие клеточные

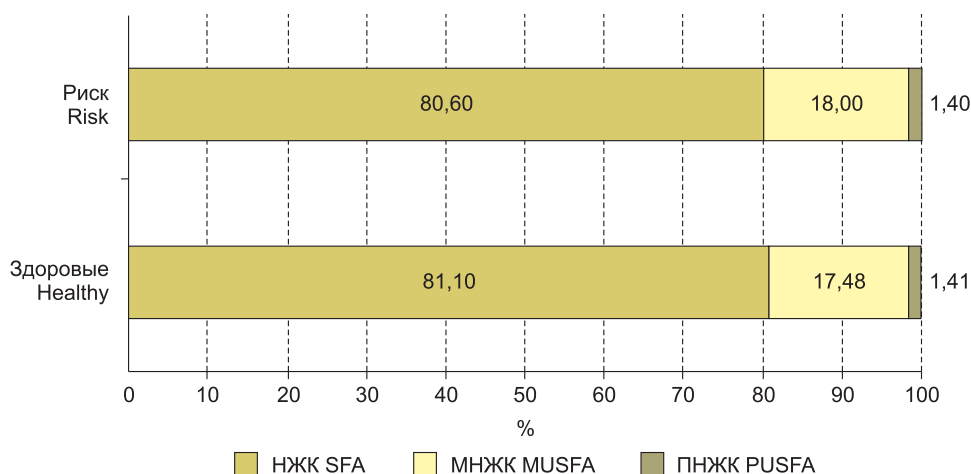


Рис. 3. Процентное распределение разных классов жирных кислот (НЖК, МНЖК, ПНЖК) в плазме крови беременных женщин группы «Риск» и «Здоровые».

Fig. 3. The percentage of different classes of fatty acids (SFA, MUSFA, PUSFA) in the blood plasma of pregnant women of the «Risk» and «Health» groups.

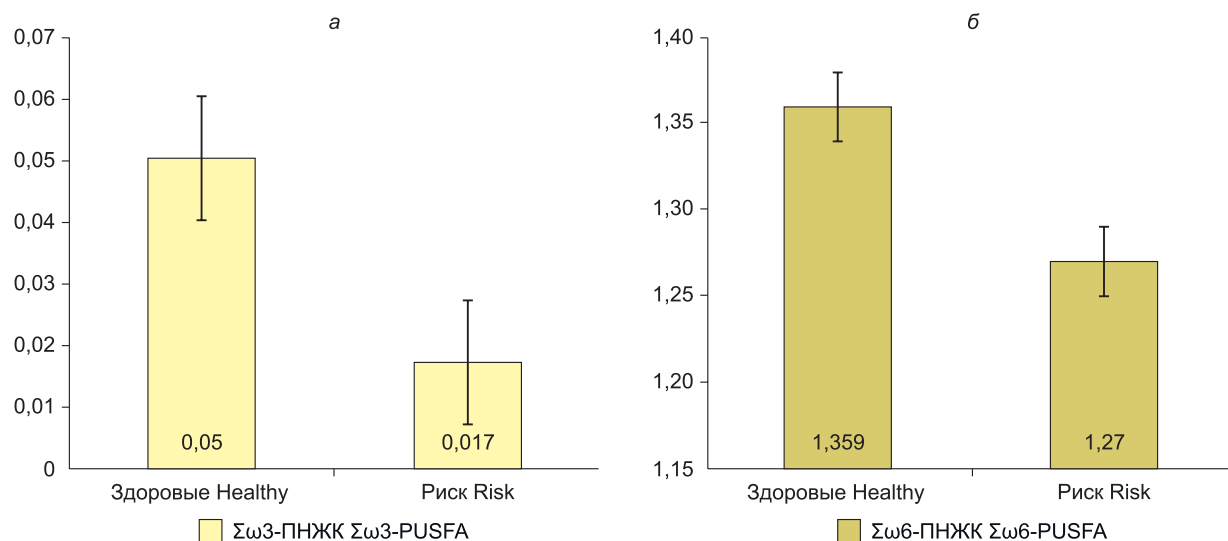


Рис. 4. Процентное содержание различных классов жирных кислот $\Sigma\omega 3$ -ПНЖК (а) и $\Sigma\omega 6$ -ПНЖК (б) в плазме крови беременных женщин группы «Риск» и «Здоровые».

Fig. 4. Percentage of different classes of fatty acids $\Sigma\omega 3$ -PUSFA (a) and $\Sigma\omega 6$ -PUSFA (б) in the blood plasma of pregnant women of the «Risk» and «Health» groups.

и физиологические процессы развивающегося плода, поскольку служат мембранными компонентами, предшественниками эйкозаноидов и активаторов ядерных рецепторов.

Экспериментальные исследования показали, что дефицит $\omega 3$ -ЖК вызывает уменьшение раз-

меров нейронов и ветвления дендритов [23]. Оптимальное содержание и соотношение ПНЖК обеспечивает правильное физическое развитие плода, а также развивающихся структур ЦНС.

Исследовано соотношение $\Sigma\omega 6$ -ПНЖК/ $\Sigma\omega 3$ -ПНЖК в обследуемых группах (рис. 5).

Выявлено повышение этого параметра у беременных женщин, постоянно проживающих в условиях Севера, по сравнению с нормой (при нормально протекающей беременности в других регионах составляет 10:1) [17, 24]. В группе «Здоровые» соотношение $\Sigma\omega 6$ -ПНЖК/ $\Sigma\omega 3$ -ПНЖК в 2,72 раза превышает норму (27,2:1), а группе «Риск» увеличивается в 7,47 раза (74,7:1). Согласно литературным данным, повышение соотношения $\Sigma\omega 6$ -ПНЖК/ $\Sigma\omega 3$ -ПНЖК сопровождается снижением антиоксидантной активности и интенсификацией перекисного окисления липидов (ПОЛ) [17]. Возможно увеличение количества МНЖК в группе «Риск» по сравнению с группой «Здоровые» (см. рис. 3) может быть связано с их защитной или адаптивной ролью против окисления клеточной мембраны, имеющей место у беременных женщин данной группы. Известно, что по сравнению с ПНЖК, МНЖК более устойчивы к окислительному стрессу [17, 24, 25].

Заключение

Таким образом, результаты исследований профиля ЖК плазмы крови у беременных женщин в

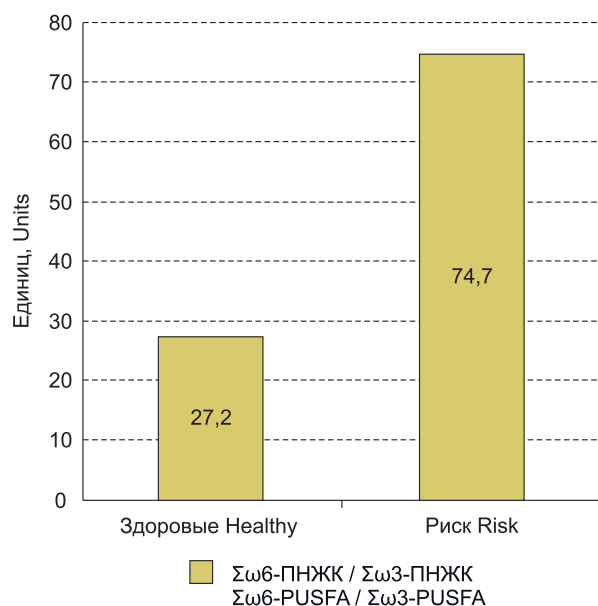


Рис. 5. Соотношение суммарного содержания $\Sigma\omega 6$ -ПНЖК / $\Sigma\omega 3$ -ПНЖК в изученных группах беременных женщин (ед.).

Fig. 5. The ratio of the total content of $\Sigma\omega 6$ -PUSFA / $\Sigma\omega 3$ -PUSFA in the studied groups of pregnant women (units).

первом триместре беременности (8–12 неделя), постоянно проживающих в регионе высоких широт на Севере, свидетельствуют о наличии особенностей в содержании у них индивидуальных ЖК. Различные классы ЖК плазмы крови беременных женщин в условиях Севера выполняют тройную нагрузку, обеспечивая оптимальную адаптацию организма к экстремальным климатогеофизическим условиям, участвуя в сложнейших перестройках, происходящих в организме женщин в этот период и обеспечивая питание, рост и развитие плода. Специфические экологические условия Севера, сопряженные с повышенными энергетическими тратами, определяют высокое содержание НЖК (80,0 % от суммы ЖК) уже в первый триместр беременности в группе женщин с нормально протекающей беременностью. Вероятно также, что повышение содержания НЖК в плазме крови беременных женщин способствует адекватному поступлению высокоэнергетических субстратов и оптимальному питанию плода.

В группе «Здоровые» у 92 % женщин беременность завершилась родами в срок, у 8 % проведена экстренная или плановая операция. В группе «Риск» беременность завершилась родами в срок у 54 % женщин, у 24 % проведена экстренная или плановая операция и у 22 % – произошел выкидыш. Следовательно изменение содержания в плазме крови индивидуальных жирных кислот может привести к неблагоприятным последствиям для плода. Результаты наших исследований свидетельствуют о том, что особенности содержания индивидуальных жирных кислот плазмы крови беременных женщин в первом триместре могут служить биомаркерами риска невынашивания беременности на Севере: 1) соотношение содержания пальмитиновой/олеиновой МЖК ниже 17,6 ед.; 2) содержание короткоцепочечных и длинноцепочечных ЖК в 2,51 раза ниже, чем у женщин с нормально протекающей беременностью; 3) процентное содержание α -линоленовой ЖК в 2,4 раза более ниже, чем у здоровых беременных женщин; 4) более низкое суммарное (Σ) содержание ω 3-ПНЖК (ниже 0,02%), чем у здоровых беременных женщин; 5) соотношение суммарного содержания $\Sigma\omega$ 6-ПНЖК/ $\Sigma\omega$ 3-ПНЖК, равное или больше 74:1. Используя соответствующие биологически активные добавки или корректируя рацион питания беременных женщин в первом триместре в

соответствии с индивидуальным профилем ЖК, вероятно, можно повысить долю вынашивания беременности и рождения здоровых детей в условиях Севера.

Литература

1. Бойко Е.Р. Физиолого-биохимические основы жизнедеятельности человека на Севере. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 190 с.
2. Панин Л.Е. Энергетические аспекты адаптации. Л.: Медицина, 1978. 189 с.
3. Коробицын А.А., Банникова Р.В., Гудков А.Б., Вязьмин А.М., Шахова В.А. Медико-экологические аспекты образа жизни северян // Экология человека. 1999. № 2. С. 46–48.
4. Людина А.Ю., Потолицына Н.Н., Есеева Т.В. и др. Влияние образа жизни и характера питания на профиль жирных кислот плазмы крови уроженцев европейского Севера // Известия Самарского НЦ РАН. 2012. Т. 14, № 5. С. 557–560.
5. Voortman T., Tielemans M.J., Stroobant W., Schoufour J.D., Kiefte-de Jong J.C., Steenweg-de Graaff J., van den Hooven E.H., Tiemeier H., Jaddoe V. W.V., Franco O.H. Plasma fatty acid patterns during pregnancy and child's growth, body composition, and cardiometabolic health: The Generation R Study // Clinical Nutrition. 2018. Vol. 37, Iss. 3. P. 984–992.
6. Jensen C.L. Effects of n-3 fatty acids during pregnancy and lactation // Am. J. Clin. Nutr. 2006. Vol. 83, No. 6. P. 1452–1457.
7. Owen C.G., Martin R.M., Whincup P.H., Smith G.D., Cook D.G. Effect of infant feeding on the risk of obesity across the life course: a quantitative review of published evidence // Pediatrics. 2005. Vol. 115 (5). P. 1367–1377.
8. Much D., Brunner S., Vollhardt C., Schmid D., Sedlmeier E.M., Bruderl M. Effect of dietary intervention to reduce the n-6/n-3 fatty acid ratio on maternal and fetal fatty acid profile and its relation to offspring growth and body composition at 1 year of age // Eur. J. Clin. Nutr. 2013. Vol. 67, No. 3. P. 282–290.
9. Simopoulos A.P. Omega-3 fatty acids in health and disease and in growth and development // Am. J. Clin. Nutr. 1991. Vol. 54 (3). P. 438–463.
10. Moon J., Harvey C., Robinson S.M., Ntani G., Davies J.H., Inskip H.M. Maternal plasma polyunsaturated fatty acid status in late pregnancy is associated with offspring body composition in childhood // J. Clin. Endocrinol. Metab. 2013. Vol. 98 (1). P. 299–307.
11. Sun Q., Ma J., Campos H., Hankinson S.E., Hu F.B. Comparison between plasma and erythrocyte fatty acid content as biomarkers of fatty acid intake in US women // Am. J. Clin. Nutr. 2007. Vol. 86. P. 74–81.
12. Ullah R., Murphy B., Dorich B., Richter B., Srinivasan K. Fat extraction from acid- and base-hydro-

lyzed food samples using accelerated solvent extraction // J. Agric. Food Chem. 2011. Vol. 59. P. 2169–2174.

13. Ишутина Н.А. Роль жирных кислот в эмбриональном развитии (обзор литературы) // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2018. Вып. 69. С. 107–114.

14. Рожкова Т.А., Ариповская А.В., Яровая Е.Б., Каминная В.И., Кухарчук В.В., Титов В.Н. Индивидуальные жирные кислоты плазмы крови: биологическая роль субстратов, параметры количества и качества, диагностика атеросклероза и атероматоза // Клиническая лабораторная диагностика. 2017. Т. 62, № 11. С. 655–665.

15. Arab L., Akbar J. Biomarkers and the measurement of fatty acids // Public Health Nutr. 2002. Vol. 5. P. 865–871.

16. Vidakovic A.J., Gishti O., Voortman T., Felix J.F., Williams M.A., Hofman A. Maternal plasma PUFA concentrations during pregnancy and childhood adiposity: the Generation R Study // Am. J. Clin. Nutr. 2016. Vol. 103. P. 1017–1025.

17. Ишутина Н.А. Жирные кислоты как источники энергии при беременности и их метаболизм в условиях герпес-вирусной инфекции // Фундаментальные исследования. 2012. № 4-2. С. 278–282.

18. Luan H., Meng N., Liu P., Fu J., Chen X., Rao W., et al. Non-targeted metabolomics and lipidomics LC–MS data from maternal plasma of 180 healthy pregnant women // GigaScience. 2015. Vol. 4(1). P. 1–10.

19. Людинина А.Ю., Потопицына Н.Н., Соломин Ю.Г., Осадчук Л.В., Гуторова Н.В., Петрова П.Г., Троев И.П., Остобунаев В.В., Бойко Е.П. Липидный

профиль у мужчин коми и якутской этнической принадлежности с избыточной массой тела и ожирением // Экология человека. 2014. № 1. С. 13–19.

20. Савельев В.В., Винокуров М.М., Колосова О.Н., Кершенгольц Б.М., Хлебный Е.С. Некоторые особенности изменений липидного состава крови у больных панкреонекрозом в свете ранней диагностики заболевания // Дальневосточный медицинский журнал. 2018. № 2. С. 38–44.

21. Campos H., Baylin A., Willett W.C. α -Linolenic acid and risk of nonfatal acute myocardial infarction // Circulation. 2008. Vol. 118. P. 339–345.

22. Del Gobbo L.C., Imamura F., Aslibekyan S., Marklund M., Virtanen J.K., Wennberg M., Yakoob M.Y., Chiuve S.E., Dela Cruz L., Frazier-Wood A.C. Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acid Biomarkers and coronary heart disease: Pooling Project of 19 Cohort Studies // JAMA Int. Med. 2016. Vol. 176. P. 1155–1166.

23. Baylin A., Kim M.K., Donovan-Palmer A., Siles X., Dougherty L., Tocco P., Campos H. Fasting whole blood as a biomarker of essential fatty acid intake in epidemiologic studies: Comparison with adipose tissue and plasma // Am. J. Epidemiol. 2005. Vol. 162. P. 373–381.

24. Jensen C.L. Effects of n-3 fatty acids during pregnancy and lactation // Am. J. Clin. Nutr. 2006. Vol. 83, No. 6. P. 1452–1457.

25. Pranger I.G., Joustra M.L., Corpeleijn E., Muskiet F.A.J., Kema I.P., Oude Elferink S., Singh-Povel C., Bakker S.J.L. Fatty acids as biomarkers of total dairy and dairy fat intakes: A systematic review and meta-analysis // Nutr. Rev. 2019. Vol. 77. P. 46–63.

Поступила в редакцию 28.08.2020
Принята к публикации 22.10.2020

Об авторах

КОЛОСОВА Ольга Николаевна, профессор, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, 677013, Якутск, ул. Ойунского, 27, Россия,

<https://orcid.org/0000-0002-6965-2600>, kololgonik@gmail.com;

ХЛЕБНЫЙ Ефим Сергеевич, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, 677013, Якутск, ул. Ойунского, 27, Россия,

<https://orcid.org/0000-0003-1119-7235>, chicloon@gmail.com;

БАИШЕВА Нюргуяна Васильевна, старший преподаватель, Медицинский институт, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, 677013, Якутск, ул. Ойунского, 27, Россия, kosmos80-80@mail.ru.

Информация для цитирования

Колосова О.Н., Хлебный Е.С., Баишева Н.В. Профиль жирных кислот плазмы крови беременных женщин как биомаркер риска невынашивания беременности в условиях Севера // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2020, Т. 25, № 4. С. 100–110. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-4-8>

Fatty acid profile in the blood plasma of pregnant women as a biomarker of the risk of miscarriage in the North

O.N. Kolosova^{1,*}, E.S. Khlebny¹, N.V. Baisheva²

¹Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk, Russia

²Medical Institute of the North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

*kolosova.olga8@nbox.ru

Abstract. Different classes of fatty acids (FA) in the blood plasma of pregnant women in the North perform a triple load, ensuring optimal adaptation of the body to extreme climatic and geophysical conditions, participating in the most complex rearrangements in the body of women during this period and providing nutrition, growth and development of the fetus. The aim of this work was to study the FA profile of the blood plasma of pregnant women in order to identify biomarkers of the risk of miscarriage in the North. The blood plasma of 56 female volunteers in the first trimester of pregnancy was studied. According to the criterion of the degree of obstetric risk, all the subjects were divided into 2 groups: group 1 «Healthy» ($n = 24$), group 2 «Risk» ($n = 32$). The identification and determination of the concentration of fatty acids in the samples of blood plasma were carried out by gas-liquid chromatography with mass spectrometry. 32 plasma fatty acids were identified. A high content of saturated fatty acids (more than 80 % of the total fatty acids) was revealed in both study groups. It was established that the features of the content of individual FAs in the blood plasma of pregnant women in the first trimester can serve as biomarkers of the risk of miscarriage in the North: 1) the ratio of the content of palmitic/oleic FA is lower than 17.6 units; 2) 2.51 times lower content of short-chain and long-chain fatty acids than in women with normal pregnancy; 3) the percentage of α -linolenic PSFA is 2.4 times lower than that of healthy pregnant women; 4) lower (below 0.02 %) total (Σ) content of ω 3-polyunsaturated FA (ω 3-PUSFA) than in healthy pregnant women; 5) the ratio of the total content of $\Sigma\omega$ 6-PUSFA / $\Sigma\omega$ 3-PUSFA equal to or higher than 74:1. By using appropriate dietary supplements or by adjusting the diet of pregnant women in the first trimester in accordance with the individual FA profile, it is possible to increase the percentage of healthy pregnancy and the birth of healthy children in the North.

Key words: Adaptation, North, individual fatty acids, biomarkers, gas-liquid chromatography with mass spectrometry, pregnant women, risk of miscarriage, 1 trimester, nutrition.

Acknowledgements. The study was carried out within the framework of project VI.62.1.8. "Development of biological products from tissues of plants and animals of Yakutia based on the study of the peculiarities of their biochemical composition and mechanisms of adaptation to the conditions of the North" (No. 0376-2019-0005 registration number AAAA-A17-117020110055-3) of the Institute of Biological Problems of Cryolithozone, Federal Research Center of YSC SB RAS and the project No. 0297-2020-0013 "Study of psychophysiological, functional and biorhythmological mechanisms of human adaptation (indigenous and newcomers) in the Arctic and Subarctic" state order No. 0297-2020-0013.

References

1. Bojko E.R. Fiziologo-biohimicheskie osnovy zhiznedeiatel'nosti cheloveka na Severe. Ekaterinburg: UrO RAN, 2005. 190 p.
2. Panin L.E. Energeticheskie aspekty adaptatsii. L.: Medicina, 1978. 189 p.
3. Korobicyn A.A., Bannikova R.V., Gudkov A.B., Vyaz'min A.M., SHahova V.A. Mediko-ekologicheskie aspekty obraza zhizni severyan // Ekologiya cheloveka. 1999. No. 2. P. 46–48.
4. Lyudinina A.Yu., Potolicyna N.N., Eseva T.V. i dr. Vliyaniye obraza zhizni i haraktera pitaniya na profil' zhirnykh kislot plazmy krovi urozhencev evropejskogo Severa // Izv. Samarskogo NC RAN. 2012. Vol. 14, No. 5. P. 557–560.
5. Voortman T., Tieleman M.J., Stroobant W., Schoufour J.D., Kieft-de Jong J.C., Steenweg-de Graaff J., van den Hooven E.H., Tiemeier H., Jaddoe V.W.V., Franco O.H. Plasma fatty acid patterns during pregnancy and child's growth, body composition, and cardiometabolic health: The Generation R Study // Clinical Nutrition. 2018. Vol. 37, Iss. 3. P. 984–992.
6. Jensen C.L. Effects of n-3 fatty acids during pregnancy and lactation // Am. J. Clin. Nutr. 2006. Vol. 83, No. 6. P. 1452–1457.

7. Owen C.G., Martin R.M., Whincup P.H., Smith G.D., Cook D.G. Effect of infant feeding on the risk of obesity across the life course: a quantitative review of published evidence // *Pediatrics*. 2005. Vol. 115 (5). P. 1367–1377.
8. Much D., Brunner S., Vollhardt C., Schmid D., Sedlmeier E.M., Bruderl M. Effect of dietary intervention to reduce the n-6/n-3 fatty acid ratio on maternal and fetal fatty acid profile and its relation to offspring growth and body composition at 1 year of age // *Eur. J. Clin. Nutr.* 2013. Vol. 67, No. 3. P. 282–290.
9. Simopoulos A.P. Omega-3 fatty acids in health and disease and in growth and development // *Am J Clin Nutr.* 1991. Vol. 54 (3). P. 438–463.
10. Moon J., Harvey C., Robinson S.M., Ntani G., Davies J.H., Inskip H.M. Maternal plasma polyunsaturated fatty acid status in late pregnancy is associated with offspring body composition in childhood // *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 2013. Vol. 98 (1). P. 299–307.
11. Sun Q., Ma J., Campos H., Hankinson S.E., Hu F.B. Comparison between plasma and erythrocyte fatty acid content as biomarkers of fatty acid intake in US women // *Am. J. Clin. Nutr.* 2007. Vol. 86. P. 74–81.
12. Ullah R., Murphy B., Dorich B., Richter B., Srinivasan K. Fat extraction from acid- and base-hydrolyzed food samples using accelerated solvent extraction // *J. Agric. Food Chem.* 2011. Vol. 59. P. 2169–2174.
13. Ishutina N.A. Rol' zhirnyh kislot v embrional'nom razvitii (obzor literatury) // *Byulleten' fiziologii i patologii dyhaniya*. 2018. Iss. 69. P. 107–114.
14. Rozhkova T.A., Aripovskaya A.V., Yarovaya E.B., Kaminnaya V.I., Kuharchuk V.V., Titov V.N. Individual'nye zhirnye kisloty plazmy krovi: biologicheskaya rol' substratov, parametry kolichestva i kachestva, diagnostika ateroskleroza i ateromatoza // *Klinicheskaya laboratornaya diagnostika*. 2017. Vol. 62, No. 11. P. 655–665.
15. Arab L., Akbar J. Biomarkers and the measurement of fatty acids // *Public Health Nutr.* 2002. Vol. 5. P. 865–871.
16. Vidakovic A.J., Gishti O., Voortman T., Felix J.F., Williams M.A., Hofman A. Maternal plasma PUFA concentrations during pregnancy and childhood adiposity: the Generation R Study // *Am. J. Clin. Nutr.* 2016. Vol. 103. P. 1017–1025.
17. Ишутина Н.А. Жирные кислоты как источники энергии при беременности и их метаболизм в условиях герпес-вирусной инфекции // *Фундаментальные исследования*. 2012. № 4-2. С. 278–282
18. Luan H., Meng N., Liu P., Fu J., Chen X., Rao W., et al. Non-targeted metabolomics and lipidomics LC-MS data from maternal plasma of 180 healthy pregnant women // *GigaScience*. 2015. Vol. 4(1). P. 1–10.
19. Lyudinina A.Y., Potolicyna N.N., Solonin Yu.G., Osadchuk L.V., Gutorova N.V., Petrova P.G., Troev I.P., Ostobunayev V.V., Bojko E.R. Lipidnyj profil' u muzhchiny komi i yakutskoj etnicheskoj prinadlezhnosti s izbytochnoj massoj tela i ozhireniem // *Ekologiya cheloveka*. 2014. No. 1. P. 13–19.
20. Savel'ev V.V., Vinokurov M.M., Kolosova O.N., Kershengol's B.M., Hlebnyj E.S. Nekotorye osobennosti izmenenij lipidnogo sostava krovi u bol'nyh pankreonekrozom v svete rannej diagnostiki zabolevaniya // *Dal'nevostochnyj Medicinskij Zhurnal*. 2018. No. 2. P. 38–44.
21. Campos H., Baylin A., Willett W.C. α -Linolenic acid and risk of nonfatal acute myocardial infarction // *Circulation*. 2008. Vol. 118. P. 339–345.
22. Del Gobbo L.C., Imamura F., Aslibekyan S., Marklund M., Virtanen J.K., Wennberg M., Yakoob M.Y., Chiuve S.E., Dela Cruz L., Frazier-Wood A.C. Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acid Biomarkers and coronary heart disease: Pooling Project of 19 Cohort Studies // *JAMA Int. Med.* 2016. Vol. 176. P. 1155–1166.
23. Baylin A., Kim M.K., Donovan-Palmer A., Siles X., Dougherty L., Tocco P., Campos H. Fasting whole blood as a biomarker of essential fatty acid intake in epidemiologic studies: Comparison with adipose tissue and plasma // *Am. J. Epidemiol.* 2005. Vol. 162. P. 373–381.
24. Jensen C.L. Effects of n-3 fatty acids during pregnancy and lactation // *Am. J. Clin. Nutr.* 2006. Vol. 83, No. 6. P. 1452–1457.
25. Pranger I.G., Joustra M.L., Corpeleijn E., Muskiet F.A.J., Kema I.P., Oude Elferink S., Singh-Povel C., Bakker S.J.L. Fatty acids as biomarkers of total dairy and dairy fat intakes: A systematic review and meta-analysis // *Nutr. Rev.* 2019. Vol. 77. P. 46–63.

About the authors

KOLOSOVA Olga Nikolaevna, professor, doctor of biological sciences, chief researcher, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk 677980, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-6965-2600>, kololgonik@gmail.com;

KHLEBNY Efim Sergeevich, candidate of biological sciences, leading researcher, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk 677980, Russia, <https://orcid.org/0000-0003-1119-7235>, chicloon@gmail.com;

BAISHEVA Nurgujana Vasiljevna, senior lecturer, Medical Institute of the North-Eastern Federal University, 27 Oiunsky str., Yakutsk, 677013, Russia; kosmos80-80@mail.ru.

Citation

Kolosova O.N., Khlebny E.S., Baisheva N.V. Fatty acid profile of blood plasma of pregnant women as a biomarker of the risk of miscarriage in the North // *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2020, Vol. 25, No. 4. pp. 100–110. (In Russ.) <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-4-8>

Биологические ресурсы

УДК 631.442.1(571.56-191.2)

DOI 10.31242/2618-9712-2020-25-4-9

Почвы тукуланов бассейна реки Кенкеме (Центральная Якутия)

М.В. Оконешникова, А.З. Иванова, А.Р. Десяткин, Н.В. Филиппов, Р.В. Десяткин

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия

madalexia@yandex.ru

Аннотация. Исследованы почвы правобережной части бассейна р. Кенкеме ($62^{\circ}04'$ с.ш., $128^{\circ}59'-129^{\circ}00'$ в.д.), развивающиеся на песчаных отложениях Центрально-Якутской равнины. На изученном участке ландшафты представлены ранними эоплейстоценовыми образованиями элювиального и солифлюкционного происхождения. Льдистость мерзлых песчаных отложений составляет 30–50 %, температура их колеблется от $-0,5$ до -7 °C при средних значениях $-1...-3$ °C. Мощность сезонно-талого слоя в зависимости от ландшафтных условий изменяется от 0,5 до 4,3 м при средних значениях 1–2,5 м. Установлено, что под мертвопокровными сосняками широко развиты мерзлотные боровые песчаные слабоподзоленные почвы со строением профиля O–A–AE–EB–Bf–BC–C1–C2. В понижениях мезорельефа под закоряженными ерниками разной степени увлажнения формируются мерзлотные таежные слабоподзоленные глееватые (O–AT–EB–B–BCg) и торфянисто-глееватые (OT–T–Bg) почвы. Все типы почв характеризуются преобладанием в гранулометрическом составе фракций крупного и среднего песка, кислой реакцией среды и очень низким содержанием гумуса в минеральной части профиля. Разное сочетание сизовато-серых и охристо-ржавых примазок в оглеенных горизонтах мерзлотных таежных слабоподзоленных глееватых и торфянисто-глееватых почв показывает смену изначально окислительной обстановки на преимущественно восстановительную в условиях избыточного увлажнения.

Ключевые слова: легкая почвообразующая порода, почвообразование, морфология почв, многолетняя мерзлота, Центральная Якутия.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке проекта СО РАН по теме 0376-2019-0006; регистрационный номер АААА-А19-119040990002-1.

Введение

На территории Центральной Якутии в бассейнах крупных рек и на приуроченных к ним территориях встречаются обширные дюнные песчаные комплексы (тукуланы), сформированные под воздействием совокупности эолового и аллювиального процессов в условиях криолитозоны [1–3]. Интенсивное протекание эоловых процессов в прошлом и в настоящем связано с хорошей отмытостью песка русловой фации древнего аллювия от песчаной пыли, сухостью и континентальностью климата [4, 5].

В пределах дюнных комплексов можно выделить три типа ландшафта: закрепленный растительностью, частично закрепленный растительностью и незакрепленный [6, 7]. Последний тип является наиболее динамичным и приводит к

формированию подвижных пустыновидных песчаных барханов большой площади со специфическим грядоборозданным рисунком на поверхности. В частично закрепленном тукулане процесс развевания песка угнетается формированием растительного покрова. Все явления, нарушающие целостность растительного покрова (пожары, антропогенное воздействие), могут привести к увеличению площади динамичных пустынообразных участков.

К настоящему времени почвенный покров тукуланов остается практически не изученным. Сведения о песчаных почвах бассейна р. Вилюй и средней Лены встречаются лишь в немногочисленных работах почвоведов [8–12].

Целью исследований стало изучение почв закрепленных и частично закрепленных раститель-

ностью участков на песчаных отложениях эолового происхождения в бассейне р. Кенкеме, в 40 км западнее г. Якутск.

Объекты и методы

На территории распространения легких пород исследованы почвы бассейна р. Кенкеме (левый приток р. Лена). Опорные разрезы были заложены на правом берегу реки – 62°04' с.ш., 128°59'–129°00' в.д., на высоте 221–222 м над ур. м.

Геоморфологически район исследований является частью Центрально-Якутской аллювиальной равнины, осложненной современными криогенными и эоловыми процессами. Песчаные четвертичные отложения покрывают данный участок практически сплошным плащом. Согласно унифицированной региональной стратиграфической схеме четвертичных отложений Средней Сибири [13], вся территория исследований входит в Приленско-Вилуйский район Среднесибирской перигляциальной области. Мощность четвертич-

ного чехла колеблется от 2 до 55 м. Район преимущественно сложен древнеаллювиальными песками и супесями русловой и прирусловой фации, которые в большинстве случаев осложнены вторичными эоловыми формами рельефа [14, 15]. На участках, где песок был давно перевернут ветром, развиты сглажено-бугристые эоловые формы рельефа, хорошо закрепленные лесной растительностью. Вместе с тем имеются обширные участки, носящие название «тукуланы», приуроченные, в основном, к юго-восточной части Центральной Якутии [16], на которых по настоящее время продолжается активный эоловый процесс.

Изучаемый участок относится к склоновому типу местности Лено-Вилуйской пологоволнистой провинции [17]. Лыдность песчаных отложений составляет 30–50 %, супесчаных и глинистых – 30–65 %, температура мерзлых пород колеблется от –0,5 до –7 °С, при средних значениях –1...–3 °С [17–20]. Мощность СТС в зависимо-

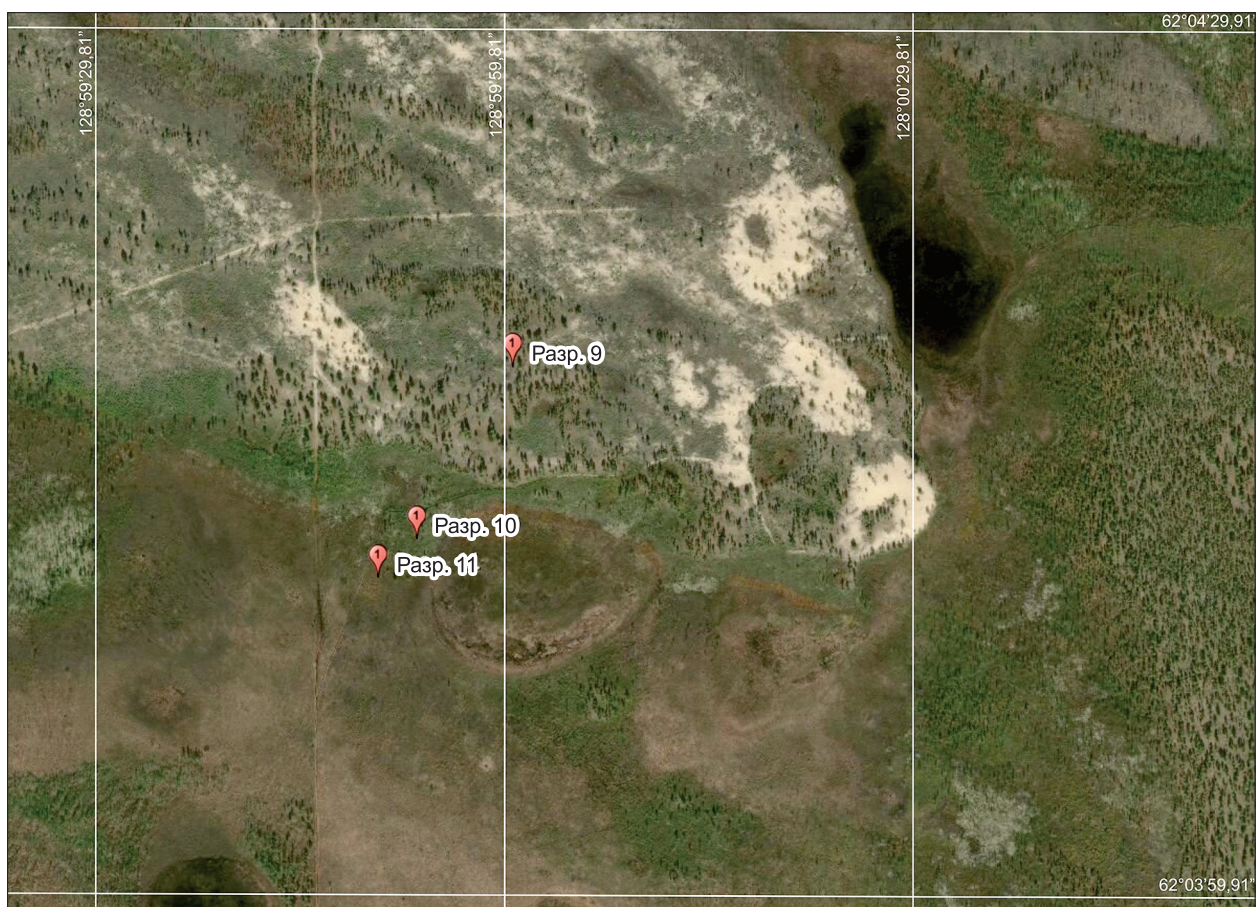


Рис. 1. Расположение разрезов на территории исследования.

Fig. 1. Location of soil profiles in the study area.

сти от ландшафтных условий изменяется от 0,5 до 4,3 м при средних значениях 1–2,5 м [21, 22].

Почвенные исследования включали в себя заложение почвенных разрезов (рис. 1) с последующим детальным морфологическим описанием их профилей, погоризонтный отбор почвенных образцов для физико-химического анализа. Нами были выполнены стандартные аналитические исследования: гранулометрический состав (пирофосфатный метод), рН водный, общий углерод, обменные катионы, гидролитическая кислотность [23, 24]. Названия почв даны согласно списку, приведенному в Едином государственном реестре почвенных ресурсов России [25], но с приставкой «мерзлотные». С учетом специфики развития почв Якутии в зоне многолетнемерзлых пород все типы почв, том числе боровые, были названы «мерзлотными» [26, 27].

Результаты и обсуждение

В долине р. Кенкеме были рассмотрены почвы тукуланов, на поверхности которых сформировался относительно устойчивый растительный покров, редко прерывающийся свежими отложениями песчаного материала на поверхности.

Разрез 9 (N 62°04'17,99", E 129°00'06,50", 222 м над ур. м.) был вскрыт под мертвопокровным сосняком в 40 км западнее г. Якутск. Местопроизрастание сухое, возвышенное. Имеются следы беглого низового пожара. Сосняк мертвопокровный – послепожарный вариант сосняка лишайникового. Почва: мерзлотная боровая песчаная слабооподзоленная (рис. 2).

- | | |
|----------------|---|
| О 0–1 | Лесная подстилка, состоящая из остатков хвои, веток и коры древесного яруса, сухая, переход резкий, граница ровная. |
| А 1–5(7) | Окраска 10YR2/2, неплотный, рыхлый, сухой, густо переплетен мелкими корнями, единичные и скопления угольков, песчаный, переход резкий, граница ровная. |
| АЕ 5(7)–14(15) | Окраска 10YR7/2, неоднородный с мелкими светло-коричневыми пятнами, занимающими до 20 %, мелкозернистый песок, неплотный, сухой, густо переплетен корнями в том числе сосны, диаметром до 3,5 см, содержит единичные включения угольков, переход ясный, граница ровная. |

- | | |
|------------------|---|
| ЕВ 14(15)–24(25) | Окраска 10YR7/2, неоднородный, с белесыми и коричневыми пятнами 10YR6/3 (50 %), уплотненный мелкозернистый песок, холодит руку, густо переплетен корнями, в том числе и сосны диаметром до 0,8 см, единичные включения угля, переход ясный, граница ровная. |
| Вf 24(25)–29(40) | Окраска 10YR6/6, неоднородный, с пятнами ржавого и белесого цвета, с прослойками и пятнами органики, уплотненный, холодит руку, единичные включения угля, много мелких корней, переход ясный, граница кармановидная. |
| ВС 29(40)–115 | Окраска 2,5Y8/2, слоистый, неоднородный с прослойками серого мелкозернистого песка, за теки органики до 90 см, на глубине 95–105 см есть пятно светло-бурого цвета в правой части горизонта, есть одиночные пятна светло-бурого цвета, единичные волоски корней, уплотненный, слабовлажный, переход резкий, граница ровная. |
| С1 115–127 | Окраска 2,5Y7/4, мелкозернистый песок, с единичными пятнами серого и светло-бурого цвета, уплотненный, слабовлажный, единичные отмершие корни, переход резкий, граница ровная. |
| С2 127–190 | Окраска 2,5Y7/3, неоднородный, слоистый, среднезернистый песок, с обилием пятен серого цвета, есть три четкие прослойки цвета 2,5Y7/4 на глубинах 137–140, 148–150 и 175–180 см, уплотненный, слабовлажный. |

Мерзлотная боровая песчаная слабооподзоленная почва имеет слабо дифференцированный на генетические горизонты профиль: темно-бурый маломощный гумусовый горизонт переходит в неоднородный по окраске светло-серый с мелкими бурыми пятнами органического материала гумусово-элювиальный горизонт, ниже которого располагаются элювиально-иллювиальный и иллювиальный уплотненный горизонты охристо-бурых тонов. Нижележащая минеральная часть профиля слоистая: на светло-сером фоне присутствуют

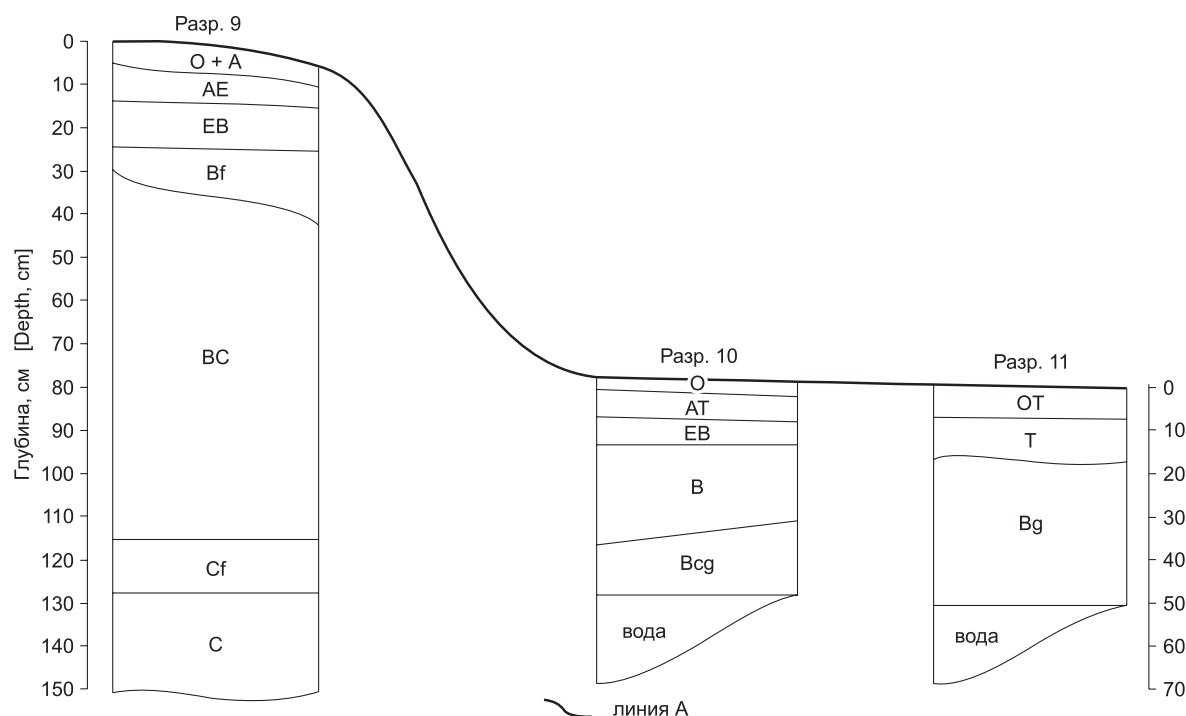


Рис. 2. Строение профилей исследованных почв (линия А – мезорельеф поверхности).

Fig. 2. The profiles of the studied soils (line A – surface of land).

Таблица 1

Гранулометрический состав почв

Table 1

Granulometric composition of soils

Горизонт Horizon	Глубина, см Depth, cm	Количество частиц, % Amount of particles, %						Сумма частиц <0,01 мм, % Sum of particles <0,01mm, %
		1–0,25 мм	0,25– 0,05 мм	0,05– 0,01 мм	0,01– 0,005 мм	0,005– 0,001 мм	<0,001 мм	
Разрез 9. Мерзлотная боровая песчаная слабоподзоленная почва Profile 9. Permafrost sandy weakly-podzolized soil								
A	1–5(7)	53,9	39,0	1,8	0,6	1,6	3,1	5,3
AE	5(7)–14(15)	47,8	45,1	1,6	0,8	2,3	2,4	5,5
EB	14(15)–24(25)	54,4	40,1	0,4	0,4	1,2	3,5	5,1
Bf	24(25)–29(40)	37,3	53,5	2,3	0,8	2,2	3,9	6,9
BC	29(40)–115	63,5	32,4	0,4	0,2	0,6	2,9	3,7
C	115–127	60,2	35,5	0,4	0,2	0,4	3,3	3,9
C'	127–190	50,7	45,4	0,2	0,2	0,2	3,3	3,7
Разрез 10. Мерзлотная таежная слабоподзоленная глееватая песчаная почва Profile 10. Permafrost taiga gleyic weakly-podzolized soil								
EB	8(10)–16	48,8	44,1	1,8	1	0,4	3,9	5,3
B	16–30(35)	38,6	56,2	2,7	0,8	1,4	0,3	2,5
BCg	30(35)–50	65,8	32,7	0,4	0,2	0,8	0,1	1,1
Разрез 11. Мерзлотная торфянисто-глееватая песчаная почва Profile 11. Permafrost peaty-gleyic soil								
Bg	15(19)–50	61,4	36,5	0,2	0,4	0,8	0,7	1,9

Физико-химические свойства почв

Table 2

Physicochemical properties of soils

Горизонт Horizon	Глубина, см Depth, cm	pH (H ₂ O)	Гумус, % Humus,%	Обменные катионы, ммоль/100 г Exchangeable bases, mmol/100g		Гидролитическая кислотность, ммоль/100 г Hydrolytic acidity, mmol/100g	Степень насыщенности, % Saturation degree, %
				Ca ²⁺	Mg ²⁺		
Разрез 9. Мерзлотная боровая песчаная слабоподзоленная почва Profile 9. Permafrost sandy weakly-podzolized soil							
A	1–5(7)	5,21	2,91	1,55	0,40	1,94	50,1
AE	5(7)–14(15)	5,13	0,50	0,20	0,10	0,63	32,3
EB	14(15)–24(25)	5,06	0,27	0,13	0,05	0,51	26,1
Bf	24(25)–29(40)	4,81	0,24	0,10	0,06	0,66	19,5
BC	29(40)–115	5,50	0,05	0,15	0,07	–	–
C	115–127	5,57	0,05	0,34	0,13	–	–
C'	127–190	5,70	0,04	0,47	0,16	–	–
Разрез 10. Мерзлотная тасжная слабоподзоленная глееватая песчаная почва Profile 10. Permafrost taiga gleyic weakly-podzolized soil							
AT	3–8(10)	3,81	55,0*	–	–	26,20	–
EB	8(10)–16	4,36	0,39	0,11	0,07	0,72	20,0
B	16–30(35)	4,71	0,31	0,23	0,15	0,85	30,9
BCg	30(35)–50	5,26	0,14	0,55	0,23	0,29	72,9
Разрез 11. Мерзлотная торфянисто-глееватая песчаная почва Profile 11. Permafrost peaty-gleyic soil							
T	7–15(19)	4,63	64,8*	–	–	22,90	–
Bg	15(19)–50	4,58	0,24	0,58	0,35	0,48	66,0

* Приведено значение потери при прокаливании.

* The value of the loss on ignition is given.

многочисленные светло-бурые, желтовато-серые прослойки (см. рис. 2).

Гранулометрический состав рыхлопесчаный, только в иллювиальном горизонте связнопесчаный за счет незначительного накопления в ней фракций крупной пыли и ила (табл. 1). Реакция вниз по профилю колеблется от кислой до близкой к нейтральной, в связи с чем гидролитическая кислотность в незначительных значениях проявляется в верхней половине профиля, где насыщенность почвенно-поглощающего комплекса (ППК) основаниями средняя (50 %) в гумусовом горизонте за счет биогенного накопления катионов Ca²⁺ и Mg²⁺ и низкая-очень низкая (32–20 %) в верхних минеральных горизонтах из-за малого в них количества обменных катионов Ca²⁺ и Mg²⁺ (табл. 2).

На участке исследования тукулан граничит с обширной марью, где на песчаных отложениях формируются переувлажненные почвы, характеризующиеся наличием относительно более мощной подстилки и слабыми признаками оглеения.

Разрез 10 (N 62°04'12,05", E 128°59'53,45", 221 м над ур. м.) заложен южнее тукулана № 3 на низменном заочкаренном участке под бруснично-багульниково-лишайниковый ерником. Переходное сообщество между ерником злаково-моховым (марью) и сосняком мертвопокровным.

Почва: мерзлотная таежная слабоподзоленная глееватая песчаная

О 0–3

Лесная подстилка, состоящая из остатков хвои, веток и коры, переплетенная корнями лишайников, влажная, переход ясный, граница ровная.

АТ	3–8(10)	Окраска 10YR2/2, органический горизонт, влажный, рыхлый, неплотный, небольшое количество угольков, переход резкий, граница ровная.	Почва: мерзлотная торфянисто-глееватая песчаная
ЕВ	8(10)–16	Окраска 10YR6/2, мелкозернистый песок, однородный, затеки органики по корням, густо переплетен мелкими корнями, влажный, неплотный, есть примазки органики, переход резкий, граница ровная.	ОТ 0–7 Бурая слаборазложившаяся органика, влажная, граница ровная, переход заметный.
В	16–30(35)	Окраска 10YR5/2, неоднородный, мелкозернистый песок с косыми полосами в сторону тукулана, единичные угольки, средне переплетен мелкими корнями, мокрый, неплотный, небольшое количество пятен ржавого цвета, переход заметный, граница волнистая.	Т 7–15(19) Цвет 10YR2/2, органический горизонт, сырой, рыхлый, неплотный, единичные угольки, сильно переплетен корнями, переход резкий, граница слабоволнистая.
BCg	30(35)–50	Окраска на 50×50 % состоит из 10YR5/2 и рыжего 7,5YR4/6, мелкозернистый песок, мокрый, неплотный, средне переплетен корнями, единичные включения отмерших корней, обильно выступает вода.	Bg 15(19)–50 Цвет 10YR5/4, мелкозернистый песок, неоднородный с серовато-сизыми примазками и редкими ржавыми пятнами, средне переплетен корнями, мокрый, неплотный.

Соответственно переходному типу растительности между ерником злаково-моховым (марью) и сосняком мертвопокровным, по морфологическому строению профиль данного разреза имеет признаки как мерзлотной таежной оподзоленной, так и торфянисто-глеевой почв (см. рис. 2). Верхний горизонт АТ маломощный (5 см), темно-бурый, рыхлый, влажный, состоит из слабо и среднеразложившихся растительных остатков с высоким содержанием органического вещества (потеря при прокаливании – 55 %). Под ним залегает самый светлоокрашенный слабооподзоленный горизонт светло-серой окраски с потеками органики по ходам корней. Ниже лежащие песчаные горизонты содержат единичные включения углей и отмерших корней, мокрые. Наличие многочисленных охристо-ржавых примазок указывает на проявление временных окислительных процессов.

Гранулометрический состав рыхлопесчаный, реакция среды сильноокислая и кислая, содержание гумуса в минеральных горизонтах очень низкое, насыщенность ППК основаниями очень низкая, и только в нижнем оглеенном горизонте повышенная.

Разрез 11 (N 62°04'10,73", E 128°59'50,58", 221 м над ур. м) развит на южной стороне от тукулана, под злаково-моховым ерником, на низменном заочкаренном участке. Высота кочек 20–30 см.

По сравнению с почвой предыдущего разреза профиль данного почвенного разреза диагностируется наличием сверху более мощного (до 10 см) торфяного рыхлого горизонта темно-бурой почти черной окраски, резко переходящего в мокрый минеральный песчаный горизонт с признаками оглеения в виде серовато-сизых примазок и ржавых пятен (см. рис. 2).

Гранулометрический состав минерального горизонта рыхлопесчаный. Реакция среды кислая, содержание органического вещества в торфяном горизонте высокое (потеря при прокаливании (ППП) около 65 %) и очень низкое в минеральном оглеенном (0,24 %).

Заключение

На исследованной территории распространения легких пород эолово-древнеаллювиального генезиса в пределах бассейна р. Кенкеме структура почвенного покрова поверхности тукулана и прилегающих к нему территорий характеризуется следующими особенностями: на повышенных дренируемых территориях под разреженными сосняками вскрываются мерзлотные боровые песчаные почвы с очень низким содержанием гумуса и слабыми признаками оподзоливания (О–А–АЕ–ЕВ–Вf–BC–C1–C2); в мезопонижениях между грядами или на краю тукуланов из-за перераспределения влаги по элементам рельефа формируются мерзлотные таежные слабооподзоленные и торфянисто-глееватые песчаные почвы (О–АТ–ЕВ–В–BCgi ОТ–Т–Bg соответственно), характеризующиеся наличием более мощного органогенного горизонта (около 10 см, ППП 55–65 %) и признаков оглеения в нижней части профиля. Все описанные типы почв имеют кислую реакцию почвенной среды, слегка увеличивающуюся в переувлажненных почвах, песчаный гра-

нулометрический состав с преобладанием фракций крупного и среднего песка.

Литература

1. Галанин А.А., Павлова М.Р., Шапошиников Г.И., Лыткин В.М. Тукуланы: песчаные пустыни Якутии // Природа. 2016. № 11. С. 44–55.
2. Ландшафты Якутии / Ю.Г. Данилов, А.Н. Федоров, Ж.Ф. Дегтева и др.; отв. ред. к.г.н. Ю. Г. Данилов. Якутск: Издательский дом СВФУ, 2016. 75 с.
3. Лукин В.В. Тукуланы – типичные ландшафты Центральной Якутии: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Якутск, 2008. 23 с.
4. Зольников В.Г., Еловская Л.Г., Тетерина Л.В., Черняк Е.И. Почвы Вилюйского бассейна и их использование. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 203 с.
5. Васильев И.С., Самсонова В.В. Климатические предпосылки образования современных приречных дюн на средней Лене // География и природные ресурсы. 2000. № 1. С. 94–99.
6. Лукин В.В., Толстихин О.Н., Николаев А.Н. Тукуланы левобережья среднего течения реки Тюнг (бассейн реки Вилюй) как индикаторы глобального потепления климата // Вестник ЯГУ. 2006. Т. 3, № 2. С. 18–21.
7. Куть А.А., Чжан Т.Р., Гуринова С.А. Пространственный анализ распространения дюнных комплексов (тукуланов) в Центральной Якутии // Разведка и охрана недр. 2015. № 11. С. 13–17.
8. Благовидов Н.Л. Четвертичные отложения, климат и почвы бассейна реки Тюнг (Якутская АССР). М.: Изд-во АН СССР, 1935. 174 с.
9. Desyatkin R.V., Goryachkin S.V., Konyushkov D.E., Krasilnikov P.V., Lebedeva M.P., Bronnikova M.A., Desyatkin A.R., Fedorov A.N., Khokhlov S.F., Lapteva E.M., Lupachev A.V., Mergelov N.S., Okonishnikova M.V., Shishkov V.A., Turova I.V., Zazovskaya E.P. Cryosols in perspective: a view from the permafrost heartland. Guidebook-monograph for field excursions of the VII International Conference on Cryopedology. Moscow; Yakutsk, 2017. 81 p.
10. Оконешишникова М.В. Почвенный покров на участке перехода магистрального газопровода через р. Тюнг Вилюйского бассейна (Якутия) // Вестник КрасГАУ. 2011. № 12(63). С. 82–86.
11. Павлов Б.А., Вариончик С.В., Павлова М.Р. Подзолы на песках центральной Якутии // Отражение био-, гео-, антропогенных взаимодействий в почвах и почвенном покрове: сборник материалов V Международной научной конференции. Томск, 7–11 сентября 2015 г. Томск: НИ ТГУ, 2015. С. 73–75.
12. Скрыбыкина В.П. Подзолы Центральной Якутии // Наука и образование. 2017. № 2(86). С. 83–90.
13. Унифицированная региональная стратиграфическая схема четвертичных отложений Средней Сибири. Новосибирск, 2010. 15 с.
14. Катасонова Е.Г., Толстов А.Н. Геокриологические особенности развееваемых песков (тукуланов) правобережья р. Вилюй // Многолетнемерзлые горные породы различных районов СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 166–178.
15. Бойцов А.В., Шенелев В.В. Мерзлотно-гидрогеологические условия массива развееваемых песков Махатта (Центральная Якутия) // Гидрогеологические исследования криолитозоны. Якутск, 1976. С. 25–34.
16. Павлов П.Д. Географическое распространение эоловых песков в Центральной Якутии // Эоловые образования Центральной Якутии. Якутск: ИМ СО АН СССР, 1981. С. 18–30.
17. Соловьев П.А. Криолитозона северной части Лено-Амгинского междуречья. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 144 с.
18. Ефимов А.И., Граве Н.А. Погребенные льды оз. Абалах // Социалистическое строительство. Якутск, 1940. № 10–11. С. 65–78.
19. Строение и абсолютная геохронология аласных отложений Центральной Якутии. Новосибирск: Наука, 1979. 95 с.
20. Иванов М.С. Криогенное строение четвертичных отложений Лено-Алданской впадины. Новосибирск: Наука, 1984. 125 с.
21. Мерзлотные ландшафты Якутии (Пояснительная записка к Мерзлотно-ландшафтной карте Якутской АССР масштаба 1 : 2 500 000) / Федоров А.Н. и др. Новосибирск: ГГУК СССР, 1989. 169 с.
22. Мерзлотно-ландшафтная карта Якутской АССР. Масштаб 1:2 500 000 / Госгеодезия СССР. М., 1991.
23. Ариунушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. 487 с.
24. Качинский Н.А. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 191 с.
25. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2014. 768 с.
26. Еловская Л.Г., Коноровский А.К., Кузнецов Х.А., Петрова Е.И., Тетерина Л.В., Тарасов И.Л. Систематический список почв таежной зоны Якутии и их диагностические признаки // Почвы долин рек Лены и Алдана. Якутск, 1965. С. 34–53.
27. Еловская Л.Г. Классификация и диагностика мерзлотных почв Якутии. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1987. 172 с.

Поступила в редакцию 08.09.2020
Принята к публикации 30.10.2020

Об авторах

ОКОНЕШНИКОВА Матрена Васильевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 41, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-9841-2112>, mvok@yandex.ru;

ИВАНОВА Александра Зуевна, младший научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 41, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-8501-6807>, madalexia@mail.ru;

ДЕСЯТКИН Алексей Романович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 41, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-9597-999X>, desyatkinar@rambler.ru;

ФИЛИППОВ Николай Васильевич, инженер-исследователь, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 41, Россия, <https://orcid.org/0000-0003-0463-3123>, finiva88@mail.ru;

ДЕСЯТКИН Роман Васильевич, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 41, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-1289-5433>, rvdes@ibpc.ysn.ru.

Информация для цитирования

Оконешникова М.В., Иванова А.З., Десяткин А.Р., Филиппов Н.В., Десяткин Р.В. Почвы тукуланов бассейна реки Кенкеме (Центральная Якутия) // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2020, Т. 25, № 4. С. 111–120. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-4-9>

DOI 10.31242/2618-9712-2020-25-4-9

Soils of tukulans in the Kenkeme river basin (Central Yakutia)

M.V. Okoneshnikova, A.Z. Ivanova, A.R. Desyatkin, N.V. Filippov, R.V. Desyatkin

Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk, Russia

madalexia@yandex.ru

Abstract. The soils developing on the sandy deposits of Central Yakutia were studied on the right-bank part of the Kenkeme river basin (62° 04'N, 128° 59'–129° 00' E). In the studied area, landscapes are represented by early Eopleistocene formations of eluvial and solifluction genesis. The ice content of frozen sandy deposits is 30–50 %, their temperature ranges from –0.5 to –7 °C, with average values –1 ... –3 °C. The thickness of the seasonally thawed layer varies from 0.5 to 4.3 m, depending on landscape conditions, with average values of 1–2.5 m. It was established that permafrost sandy weakly-podzolized soils with profile structure O–A–AE–EB–Bf–BC–C1–C2 were formed under pine forests. Permafrost taiga gleyic weakly-podzolized (O–AT–EB–B–BCg) and peaty-gleyic (OT–T–Bg) soils are formed in the depressions under hummock dwarf birch thickets with varying moisture content. All types of soils are characterized by the predominance of coarse and medium sand fractions in the granulometric composition, acidic reaction of the medium, and very low humus content in the mineral part of the profile. Different combinations of bluish-gray and ocher-rusty smears in the gleyic horizons of permafrost taiga gleyic weakly-podzolized and peaty-gleyic soils reveal a change from the initially oxidizing environment to predominantly reducing one under the conditions of excessive moisture content.

Key words: sandy parent rock, soil formation, soil morphology, permafrost, Central Yakutia.

Acknowledgements. This work was supported by the SB RAS project on the topic 0376-2019-0006; registration number AAAA-A19-119040990002-1.

References

1. Galanin A.A., Pavlova M.R., Shaposhnikov G.I., Lytkin V.M. Tukulany: peshchanye pustyni Yakutii // Priroda. 2016. No. 11. P. 44–55.
2. Landshafty Yakutii / Yu.G. Danilov, A.N. Fedorov, Zh.F. Degteva i dr.; otv. red. k.g.n. Yu. G. Danilov. Yakutsk: Izdatel'skiy dom SVFU, 2016. 75 p.
3. Lukin V.V. Tukulany – tipichnye landshafty Central'noj Yakutii: avtoref. dis. ... kand. geogr. nauk. Yakutsk, 2008. 23 p.
4. Zol'nikov V.G., Elovskaja L.G., Teterina L.V., Chernjak E.I. Pochvy Viljujskogo bassejna i ih ispol'zovanie. M.: Izd-vo AN SSSR, 1962. 203 p.
5. Vasil'ev I.S., Samsonova V.V. Klimaticheskie predposylki obrazovaniya sovremennyh prirechnyh dyun na

srednej Lene // *Geografiya i prirodnye resursy*. 2000. No 1. P. 94–99.

6. *Lukin V.V., Tolstihin O.N., Nikolaev A.N.* Tukulany levoberezh'ja srednego techeniya reki Tjung (bassejn reki Vilui) kak indikatory global'nogo potepleniya klimata // *Vestnik JaGU*, 2006. Vol. 3, No. 2. P. 18–21.

7. *Kut' A.A., Chzhan T.R., Gurinova S.A.* Prostranstvennyj analiz rasprostraneniya djunnyh kompleksov (tukulanov) v Central'noj Yakutii // *Razvedka i ohrana neдр*. 2015. No. 11. P. 13–17.

8. *Blagovidov N.L.* Chetvertichnye otlozheniya, klimat i pochvy bassejna reki Tyung (Yakutskaya ASSR). M.: Izd-vo AN SSSR, 1935. 174 p.

9. *Desyatkin R.V., Goryachkin S.V., Konyushkov D.E., Krasilnikov P.V., Lebedeva M.P., Bronnikova M.A., Desyatkin A.R., Fedorov A.N., Khokhlov S.F., Lapteva E.M., Lupachev A.V., Mergelov N.S., Okoneshnikova M.V., Shishkov V.A., Turova I.V., Zazovskaya E.P.* Cryosols in perspective: a view from the permafrost heartland. Guidebook-monograph for field excursions of the VII International Conference on Cryopedology. Moscow; Yakutsk, 2017. 81 p.

10. *Okoneshnikova M.V.* Pochvennyj pokrov na uchastke perekhoda magistral'nogo gazoprovoda cherez r. Tyung Vilyujskogo bassejna (Yakutia) // *Vestnik KrasGAU*. 2011. No. 12(63). P. 82–86.

11. *Pavlov B.A., Varionchik S.V., Pavlova M.R.* Podzoly na peskah central'noj Yakutii // *Otazhenie bio-, geo-, antroposfernyh vzaimodejstvij v pochvah i pochvennom pokrove: sbornik materialov V Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii*. Tomsk, 7–11 sentyabrya 2015. Tomsk: NI TGU, 2015. P. 73–75.

12. *Skrybykina V.P.* Podzoly Central'noj Yakutii // *Nauka i obrazovanie*. 2017. No. 2(86). P. 83–90.

13. *Unificirovannaja regional'naja stratigraficheskaja shema chetvertichnyh otlozhenij Srednej Sibiri*. Novosibirsk, 2010. 15 p.

14. *Katasonova E.G., Tolstov A.N.* Geokriologicheskie osobennosti razvevaemyh peskov (tukulanov) pravoberezh'ja r. Vilui // *Mноголетnemerzlye gornye porody razlichnyh rajonov SSSR*. M.: Izd-vo AN SSSR, 1963. P. 166–178.

15. *Bojcov A.V., Shepelev V.V.* Merzlotno-gidrogeologicheskie usloviya massiva razvevaemyh peskov Mahatta (Central'naya Yakutia) // *Gidrogeologicheskie issledovaniya kriolitozony*. Yakutsk, 1976. P. 25–34.

16. *Pavlov P.D.* Geograficheskoe rasprostranenie eolovyh peskov v Central'noj Yakutii // *Eolovye obrazovaniya Central'noj Yakutii*. Yakutsk: IM SO AN SSSR, 1981. P. 18–30.

17. *Solov'ev P.A.* Cryolitozona severnoj chasti Leno-Amginskogo mezhdurech'ja. M.: Izd-vo AN SSSR, 1959. 144 p.

18. *Efimov A.I., Grave N.A.* Pogrebennye l'dy oz. Abalah // *Socialisticheskoe stroitel'stvo*. Yakutsk, 1940. No. 10–11. P. 65–78.

19. *Stroenie i absoljutnaja geohronologija alasnyh otlozhenij Central'noj Yakutii*. Novosibirsk: Nauka, 1979. 95 p.

20. *Ivanov M.S.* Kriogennoe stroenie chetvertichnyh otlozhenij Leno-Aldanskoj vpadiny. Novosibirsk: Nauka, 1984. 125 p.

21. *Merzlotnye landshafty Yakutii (Pojasnitel'naja zapiska k «Merzlotno-landshaftnoj karte Yakutskoi ASSR masshtaba 1 : 2 500 000) / Fedorov A.N. and etc.* Novosibirsk: GGUK SSSR, 1989. 169 p.

22. *Merzlotno-landshaftnaya karta Yakutskoy ASSR. Masshtab 1:2 500 000 / Gosgeodezija SSSR*. M., 1991.

23. *Arinushkina E.V.* Rukovodstvo po himicheskomu analizu pochv. M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1970. 487 p.

24. *Kachinskij N.A.* Mehanicheskij i mikroagregatnyj sostav pochvy, metody ego izuchenija. M.: Izd-vo AN SSSR, 1958. 191 p.

25. *Edinyj gosudarstvennyj reestr pochvennyh resursov Rossii. Versija 1.0*. M.: Pochv. in-t im. V.V. Dokuchaeva, 2014. 768 p.

26. *Elovskaja L.G., Konorovskij A.K., Kuznecov H.A., Petrova E.I., Teterina L.V., Tarasov I.L.* Sistematicheskij spisok pochv taezhnoj zony Yakutii i ih diagnosticheskie priznaki // *Pochvy dolin rek Leny i Aldana*. Yakutsk, 1965. P. 34–53.

27. *Elovskaja L.G.* Klassifikacija i diagnostika merzlotnyh pochv Yakutii. Yakutsk: JaF SO AN SSSR, 1987. 172 p.

About the authors

OKONESHNIKOVA Matrena Vasilievna, candidate of biological sciences, senior researcher, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk 677980, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-9841-2112>, mvok@yandex.ru;

IVANOVA Alexandra Zuevna, junior researcher, Institute of Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk 677980, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-8501-6807>, madalexia@mail.ru;

DESYATKIN Alexey Romanovich, candidate of biological sciences, senior researcher, Institute of Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk 677980, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-9597-999X>, desyatkinar@rambler.ru;

М.В. ОКОНЕШНИКОВА и др.

FILIPPOV Nikolai Vasilievich, engineer-researcher, Institute of Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Lenina pr., 41, Yakutsk 677980, Russia,
<https://orcid.org/0000-0003-0463-3123>, finiva88@mail.ru;

DESYATKIN Roman Vasilievich, doctor of biological sciences, chief researcher, Institute of Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk 677980, Russia, Lenina pr., 41,
<https://orcid.org/0000-0002-1289-5433>, rvdes@ibpc.ysn.ru.

Citation

Okoneshnikova M.V., Ivanova A.Z., Desyatkin A.R., Filippov N.V., Desyatkin R.V. Soils of tukulans in the Kenkeme river basin (Central Yakutia) // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2020, Vol. 25, No. 4. pp. 111–120. (In Russ.) <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-4-9>

Современное состояние численности и плотности населения волка (*Canis lupus Linnaeus, 1758*) в Якутии

В.В. Степанова, И.М. Охлопков

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия
valstep@yandex.ru

Аннотация. В последние годы намечается рост численности волков на территории Республики Саха (Якутия). Хищничество волка сокращает ресурсы диких копытных, сдерживает их прирост. При проведении исследовательских работ использованы данные: зимнего маршрутного учета охотничье-промысловых животных с 2000 по 2020 г., анкетно-опросного метода учета волков с 2011 по 2020 г., авиаучетных работ 2009, 2013, 2018 гг. в Республике Саха (Якутия). По результатам анкетно-опросного метода учета волков за это десятилетие численность волка в Якутии была наивысшей в 2011–2012 гг. Затем последовал спад численности в 2013 г. Далее – постепенное увеличение численности волков до 2019 г. и резкий спад в 2020 г. В настоящее время снижение численности волков наблюдается в трех зонах республики: Алданской, Северо-Восточной, Вилюйской. Стабильное количество волков отмечают в Юго-Западной и Северо-Западной зонах. Увеличение количества волков регистрируется в Центральной зоне. По всей республике численность волков в этом году составила 2455 особей, что ниже прошлогоднего на 1148 особей (31,9 %). Плотность населения волка в республике в среднем составила 0,01 ос./1000 га охотничьих угодий. Доля волководиночек также увеличилось и составила 8,4 %. Динамика численности диких копытных (лося, благородного оленя, кабарги и косули), кормовых объектов волка, идет с такой же амплитудой колебаний, как и у волка, это объясняется взаимоотношением хищник–жертва. При снижении численности диких копытных численность волков уменьшается, и наоборот. С увеличением количества волков количество зайцев резко сокращается (в конце 1990-х годов и с 2008 по наст. время) и наоборот (с начала до середины 2000-х годов).

Ключевые слова: волк, численность, плотность населения, кормовые объекты, зависимость, связь.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке базовых проектов VI.51.1.11. «Структура и динамика популяций и сообществ животных холодного региона Северо-Востока России в современных условиях глобального изменения климата и антропогенной трансформации северных экосистем: факторы, механизмы, адаптации, сохранение» (рег. номер АААА-А17-117020110058-4) и «Выявление причинно-следственных основ динамики почвенного покрова, растительного и животного мира криолитозоны на территории распространения легких пород в Центральной Якутии для разработки фундаментальных основ их охраны в условиях возрастающего антропогенного пресса и глобальных изменений» № 0376-2019-0006 (рег. номер АААА-А19-119040990002-1).

Введение

Интерес к исследованию волка (*Canis lupus Linnaeus, 1758*) определен многогранностью функций, выполняемых им в экологических сообществах, слабой изученностью воздействия на ресурсы основных жертв – копытных. Находясь на вершине трофической пирамиды, волки осуществляют контроль над всеми копытными. Вред, причиняемый волком поголовью домашних животных, в основном оленям, наносит большой урон животноводству. Большой, но трудно учиты-

ваемый урон наносит волк поголовью диких копытных. В очень большом количестве волки истребляют зайцев, численность которых после спада численности в 1990-х годах так и полностью не восстановилась.

В последние годы намечается рост численности волков на территории Республики Саха (Якутия). Рост популяции волка свидетельствует о снижении пресса охоты на этого хищника. Для научно обоснованного и экономически выгодного регулирования численности волков в респуб-

лике необходимо знать современное состояние популяции волка в Якутии.

Цель – изучить современное состояние численности и плотности населения волка в Якутии во взаимосвязи с динамикой кормовых объектов.

Материал и методика

В работе использованы данные: зимнего маршрутного учета охотничье-промысловых животных с 2000 по 2020 г., анкетно-опросного метода учета волков с 2011 по 2020 г., авиаучетных работ 2009, 2013, 2018 гг. в Республике Саха (Якутия), в проведении и обработке которых мы принимали непосредственное участие. В 2020 г. нами было обработано 397 анкет. Территория Республики Саха (Якутия) разделена нами на 5 зон (табл. 1).

Результаты и обсуждение

Возросшее материальное стимулирование охотников и активные истребительные меры с привлечением малой авиации позволили в 1970–1980-х гг. остановить прирост волка в России, сократить до минимума поголовье вида. Однако в 1990-х гг. в период экономических преобразований с прекращением финансирования вознаграждений охотникам за истребленных ими волков борьба с этими хищниками практически прекратилась. Численность волка в России в этот период достигла уровня послевоенных лет (1940–1950-е гг.), а состояние ресурсов некоторых видов диких копытных под совокупным лимитирующим воздействием естественных и антропогенных факторов сократилось более чем в два раза [1].

В 2000-е гг. добыча волков начала финансироваться и регулирование численности популяции волка в России вновь начала свое функционирование. Тем не менее, в последние годы данные зимних маршрутных учетов показывают стабильно высокую концентрацию волков в России. По оценке ФГУ «Центрохотконтроль» по результатам зимнего маршрутного учета (ЗМУ), в России на протяжении последних лет (с 2016 по 2020 г.) численность волка колеблется на уровне 50,2–62,6 тыс. особей. За этот период наблюдается устойчивая тенденция увеличения численности (на 24,7 %). В настоящее время в России серых хищников как минимум вдвое больше, чем 40 лет назад, – 55 тысяч против 25 тысяч. При этом ежегодная добыча волков вдвое ниже, 23 % изъятия против 55 %.

Таблица 1

Разделение на зоны Республики Саха (Якутия)

Table 1

Division into zones of the Republic of Sakha (Yakutia)

Зона Zones	Улусы (районы) Administrative region
Алданская Aldanskaya	Алданский, Нерюнгринский, Усть-Майский Aldansky, Neryungrinsky, Ust-Maysky
Вилюйская Vilyujskaya	Вилюйский, Верхневилуйский, Нюрбинский, Мирнинский, Сунтарский Vilyusky, Verhnevilyuysky, Nyurbinsky, Mirninsky, Suntarsky
Северо-Восточная North-Eastern	Абыйский, Аллайховский, Усть-Янский, Верхоянский, Нижнеколымский, Среднеколымский, Верхнеколымский, Момский, Томпонский, Оймяконский, Эвено-Бытантайский Abyysky, Allaikhovsky, Ust-Yansky, Verkhoyansky, Nizhnekolymsky, Srednekolymsky, Verkhnekolymsky, Momsky, Tomponsky, Oymyakonsky, Eveno-Bytantaysky
Северо-Западная North-Western	Анабарский, Булунский, Жиганский, Оленекский Anabarsky, Bulunsky, Zhigansky, Olenyoksky
Центральная Central	Амгинский, Мегино-Кангаласский, Намский, Таттинский, Усть-Алданский, Хангаласский, Чурапчинский, Якутский Amginsky, Megino-Kangalassky, Namsky, Tattinsky, Ust-Aldansky, Khangalassky, Churapchinsky, Yakutsk
Южно-Западная South-Western	Ленский, Олекминский Lensky, Olyokminsky

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ И ПЛОТНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ ВОЛКА

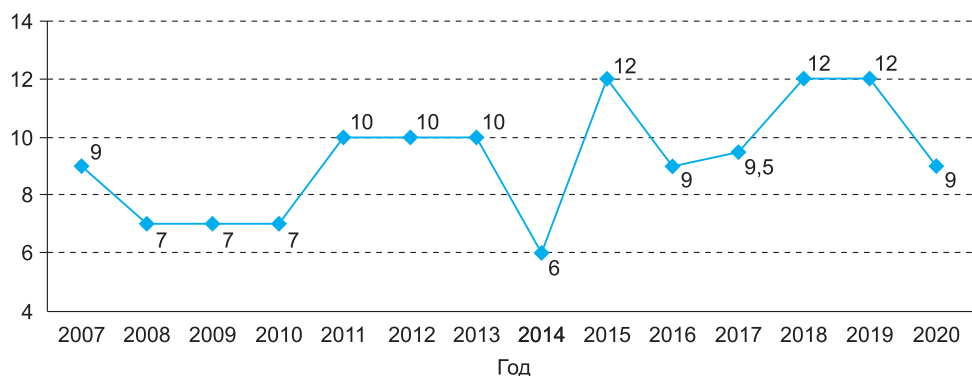


Рис. 1. Динамика численности волка в Республике Саха (Якутия) по данным ЗМУ с 2007 по 2020 г. (тыс. особей).

Fig. 1. Dynamics of the wolf population in the Republic of Sakha (Yakutia) according to the winter route accounting data from 2007 to 2020 (thousand units).

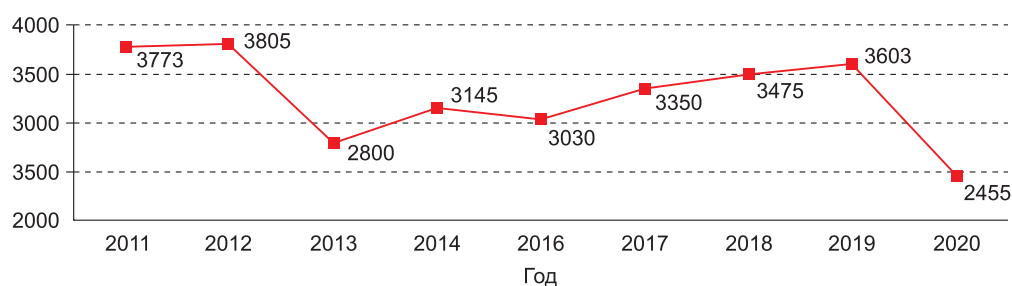


Рис. 2. Численность волков в Якутии по результатам анкетно-опросного метода учетов с 2011 по 2020 г. (особей).

Fig. 2. The number of wolves in Yakutia according to the results of the questionnaire method of accounting from 2011 to 2020 (PCs.).

В Республике Саха (Якутия) в настоящее время обитает около 17,6 % от общего поголовья волков в России. Согласно данным учетных работ ЗМУ, послепромысловая численность волка в Якутии с 2011 г. показывала тенденцию к увеличению численности вида с некоторыми перепадами (рис. 1).

Конечно, сведения о численности волков, полученные по результатам проведения ЗМУ, сложно назвать точными, поскольку по ряду регионов азиатской части России, в том числе и Якутии, возможно завышены, за счет того, что одни и те же стаи учитываются повторно ввиду обширности охватываемой ими территории. Тем не менее, метод ЗМУ позволяет нам проследить динамику численности волка, и рост поголовья серого хищника в последние годы не вызывает сомнений. Но следует отметить, что в этом году наблюдается снижение численности волков.

С 2011 г. в Республике Саха (Якутия) проводится анкетно-опросный метод учета волков как наиболее приемлемый вариант учета для вида, охватывающего большую территорию. За годы проведения анкетирования количество волков в республике составляет в среднем около 2,5–

3,5 тыс. голов (рис. 2). Фактическая численность волка в эти годы превышала допустимый норматив в 2-3 раза. В последнее десятилетие наблюдается заметный рост численности волка не только в республике, но и в сопредельных регионах – в Амурской области, Хабаровском крае, Иркутской области, Забайкальском крае.

По результатам обработки анкетных данных в начале использования метода анкетирования (2011–2012 гг.) с северо-западной стороны и юго-восточной стороны республики шло увеличение численности волков, возможно, за счет заходов с прилегающих с этих сторон регионов. Увеличение численности волков тогда наблюдалось в Иркутской области [2], Бурятии [3] и Красноярском крае [4] за счет запрета применения яда фторацетата бария.

Косвенным фактором растущей численности волков является увеличение численности так называемых синантропных волков, специализирующихся на добывании домашнего скота. Такие стаи волков появились даже в густонаселенных центральных районах Якутии, в которых раньше не наблюдались.

По всей республике численность волков в 2000 г. составила 2455 особей. Этот показатель ниже прошлогоднего на 1148 особей, т. е. 31,9 %. Плотность населения волка в республике в среднем составила 0,01 ос. / 1000 га охотничьих угодий. Доля волков-одиночек также увеличилась и составила 8,4 %.

Как видим из табл. 2, с 2013 г. шло постепенное увеличение численности волка в республике. За это десятилетие численность волка в Якутии была наивысшей в 2011–2012 гг. Затем последовал спад численности в 2013 г., далее – до 2019 г. – постепенное увеличение, но в 2020 г. наблюдается впервые за последнее десятилетие резкое сокращение численности волка до уровня 2013 г.

Скорее всего, резкое уменьшение численности волков произошло за счет целенаправленных действий по уничтожению серых хищников с 2016 по 2019 г. Большое снижение идет в основном в южной и северо-восточной Якутии. Некоторая концентрация хищников отмечена в густонаселенных улусах Центральной Якутии и некоторых улусах Вилуйской группы, что говорит о синантропизации волков.

Наибольшая плотность населения волка (0,03–0,04) отмечена в центральных улусах (Амгинский, Намский, Усть-Алданский, Хангаласский, Чурапчинский) а наименьшая плотность (0,0005–0,001) – в тундровых и притундровых улусах (Анабарский, Булунский, Жиганский). Наибольшее количество стай по 25–30 особей насчитано в Амгинском, Горном, Усть-Алданском и Олекминском улусах. Крупные стаи от шести голов и более наблюдались в северных улусах (Верхоянский, Моский, Оленекский) а также в Олекминском улусе.

Если рассматривать по зонам, то сокращение численности в 2–2,5 раза наблюдается в Алданской, Северо-Восточной и Северо-Западной зонах, увеличение – в Центральной зоне. Более-менее стабильная ситуация зафиксирована в Юго-Западной и Вилуйской зонах.

Тем не менее, численность волка все так же высока в горно-таежных районах Северо-Восточной и Юго-Западной Якутии, где составляет соответственно 21,8 и 20,8 % от всей численности волка в Якутии (табл. 3). Также сильно повысилась доля волков в Центральной части Якутии – 19,8 %. Наименьший показатель отмечен в Алданской зоне (8,5 %). В других природных зо-

нах республики на данный показатель приходится от 12,8 до 16,3 % от общей численности волка в Республике Саха (Якутия). По разным годам процентные соотношения численности волков между зонами меняются (рис. 3.) Так, в 2013 году наибольший процент волков приходился на Северо-Западную и Алданскую зоны, где сейчас наблюдаем противоположное. А наименьшее количество волков было зарегистрировано в густонаселенных районах Центральной зоны, где в настоящее время резкое увеличение численности волков, и в Вилуйской зоне.

Плотность населения диких копытных и их ресурсы снижаются в первую очередь в центрах активности территорий волчьих стай. При постоянном зимнем беспокойстве хищниками копытные постепенно концентрируются по границам волчьих территорий, переходят в так называемые буферные зоны, где волки охотятся редко. Здесь проходят их основные зимовки. Вдоль границ семейных территорий матерые волки охотятся редко, чтобы не привлекать остатками своих жертв на собственный охотничий участок нетерриториальных хищников. С уничтожением матерой пары при хаотичном регулировании волка прекращается мечение границ семейного участка, нарушается общая пространственная территориальная структура волк–дикие копытные [5]. При этом открывается путь для проникновения к зимовкам копытных волков-кочевников с выраженным хищничеством и расточительством по числу уничтоженных жертв. Они быстро разрушают стабильные зимовки оленей.

В настоящее время в охотничьих угодьях территории Российской Федерации наблюдается серьезный дисбаланс в соотношении хищник (волк)–жертва (копытное животное). Соотношение волков и диких копытных на территории Республики Саха (Якутия) относительно других близлежащих регионов низкое в основном за счет поголовья тундровых северных оленей – 1,0 голов на 100 особей диких копытных. Сравнительно: Бурятия – 3,95, Иркутская область – 2,25, Тыва – 4,25 [2, 6]. Однако в Якутии тундровый северный олень обитает только в двух зонах – Северо-Западной и Северо-Восточной. Здесь численность волков в настоящее время составляет около 0,2 тыс. особей. Исходя из этого, в таежной зоне республики остается около 2,3 тыс. волков. Соответственно, в таежной части Якутии соотношение волков и диких копыт-

Таблица 2

**Динамика количественных показателей популяции волка
в Республике Саха (Якутия) с 2011 по 2020 г.**

Table 2

**Dynamics of quantitative indicators of the wolf population in
the Republic of Sakha (Yakutia) from 2011 to 2020**

Год Year	Кол-во анкет, штук Number of questionnaires, pieces	Численность, особей The number of individuals	Плотность населения*, ос. на 1000 га Population density*, individuals per 1000 ha	Кол-во стай, штук Number of packs, in units	Голов в стае Individuals in a pack
2011	233	3770	0,02	600	5,6
2012	93	2700	0,03	200	5,7
2013	315	2800	0,01	400	4,9
2014	263	3145	0,012	650	4,8
2016	175	3030	0,012	600	5,1
2017	202	3350	0,013	700	4,6
2018	173	3475	0,014	700	4,8
2019	155	3603	0,015	700	4,9
2020	397	2455	0,01	455	4,9
Среднее Average	223	3147	0,015	556	5,03

*По данным табл. 2 следует отметить, что плотность населения вида оценена только для угодий, пригодных для обитания вида.

*According to Table 2, the density of population of the species is estimated only for the hunting areas, which are life-friendly for the species.

Таблица 3

Динамика численности волка по зонам Якутии с 2013 по 2020 гг.

Table 3

Dynamics of the wolf population in the regions of Yakutia from 2013 to 2020

Зоны Zones	Численность, особей The number of individuals						
	2013	2014	2016	2017	2018	2019	2020
Алданская Aldanskaya	580	520	311	515	460	455	210
Юго-Западная South-Western	415	300	263	510	520	520	510
Вилуйская Vilyujskaya	197	478	377	460	480	530	400
Северо-Восточная North-Eastern	458	600	950	1250	1340	1380	535
Центральная Central	157	500	544	315	375	418	485
Северо-Западная North-Western	665	747	585	300	300	300	315
Республика Саха-Якутия Republic of Sakha (Yakutia)	2500– 2800	3145	3030	3350	3475	3603	2455

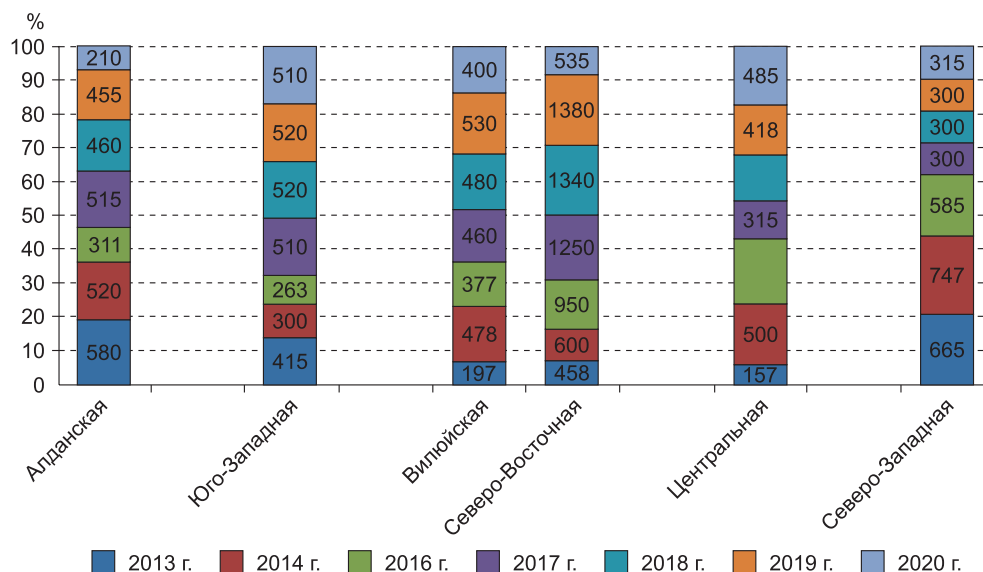


Рис. 3. Процентное соотношение количества волков по зонам Якутии с 2013 по 2020 г.

Fig. 3. Percentage of the number of wolves in the regions of Yakutia from 2013 to 2020.

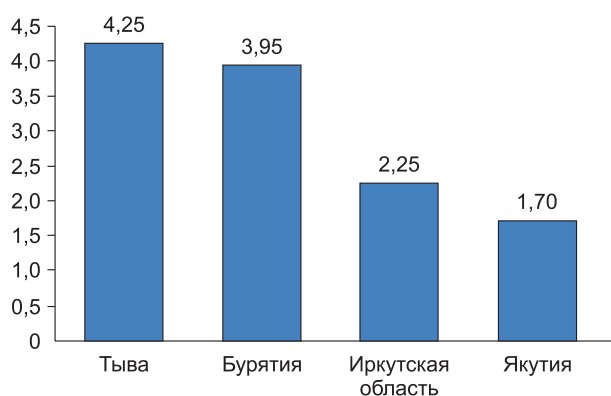


Рис. 4. Соотношение волков и диких копытных в таежной части по регионам.

Fig. 4. The ratio of wolves and other wild animals in the taiga of the regions.

ных равно 1,7 голов на 100 голов. При этом следует принимать во внимание низкую кормовую емкость охотничьих угодий Якутии в отношении диких копытных и, соответственно, хищников. Как видим, из рис. 4, в близлежащих субъектах РФ соотношение волков копытных намного больше.

В зимнее время главное значение в питании волков имеет состояние кормовой базы и отчасти глубина снегового покрова. В течение года местообитания волка не остаются постоянными, а меняются соответственно изменениям кормовых условий.

В таежной и горно-таежной Якутии пища волка разнообразная [7, 8], но доминирует заяц-беляк. Копытные (особенно лось) занимают существенное, но не главное место (21,2 %). В Южной Якутии (бассейн р. Токко) кормовая база волка более устойчива благодаря относительно стабильной численности копытных (лось и изюбрь). В пищевом рационе хищника они занимают первое место – 84,8 %, и только 16,2 % падает на долю редкого здесь зайца-беляка [9]. Как и у других хищников [10] кормовые объекты волков на юге Якутии разнообразнее, чем в других эколого-географических районах, в связи с отсутствием там какого-либо одного массового кормового вида, каким в таежной полосе является заяц-беляк, а в тундре – северный олень. В 60–80-е годы XX века в районах Центральной Якутии, Западной Якутии и Северо-Восточной Якутии также основу питания волка составлял заяц-беляк (70–80 %). В этих районах прослеживалась тесная связь численности волка с зайцем. Любое увеличение численности зайца на территории этих регионов вызывало рост численности хищников [10].

Анализ трофических связей, проведенный Ю.В. Лабутиным [10] в 50-е годы прошлого столетия позволил выделить в Якутии в то время три типа питания волка: тундровый – с преимущественным поеданием дикого и домашнего оленей, центрально-таежный – с доминированием зайца-беляка, южно-таежный – с преоблада-

нием лося и изюбра. Обеспеченность кормом более устойчива на севере, где численность оленей не подвержена резким колебаниям. В таежных районах кормовые условия для волка непостоянны. Численность зайца-беляка резко снизилась в конце 1990-х гг. Бывают периоды недостатка корма, когда усиливается преследование диких и домашних копытных. Выявлена тесная зависимость возрастания потерь лошадей и домашних оленей от уменьшения численности зайца [10], что наблюдается в настоящее время.

По данным С.П. Кучеренко [11], среднее суточное потребление волком мяса в холодный период года составляет 4–4,5 кг, летом за счет кормления приплода увеличивается до 5–6 кг. Годовая потребность волка в пище по данным этого автора составляет 1500–1700 кг.

В настоящее время численность основных пищевых объектов волка (в первую очередь диких копытных) в Якутии ниже по сравнению с 80-ми годами XX века. Из охотничьих животных, основных пищевых объектов волка, лося и косули в настоящее время стало почти вдвое меньше, зайцев – практически в десятки раз меньше, чем в 1980-е гг.

В последние десятилетия на территории Якутии наблюдается депрессия численности лося. Так, если в 1970–1980-е годы в Якутии по данным авиаучетов насчитывалось от 75 до 130 тысяч особей, то по данным авиаучетных работ, проведенных в 2007 г., численность вида сократилась до 42,7 тыс., т. е. практически вдвое. Снижение численности наблюдалось не только на территории Якутии, но и по всей Российской Федерации, за исключением отдельных регионов. Депрессия началась в 1991 г., достигла своего минимума в 1997 г. [12]. Проведенный после этого пятилетний мораторий на отстрел лосей привел к некоторому увеличению численности вида, но уровень численности все же не достиг уровня советского времени.

Популяция сибирской косули в Центральной Якутии в последнее десятилетие достигла довольно высокой численности – 15–20 тысяч особей. Образовались устойчивые очаги распространения на территории Лено-Вилюйского и Лено-Амгинского междуречий. Вместе с тем в годы с экстремальными погодно-климатическими условиями зимовки (глубокоснежье, низкие зимние температуры, гололедные явления в осенний период) наблюдается массовая гибель животных.

Такие процессы наблюдались в 1966–1968, в 2004–2005, 2019 гг. В настоящее время уровень численности вида не достиг уровня 1980-х годов.

Благородный олень заселил в течение прошлого века Южную Якутию и юго-восточную часть Центральной Якутии. Ареал его расширился за последние 40 лет на 60 тыс. км² в северо-восточном направлении по долинам рек Амга и Буотама. Интенсивное расширение ареала вида в Якутии происходит благодаря росту численности популяции. Плотность населения благородного оленя в Якутии колеблется от 0,1 до 1,0 ос./10 км², в среднем 0,37, что ниже, чем в соседних областях [13]. В зоне расширения ареала плотность популяции минимальная и составляет 0,1 ос./10 км². В охраняемых территориях она выше – 1,0–1,5 ос./10 км². По нашим оценкам, численность благородного оленя в республике достигла около 4800 особей.

Кабарга – довольно узкоспециализированный, стенобионтный вид. Ареал его в Якутии, как правило, представляет собой сравнительно ограниченную полосу прибрежной тайги вдоль долин рек и ручьев. При этом в горной части ареала одним из важнейших условий, необходимых для обитания кабарги, является достаточное количество скал-отстоёв [14]. В Центральной Якутии в условиях равнинного рельефа кабарга населяет густые заросли лиственничного подроста по склонам аласов и небольших травяных речек. Зоной высокой численности кабарги является Олекма-Чарский очаг обитания вида. По данным О.В. Егорова [9], численность кабарги в пределах Якутии оценивалась в 50 тысяч голов. В настоящее время, по данным ЗМУ, численность его сократилась до 20–25 тысяч голов.

Якутские популяции снежного барана благодаря крупным размерам его рогов наряду с камчатским толсторогом считаются одним из наиболее привлекательных объектов для охотничьего трофейного туризма. По данным проведенных в 2009–2010 гг. авиаучетов численности, на территории республики обитает более 48 тыс. снежных баранов. Охотничье изъятие незначительно, на численность снежного барана значимое влияние оказывает хищничество волков.

Ущерб от волка пропорционален его численности. При сокращении ресурсов одних видов-жертв хищник обычно переключается на другие, предпочитая убивать наиболее многочисленных. Нередко на такие замены-адаптации уходят многие годы.

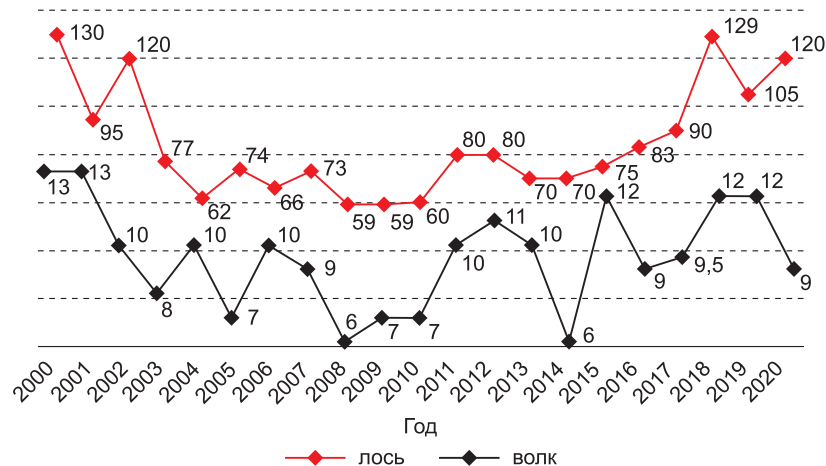


Рис. 5. Динамика численности лося (*Alces alces* L.) в зависимости от численности волка в РС (Я) (тыс. шт.) по данным ЗМУ.

Fig. 5. Dynamics of the number of elk (*Alces alces* L.) depending on the number of wolves in the Republic of Sakha (Yakutia) (thousand units) according to the winter route accounting.

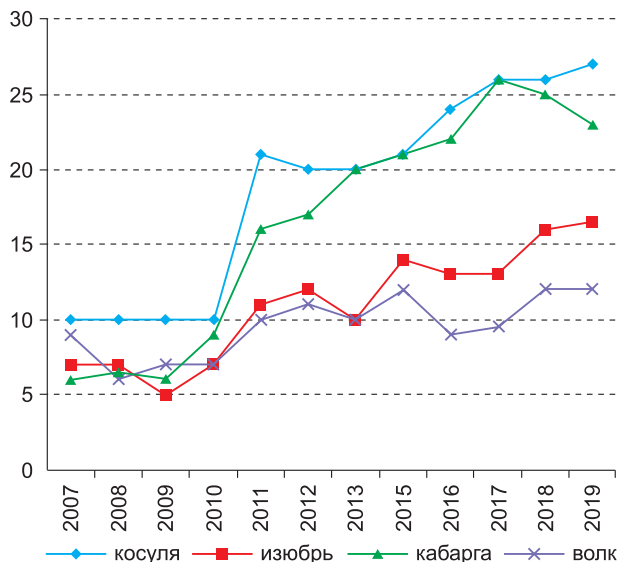


Рис. 6. Динамика численности благородного оленя (*Cervus elaphus* L.), сибирской косули (*Capreolus capreolus* L.), сибирской кабарги (*Moschus moschiferus* L.) в зависимости от численности волка (*Canis lupus* L.) в РС (Я) (тыс. шт.).

Fig. 6. Dynamics of the number of the red deer (*Cervus elaphus* L.), Siberian ROE deer (*Capreolus capreolus* L.), Siberian musk deer (*Moschus moschiferus* L.) depending on the number of wolves (*Canis lupus* L.) in the Republic of Sakha (Yakutia) (thousand units).

Численность диких копытных (лося, благородного оленя, кабарги и косули) идет с такой же амплитудой колебаний, как и у волка, это объясняется взаимоотношением хищник–жертва (рис. 5, 6): при снижении численности диких копытных численность волков уменьшается, и наоборот.

Благородного оленя, кабарги и снежного барана стало больше на 30–50 %, но это, на наш взгляд, не компенсирует оскудения кормовой базы волка, тем более что эти виды существенны в рационе серого хищника в пределах узкого ареала в Южной Якутии и в Верхоянье.

Известно, что популяции видов-жертв хищника размножением компенсируют урон от хищника при соотношении на 1 волка 30 лосей или 100 оленей. Установлено, что поддержание равновесия хищник–жертва на примере лось–волк возможно, если на одного волка приходится 109 центнеров массы жертв [15–18]. В.В. Нестеренко [19] проанализировал численность лося и волка в заповедниках за 40 лет (с 1946 по 1986 г.) и полагает, что при соотношении 1 волк на 25 лосей происходит рост популяции лося, при 1:20 – стабилизация, а при 1:10 – резкое падение. При таком раскладе соотношение волк:лось в Якутии равно 1:30, что говорит о благоприятном соотношении. Но соотношение волк:олень при численности северного оленя в 150 тыс. голов равно 1:50, т. е. вдвое меньше компенсационной численности. Частота поедания волками домашних животных зависит от обеспеченности хищника естественными кормами. В Якутии в годы депрессии зайца-беляка гибель скота от волка возрастает многократно [17].

Дикого северного оленя – одного из основных объектов питания волка в тундровой зоне, стало также меньше примерно на 30 % за счет сокращения в четыре раза численности самой крупной популяции – яно-индигирской, хотя лено-

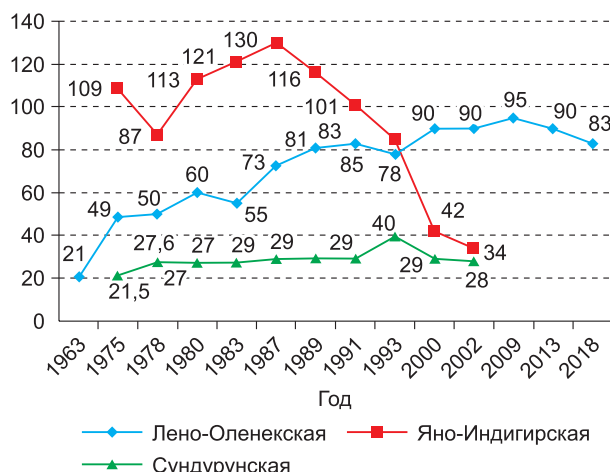


Рис. 7. Динамика численности дикого северного оленя (тыс. шт.).

Fig. 7. Dynamics of the number of wild reindeer (thousand units).

оленокская популяция возросла почти в два раза (рис. 7). В настоящее время введены ограничения на добычу дикого северного оленя лено-оленокской популяции на территориях промышленных зон АК «АЛРОСА» (ПАО) и АО «Алмазы Анабара» в Мирнинском, Нюрбинском и Булунском районах.

В тундровой зоне проявляется тесная связь волка с северным оленем. Сезонные перемещения его здесь связаны с кочевкой оленьих стад, зимой эта связь становится более тесной. В местах, где дикие и домашние олени не кочуют, волки в течение всего года живут оседло [20]. Размножающиеся особи переходят здесь на оседлый образ жизни, распределяясь по тундре более или менее равномерно. Но отмечается приуроченность большей их части к районам концентрации оленьих стад, особенно у побережья моря. Там, где оленей нет, волки поселяются в местах, богатых гнездящимися птицами и грызунами (обычно в долинах крупных рек или приозерных котловинах), нередко держатся вблизи стойбищ оленеводов. Молодые особи, не участвующие в размножении, ведут бродячий образ жизни, охватывая более широкую территорию. Летом до августа в тундре и лесотундре волк питается в основном леммингами, полевками, зайцами. С наступлением зимы, по мере ухудшения кормовых условий (отлет птиц, меньшая доступность мелких грызунов) связь размещения волков со стадами диких и домашних оленей в Якутии становится более тесной. Вслед за оленями

в октябре–ноябре они откочевывают к югу [21]. Большая их часть занимает южную тундру и северные окраины тундровых лесов, и только незначительное число особей проникает в зону сплошных лесов. Часть волков остается в тундре в местах выпаса оставшихся диких и домашних оленей.

В 70-е годы прошлого века центральные районы Якутии славились численностью зайцев. Были времена, когда за несколько дней один охотник добывал до 300 зайцев. В последние десятилетия в центральных и вилюйских районах Якутии, а также в Момском и Верхоянском улусах отмечался резкий спад численности популяции зайца-беляка. Некоторые охотники связывают падение численности с наплывом в Центральную Якутию соболя, чего раньше не замечали. Чтобы восстановить популяцию зайца-беляка несколько лет был введен полный запрет охоты на зайцев в центральных районах Якутии. В разные годы были проведены работы по расселению в этой области зайца-беляка, завезенного с Момского улуса и Верхоянья. В настоящее время, благодаря мораторию и мероприятиям ограничительного характера, популяция зайца-беляка, в Якутии начала восстанавливаться. Однако в целях восстановления воспроизводственного потенциала популяции зайца-беляка указом главы Якутии введен запрет охоты на него в сезон охоты 2020/2021 года в охотничьих угодьях Амгинского, Верхоянского, Горного, Мегино-Кангаласского, Намского, Усть-Алданского, Таттинского, Чурапчинского, Хангаласского улусов и Якутска.

Из рис. 8 видно, что с увеличением количества волков количество зайцев резко сокращается (в конце 1990-х годов и с 2008 по наст. время) и наоборот (с начала до середины 2000-х годов).

В настоящее время из-за спада численности зайцев-беляков относительно 1970–1980-х годов в рационе питания волков увеличилась доля диких копытных.

Выводы

1. По результатам анкетно-опросного метода учета волков за последнее десятилетие численность волка в Якутии была наивысшей в 2011–2012 гг. Затем последовал спад численности в 2013 г. Далее идет постепенное увеличение численности волков до 2019 г. и резкий спад в 2020 г.

2. По всей республике численность волков в 2020 г. составила 2455 особей. Этот показатель ниже прошлогоднего на 1148 особей, т. е. 31,9 %.

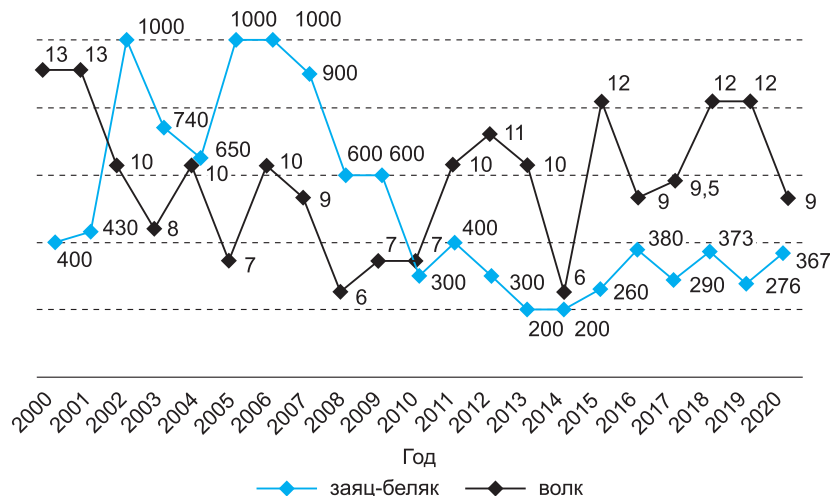


Рис. 8. Динамика численности зайца-беляка (*Lepus timidus* L.) в зависимости от численности волка в РС (Я) (тыс. шт.) по данным ЗМУ.

Fig. 8. Dynamics of the number of white hare (*Lepus timidus* L.) depending on the number of wolves in the Republic of Sakha (Yakutia) (thousand units) according to the winter route accounting.

Плотность населения волка в республике в среднем составила 0,01 ос./ 1000 га охотничьих угодий. Доля волков-одиночек также увеличилось и составило 8,4%.

3. В настоящее время снижение численности волков в этом году наблюдается в трех зонах: Алданской, Северо-Восточной, Вилуйской. Стабильное количество волков отмечают в Юго-Западной и Северо-Западной зонах. Увеличение количества волков регистрируется в Центральной зоне.

4. Динамика численности диких копытных (лося, благородного оленя, кабарги и косули), кормовых объектов волка, идет с такой же амплитудой колебаний, как и у волка, это объясняется взаимоотношением хищник-жертва: при снижении численности диких копытных, численность волков уменьшается, и наоборот. С увеличением количества волков количество зайцев резко сокращается, с уменьшением их числа, наоборот, увеличивается.

Список литературы

1. Бондарев А.Я., Дежкин А.В., Павлов П.М. Волк: оценка возможностей управления ресурсами // Современные проблемы природопользования, охотоведения и звероводства. Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства им. проф. Б.М. Житкова 22-25 мая 2017 г. Секция 2. Биология и устойчивое использование охотничьих животных. Киров, 2017. С. 151–158.
2. Шевелев И.К., Комбалин В.С. Особо охраняемые природные территории Иркутской области и их

роль в решении «волчьей проблемы» // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии // Охрана и рациональное использование животных и растительных ресурсов. Иркутск, 2009. С. 86–90.

3. Зырянов А.Н., Тюрин В.А., Огнев Р.Ю. Проблема волка в охотничьем и сельском хозяйстве Бурятии // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии. Охрана и рациональное использование животных и растительных ресурсов. Иркутск, 2009. С. 116–120.

4. Кожечкин В.В. Волки и олени северо-западной части Восточного Саяна // Труды гос. заповедника «Столбы». 2001. Вып. 17. С. 8–25.

5. Суворов А.П., Александрова Т.А. Особенности регулирования численности волка в регионах Сибири. 2010. URL: <http://ihunter.pro/posts/strategiya-upravleniya-i-normirovanie-dobyichi/203>

6. Носков В.Т. Охотничьи животные Бурятии. Улан-Удэ, 2008. 224 с.

7. Лабутинов Ю.В. Географические особенности питания волка и лисицы // Зоологические проблемы Сибири: Мат. IV совещ. зоологов Сибири. Новосибирск: Наука, 1972. С. 413–414.

8. Лабутинов Ю.В., Вишневцев В.П. Якутия // Волк. М.: Наука, 1985. С. 539–543.

9. Егоров О.В. Дикие копытные Якутии. М.: Наука, 1965. 260 с.

10. Лабутинов Ю.В. Хищники как фактор изменения численности зайца-беляка // Исследования динамики численности зайца-беляка в Якутии. М.: Наука, 1960. С. 192–209.

11. Кучеренко С.П. Волк юга Дальнего Востока // Экологические основы охраны и рационального использования хищных млекопитающих: Матер. Всесоюз. совещ. М.: Наука, 1979. С. 117–118.

12. Данилкин А.А. Олени (Cervidae). М.: ГЕОС, 1999. 552 с.

13. Степанова В.В., Охлопков И.М. Экология благородного оленя в Якутии. Новосибирск: Наука. 2009. 136 с.
14. Кривошапкин А.А. Кабарга (*Moschus moschiferus* L., 1758) в Якутии // Вестник ЯГУ. 2008. Т. 5, № 3. С. 5–9.
15. Mech L.D. The wolf: the ecology and behavior of an endangered species. Garden City. N. Y.: Nat. Hist. Mus. Press. 1970. 385 p.
16. Mech L.D. Wolf – pack buffer zones as prey reservoirs // Science. 1977. Vol. 198. P. 320–321.
17. Волк: происхождение, систематика, морфология, экология. М.: Наука, 1985. 606 с.
18. Юдин. В.Г. Волк Дальнего Востока России: 2-е изд. перераб. и доп. Владивосток: Дальнаука, 2013. 412 с.
19. Нестеренко В.В. Роль волка в природных комплексах заповедников // Популяц. исслед. животных в заповедниках. М., 1988. С. 139–144.
20. Романов А.А. Пушные звери Ленско-Хатангского края и их промысел. Л.: Главсевморпуть, 1941. 140 с.
21. Тавровский В.А., Егоров О.В., Кривошеев В.Г. и др. Млекопитающие Якутии М.: Наука, 1971. 660 с.

Поступила в редакцию 30.09.2020

Принята к публикации 25.11.2020

Об авторах

СТЕПАНОВА Валентина Валериановна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 41, Россия,

<http://orcid.org/0000-0003-3630-0091>; Researcher ID K-3068-2018, valstep@yandex.ru;

ОХЛОПКОВ Иннокентий Михайлович, кандидат биологических наук, директор, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 41, Россия,

<http://orcid.org/0000-0002-227-5216>; Researcher ID Y-3609-2019, imokhlopkov@yandex.ru.

Информация для цитирования

Степанова В.В., Охлопков И.М. Современное состояние численности и плотности населения волка (*Canis lupus Linnaeus*, 1758) в Якутии // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2020, Т. 25, № 4. С. 121–133. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-4-10>

DOI 10.31242/2618-9712-2020-25-4-10

The current state of the wolf (*Canis lupus Linnaeus*, 1758) population size and density in Yakutia

V. V. Stepanova, I. M. Okhlopov

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия
valstep@yandex.ru

Abstract. The number of wolves has increased in recent years in the Republic of Sakha (Yakutia). It leads to reduce of wild ungulates and restrain of their growth. Our study is based on data from the winter route accounting for hunting animals from 2000 to 2020, data from the questionnaire method accounting for wolves from 2011 to 2020, and data from air accounting in 2009, 2013, and 2018 in the Republic of Sakha (Yakutia). The results of the questionnaire survey of accounting for the wolves show that their population was the highest in 2011–2012 in Yakutia. Then a decline in their number followed in 2013. A gradual increase in the number of wolves took place until 2019, and then a sharp decline in 2020. The decline in the number of wolves in 2020 is observed in three zones: Aldan, North-Eastern, and Vilyuisk. A stable number of wolves is observed in the South-Western and North-Western zones of Yakutia. An increase in the number

of wolves is registered in the Central zone of Yakutia. Across the Republic, the number of wolves in 2020 was 2455 individuals. The figure is lower than last year by 1,148 individuals, or 31.9 %. The average wolf population density in the Republic was 0.01 PCs./ 1000 ha of hunting grounds. The number of lone wolves also increased to 8.4 %. The dynamics of the number of wild ungulates (elk, red deer, musk deer, and roe deer), which are the wolf's food items, goes with the same amplitude of fluctuations as the wolf. This dynamic is explained by the relationship «predator-prey». It shows the dependence of the number of wolves on the number of wild ungulates: when they decrease, their number decreases, and vice versa. With the increase in the number of wolves, the number of hares decreases sharply (in the late 1990s and from 2008 to the present time), with a decrease in their number, on the contrary, increases (from the early 2000s to the middle of the 2000s)

Key words: wolf, number, population density, food objects, dependence, connection.

Acknowledgements. The research was carried out with the financial support of the basic projects VI.51.1.11. "Structure and dynamics of animal populations and communities in the cold region of the North-East of Russia in the current conditions of global climate change and anthropogenic transformation of Northern ecosystems: factors, mechanisms, adaptations, conservation" (reg. number AAAA-A17-117020110058-4) and "The causal foundations of the dynamics of the soil cover, flora and fauna of the permafrost zone on the territory of the proliferation of light breeds in Central Yakutia to develop the fundamental bases of their protection under conditions of increasing anthropogenic pressure and global change" No. 0376-2019-0006 (reg. number AAAA-A19-119040990002-1).

References

1. Bondarev A.Ya., Dezhkin A.V., Pavlov P.M. Volk: ocenka vozmozhnostej upravleniya resursami // Sovremennyye problemy prirodnopolo'zovaniya, oxotovedeniya i zverovodstva. Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut oxotnich'ego xozyajstva i zverovodstva im. prof. B.M. Zhitkova 22–25 maya 2017 g. Sekciya 2. Biologiya i ustojchivoe ispol'zovanie oxotnich'ix zhivotny'x. Kirov, 2017. P. 151–158.
2. Shevelev I.K., Kombalin V.S. Osobo oxranyaemye prirodnye territorii Irkutskoj oblasti i ix rol' v reshenii «volch'ej problemy» // Klimat, e'kologiya, sel'skoe xozyajstvo Evrazii. Oхрана i racional'noe ispol'zovanie zhivotny'x i rastitel'ny'x resursov. Irkutsk, 2009. P. 86–90.
3. Zyryanov A.N., Tyurin V.A., Ognev R.Yu. Problema volka v oxotnich'em i sel'skom xozyajstve Buryatii // Klimat, e'kologiya, sel'skoe xozyajstvo Evrazii. Oхрана i racional'noe ispol'zovanie zhivotny'x i rastitel'ny'x resursov. Irkutsk, 2009. P. 116–120.
4. Kozhechkin V.V. Volki i oleni severo-zapadnoj chasti Vostochnogo Sayana // Trudy gos. zapovednika «Stolby». 2001. Iss. 17. P. 8–25.
5. Suvorov A.P., Aleksandrova T.A. Osobennosti regulirovaniya chislennosti volka v regionax Sibiri. 2010. URL: <http://ihunter.pro/posts/strategiya-upravleniya-i-normirovanie-dobyichi/203>
6. Noskov V.T. Oxotnich'i zhivotnye Buryatii. Ulan-Ude, 2008. 224 p.
7. Labutin Yu.V. Geograficheskie osobennosti pitaniya volka i lisicy // Zoologicheskie problemy Sibiri: Mat. IV sovesh. zoologov Sibiri. Novosibirsk: Nauka, 1972. P. 413–414.
8. Labutin Yu.V., Vshivcev V.P. Yakutiya. // Volk. M.: Nauka, 1985. P. 539–543.
9. Egorov O.V. Dikie kopy'tnye Yakutii. M.: Nauka, 1965. 260 p.
10. Labutin Yu.V. Xishhniki kak faktor izmeneniya chislennosti zajcha-belyaka // Issledovaniya dinamiki chislennosti zajcha-belyaka v Yakutii. M.: Nauka, 1960. P. 192–209.
11. Kucherenko S.P. Volk yuga Dal'nego Vostoka // E'kologicheskie osnovy ohrany i racional'nogo ispol'zovaniya xishhny'x mlekopitayushhix / Mat. Vsesoyuzn. sovesh. M.: Nauka, 1979. P. 117–118.
12. Danilkin A.A. Olen'i (Cervidae). M.: GEOS, 1999. 552 p.
13. Stepanova V.V., Oxlopkov I.M. E'kologiya blagorodnogo olenya v Yakutii. Novosibirsk: Nauka. 2009. 136 p.
14. Krivoshekin A.A. Kabarga (Moschus moschiferus L., 1758) v Yakutii // Vestnik YaGU. 2008. Vol. 5, No. 3. P. 5–9.
15. Mech L.D. The wolf: the ecology and behavior of an endangered species. Garden City. N. Y.: Nat. Hist. Mus. Press. 1970. 385 p.
16. Mech L.D. Wolf – pack buffer zones as prey reservoirs // Science. 1977. Vol. 198. P. 320–321.
17. Volk: proisxozhdenie, sistematika, morfologiya, e'kologiya. M.: Nauka, 1985. 606 p.
18. Yudin V.G. Volk Dal'nego Vostoka Rossii: 2-e izd. pererab. i dop. Vladivostok: Dal'nauka. 2013. 412 p.
19. Nesterenko V.V. Rol' volka v prirodny'x kompleksax zapovednikov // Populyacz. issled. zhivotny'x v zapovednikax. M., 1988. P. 139–144.
20. Romanov A.A. Pushnye zveri Lensko-Xatangskogo kraja i ix promysel. L.: Glavsevmorput', 1941. 140 p.
21. Tavrovskij V.A., Egorov O.V., Krivosheev V.G. i dr. Mlekopitayushhie Yakutii M.: Nauka, 1971. 660 p.

About the authors

STEPANOVA Valentina Valerianovna, candidate of biological Sciences, senior researcher, Institute of biological problems of the cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk 677980, Russia,
<http://orcid.org/0000-0003-3630-0091>; Researcher ID K-3068-2018, valstep@yandex.ru:

OKHLOPKOV Innokenty Mikhailovich, candidate of biological sciences, director, Institute of biological problems of the cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk 677980, Russia,
<http://orcid.org/0000-0002-227-5216>; Researcher ID Y-3609-2019, imokhlopkov@yandex.ru.

Citation

Stepanova V. V., Okhlopkov I. M. Current state of the wolf population size and density in Yakutia // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2020, Vol. 25, No. 4. pp. 121–133. (In Russ.) <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-4-10>

ПАМЯТЬ

Юрий Алексеевич Мочанов (08.11.1934–19.10.2020)



19 октября 2020 г. ушел из жизни Мочанов Юрий Алексеевич, известный исследователь археологии Восточной Сибири, доктор исторических наук, заслуженный деятель науки Республики Саха (Якутия) и Российской Федерации, действительный член Академии наук РС (Я).

Открытия Ю.А. Мочанова археологических памятников каменного века Азиатской Арктики и Приарктики, изучение основных этапов биокультурной адаптации человека к экстремальной среде Арктики, проблемы начальных этапов заселения человеком Америки дополнили мировой фонд фундаментальных знаний о природе.

Ю.А. Мочанов родился 8 ноября 1934 г. в Ленинграде. В 1953 г. окончил Ленинградское Нахимовское военно-морское училище, в 1957 г. – экстерном исторический факультет Ленинградского госуниверситета. В составе археологических экспедиций Института археологии (ЛЮИА) АН СССР работал от Памира до Кольского полуострова, Средней Азии, Кавказа, Таймыра до Приморья.

С таким солидным багажом знаний он в 1963 г. начал работать в Якутии. В 1978 г. Ю.А. Мочанов защитил в Институте археологии АН СССР докторскую диссертацию «Древнейшие этапы заселения человеком Северо-Востока Азии». Более 40 лет

он был бессменным руководителем Приленской археологической экспедиции, исследовавшей огромный регион Северо-Восточной Азии.

Памятник древнейшего палеолита Дириг-Юрях навсегда связан с именем его исследователя – Ю.А. Мочанова. Изучение Дириг-Юряха внесло существенные коррективы в понимание процесса заселения и освоения человеком территории Якутии.

Ю.А. Мочанов – автор открытия дюктайской культуры (верхний палеолит). Исследование Дюктайской пещеры на р. Алдан (1967 год), палеолитической стоянки охотников на мамонтов и других плейстоценовых животных, дало название культуре, получившей мировое признание. Это открытие позволило Юрию Алексеевичу выдвинуть теорию, что именно из Якутии через Чукотку и Аляску происходило заселение дюктайцами Американского континента.

Важнейшие археологические открытия Ю.А. Мочанова неразрывно связаны с именем Светланы Александровны Федосеевой, известного археолога, его супруги, коллеги, единомышленника, почетного академика АН РС (Я). Яркие личности, их объединяли увлеченность археологией, огромная жизнестойкость, преданность любимому делу и «археологическое чутье», основанное на глубоких знаниях и широкой эрудиции.

Ю.А. Мочанов – представитель первой плеяды членов Академии наук РС (Я). Неоценим его вклад в становление и развитие Академии наук РС (Я), в укрепление академических традиций. Музей арктической археологии им. С.А. Федосеевой хранит уникальные экспонаты, свидетельства древних культур, открытые творческим умом и поднятые из толщи веков якутскими археологами.

Ю.А. Мочанов – лауреат Государственной премии РС (Я) в области науки и техники, награжден высшей наградой Республики Саха (Якутия) – орденом «Полярная звезда».

*А.И. Гоголев,
доктор исторических наук,
академик Академии наук
Республики Саха (Якутия)*

Бережко Евгений Григорьевич
(15.12.1952–28.11.2020)



28 ноября 2020 г. на 68-м году жизни после тяжелой и продолжительной болезни скончался известный физик-теоретик с мировым именем, доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, действительный член Академии наук Республики Саха (Якутия), заслуженный деятель наук РС (Я) Евгений Григорьевич Бережко.

Е.Г. Бережко родился 15 декабря 1952 г. в пос. Федоровка Кустанайской области, в 1976 г. окончил физический факультет МГУ. В 1979 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Поляризационные явления в процессах ионизации внутренних оболочек атомов», в 1988 г. докторскую – «Ускорение космических лучей в крупномасштабных течениях космической плазмы». Вся жизнь Евгения Григорьевича была связана с Институтом космофизических исследований и астрономии СО РАН, в котором он проработал 40 лет, из них почти 20 — в должности директора.

Основное научное направление исследований Е.Г. Бережко – астрофизика космических лучей: теория процессов ускорения космических лучей в межпланетной среде и на Солнце; генерация космических лучей и порождаемого ими нетеплового излучения в остатках сверхновых. Им установлено не известное ранее физическое явление — процесс фрикционного ускоре-

ния космических лучей, который осуществляется в сдвиговых течениях плазмы; развита теория этого процесса, позволившая понять суть явлений генерации нетепловых спектров заряженных частиц, наблюдаемых в солнечном ветре. Он теоретически установил существование процесса коллективного ускорения космических лучей совокупностью крупномасштабных ударных волн. Этот процесс играет существенную роль в формировании спектра галактических космических лучей. Значительный вклад внесли исследования Е.Г. Бережко в решение проблемы происхождения космических лучей. Им разработана нелинейная теория ускорения космических лучей в остатках сверхновых, объясняющая и основные особенности наблюдаемого спектра галактических космических лучей. Применение нелинейной теории к ряду исторических остатков сверхновых позволило объяснить наблюдаемые свойства их излучения, порождаемого ускоренными космическими лучами. Е.Г. Бережко опубликовано более 200 научных работ, он один из высокоцитируемых ученых России в области физики космических лучей.

Е.Г. Бережко вел активное международное сотрудничество — с Институтом ядерной физики им. М. Планка (Германия), с международными коллаборациями CANGAROO, Magic, HESS, осуществляющими экспериментальные исследования по обнаружению источников космических лучей посредством детектирования гамма-излучения высоких энергий с помощью гамма-телескопов и др.

Е.Г. Бережко избирался членом международной комиссии IUPAP «Космические лучи», президиумов СО РАН, Якутского научного центра СО РАН, Академии наук Республики Саха (Якутия), вел активную преподавательскую деятельность на физическом факультете Северо-Восточного федерального университета.

Научные достижения Е.Г. Бережко были отмечены Государственной премией РС (Я) в области науки и техники за цикл работ «Теория ускорения космических лучей в остатках сверхновых».

Б.М. Кершенгольц,
вице-президент АН РС (Я),

Ю.М. Григорьев, д.ф.-м.н.,
гл. ученый секретарь АН РС (Я)

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РУКОПИСЕЙ

1. Все текстовые файлы, включая таблицы, должны быть подготовлены в формате Microsoft Word. Формат страниц А4, поля: сверху и снизу – 2,0 см, слева – 3,0 см, справа – 1,5 см. Текст должен быть черного цвета, шрифт Times New Roman **14 pt**, межстрочный интервал (за исключением таблиц) – 1,5 pt. Абзацный отступ – 1,25. Общий объем рукописи, включая все иллюстрации (6–8 рис.) и таблицы (1–3), 10–30 стр.

2. Общий вид статьи

2.1.

- УДК;
- название статьи (не более 10 слов) должно соответствовать тематике журнала;
- фамилии и инициалы авторов;
- место работы каждого автора, город, страна;
- электронный адрес контактного лица;
- расширенная аннотация (150–250 слов): должны быть отражены содержание рубрик статьи и информативно представлены результаты работы – введение, материалы и методы, результаты исследования, обсуждение и заключения. Текст аннотации приводится в прошедшем времени.
- ключевые слова (5–10);
- благодарности: указываются все источники финансирования исследования и благодарности людям.

2.2. Перед основным текстом статьи вся информация, представленная в п.2.1., приводится на английском языке. Фамилии на английском языке указываются в соответствии с их написанием в ORCID ID, Researcher ID.

2.3. Текст статьи (на русском языке). Содержание статьи должно соответствовать тематике, целям и задачам журнала. Материал статьи (кроме обзоров) должен быть изложен в следующей последовательности с выделением жирным шрифтом названий разделов (без нумерации): введение (цели, актуальность), материалы и методы исследования, результаты и обсуждение, выводы или заключение.

Текст заключения (используется настоящее время) может содержать сравнение с предыдущими работами, наметить основные направления в дальнейших исследованиях, идеи, что предстоит делать.

2.4. Список литературы (не менее 25–40 работ) приводится на русском языке и латинице (References). Желательны ссылки на работы последних лет, ограничить ссылки на свои работы. К статьям в списке литературы указывается DOI (где есть).

Ссылки на литературу даются в тексте в квадратных скобках. Список литературы (литература) оформляется в порядке упоминания в соответствии с требованием ГОСТ Р 7.0.5-2008.

3. После списка литературы приводится:

- информация об авторах: фамилия, имя, отчество, ученая степень, звание, должность;
- аффилиация авторов: полное официальное название организации, полный почтовый адрес (включая индекс, город и страну), указываются все места работы, имеющие отношение к проведению исследования;
- ORCID ID, Researcher ID, e-mail.

Приводится на русском и английском языках.

4. Рисунки (цветные, черно-белые, серые, штриховка) должны быть оформлены в виде отдельных графических файлов, допустимые растровые форматы: TIFF, JPG, PDF, PNG, при этом разрешение должно быть не менее 300 dpi. При использовании векторной графики допускаются любые форматы, включая CDR, EPS, AI, WMF, EMF, Surfer, Grapher, при условии их качественного экспорта в PDF.

Фотографии представляются в виде отсканированных или цифровых изображений с разрешением не менее 300 dpi. Желательно представить также оригиналы.

Все рисунки и фотографии должны иметь подрисуночные подписи на русском и английском языках

5. Таблицы должны быть оформлены в книжном формате объемом не более одной страницы вместе с заголовком и примечаниями, размер шрифта – не менее 9 pt. Предпочтительны таблицы, пригодные для редактирования, не скан. Все таблицы должны иметь заголовки.

Названия таблицы, столбцов и строк должны быть переведены на английский язык.

6. Обозначения, принятые в статье, должны быть пояснены при изложении.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ

7. Статья должна быть подписана всеми авторами (на последней странице).

8. Рукописи, оформленные не в соответствии с указанными требованиями, не принимаются.

9. Редакция журнала к каждой статье через систему CrossRef присваивает DOI.

Статья представляется в редакцию (677007, г. Якутск, пр. Ленина, 33) в одном печатном экземпляре и в электронном виде в формате MSWord (на любом носителе или на e-mail: no.usn@mail.ru) вместе со следующими сопроводительными документами:

1. Официальное направление от организации, в которой выполнена работа, с указанием, что данный материал не был опубликован в других изданиях.

2. Экспертное заключение организации о возможности опубликования в открытой печати.

3. Сведения об авторах (всех): полное ФИО, место работы, должность, ученая степень, ученое звание, электронный адрес (при публикации e-mail первого автора будет указан в сноске на первой стр. статьи), контактный телефон.

Редактор *Н.А. Лившиц*
Корректурa *Н.В. Счастнева*
Компьютерная верстка *И.В. Мелехов*
Обложка *А.А. Николашкиной*

Дата выхода в свет 29.12.2020. Формат 60×84 1/8. Печать цифровая
Усл. п.л. 14,5. Тираж 100 экз. Заказ № 212. Цена свободная.

Адрес редакции:

677007, г. Якутск, пр. Ленина, 33, тел. 8(4112) 39-06-64, <http://nras.asrsya.ru>

Адрес издателя:

677007, г. Якутск, пр. Ленина, 33, ГБУ «Академия наук Республики Саха (Якутия)»,
тел. 8(4112) 33-57-11, e-mail: anrsya@mail.ru

Адрес издательства:

Издательство СО РАН
630090, Новосибирск, Морской просп., 2
E-mail: psb@sibran.ru
тел. (383) 330-80-50
Отпечатано в Издательстве СО РАН
Интернет-магазин Издательства СО РАН
<http://www.sibran.ru>