

ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ АРКТИКИ И СУБАРКТИКИ

(до 2018 г. «Наука и образование»)

Научный журнал

2020, Том 25, № 1

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.ysn.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
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. 1

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.ysn.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
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. Kutugin – 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>Шкодзинский В.С.</i> Количественная модель и петрология кислых магм, генезис рудоносных гидротерм	7
<i>Горев Н.И., Шахурдина Н.К., Салихов Р.Ф., Проценко Е.В.</i> К вопросу об эрозионном срезе кимберлитов Алакит-Мархинского рудного поля	20
<i>Гриненко В.С., Баранов В.В., Проценко Е.В.</i> Глобальная палеогеография и палеобиогеография средней юры по брахиоподам	32

Инженерная геология, мерзловедение и грунтоведение

<i>Макаров В.Н., Торговкин Н.В.</i> Загрязнение атмосферы города Якутска взвешенными веществами	43
---	----

Общая биология

Экология

<i>Чевычелов А.П., Захарова О.Г.</i> К оценке фосфатного состояния мерзлотных почв Южной Якутии	51
<i>Ануфриев А.И.</i> Температурная регуляция ритмов зимней спячки	60
<i>Ямборко А.В., Киселев С.В.</i> Учет численности безнадзорных собак на территории города Магадана	68

Биологические ресурсы

<i>Николин Е.Г., Кириллин Е.В., Охлопков И.М.</i> Продуктивность некоторых доминирующих кормовых травянистых растений о. Завьялова (Магаданская область)	76
<i>Строева Н.С., Дарханова В.Г., Филиппова Г.В.</i> Введение в культуру и размножение <i>in vitro</i> <i>Nemerocallis</i> , сорта 'Wine and Roses'	85
<i>Прокопьев И.А., Слепцов И.В., Порядина Л.Н., Рожина С.М.</i> Годовая динамика вторичных метаболитов в талломах <i>Cetraria laevigata</i> и <i>Flavocetraria cucullata</i> в условиях Центральной Якутии	94

Металлургия и материаловедение

Материаловедение

<i>Петрова Н.Н., Портнягина В.В.</i> Влияние размера частиц и концентрации фторсодержащего полимера на свойства морозостойких резин на основе пропиленоксидного каучука	101
<i>Ефимов С.Е.</i> Фильтровально-сорбционный метод очистки нефтесодержащих сточных вод нетканым сорбентом «Экосорб»	118

Память

Памяти Имаева Валерия Сулеймановича	125
Указатель материалов, опубликованных в журнале «Природные ресурсы Арктики и Суб- арктики» в 2019 г.	127
Требования к оформлению статей.....	135

CONTENTS

Earth sciences

General and regional geology, petrology and volcanology

<i>Shkodzinskiy V.S.</i> Quantitative model and petrology of acid magmas, genesis of ore-bearing hydrotherms	7
<i>Gorev N.I., Shakhurdina N.K., Salikhov R.F., Protsenko E.V.</i> To the question concerning the erosion section of kimberlites of the Alakit-Markhinsky ore field	20
<i>Grinenko V.S., Baranov V.V.</i> Global paleogeography and paleobiogeography of the Middle Jurassic (Aalenian-Callovian) as derived from brachiopods	32

Engineering geology, permafrost and soil science

<i>Makarov V.N., Torgovkin N.V.</i> Pollution of atmosphere in Yakutsk by suspended substances	43
--	----

General biology

Ecology

<i>Chevychelov A.P., Zakharova O.G.</i> To the assessment of the phosphate status of permafrost soils of Southern Yakutia	51
<i>Anufriev A.I.</i> Temperature regulation in the rhythm of winter hibernation	60
<i>Yamborko A.V., Kiselev S.V.</i> Counting the number of stray dogs in Magadan.....	68

Biological resources

<i>Nikolin E.G., Kirillin E.V., Okhlopkov I.M.</i> The productivity of some dominant forage herbaceous plants of the Zavyalov island (Magadan oblast)	76
<i>Stroeva N.S., Darkhanova V.G., Filippova G.V.</i> Introduction to culture and in vitro reproduction of the <i>Hemerocallis</i> , variety 'Wine and Roses'	85
<i>Prokopiev I.A., Sleptsov I.V., Poryadina L.N., Rozhina S.M.</i> Annual dynamics of secondary metabolites in thalloms of <i>Cetraria laevigata</i> and <i>Flavocetraria cucullata</i> in Central Yakutia.....	94

Metallurgy and materials science

Materials science

<i>Petrova N.N., Portnyagina V.V.</i> Effect of particle size and concentration of fluorine-containing polymer on the properties of frost-resistant elastomer based on propylene oxide rubber	101
<i>Efimov S.E.</i> Filter-sorption method for treatment of oil-containing wastewater with non-woven sorbent «Ecosorb»	118

Memory

In memory of Imaev Valery Suleimanovich	125
Index of articles, published in «Arctic and Subarctic Natural Resources» journal in 2019.....	127
Requirements for manuscripts	135

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Общая и региональная геология, петрология и вулканология

УДК 552.31

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

Количественная модель и петрология кислых магм, генезис рудоносных гидротерм

В.С. Шкодзинский

*Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, Якутск, Россия
shkodzinskiy@diamond.ysn.ru*

Аннотация. Впервые рассчитанные количественные модели магм показали, что в глубинных условиях в них отсутствует флюидная фаза вследствие растворения ее в расплаве под влиянием высокого давления. Это указывает на отсутствие флюидных потоков в областях магмообразования. В таких условиях в магмах резко повышается содержание твердых фаз. Это противоречит предположениям об их формировании путем отделения выплавов и указывает на образование путем фрикционного и декомпрессионного переплавления идентичных им по составу пород. Такие породы возникли путем фракционирования глобального океана магмы на ранней стадии эволюции Земли. Относительно низкотемпературные магмы на малоглубинной стадии подъема затвердели в результате декомпрессионного выделения в них флюидной фазы. Законсервированное затвердением высокое давление этой фазы приводило к дезинтеграции верхних частей магматических колонн и объясняет природу вулканических взрывов. С увеличением давления флюидная фаза появляется на все более поздних стадиях кристаллизации магм, когда в остаточных расплавах накапливаются рудные и выносящие их летучие компоненты. Это объясняет происхождение высокорудных гидротерм.

Ключевые слова: количественные модели магм, вулканические взрывы, рудоносные гидротермы.

Благодарности. Статья подготовлена по плану НИР ИГАБМ СО РАН, проект № 0381-2019-0003.

Введение

С кислыми магматическими породами в Якутии и во всем мире связано множество гидротермальных месторождений важнейших металлических полезных ископаемых. Для их эффективных прогноза и поисков важно знать генезис этих пород и образовавшихся в них рудоносных гидротерм. Названные вопросы до настоящего времени не имели однозначного решения и по ним часто высказывались взаимоисключающие предположения. Известно, что эффективный метод решения дискуссионных проблем состоит в разработке количественных моделей исследуемых явлений на основе физико-химических законов и термодинамических данных. Как ни удивительно, до сих пор не были разработаны полные количественные модели магм и поведения при их кристаллизации рудных и выносящих их летучих

компонентов, несмотря на имеющееся огромное количество публикаций, посвященных магматическим породам. В статье приводится разработанная модель кислых магм и на ее основе рассматриваются дискуссионные проблемы петрологии и рудоносности гранитоидов.

P–T-диаграмма фазового состава и эволюции кислых магм

Каждая магма имеет разнообразные характеристики – исходный состав, температуру, содержание и составы твердых фаз, флюида и расплава. Для решения генетических проблем наиболее важным является определение количественных соотношений расплава, твердых фаз и флюида на каждой стадии эволюции магм, поскольку они во многом определяют остальные характеристики. Эти количественные соотношения от-

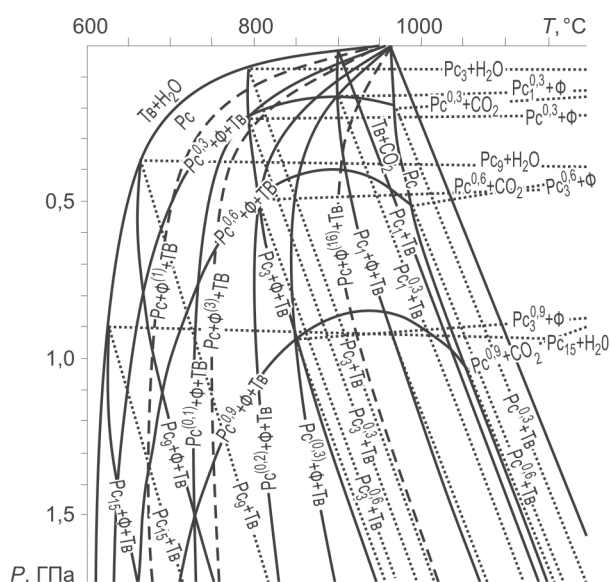


Рис. 1. P - T -диаграмма состояния эвтектический гранит- H_2O - CO_2 . Здесь и на других рисунках $\text{Pc}_{3,6}^{0,6}$ – расплав и содержание в нем воды (нижний индекс), уголекислоты (верхний индекс), отношение в нем CO_2 к H_2O (индекс в скобках), Тв – твердые фазы, $\Phi^{(1)}$ – флюид и отношение в нем уголекислоты к воде.

Fig. 1. *P-T*-diagram of eutectic granite-H₂O-CO₂. Here and on other Figures Pc_{3.6} – melt and content of water (lower index), carbonic acid (upper index), ratio of CO₂ to H₂O (index in brackets), T_B – solid phases, Φ⁽¹⁾ – fluid and ratio of carbonic acid to water in it.

ражает P - T -диаграмма фазового состава и эволюции кислых магм. Она рассчитана на основании предварительно построенной диаграммы состояния для эвтектических гранитов (рис. 1).

На диаграмме состояния линии плавления при избытке воды ($Tв + H_2O = Pс$) и в сухих условиях ($Tв = Pс$) построены по экспериментальным данным для системы альбит + ортоклаз + кварц [1–3]. Изоконцентраты воды в расплаве при ее недостатке в равновесии с твердыми фазами и в отсутствие углекислоты ($Pс_3 + Tв$ и др.) проведены в соответствии с расчетными данными И.Д. Рябчикова [4] для гранитной магмы. Изолинии отношений углекислоты к воде в расплаве в присутствии флюидной и твердой фаз ($Pс^{(0,1)} + \Phi + Tв$ и др.) рассчитаны [5] на основании данных для альбитовой системы. Очевидно, что концентрацию углекислоты в водосодержащем расплаве можно определить по содержанию в нем воды и отношению углекислоты к воде. Поэтому изоконцентраты углекислоты в расплаве в ассоциации его с твердыми фазами и флюидом ($Pс^{0,3} + \Phi + Tв$ и др.) проведены по со-

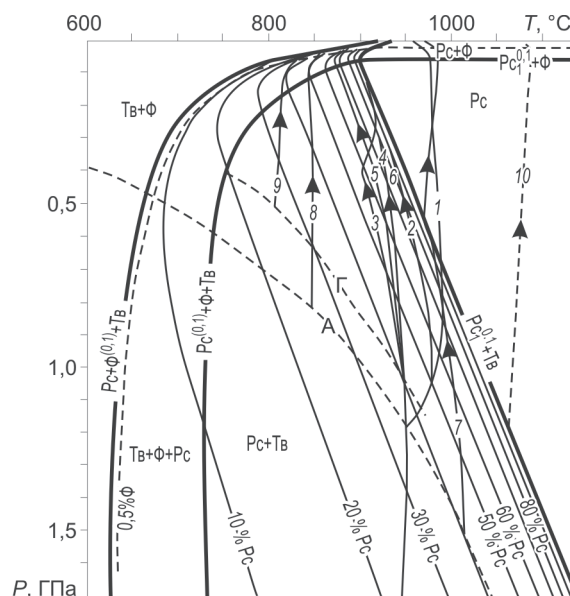


Рис. 2. *P-T*-диаграмма фазового состава и эволюции (линии со стрелками) кислых магм с содержанием 1 % H_2O и 0,1 % CO_2 . А – палеогеотерма Алданского щита, Г – более высокотемпературная геотерма. 1–10 – см в тексте.

Fig. 2. P-T diagram of the phase composition and evolution (lines with arrows) of acid magmas with H₂O 1% and CO₂ 0,1% content. A – paleogeotherm of the Aldan shield, Γ – higher temperature geotherm. 1–10 – see in text.

ответствующим точкам пересечений изолиний отношений углекислоты к воде в нем ($Pc^{(0,1)} + \Phi + Tв$ и др.) с изоконцентрами воды ($Pc_1 + \Phi + Tв$ и др.). Наклон изоконцентрат углекислоты в расплаве при ее избытке ($Pc^{0,3} + CO_2$) принят равным таковому в альбитовой системе [5]. Очевидно, что при изменениях температуры и давления равновесие $Pc^{(0,1)} + \Phi + Tв$ и другие аналогичные будут смещаться с протеканием реакций типа $(0,1 + k)Pc^{(0,1)} + Tв + \Phi = 0,1Pc^{(0,1+k)}$, где k – величина изменения отношения углекислоты к воде в расплаве. На рассматриваемой диаграмме содержание летучих компонентов в системе не задано. Поэтому всегда существуют такие соотношения этих компонентов, при которых протекание реакций типа приведенной будет сопровождаться исчезновением флюида или твердых фаз с возникновением в более высокотемпературной области двухфазных расплавсодержащих ассоциаций. Линии таких равновесий ($Pc_1^{0,3} + Tв$, $Pc_1^{0,3} + \Phi$ и др.) показаны на диаграмме.

Для расчета фазовых диаграмм необходимо оценить содержание в природных магмах наи-

более распространенных летучих компонентов воды и углекислоты. На основании анализа опубликованных данных [5, 6] среднее их содержание принято для гранитной магмы соответственно 1 и 0,1 %.

На фазовой P – T -диаграмме для кислых магм (рис. 2) линия солидуса ($Pc + \Phi^{(0,1)} + Tv$) идентична линии равновесия $Pc + \Phi + Tv$ на диаграмме состояния при отношении содержания CO_2 к H_2O во флюиде, равном таковому в природных магмах. Линия, отражающая полное растворение флюидной фазы в расплаве ($Pc^{(0,1)} + \Phi + Tv$), совпадает с кривой этого равновесия с принятым отношением углекислоты к воде в расплаве. Линия полного плавления твердых фаз при отсутствии флюида ($Pc_1^{0,1} + Tv$) совпадает с изоконцентратой воды и углекислоты в расплаве, равной содержанию этих компонентов в магме. Линия начала вскипания расплава при декомпрессии при отсутствии твердых фаз ($Pc_1^{0,1} + \Phi$) идентична изоконцентрате воды и углекислоты в расплаве, равной принятым содержаниям этих компонентов. Наклон изоконцентрат расплава (10 % Pc , 20 % Pc и др.) равен таковому линий солидуса в отсутствие летучих компонентов, а их значения равны выраженному в процентах частному от деления содержаний воды и углекислоты в магме на концентрацию их в расплаве в равновесии с твердыми фазами на диаграмме состояния.

Эволюция температуры и давления при подъеме магм (линии со стрелками) рассчитывалась по выведенному [5] уравнению:

$$(P_1 - P_2)(\rho_v - \rho_m)(\rho_v \rho_m I)^{-1} + C_m(T_1 - T_2) - \Delta H_p(A_{Pc2} - A_{Pc1})100^{-1} + \Delta H_o(A_{\Phi 2} - A_{\Phi 1})100^{-1} - 0,71(P_1 - P_2)(A'_{Pc} + A'_{Tv})100^{-1} + \Delta P'(\rho_m I)^{-1} + P_1 V_1 A'_{\Phi} [1 - (P_2 P_1^{-1})^{(k-1)/k}] [100I(k-1)]^{-1} - 0,8(T_m - T_v)[\lambda_v C_{Pv}(P_1 - P_2 - \Delta P)]^{0,5} (E \rho_m^3 g)^{-0,5} = 0.$$

Здесь P_1 и P_2 – соответственно начальное и конечное давление в расчетном интервале подъема; ρ_v и ρ_m – плотность вмещающих пород и магмы; I – механический эквивалент теплоты; C_m и C_v – теплоемкость магмы и вмещающих пород; T_1 и T_2 – начальная и конечная температура магмы; ΔH_p и ΔH_o – энтальпия плавления и отделения флюида от расплава; A_{Pc1} , A_{Pc2} , $A_{\Phi 1}$ и $A_{\Phi 2}$ – соответственно начальное и конечное содержание расплава и флюида; A'_{Pc} , A'_{Tv} и A'_{Φ} – среднее содержание расплава, твердых фаз и флюида в расчетном интервале подъема; $\Delta P'$ – избыточное тектоническое давление, затраченное на подъем

магм; V_1 – удельный объем флюида; $k = C_v/C_p = 1,29$ для трехатомных газов; λ_v – коэффициент теплопроводности вмещающих пород; E – объемный расход магмы.

В этом уравнении учтены все главные процессы, влияющие на изменение температуры магм при подъеме. Рассчитывалось выделение энергии при всплывании легкой магмы в среде более плотных пород и при выжимании магм под влиянием тектонического давления. Принималось, что эта энергия полностью тратится на трение теплового выделения. Учтено изменение тепловой энергии при изменении температуры магмы за счет процессов плавления–кристаллизации и отделения флюидной фазы. Учитывались расширение конденсированных фаз и флюида и теплоотдача во вмещающие породы.

Линия подъема 1 на рис. 2 отражает выжимание подплавленных гранитогнейсов под влиянием избыточного тектонического давления 0,3 ГПа. Принималось, что это давление преобразуется в тепло трения вязкого течения на первых 7 км подъема, поскольку в этом интервале мигмы и магмы обладают максимальной вязкостью вследствие еще большого содержания твердых фаз. Линия 1 показывает, что такие процессы выжимания способны привести к увеличению количества расплава в гранитогнейсах на 65 % еще в глубинных условиях. Подъем мигм под влиянием только сил всплывания отражают линии 2–10. Линия 2 относится к варианту выделения тепла трения преимущественно на глубинной стадии, линия 3 – на среднеглубинной стадии и линия 4 – при равномерном по траектории подъема тепловыделении. Подъем гранитогнейсов в этих условиях также сопровождается приращением количества расплава в них на 65 %. Для этих вариантов принималось, что за одну секунду через поперечное сечение магмовода поднимается 250 м³ вещества. При всплывании меньших объемов гранитогнейсов (расход 40 м³/с, линия 5), вследствие более значительных удельных теплотерь во вмещающие породы, приращение содержания расплава будет значительно меньшим – 20–25 %.

Некоторые петрологические выводы, вытекающие из диаграммы фазового состава

Рассчитанная фазовая P – T -диаграмма выявила существование ранее не известных или мало известных явлений. Обращает на себя внимание резкое возрастание в магмах содержания твердых фаз с ростом давления в наиболее обширном

поле $P_c + T_v$ на диаграмме. Например, на линии подъема магм 3 на рис. 2 содержание твердых фаз возрастает от 0 % в приповерхностных условиях до 70 % при давлении 1,4 ГПа. Большинство магм в приповерхностных условиях содержали существенное количество кристаллов минералов, поэтому в них содержание твердых фаз в глубинных условиях будет еще выше (до 75 % на линиях подъема 8 и 9). Рассматриваемое явление подтверждает огромную магомгенерирующую роль декомпрессии при подъеме [7, 8] и указывает, что только под ее влиянием всплывание глубинных пород может приводить к преобразованию их в магмы. Примеры таких преобразований метаморфических гранитоидов в сильно гомогенизированные реоморфические гранитоиды описаны на Алданском щите в зонах вязких тектонических разломов [7].

Фазовая диаграмма иллюстрирует, что при формировании магматических пород начинает подниматься не расплав, а преимущественно твердофазное вещество. Если бы поднимался расплав, то в малоглубинных условиях он становился бы перегретым и в приповерхностных условиях магмы попадали в поле $P_c + F$ (линия 10 на рис. 2), не содержали бы твердые фазы и были бы на сотни градусов более высокотемпературными, чем реальные природные магмы. Это противоречит господствующему предположению о формировании магм в результате отделения выплавок в слабо подплавленных породах (на первые проценты для кислых магм [9] и на десятые доли процента для кимберлитовых). Как показали расчеты [5], вязкость подплавленной на 6 % астеносферы настолько велика (10^{21} Н·с/м²), что за всю историю Земли (4,5 млрд/лет) капли пикритового расплава радиусом 1 см смогли бы всплыть в ней менее чем на 2 мм. Поэтому магомобразование не может быть обусловлено отделением выплавок. Это подтверждается автохтонностью анатектического жильного материала в мигматитах даже при содержании его более 40 % [7] и отсутствием процессов отделения расплавов в экспериментах по плавлению перидотитов менее чем на 35 % [10].

Признаки начала подъема не расплава, а смеси его с большим количеством твердых фаз указывают, что в складчатых областях магмы образовались в результате декомпрессионного и фрикционного плавления идентичных им по составу пород. Следовательно, на ранней стадии эволюции Земли существовал процесс формиро-

вания таких пород. Этим процессом могло быть только фракционирование глобального магматического океана.

К настоящему времени получено множество доказательств существования такого океана. Выделение потенциальной энергии при аккреции Земли равно 9000 кал/г. Поэтому за счет импактного тепловыделения она могла бы разогреться при образовании более чем на $30\,000^\circ$ [11]. Вследствие этого автор гипотезы ее холодной аккреции О.Ю. Шмидт [12] вынужден был предполагать, что Земля формировалась в течение более чем миллиарда лет. За это очень длительное время импактное тепло полностью терялось путем излучения в космическое пространство. Однако современные изотопные данные по метеоритам [13] показали, что аккреция произошла за несколько миллионов лет. Это подтверждается отсутствием протопланетных газово-пылевых дисков около звезд с возрастом более 10 млн лет вследствие быстрого образования в них планет [14]. Эти данные однозначно указывают на горячее образование нашей планеты. Такой вывод подтверждается существованием трендов магматического фракционирования в мантийных ксенолитах и в раннедокембрийских кристаллических комплексах, уменьшением изотопного возраста и температуры кристаллизации их различных пород в полном соответствии с последовательностью образования при фракционировании и множеством других данных [15].

Горячее образование Земли свидетельствует о существовании на ранней стадии ее эволюции слоистого глобального магматического океана и о возникновении кислой кристаллической коры путем затвердевания его верхнего кислого слоя. Большинство гранитных батолитов складчатых областей сформировалось в результате декомпрессионного и фрикционного плавления наиболее кислых частей раннедокембрийской кристаллической коры при их всплывании и тектоническом выжимании. Это подтверждается идентичностью состава мезозойских гранитоидов Верхоянского складчатого пояса с раннедокембрийскими гранитоидеями соседнего Алданского щита и очень высоким начальным отношением в них изотопов стронция (до 0,740) [16]. Большая его величина свидетельствует о длительном (около 2 млрд лет) пребывании гранитоидов в земной коре, обусловившем большое накопление в них радиоактивного стронция за счет распада радиоактивного изотопа рубидия.

В миллиарды раз большая сила взаимного притяжения намагниченных железных частиц сантиметрового размера, чем под влиянием сил гравитации, и резкая химическая неравновесность мантийных пород с металлическим железом свидетельствуют, что железные и силикатные частицы никогда не были перемешаны в недрах Земли. Ядро образовалось раньше силикатной мантии под влиянием мощных магнитных сил и имело изначально на тысячи градусов более высокую температуру [15, 17]. Это обусловило подогрев мантии ядром и объясняет возникновение в ней конвекции. Очень быстрое образование железного ядра обусловило мощное гравитационное притяжение к нему силикатного вещества и объясняет быстрое формирование планет земной группы.

Фазовая P – T -диаграмма иллюстрирует существование в магмах очень важного явления – резкого увеличения содержания твердых фаз и уменьшения количества расплава в них при подъеме в поле $Pc + Tв + \Phi$, т. е. после вскипания под влиянием декомпрессии. Наиболее сильно этот феномен проявлен в богатых летучими относительно низкотемпературных кимберлитовых магмах [17], где это поле является очень большим. Такое явление обусловлено выделением летучих компонентов из расплава в результате декомпрессии. Эти компоненты сильно способствуют плавлению, поэтому их выделение приводит к затвердеванию расплава.

При быстром подъеме кислых магм декомпрессионное затвердевание происходило путем остеклования расплава вследствие его огромной вязкости и невозможности быстрого возникновения в нем зародышей кристаллов. После быстрого декомпрессионного затвердевания верхних частей поднимающихся магматических колонн возможны два варианта их дальнейшей эволюции. Большие объемы кислых магм с большим содержанием твердых фаз имели относительно небольшую плавучесть в породах земной коры ($0,1$ – $0,4$ г/см³), прекращали свой подъем (линии 8 и 9 на рис. 2) вследствие неспособности преодолеть барьер из верхних декомпрессионно затвердевших частей магматических колонн. Нижние части этих колонн медленно затвердевали в виде гранитов. Так должны были сформироваться огромные пояса гранитных батолитов Северо-Азиатского кратона. Их верхние части обычно сложены мелкозернистыми гранит-порфирами. Структура основной массы этих частей

чаще всего аллотриоморфно-зернистая. Она, видимо, возникла вследствие раскристаллизации полужатвердевшего стекла. Более глубинные части интрузий медленно кристаллизовались и фракционировали с образованием лейкогранитов и рудоносных гидротерм. Последние возникали при появлении флюидной фазы в результате достижения магмой поля $Pc + Tв + \Phi$ в процессе субизобарического остывания.

Декомпрессионное затвердевание при подъеме объясняет резкое преобладание в батолитовых поясах гранитоидов и незначительное распространение в них кислых вулканитов. Лишь самые высокотемпературные глубинные кислые магмы при подъеме попадали в высокотемпературную часть поля $Pc + Tв + \Phi$ или в поле $Pc + \Phi$ (линии 1, 3, 7 на рис. 2). Поэтому они незначительно декомпрессионно затвердевали и формировали кислые вулканиты. Это объясняет широкое развитие этих пород в Охотско-Чукотском вулканическом поясе, в котором литосфера имела повышенную температуру вследствие фрикционного разогрева под влиянием Тихоокеанского суперплюма.

В случае значительной плавучести магмы, связанной с большой протяженностью магматической колонны повышенной глубинности, декомпрессионно затвердевшие ее части под влиянием подъема нижних частей выжимались на менее глубинный уровень. Законсервированное затвердеванием высокое внутреннее давление газовой фазы на некотором этапе подъема начинало превосходить прочность затвердевшей части колонн и вмещающих пород, что приводило к их взрывной дезинтеграции. Вследствие равномерного распределения газов в расплаве дробление могло быть очень тонким. Это объясняет раздробленность иногда даже глубинных вкрапленников. Как показали расчеты [17], сила взрывов декомпрессионно затвердевших магм средней по объему кимберлитовой трубки эквивалентна взрыву 21080 кт тротила вследствие большой массы взрывающегося вещества. Она более чем в тысячу раз превосходила мощность атомного взрыва (20 кт), погубившего Хиросиму. Это объясняет природу вулканических взрывов, большой объем возникавших кимберлитовых брекчий, туфов и диатрем и отсутствие кимберлитовых лав в Якутской кимберлитовой провинции даже в полях широкого распространения трубок.

Для объяснения природы вулканических взрывов предложены фреатомагматическая и флюид-

номагматическая гипотезы. Согласно первой, взрывы происходят в результате быстрого образования огромного количества пара при соприкосновении магм с грунтовыми водами [18]. Однако такому механизму противоречат отсутствие взрывов в многочисленных случаях излияния лав в водоемы и дробление преимущественно магматических, а не вмещающих пород. По флюидно-магматической гипотезе, взрывы происходят в результате прорыва газов, накопившихся под затвердевшими верхними частями магматических колонн [19]. Но известно, что кристаллизация магм сопровождается уменьшением объема почти на 10 % и поэтому возникновением в затвердевших породах правильной системы трещин отдельности. Сильно трещиноватые породы не могут задержать поднимающиеся магматические газы. Возникновение гидротермальных месторождений в удалении на многие километры от интрузий свидетельствует, что магматические эманации достаточно легко перемещаются в трещиноватых породах земной коры. При декомпрессионном затвердевании флюидная фаза не отделялась вследствие прочности содержащих ее пород, объем последних увеличивался при затвердевании и трещины усадки не возникали. Обе гипотезы не объясняют преимущественную связь вулканических взрывов лишь с определенными типами магм, например с кимберлитовыми. Количественные модели магм указывают, что взрывы являются неизбежным следствием консервации высокого флюидного давления в декомпрессионно затвердевших верхних частях поднимающихся колонн низкотемпературных богатых летучими магм.

Исходное вещество большинства кислых магм является конечным продуктом фракционирования верхнего кислого слоя глобального магматического океана [15]. Этим определяется повышенное содержание в них летучих компонентов и их чаще всего эволюция в пределах относительно низкотемпературного поля $P_c + T_v$ на фазовой P – T -диаграмме (см. рис. 2). В случае подъема кислых магм с большой глубины и повышенной протяженности и плавучести их колонн декомпрессионное затвердевание верхних частей не способно прекратить подъем. При выжимании этих частей избыточное давление законсервированной флюидной фазы должно приводить к их взрывной дезинтеграции с формированием твердокластических и пластичнокластических пород. К первым относятся кислые по составу туфы, ко вторым – игнимбриты. Эти породы ши-

роко распространены в Охотско-Чукотском вулканогенном поясе.

Вследствие высокой пластичности обломочный материал игнимбритов после взрыва, видимо, продолжал в большом количестве выделять газы. Это приводило к возникновению газовой подушки в основании палящих потоков и к быстрому распространению их на такой подушке на большие расстояния. Это объясняет большую подвижность палящих туч и огромную протяженность многих сформированных ими игнимбритовых пластов, их часто почти горизонтальное исходное залегание и заполнение ими углублений на земной поверхности. Благодаря пластичности и высокой температуре обломочный материал игнимбритов обычно сваривался после выпадения.

Кислые магмы содержат примерно на порядок меньше летучих компонентов и особенно углекислоты по сравнению с кимберлитовыми. Поэтому вскипание, декомпрессионное затвердевание и взрывы кислых магм происходили лишь на приповерхностных стадиях подъема, что объясняет отсутствие глубоких диатрем, заполненных продуктами взрыва кислых магм. Но их горизонтальные размеры достигают десятков километров, что связано с большим объемом этих магм.

Декомпрессионное затвердевание кислых магм при подъеме объясняет многие ранее непонятные особенности их взрывных извержений. Например, при хорошо изученном катастрофическом извержении вулкана Сент-Хеленс в 1980 г. [20] в течение нескольких месяцев до взрыва происходили мелкие землетрясения, отражающие медленный подъем декомпрессионно затвердевавшей и поэтому очень вязкой кислой магмы. Вершина вулкана деформировалась и воздымалась, но при этом не было существенного отделения вулканических газов. Это связано с консервацией их в затвердевшей части магматической колонны. Если бы не было такой консервации, то газы, вследствие их на много порядков более высокой подвижности по сравнению с расплавами, начали бы прорываться задолго до взрыва, как это происходит при извержениях декомпрессионно не затвердевавших базальтовых магм.

При первом взрыве произошел очень быстрый и мощный выброс не газов, а смеси их с мелко раздробленным стеклом, что отражает дезинтеграцию самой верхней части затвердевшей магматической колонны. В дальнейшем с интервалом в секунды происходило большое количе-

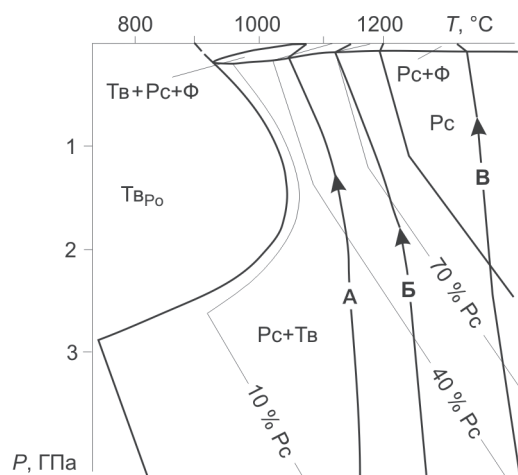


Рис. 3. P - T -диаграмма фазового состава и эволюции основных магм с 0,5 % H_2O . $T_{вP_0}$ – амфиболсодержащие твердые фазы.

Fig. 3. P - T -diagram of the phase composition and evolution of basic magmas with 0.5 % H_2O . $T_{вP_0}$ – amphibole-containing solid phases.

ство более поздних взрывов, которые по кругу окаймляли первый взрыв. Затем возникло еще одно более обширное кольцо взрывов. Очевидно, что образование этих расширяющихся колец взрывов связано с дезинтеграцией все более глубоких частей расширяющейся вниз декомпрессионно затвердевшей магматической колонны.

Размер выбрасывавшихся при взрыве частиц был очень небольшим – в основном меньше миллиметра, что отражает очень равномерное распределение и небольшой диаметр газовых пузырьков в быстро декомпрессионно затвердевшей части магматической колонны. Частицы стекла имели остроугольную форму, что связано с высокой степенью затвердевания расплава перед взрывом. Если бы магматическая колонна перед взрывом была жидкой, то частицы стекла имели бы каплеобразную форму. Взрывное извержение совершенно не сопровождалось образованием лав, что связано с декомпрессионным затвердеванием всего расплава верхних частей магматической колонны на малоглубинной стадии подъема.

Вследствие небольшого содержания летучих компонентов и очень высокой начальной температуры основные магмы чаще всего не подвергаются значительным процессам декомпрессионно-

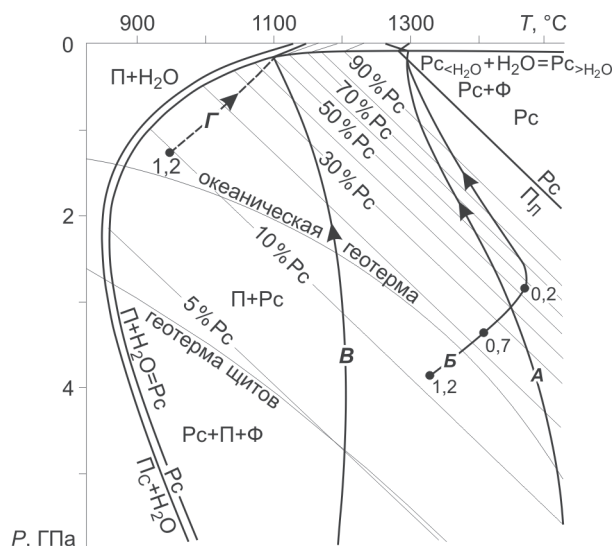


Рис. 4. P - T -диаграмма фазового состава и эволюции перidotитовых магм с 0,5 % H_2O . П – твердые фазы перidotита; А-Г – различные варианты подъема перidotитовых магм; 1,2, 0,7, 0,4 – величины избыточного давления при выжимании магм в килобарах [5].

Fig. 4. P - T -diagram of the phase composition and evolution of peridotite magmas with 0.5% H_2O . А-Г – lines of magma evolution; 1,2, 0,7, 0,4 – values of pressure excess (kb) [5].

го затвердевания и поэтому, в отличие от кислых магм, легко изливаются на земную поверхность (рис. 3). Это объясняет фундаментальное различие в размещении кислых и основных пород. Первые представлены огромным количеством интрузий, вторые залегают преимущественно в виде вулканических тел. Это различие хорошо отражает магматизм Северо-Азиатского кратона.

Обращает на себя внимание отсутствие самостоятельной флюидной фазы в магмах в глубинных высокотемпературных условиях. Особенно ярко это иллюстрируют диаграммы для основных (см. рис. 3) и перidotитовых магм (рис. 4), на которых флюидная фаза в высокотемпературных условиях отсутствует уже при давлении в сотые доли ГПа. Это подтверждается общеизвестным присутствием «пузыристости» только в верхних частях основных лавовых потоков и даек. Оно обусловлено резким уменьшением растворимости летучих компонентов в расплаве в условиях низкого давления. Из этого следует важный вывод о том, что в областях зарождения и глубинной эволюции магм отсутствует флюидная фаза. Диаграмма фазового состава перidotитов (см. рис. 4) показывает, что в мантии в глубинных условиях также не может существовать флюидная фаза. Эти выводы противоречат распростра-

ненным предположениям о ведущей роли гипотетических флюидных потоков при процессах формирования магм. В мантии нет источников флюидов. В случае же их появления неизвестным путем ее породы расплавятся и флюидная фаза полностью растворится в расплаве. Вследствие очень высокого давления в мантии не могут существовать открытые трещины и поры, поэтому в ней нет путей движения для гипотетических флюидных потоков. Изредка наблюдающееся присутствие очень мелких газовой-жидких включений в мантийных породах не доказывает присутствие флюидной фазы в мантии, как иногда предполагается. Это связано с тем, что такие включения наблюдаются в приповерхностных условиях. Как следует из P – T -диаграмм фазового состава (см. рис. 2–4), в условиях мантии они должны полностью раствориться в расплаве или в минералах под влиянием очень высоких давлений и температуры.

Генезис высокорудных гидротерм в кислых магмах

P – T -диаграмма фазового состава и эволюции кислых магм позволяет рассчитать количественную модель поведения рудных и выносящих их летучих компонентов в кристаллизующихся гранитах. Для наиболее экспериментально изученных компонентов она представлена на рис. 5. Методика ее построения и использованные экспериментальные данные приведены в [21].

На рис. 5 толстые линии $2,5\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}^\Phi$ и $0,1\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}^\Phi$ разграничивают поля разного фазового состава магм и отражают соответственно первое появление флюидной фазы при кристаллизации и полное затвердевание магм при отношении CO_2 к H_2O во флюиде 0,1, равном исходному отношению этих компонентов в магме. Сплошными тонкими линиями показаны также изоконцентраты флюида (0,2 % Ф, 0,4 % Ф) и расплава (5 % Рс, 10 % Рс и 20 % Рс), линии равных содержаний рудных и летучих компонентов и равных отношений CO_2 к H_2O во флюиде (5 моль Cl^Φ , 1 г/т Au^Φ , 1 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}^\Phi$ и др.). Штриховые линии (0,45 Cl^{Pc} , 10 мг/т Au^{Pc} и др.) – изоконцентраты летучих и рудных компонентов в расплаве.

Очень толстые изогнутые линии – P – T -условия максимумов содержаний рудных и некоторых летучих компонентов во флюиде при субизобарических кристаллизации и фракционирования магм. Они показывают области зарождения наиболее высокорудных гидротерм. Толщи-

на их пропорциональна величине максимумов, штриховые линии рассчитаны приближенно в связи с недостатком экспериментальных данных. Существование этих максимумов установлено впервые. Оно обусловлено наличием двух противоположных тенденций в магмах. При высокой температуре и низком содержании твердых фаз кристаллизация магм приводит к увеличению в остаточном расплаве концентраций большинства рудных компонентов, поскольку для них коэффициент распределения их между расплавом и твердыми фазами значительно больше единицы [22]. При достижении некоторых высоких величин концентраций начинается выделение фаз, содержащих рудные или летучие компоненты в большом количестве, например, касситерита, вольфрамиты, сульфидов, топаза. При дальнейшей кристаллизации содержание соответственно олова, вольфрама, серы, фтора в расплаве начинает уменьшаться, так как емкость образованных ими фаз в отношении соответствующих компонентов несравненно выше, чем у расплава. То есть максимумы концентраций рудных и некоторых летучих компонентов во флюиде совпадают с областями первого появления фаз, содержащих эти компоненты в большом количестве.

Существование данных максимумов позволяет объяснить многие ранее непонятные явления в гидротермальном рудообразовании. Как частично иллюстрирует диаграмма, изливающиеся на земную поверхность высокотемпературные магмы с незначительным содержанием твердых фаз теряют летучие при низкой концентрации рудных компонентов в расплаве и флюиде и в них не смогут возникнуть высокорудные гидротермы. Это объясняет обычно незначительное распространение автохтонного оруденения в кислых лавовых толщах. Если же медленная кристаллизация сопровождается отсадкой твердых фаз и происходит, например, при 0,4 ГПа, то при содержании остаточного расплава 4 % концентрация золота и хлора в нем будут соответственно в 5 и в 10 раз выше, чем в исходной магме. Хлор очень сильно повышает растворимость золота и многих других рудных компонентов во флюиде [23]. Так, при высоком окислительном потенциале (буфер Fe_2O_3 – Fe_3O_4) повышение его концентрации в этой фазе с 0,2 до 5 молей приведет к увеличению содержания золота в ней при неизменной концентрации последнего в расплаве в 100 раз, а с учетом повышения этой концентрации – в $5 \cdot 100 = 500$ раз. Этот упрощенный

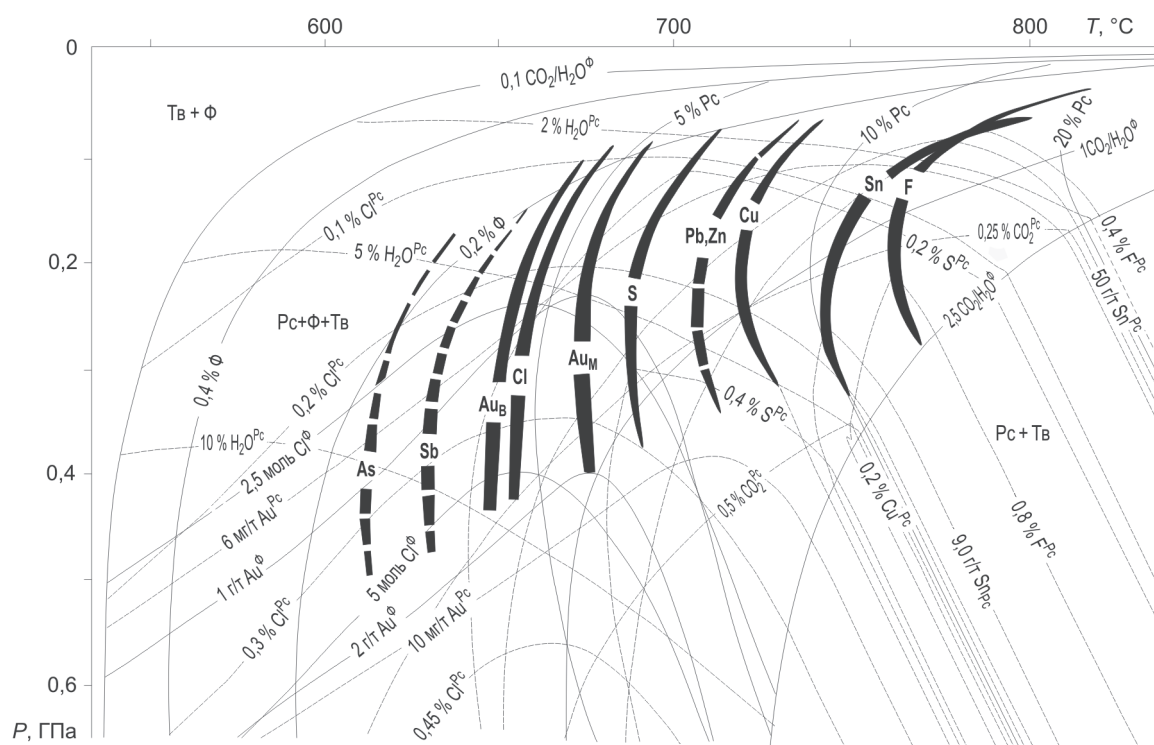


Рис. 5. P – T -диаграмма распределения рудных и летучих компонентов во фракционирующих высокотемпературных кислых магмах с исходным содержанием H_2O 1 %, CO_2 и F по 0,1 %, Cl 0,03 %, S 0,05 %, Sn 10 г/т, Au 0,002 г/т, Cu и Pb по 2 г/т, Zn 6 г/т, Sb 0,2 г/т, As 0,15 г/т при коэффициентах распределения этих компонентов между расплавом и твердыми фазами соответственно 2; 2; 10; 2; 4; 5; 1; 5; 2; 2; 5; 5 [21]. Толстые изогнутые линии – условия отделения наиболее высоко рудоносных гидротерм.

Fig. 5. P – T -diagram of distribution of ore and volatile components in acid magmas with 1 % H_2O , 0.1 % CO_2 , 0.1 % F , 0.03 % Cl , 0.05 % S , 10 g/t Sn , 0.002 g/t Au , 2 g/t Cu , 2 g/t Pb , 6 g/t Zn , 0.2 g/t Sb , 0.15 g/t As . Coefficients of distribution of these components between melt and solid phases were accepted accordingly 2, 2, 10, 2, 4, 5, 1, 5, 2, 2, 5, 5 [21]. Solid bend lines – conditions of origin of ore hydrothermas.

расчет наглядно иллюстрирует существование тенденции резкого повышения рудоносности гидротерм с увеличением глубины их отделения от кристаллизующихся магм.

Эта тенденция объясняет обычно наблюдающуюся небольшую рудоносность малоглубинных частей интрузий и связь богатого оруденения с глубинными их частями. Л.В. Таусон [24] сформулировал это следующим образом "...как показывает геологическая практика, максимальный промышленный эффект связан с рудными телами, возникавшими за счет гидротермальных растворов, генерируемых в нижних камерах низкотемпературных расплавов" (с. 248). Такое явление различные исследователи объясняли отжиманием растворов вниз по мере кристаллизации верхних частей интрузий или притоком в нижние части последних богатых рудными компонентами флюидов из мантии. Но

отжимание легкого флюида в магмах вниз и зарождение гидротерм в сухой высокотемпературной мантии с физико-химической точки зрения нереальны. Рассчитанная диаграмма свидетельствует о том, что высокая рудоносность глубинных гидротерм связана с появлением и отделением флюида в остывающих при высоком давлении кислых магмах на поздней стадии кристаллизации, когда в последних остаточных расплавах достигались высокие концентрации рудных и выносящих их летучих компонентов.

Положение максимумов для различных компонентов на диаграмме различно. Из их распределения следует, что с увеличением глубины отделения гидротерм должна закономерно изменяться рудная специализация последних за счет возрастания роли компонентов с низким исходным содержанием в магме, с малыми коэффициентами накопления в остаточных расплавах

и с высокими концентрациями насыщения. Будет расти средняя удаленность сформированного ими оруденения от вскрытых частей гранитных интрузий, что вместе с изменяющейся их рудной специализацией приведет к формированию рудной зональности рудно-магматических узлов. Должен уменьшаться его возраст, вследствие повышенной длительности кристаллизации магм в глубинных условиях, и понижаться температура его образования, вследствие остывания гидротерм при длительном подъеме. Эти явления присущи рудно-магматическим узлам Восточной Якутии. Оловянные и вольфрамовые месторождения обычно обнаруживают тесную пространственную связь с гранитными интрузиями [26]. Для золотого и сурьмяного оруденения эта связь менее выражена и существуют признаки зарождения их гидротерм в более глубинных условиях.

В первой половине прошлого столетия была широко распространена гипотеза В.Х. Эммонса о связи рудной зональности с изменением состава остывающих растворов по мере удаления их от интрузии. Но этой гипотезе противоречат данные о существенно более молодом возрасте оруденения внешних зон по сравнению с внутренними. Поэтому С.С. Смирнов [25] выдвинул пульсационную гипотезу происхождения рудной зональности и стадийности рудообразования, связывая их с периодическим отделением из магм гидротерм разного состава при открытии рудопроводящих трещин в процессе тектонических движений. Однако причина изменения состава гидротерм была недостаточно ясной. Полученные результаты свидетельствуют, что эти изменения состава гидротерм являются следствием существования различных по T и P максимумов концентраций рудных компонентов во флюиде кристаллизующихся магм и последовательного достижения этих максимумов фронтом появления и отделения флюидной фазы в кристаллизующихся интрузиях.

Диаграмма на рис. 5 показывает, что при субизобарической кристаллизации магм состав отделяющихся гидротерм должен последовательно проходить через максимумы концентраций олова (и вольфрама), меди, цинка, свинца, серы, золота, сурьмы и мышьяка. Очевидно, что просачивание гидротерм по одним и тем же каналам приведет к стадийному отложению этих компонентов. Рассчитанная последовательность рудоотложения соответствует природной и поэтому хорошо объяс-

няет ее происхождение. При разных изобарических сечениях диаграммы последовательность достижения максимумов концентраций во флюиде при кристаллизации магм остается примерно одинаковой, хотя величины этих максимумов различаются. Это является причиной, казалось бы, парадоксального факта близости стадий рудообразования на связанных с гранитоидами разнометалльных месторождениях – вольфрамовых, оловянных, полиметаллических, золоторудных.

Отделение разнометалльных гидротерм от фракционирующей гранитной магмы с образованием хорошо выраженной рудной зональности возможно в основном в случае пологонаклонного залегания интрузий и является редко встречающимся вариантом. Чаще всего главная масса гидротерм должна отделяться на уровне существующих в кровле интрузий куполов и выступов, куда всплывал остаточный расплав и где происходило отделение от него флюида. Состав и рудная специализация формировавшихся гидротерм определялись значениями изоконцентрат рудных компонентов во флюиде на диаграмме на уровне глубинности куполов, а их объем и количество вынесенных компонентов – объемом магм, расположенных ниже купола. Видимо, это является главной причиной неполноты проявления зональности гидротермального оруденения вокруг большинства интрузий и широкого развития лишь отдельных типов оруденения. Вследствие всплывания остаточного расплава во фракционирующих магмах в крупных субвертикальных интрузиях с четко выраженной куполообразной формой кровли летучие всего огромного объема магмы должны отделяться на уровне этой кровли с формированием уникально крупных месторождений. Для таких интрузий не характерны мелкие месторождения и рудопроявления. На локализацию оруденения большое влияние оказывает структура вмещающих пород и положение геохимических и структурных барьеров.

В наиболее низкотемпературных и глубинных мигмах реоморфических гнейсо- и мигматит-гранитов, вследствие их высокой вязкости, почти не происходили процессы эманационной и кристаллизационной дифференциации. Это является одной из причин безрудности огромных полей реоморфических гранитоидов в метаморфических комплексах Алданского щита.

Возрастание первичной температуры, глубины зарождения и средней основности магм с уменьшением геотермических градиентов при

переходе от подвижных складчатых зон с тонкой литосферой к устойчивым жестким областям приводили в соответствии с рассмотренными выше закономерностями к увеличению разнообразия гидротермального оруденения, к уменьшению в среднем глубинности его зарождения, к возрастанию содержания в нем серы и халькофильных компонентов. Обычно выдержанность величин геотермических градиентов и магомгенерирующих тектонических деформаций в земной коре на больших площадях является причиной огромной протяженности многих однотипных по составу и фациальности магматических поясов и связанных с ними металлогенических провинций.

Заключение

Таким образом, рассчитанные количественные модели фазовой эволюции магм выявили существование неизвестных и малоизвестных явлений. В глубинных условиях в большинстве магм отсутствует самостоятельная флюидная фаза вследствие полного растворения содержащихся летучих компонентов в расплаве под влиянием высокого давления. Это свидетельствует, что гипотетические флюидные потоки не могли быть причиной магомобразования.

Под влиянием высокого давления в магмах сильно увеличивается содержание твердых фаз. Поэтому в глубинных условиях они представлены не расплавом, а смесью его с твердыми фазами при количественном преобладании последних. Следовательно, магмы образовались не путем отделения выплавов в слабо подплавленных породах, а путем декомпрессионного и фрикционного плавления этих пород при всплывании и выжимании их в верхние уровни земной коры. Породы, идентичные по составу кислым и другим магмам, возникли в результате фракционирования глобальной океана магмы на ранней истории Земли.

Относительно низкотемпературные богатые летучими компонентами магмы на малоглубинной стадии подъема после вскипания подвергались интенсивным процессам декомпрессионного затвердевания. Законсервированное затвердеванием высокое давление флюидной фазы приводило к эксплозивной дезинтеграции затвердевших частей магматических колонн и объясняет природу вулканических взрывов.

С увеличением давления флюидная фаза появляется на все более поздних стадиях кристаллизации магм, когда в остаточном расплаве все больше накапливаются рудные и выносящие их

летучие компоненты. Это приводит к образованию высокорудоносных гидротерм. С уменьшением исходного содержания рудных компонентов в магмах в среднем увеличивается глубина образования богатых ими гидротерм, уменьшается их температура и возраст сформированного ими оруденения. Их последовательный подъем приводит к возникновению стадийности формирования гидротермального оруденения и к зональности его размещения вокруг интрузий.

Литература

1. Luth W.S., Jahns R.N., Tuttle O.F. The granite system at pressure of 4 to 10 kilobars // J. Geophys. Res. 1964. V. 69. P. 759–773.
2. Merrill R.B., Robertson J.K., Wyllie P.J. Melting relations in the system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 - \text{KAlSi}_3\text{O}_8 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ to 20 kbars compared with results for other feldspar – quartz – H_2O and rock – H_2O system // J. Geol. 1974. V. 78. P. 558–569.
3. Huang W.L., Wyllie P.J. Melting relations in the system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 - \text{KAlSi}_3\text{O}_8 - \text{SiO}_2$ to 35 kilobars, dry and with excess water // J. Geol. 1975. V. 83. P. 737–748.
4. Рябчиков И.Д. Термодинамика флюидной фазы гранитоидных магм. М.: Наука, 1975. 215 с.
5. Шкодзинский В.С. Фазовая эволюция магм и петрогенезис. М.: Наука, 1985. 232 с.
6. Mysen B.O., Eggler D.H., Seitz M.G., Holloway J.R. Carbon dioxide in silicate melts and crystals. 1. Solubility measurements // Amer. J. Sci. 1976. V. 276, N 4. P. 455–479.
7. Шкодзинский В.С. Проблемы физико-химической петрологии и генезиса мигматитов (на примере Алданского щита). Новосибирск: Наука, 1976. 224 с.
8. Кадик А.А., Френкель М.Я. Декомпрессия пород коры и мантии как механизм образования магм. М.: Наука, 1982. 120 с.
9. Грин Д.Х. Состав базальтовых магм как критерий условий их возникновения при вулканизме // Петрология изверженных и метаморфических пород дна океана. М.: Мир, 1973. С. 242–261.
10. Arndt N.T. The separation of magmas from partially molten peridotite // Carnegy Inst. Wash. Yarb. 1977. V. 76. P. 424–428.
11. Рингвуд А.Е. Происхождение Земли и Луны. М.: Недра, 1982. 294 с.
12. Шмидт О.Ю. Происхождение Земли и планет. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 132 с.
13. Галимов Э.М. Образование Луны и Земли из общего суперпланетного газово-пылевого сгущения // Геохимия. 2011. № 6. С. 563–580.
14. Рузмайкина Т.В. Протопланетный диск: от идеи захвата к теории происхождения // Физика Земли. 1991. № 8. С. 5–14.
15. Шкодзинский В.С. Глобальная петрология по современным данным о горячей гетерогенной аккреции Земли. Якутск: Изд. СВФУ, 2018. 244 с.

16. Шкодзинский В.С., Недосекин Ю.Д., Сурнин А.А. Петрология позднемезозойских магматических пород Восточной Якутии. Новосибирск: Наука, 1992. 237 с.
17. Шкодзинский В.С. Петрология литосферы и кимберлитов (модель горячей гетерогенной аккреции Земли). Якутск: Изд. СВФУ, 2014. 452 с.
18. Lorenz V., Kurzlaukis S. Kimberlite pipes: growth models and resulting implications for diamond exploration // 8th International Kimberlite Conference. Long Abstract. Victoria, Canada, 2003.
19. Skinner E.M., Marsh J.S. Kimberlite eruption processes // 8th International Kimberlite Conference. Long Abstract. Victoria, Canada, 2003.
20. Eichelberg J.C., Hayes D.V. Magmatic model for mount St. Helens blast of may 18, 1980 // J. Geophys. Res. 1982. V. B87, N 9. P. 37–49.
21. Шкодзинский В.С. Проблемы глобальной петрологии. Якутск: Сахаполиграфиздат, 2003. 240 с.
22. Антипин В.С., Коваленко В.И., Рябчиков И.Д. Коэффициенты распределения редких элементов в магматических породах. М.: Наука, 1984. 254 с.
23. Глюк Д.С. Экспериментальные исследования по геологии золота в магматическом и гидротермальном процессах // Условия образования рудных месторождений. М.: Наука, 1986. С. 706–710.
24. Таусон Л.В. Геохимические типы и потенциальная рудоносность гранитоидов. М.: Наука, 1977. 279 с.
25. Смирнов С.С. Избранные труды. М.: Наука, 1986. 248 с.
26. Флеров Б.Л. Оловорудные месторождения Яно-Колымской складчатой области. М.: Наука, 1976. 283 с.

Поступила в редакцию 25.11.2019

Принята к публикации 15.01.2020

Об авторе

ШКОДЗИНСКИЙ Владимир Степанович, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, Россия, 677980, г. Якутск, пр. Ленина, 39, <https://orcid.org/0000-0001-7749-1264>, shkodzinskiy@diamond.ysn.ru.

Информация для цитирования

Шкодзинский В.С. Количественная модель и петрология кислых магм, генезис рудоносных гидротерм // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2020, Т. 25, № 1. С. 7–19. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-1-1>

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

Quantitative model and petrology of acid magmas, genesis of ore-bearing hydrotherms

V.S. Shkodzinskiy

Diamond and Precious Metal Geology Institute, SB RAS, Yakutsk, Russia
shkodzinskiy@diamond.ysn.ru

Abstract. Magma models calculated for the first time show that under the deep conditions the fluid phase is absent in them as a consequence of its dissolution in the melt under high pressure. This points to the absence of fluid torrents in the regions of magma formation. Under these conditions, the content of solid phases in magmas increases sharply, which contradicts the hypothesis concerning magma formation as a result of partial melting and points to its origin as a result of friction and decompression remelt of the rocks of identical composition. These rocks originated from the fractionation of the global magma ocean at the early stage of the Earth's evolution. Relatively low-temperature magmas at the late stage of lifting were solidified as a result of decompression release of the fluid phase in them. The high pressure of this phase, conserved due to solidification, caused disintegration of the upper parts of magmatic columns and explains the nature of volcanic explosions. With pressure rise, the fluid phase appears at later stages of magma crys-

tallization, when the residual melts accumulate ores and volatile components carrying them. This explains the genesis of ore-bearing hydrotherms.

Key words: quantitative magma models, volcanic explosions, ore-bearing hydrotherms.

Acknowledgements. This article was prepared according to the plan of the research and development work of IGABM SB RAS, project No. 0381-2019-0003.

References

1. Luth W.S., Jahns R.N., Tuttle O.F. The granite system at pressure of 4 to 10 kilobars // J. Geophys. Res. 1964. V. 69. P. 759–773.
2. Merril R.B., Robertson J.K., Wyllie P.J. Melting relations in the system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 - \text{KAlSi}_3\text{O}_8 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ to 20 kbars compared with results for other feldspar – quartz – H_2O and rock – H_2O system // J. Geol. 1974. V. 78. P. 558–569.
3. Huang W.L., Wyllie P.J. Melting relations in the system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 - \text{KAlSi}_3\text{O}_8 - \text{SiO}_2$ to 35 kilobars, dry and with excess water // J. Geol. 1975. V. 83. P. 737–748.
4. Rjabchikov I.D. Termodinamika fluidnoi fazy granitoidnyh magm. M.: Nauka, 1975. 215 p.
5. Shkodzinskiy V.S. Fasovaya evoluzia magm i petrogenesis. M.: Nauka, 1985. 232 p.
6. Mysen B.O., Eggler D.H., Seitz M.G., Holloway J.R. Carbon dioxide in silicate melts and crystals. 1. Solubility measurements // Amer. J. Sci. 1976. V. 276, N 4. P. 455–479.
7. Shkodzinskiy V.S. Problemy fisiko-himicheskoi petrologii i genesis migmatitov (na primere Allanskogo Shchita). Novosibirsk: Nauka, 1976. 224 p.
8. Kadik A.A., Frenkel M.Ja. Dekompressia porod kory i mantii kak mechanism obrasovaniya magm. M.: Nauka, 1982. 120 p.
9. Green D.X. Sostav basaltovyh magm kak kriteriy usloviy ih vosnikoveniya pri vulkanizme // Petrologia isvergennyh i metamorficheskikh porod dna okeana. M.: Mir, 1973. P. 242–261.
10. Arndt N.T. The separation of magmas from partially molten peridotite // Carnegie Inst. Wash. Yarb. 1977. V. 76. P. 424–428.
11. Ringwood A.E. Proishogdenie Zemli i Luny. M.: Nedra, 1982. 294 p.
12. Schmidt O.Ju. Proishogdenie Zemli i planet. M.: Izd-vo AN SSSR, 1962. 132 p.
13. Galimov E.M. Obrasovanie Luny i Zemli is obshchego superplanetnogo gaso-pylevogo sgushcheniya // Geohimija. 2011. N 6. P. 563–580.
14. Rusmaikina T.V. Protoplanetnyi disk: ot idei zahvata k teorii proishogdeniya. // Fisika Zemli. 1991. N 8. S. 5–14.
15. Shkodzinskiy V.S. Globalnaya petrologia po sovremennym dannym o gorjachei heterohennoi akkrezii Zemly. Yakutsk: Isd. SVFU, 2018. 244 p.
16. Shkodzinskiy V.S., Nedosekin Ju.D., Surnin A.A. Petrologiya pozdnemesosoiiskikh magmticheskikh porod Vostochnoi Jakutii. Novosibirsk: Nauka, 1992. 237 p.
17. Shkodzinskiy V.S. Petrologia litosfery i kimberlitov (model gorjachei geterogennoi akkrezii Zemly). Yakutsk: Isd. SVFU, 2014. 452 p.
18. Lorenz V., Kurzlaukis S. Kimberlite pipes: growth models and resulting implications for diamond exploration // 8th International Kimberlite Conference. Long Abstract. Victoria, Canada, 2003.
19. Skinner E.M., Marsh J.S. Kimberlite eruption processes // 8th International Kimberlite Conference. Long Abstract. Victoria, Canada, 2003.
20. Eichelberg J.C., Hayes D.V. Magmatic model for mount St. Helens blast of may 18, 1980 // J. Geophys. Res. 1982. V. B87, N 9. P. 37–49.
21. Shkodzinskiy V.S. Problemy globalnoi petrologii. Yakutsk: Sahapoligrafisdat, 2003. 240 p.
22. Antipin V.S., Kovalenko V.I., Rjabchikov I.D. Koefitsienty raspredeleniya redkikh elementov v magmaticheskikh porodah. M.: Nauka, 1984. 254 p.
23. Gljuk D.S. Eksperimentalnye issledovaniya po geologii zolota v magmaticheskom i gidrotermalnom prozessah // Usloviya obrasovaniya rudnyh mestorogdenii. M.: Nauka, 1986. P. 706–710.
24. Tauson L.V. Geohimicheskie tipy i potentsialnaya rudonosnost granitoidov. M.: Nauka, 1977. 279 p.
25. Smirnov S.S. Izbrannyye trudy. M.: Nauka, 1965. 248 p.
26. Flerov B.L. Olovorydnye mestorogdeniya Jano-Kolymskoi skladchatoi oblasti. M.: Nauka, 1976. 283 p.

About the author

SHKODZINSKIY Vladimir Stepanovich, dr. sci. in geology and mineralogy, leading researcher, Diamond and Precious Metal Geology Institute, SB RAS, Russia, 677980, Yakutsk, Lenin ave., 39, <https://orcid.org/0000-0001-7749-1264>, shkodzinskiy@diamond.ysn.ru.

Citation

Shkodzinskiy V.S. Quantitative model and petrology of acid magmas, genesis of ore-bearing hydrothermas // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2020, Vol. 25, N 1. P. 7–19. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-1-1>

К вопросу об эрозионном срезе кимберлитов Алакит-Мархинского рудного поля

Н.И. Горев^{1*}, Н.К. Шахурдина¹, Р.Ф. Салихов², Е.В. Проценко¹

¹Научно-исследовательское геологическое предприятие (НИГП) АК «АЛРОСА» (ПАО), Мирный, Россия

²Вилуйская геологоразведочная экспедиция (ВГРЭ) АК «АЛРОСА» (ПАО), п. Айхал,
Республика Саха (Якутия), Россия

*GorevNI@alrosa.ru

Аннотация. Эрозионный срез кимберлитовых тел и вмещающих пород является одним из прогностико-поисковых критериев коренных месторождений алмазов Западной Якутии. Глубина размытия и интенсивность процессов выветривания кимберлитов определяют масштабы и качество россыпной алмазности и контрастность ореолов минералов-спутников – прямых поисковых признаков месторождений. Материалом для ретроспективного анализа Алакит-Мархинского рудного поля послужила имеющаяся информация по геологии района: стратиграфии, тектонике, палеогеографии, изотопному и палеонтологическому датированию кимберлитов, каротажным исследованиям и др. Рассмотрена методика исследований и анализа специализированных тектонических карт и схем, позволяющих определять величину эрозионного среза погребенных кимберлитовых полей и месторождений. Показано, что палеогеологические реконструкции, реализованные на основе крупномасштабных картографических материалов с использованием данных каротажа, позволяют с точностью от ± 5 до ± 100 м (до 10–20 % величины денудации) вычислять уровень эрозионного среза кимберлитов и вмещающих пород. Установлено, что эрозионный срез Алакит-Мархинского рудного поля увеличивается в восточном направлении от 325 до 500 м. Подтверждается существование в среднем палеозое двух эпох кимберлитового магматизма, при этом позднедевонско-раннекаменноугольные кимберлиты отличаются от позднесилурийско-раннедевонских большей величиной денудации, сравнимой с реконструированной мощностью отложений девона.

Ключевые слова: кимберлит, Западная Якутия, палеотектоника, эрозионный срез, ксенолит, критерии и признаки, месторождение, алмаз.

Введение

Прогнозирование и поиски коренных месторождений алмазов в «закрытых» районах Западной Якутии базируются преимущественно на эмпирическом подходе, основанном на выявлении разноранговых алмазоносных объектов по комплексу признаков и предпосылок [1–3]. Немаловажная роль при этом принадлежит тектоническим критериям. К их числу относятся не только рудовмещающие и рудоконтролирующие структуры и их парагенезисы, но и величина денудации кимберлитовых тел, влияющая на их размеры, а также на объем и качество минералов-спутников алмаза (МСА).

Методы исследований

Уровень эрозионного среза кимберлитовых тел определяется различными методами – морфогенетическим анализом диатрем, изменением не-

которых особенностей их вещественного состава с глубиной и пр. Наиболее точным для среднепалеозойских кимберлитов Западной Якутии считается метод палеогеологических (палеотектонических) реконструкций.

На первом этапе палеотектонические исследования осуществлялись в региональном масштабе с целью определения величины денудации кимберлитов и отражали лишь общие тенденции в изменении уровня эрозионного среза либо проводились для отдельных трубок и характеризовали усредненную величину их денудации. При этом тренд в изменении былой мощности перекрывающих пород по латерали зачастую не учитывался, а точность стратиграфической привязки поверхности кимберлитовых тел по вертикали определялась мощностью вмещающих свит, составляющей десятки метров.

Новые данные по геологии Далдыно-Алакитского алмазонасного района (ДААР), полученные при проведении алмазопроисловых работ в последнее десятилетие, позволяют нам избавиться от многих перечисленных недостатков и внести необходимые коррективы в расчеты и построения. Следует также иметь в виду, что эрозионный срез кимберлитовых тел не всегда сопоставим с полной реконструированной мощностью рудовмещающих пород по следующим причинам:

1) кимберлитовые тела и их отдельные фазы могли внедряться в разное время (в несколько циклов), когда средне- и нижнепалеозойские отложения были уже в той или иной мере разрушены и эродированы;

2) одновременно внедрившиеся кимберлитовые тела при расчлененном рельефе имели разный гипсометрический уровень поверхности. Одни располагались в долинах рек и в низинах,

другие – на водоразделах, а следовательно, срезались на разную величину;

3) нижнепалеозойские (ордовикские и силурийские), как и среднепалеозойские кимберлиты ранней эпохи (позднесилурийско-раннедевонские) могли быть погребены под нижне- и среднепалеозойскими отложениями, которые являются по отношению к ним перекрывающими, и, следовательно, их мощность не следует учитывать при расчете величины размыва кимберлитов. То есть эрозионный срез конкретного кимберлитового тела правомерно отождествлять с реконструированной мощностью отложений, ксенолиты которых оно содержит.

Оценка величины денудационного среза различных регионов Западной Якутии, включая территории расположения кимберлитовых полей, по мелкомасштабным геологическим, тектоническим картам и схемам проводилась ранее (табл. 1). Существенные расхождения в оценке

Таблица 1

Денудационный срез кимберлитовых полей ЯАП из разных источников

Table 1

Denudation section of kimberlite fields of the YaDP from different sources

Источник сведений	Кимберлитовое поле							
	Мирнинское (Малоалоботубинское)	Алакит-Мархинское (Алакитское)	Далдынское	Верхнемунское	Чомурдахское	Зап.-Укуйское, Вост.-Укуйское, Огонер-Юряхское	Мерчимденское	Толуопское, Куойско-Молодинское
Брахфогель Ф.Ф., 1984 [4]	300 ±50	650 ±50	950 ±70	1300 ±200	1600 ±300	1600 ±300	1700 ±350	1900 ±350
Алмазные месторождения... 1959 [5]	100–150	Сотни метров	–	–	–	–	–	–
Михайлов М.В., Гридасов Н.В., 1963 [6]	500–600	Сотни метров	–	–	–	–	–	–
Рожков И.С., 1964 [7]	200–350	200	500	Возрастание				1500– 2000
Милашев В.А., 1965 [8]		300	До 680		150–350		–	–
Леонов Б.Н. и др., 1966 [9]	–	–	–	200– 300	200– 300	100– 300	200– 300	500– 700
Алмазонасные россыпи..., 1967 [10]	325	–	–	200– 300	200– 300	100– 300	200– 300	–
Отнюков Н.И., 1971 [11]	80–120	270–310	580–600	–	–	–	–	–
Данные Михайлова М.В., Харьбузова Л.С.	500–600	400		250	800		700	450

эрозионного среза отдельных кимберлитовых полей обусловлены, в основном, эпохами их формирования, принимаемыми авторами. Среднепалеозойские поля, как правило, размыты значительно, чем мезозойские, хотя бывают и исключения.

В данной работе выполнены детальные реконструкции величины эрозионного среза центральной, преимущественно закрытой, части Алаakit-Мархинского кимберлитового поля (АМКП). Для установления величины размыва кимберлитовых тел необходимы сведения об их возрасте и мощности эродированных (реконструированных) рудовмещающих пород.

Возраст кимберлитов

В палеозойской истории Центрально-Сибирской алмазоносной субпровинции кимберлитовый магматизм приурочен к трем палеотектоническим нишам: 1 – поздний ордовик; 2 – поздний силур–ранний девон; 3 – поздний девон–ранний карбон. Палеотектонические ниши – это эпохи длительного устойчивого воздымания обширных участков древних платформ, которым соответствуют периоды активизации кимберлитового магматизма [12–16]. Нижние алмазоносные ниши подтверждаются перерывами в осадконакоплении, установленными по геолого-стратиграфии.

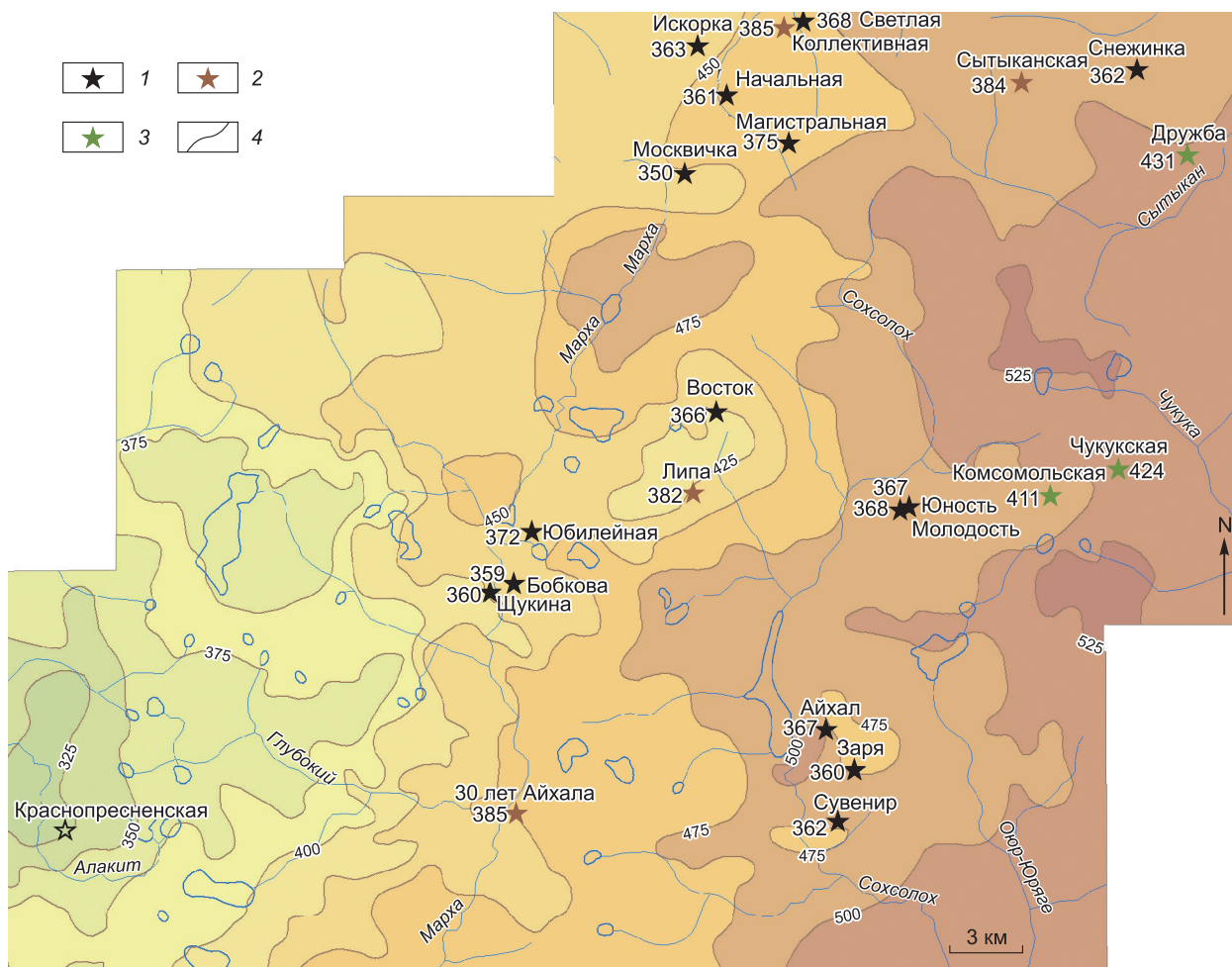


Рис. 1. Схема эрозионного среза рудовмещающих отложений центральной части Алаakit-Мархинского кимберлитового поля.

1–3 – коренные месторождения алмазов и кимберлитовые трубки, их названия: 1 – позднедевонско-раннекаменноугольного возраста, 2 – среднедевонского возраста, 3 – позднесилурийско-раннедевонского возраста; 4 – изопахиты эродированных рудовмещающих отложений и кимберлитовых тел позднедевонско-раннекаменноугольной эпохи, м.

Fig. 1. Scheme of erosion section of ore-bearing deposits of central part of the Alakit-Marxinsky kimberlite field.

1–3 – primary diamond deposits and kimberlite pipes, names: 1 – Late Devonian-Early Carboniferous, 2 – Middle Devonian, 3 – Late Silurian-Early Devonian; 4 – isopachs of eroded ore-bearing deposits and kimberlite bodies of the Late Devonian-Early Carboniferous era, m.

ческим данным, а их потенциальная алмазоносность – немногочисленными абсолютными датировками отдельных кимберлитовых тел. Верхняя, позднедевонско-раннекаменноугольная ниша является наиболее масштабной и достоверной, подтвержденной не только многочисленными датировками кимберлитовых тел соответствующего возраста, но и продуктами их разрушения.

Геологический возраст кимберлитовых тел определяется по комплексу данных. При этом наиболее важную роль играет их стратиграфическое положение. Точность метода зависит от полноты разреза рудовмещающих и перекрывающих пород, а также от детальности их расчленения. Стратиграфический возраст кимберлитовых тел АМКП, исходя из того, что они прорывают отложения ордовика и нижнего силура, а их большая часть перекрыта отложениями среднего–верхнего карбона, определяется в интервале нижний силур–средний карбон. При слабой геологической изученности, отсутствии отложений, близсинхронных кимберлитам, что не позволяет с требуемой точностью определить их возрастную принадлежность, она устанавливается другими способами. К наиболее распространенным относятся абсолютное (радиологическое) датирование кимберлитовых пород и палеонтологическое изучение ксенолитов из кимберлитов.

Изотопное датирование кимберлитов. В настоящее время наиболее полная информация по абсолютному возрасту кимберлитов ЯАП собрана в цифровой базе данных НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО), в которой имеются материалы по 962 кимберлитовым телам. Все изотопные методы датирования кимберлитовых и родственных им пород обладают как достоинствами, так и недостатками. Главный их недостаток – не всегда геологически достоверный возраст, зачастую варьирующий в широком диапазоне. Наиболее надежными для кимберлитов считаются радиологические Rb–Sr и U–Pb-датировки.

Анализ радиологического датирования 23 кимберлитовых тел АМКП, включая месторождения трубок Юбилейная, Айхал, Сытыканская и Комсомольская показал, что поле в целом относится к среднепалеозойской эпохе. Основная масса изотопных данных приходится на интервал 350–385 млн лет. Наиболее древние датировки, отвечающие раннему девону – силуру, имеют трубки Комсомольская – 411 млн лет, Чукукская – 424 млн лет, Дружба – 431 млн лет [13, 17] (рис. 1).

Ксенолиты осадочных пород в кимберлитовых телах также являются возрастным репером.

Они встречаются достаточно часто, хотя в последние десятилетия объем этих исследований заметно сократился. Следует отметить высокую информативность микрофауны и особенно конодонтов [18, 19]. При определении границ систем, отделов и ярусов, корреляции толщ и решении других вопросов стратиграфии палеозоя (от среднего кембрия до среднего карбона) конодонты являются руководящей группой.

Анализ материала позволяет относить АМКП к полихронным полям, формировавшимся в основном в позднедевонско-раннекаменноугольную эпоху, но однозначно, по мнению Э.А. Шамшиной [12], имеющим тела позднесилурийской–раннедевонской эпохи. Полихронность кимберлитовых тел в отдельных полях поддерживается многими исследователями [4, 13, 20].

Реконструкция разреза кимберлитовмещающих отложений

Наиболее полная палеонтологически подтвержденная реконструкция средне-нижнепалеозойских пород, вмещающих среднепалеозойские кимберлиты ЯАП, выполнена Ф.Ф. Брахфогелем [4]. В пределах АМКП, учитывая быстрое развитие отложений ордовика, силура и девона, установленных в ксенолитах из кимберлитов, их мощность оценивалась в 650 ± 50 м. Основанием для уточнения эрозионного среза АМКП послужили следующие причины. Эрозионный срез кимберлитовых полей ЯАП по разным источникам существенно различается (см. табл. 1). Кроме того, для корректного определения уровня денудации конкретного кимберлитового тела требуется непрерывная (площадная) информация о ее величине в пределах поля, которая в настоящее время отсутствует. К примеру, мощность размытых отложений нижнего силура и, как следствие, эрозионный срез кимберлитов на западной и восточной окраинах АМКП различается приблизительно на 200 м. Уничтоженные эрозией толщи по надежности и точности реконструкций разделены на два типа: достоверные и низко достоверные (рис. 2).

Достоверные реконструкции (ближняя корреляция разрезов) выполнены по детально изученным разрезам ордовика и нижнего силура, сохранившимся в пределах АМКП и участка Среднеморкокинский (см. рис. 2). Точность таких реконструкций составляет ± 5 м, а с учетом интерполяции, суммирования и осреднения мощностей может снижаться до ± 25 м. Высокая достоверность реконструкций отложений ордовика и

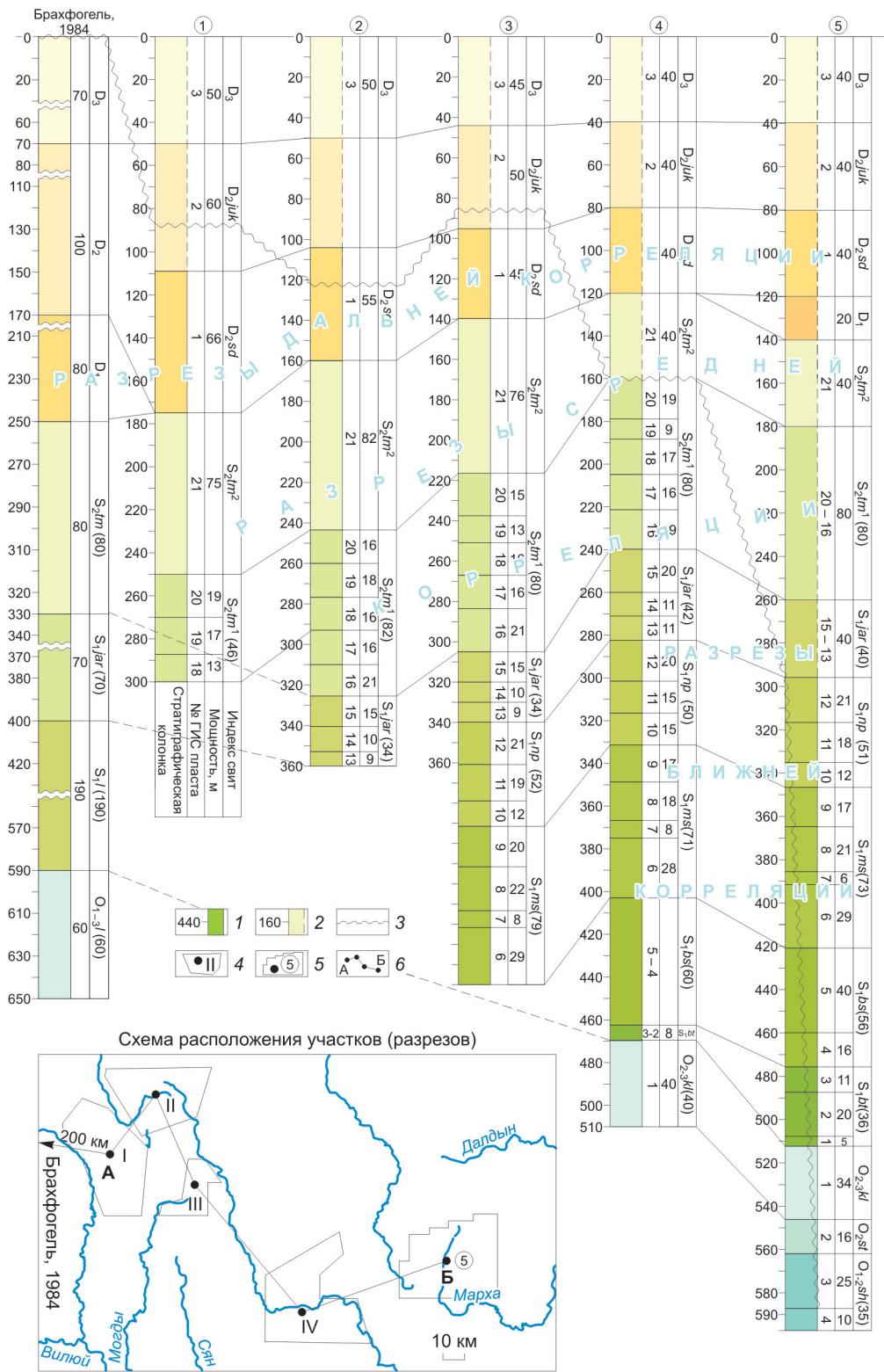


Рис. 2. Корреляция разрезов нижнего и среднего палеозоя Далдыно-Алакитского алмазоносного района и реконструкция рудовмещающих отложений Алакит-Мархинского кимберлитового поля.

1, 2 – разрезы: 1 – вскрытые скважинами; 2 – реконструированные; 3 – современное положение верхнепалеозойской поверхности несогласия.

На врезке схема расположения участков (разрезов): 4 – контуры участков, изученных в последние десятилетия бурением в комплексе с ГИС (I – Могдинский, II – Верхне-Томбинский, III – Верхнеморкокинский, IV – Среднеморкокинский); 5 –

центральная, преимущественно погребенная часть Алаakit-Мархинского кимберлитового поля; 6 – линия палеогеологического профиля А-Б.

Fig. 2. Correlation of sections of the Lower and Middle Paleozoic of the Daldyno-Alakitsky diamondiferous region and reconstruction of ore-bearing deposits of the Alakit-Markhinsky kimberlite field.

1, 2 – sections: 1 – opened by boreholes, 2 – reconstructed; 3 – current position of the Upper Paleozoic surface of dissonant. Sidebar. Layout of sites (sections): 4 – contours of sites studied in recent decades by drilling in complex with GRB: I – Mogdinsky, II – Verkhne-Tombinsky, III – Verkhnemorkokinsky, IV – Srednemorkokinsky; 5 – central mostly buried part of the Alakit-Markhinsky kimberlite field; 6 – line of paleogeological profile A-B.

силура в пределах поля достигается благодаря их детальному стратиграфическому расчленению с использованием геофизических исследований скважин (ГИС) на пачки (пласты) мощностью первые десятки метров, с точностью до 1 м.

Кимберлитовмещающие породы на площади АМКП, выходящие на поверхность несогласия с перекрывающими верхнепалеозойскими отложениями, представлены четырьмя свитами нижнего силура (снизу вверх): байтахской, башенной, машковской и непперендинской, расчлененными на 12 ГИС-пластов, детализирующих их строение (см. рис. 2). Отложения ордовика представлены тремя свитами (сверху вниз): кылахской, сытыканской и, частично, сохолоохской, отвечающими трем ГИС-пластам. Суммарная мощность перечисленных выше свит ордовика и силура определяет величину эродированной нижней части рудовмещающих отложений. В пределах АМКП она составляет порядка 280 м, из которых около 210 м приходится на нижний силур, а 70 м – на отложения ордовика (см. рис. 2). Наиболее полные разрезы кимберлитовмещающих отложений вскрыты в западной части поля, а минимальные – в восточной.

К достоверным реконструкциям относятся также разрезы яральинской свиты нижнего силура, отсутствующие на площади АМКП, но имеющие широкое распространение на сопредельном участке Среднеморкокинский и к западу от него, где они детально изучены поисково-картировочными скважинами в комплексе с ГИС. Яральинская свита, венчающая разрез нижнего силура, представлена 13–15 ГИС-пластами общей мощностью 34–42 м. Учитывая близкую мощность разрезов свиты на площади ДААР, а также то, что на территории АМКП и Среднеморкокинской площади все свиты нижнего силура, за исключением нижней – байтахской, характеризуются близкими параметрами (см. рис. 2), мощность яральинской свиты для АМКП принимается 40 м, а нижнего силура в целом 250 м.

Следует отметить, что вскрытая скважинами полная мощность отдельных свит ордовика и ни-

жнего силура варьирует по латерали в достаточно широких пределах, как правило, в сторону уменьшения, но обычно укладывается в ± 25 м. Явных закономерностей в изменении каких-либо параметров этих свит в плане не наблюдается, хотя отмечается тенденция сокращения мощности некоторых из них в восточном и северном направлениях. Принимая во внимание, что ошибки при низкоинформативных реконструкциях могут достигать 100 м и более, полная мощность нижнего силура (ГИС-пласты 1–15) принята в целом для АМКП единой, равной 250 м, а ордовика (ГИС-пласты 1–3) – 70 м (см. рис. 2).

Низкодостоверные реконструкции эрозийного среза (разрезы, удаленные на десятки км) относятся к разрезам томбинской свиты верхнего силура, отсутствующим на площади АМКП. Они имеют широкое распространение на сопредельных участках Нижнетомбинский и Могдинский, а также в бассейне среднего–верхнего течения р. Моркока, где детально изучены поисково-картировочными скважинами в комплексе с ГИС. Отложения силура на западе ДААР расчленены по данным каротажа на 21 пласт (с 1 по 21) мощностью до 30 м и лишь пласт 21, представляющий верхнетомбинскую подсвиту, имеет мощность порядка 80 м (см. рис. 2). Отложения нижнетомбинской подсвиты залегают согласно на подстилающих отложениях яральинской свиты. Мощность подсвиты на изученных участках составляет 80–87 м. Она расчленена на 5 ГИС-пластов с 16 по 20, мощностью от 13 до 21 м каждый. На расстоянии более 70 км нижнетомбинская подсвита не испытывает заметных изменений, поэтому для АМКП ее мощность при реконструкциях принята в 80 м (см. рис. 2).

Верхнетомбинской подсвите соответствует пласт 21 ГИС. Ее мощность составляет 75–82 м, каких-либо изменений по латерали не наблюдается (см. рис. 2). На Среднеморкокинском участке верхнетомбинская подсвита либо не накапливалась, либо была размыва в жединском веке, когда происходило внедрение позднесилурийско-раннедевонских кимберлитов. В связи с этим на

площади АМКП мощность отложений верхне-томбинской подсвиты оценивается в половину ее максимального значения, т. е. в 40 м. Верхний силур, исходя из вышеизложенного, принимается для реконструкций в объеме 120 м, а силур в целом – в 370 м.

Сравнение восстановленной мощности силура (370 м) с ранее полученными значениями [4], по которым на площади АМКП она составляет 340 м, показывает вполне сопоставимые результаты. Разница в 30 м обусловлена, в основном, разночтениями в мощностях томбинской свиты – 120 м по сравнению с ранее предполагаемой 80 м [4].

К низкодостоверным реконструкциям (зона дальней корреляции разрезов – десятки–сотни километров) отнесены также разрезы девона, известные на смежных площадях. Ориентировочная точность, оцениваемая в ± 50 –100 м, связана с ограниченным распространением, меньшей мощностью и слабой изученностью. Отложения девона на территории ДААР не расчленены на ГИС-пласты, поскольку данных для этого не достаточно. В современном разрезе АМКП они отсутствуют, а установлены на западной окраине ДААР в объеме сиденской (полный разрез) и юктинской (фрагмент подошвенной части) свит, относящихся к эйфельскому и живетскому ярусам среднего девона. Более широко в возрастном отношении – всеми отделами девона, разрез представлен датированными ксенолитами из кимберлитов АМКП.

По данным ГРР, выполненных в последние десятилетия АК «АЛРОСА» на западе ДААР, отложения нижнего девона из разреза выпадают. Рассматривая особенности их распространения с позиции наличия датированных ксенолитов в кимберлитах, есть основание полагать, что кратковременные трансгрессии достигали в зегинском веке площади АМКП. На этих основаниях мощность отложений нижнего девона для АМКП принимается в 20 м.

Отложения среднего девона представлены на сопредельных площадях северо-востока Тунгусской синеклизы образованиями сиденской и юктинской свит. Полная мощность среднего девона оценивается в 20–80 м [4] или до 30 м [21]. Существование юктинской свиты на площади АМКП в момент внедрения кимберлитов подтверждается находками ксенолитов с обильной фауной живетского яруса. Исходя из этого, в

пределах поля мощность юктинской свиты реконструируется в 40 м, а средний девон, в составе сиденской и юктинской свит, – в объеме 80 м.

Верхний девон на рассматриваемых площадях реконструирован в составе накахозской и каларгонской свит в объеме 20–57 м [21], а по [4] – в 70 м. Нами мощность верхнего девона в пределах АМКП оценивается в 40 м.

Восстановленная мощность отложений нижнего, среднего и верхнего девона в пределах АМКП составляла, по нашим оценкам: 20, 80 и 40 м соответственно, а в сумме 140 м (см. рис. 2). Мощность девона в условиях ограниченного объема фактических данных и фрагментарности развития, при отмеченной выше точности реконструкций (± 100 м) для всей площади АМКП принята единой.

Ф.Ф. Брахфогелем [4] в пределах АМКП отложения нижнего, среднего и верхнего отделов девона реконструированы в 80, 100 и 70 м соответственно, а в сумме 250 м.

Значительное сокращение мощности (на 110 м) обусловлено, в основном, отсутствием в разрезах ДААР отложений нижнего девона. Исходя из наличия ксенолитов в кимберлитах с фауной зегинского яруса, он оценен для АМКП в 20 м, против 80 м у Ф.Ф. Брахфогеля [4]. Меньшие значения установлены и для других отделов девона. Принятая в данной работе мощность ближе к предполагаемой Р.Г. Матухиным [21], хотя достоверность как тех, так и других реконструкций невысокая.

Нижекаменноугольные отложения турнейского яруса нижнего карбона, которые на Сибирской платформе относятся к среднепалеозойскому тектономагматическому этапу, на площади ДААР не установлены.

Таким образом, максимальный размыв рудовмещающих отложений, отмечаемый на восточной периферии АМКП, реконструирован в следующем виде: ордовик – 70 м; силур – 370 м; девон – 140 м. Всего – 580 м (см. рис. 2).

По данным Ф.Ф. Брахфогеля [4] (см. таблицу), денудационный срез кимберлитов АМКП оценивается в 650 ± 50 м. Он включает отложения: ордовика – 60 м, силура – 340 м, девона – 250 м. Разница выполненных и ранее полученных расчетов максимальной мощности эродированных рудовмещающих толщ в пределах АМКП составляет 70 м, что сопоставимо с принятой погрешностью реконструкций.

Эрозионный срез кимберлитов и вмещающих пород

Основной задачей исследований является определение уровня эрозионного среза рудовмещающих пород и кимберлитовых тел АМКП. Различные участки поля, как было отмечено выше, различаются уровнем денудации, а выполненными выше реконструкциями установлено лишь ее максимальное значение. Непрерывную (площадную) оценку уровня денудации наиболее точно отображает карта (схема) остаточной мощности, на которой в изопактах показана мощность сохранившихся от размыва нижнепалеозойских отложений [22]. Палеотектонические карты подобного типа широко используются при проведении алмазопромысловых работ в Западной Якутии. К сожалению, они позволяют судить лишь об относительной величине размыва изучаемых толщ. Абсолютные значения уровня денудации вмещающих пород и кимберлитовых трубок отражают схемы эрозионного среза. Фактическим материалом для проведения реконструкций послужили результаты, изложенные в поисковых отчетах ГРК АК «АЛРОСА» (ПАО) и других геологических организаций, а также литературные источники, приведенные в списке.

Схема эрозионного среза Алаakit-Мархинского поля, полученная как разность восстановленной толщи кимберлитовмещающих отложений и мощности сохранившейся от размыва, позволяет уточнить уровень денудации кимберлитовмещаю-

щих пород и, соответственно, конкретных кимберлитовых тел АМКП (табл. 2, см. рис. 1).

Эрозионный срез кимберлитовмещающих отложений в центральной части АМКП изменяется от 320 м на западе до 530 м на востоке. Минимальный срез отмечается в районе трубки Краснопресненская (~325 м), а максимальный – трубка Айхал, Заря, Сытыканская и Комсомольская (480–500 м). Трубка Комсомольская является, по-видимому, менее денудированной, поскольку, согласно изотопным датировкам, относится к позднесилурийско-раннедевонской эпохе кимберлитообразования. Ее срез меньше на величину мощности девонских отложений, т. е. на 140 м, поскольку они для данной диаграммы являются перекрывающими. Однако, в эти расчеты необходимо внести поправку. Учитывая, что раннедевонская деструктивная стадия сопровождалась в жединском веке частичным размывом отложений томбинской свиты, оцениваемым в 40 м, разница в эрозионном срезе трубки Комсомольская составит не 140, а 100 м, т. е. ее эрозионный срез составит ~390 м. Хотя и эти расчеты могут содержать ошибки, поскольку как наиболее древние, так и более молодые трубки, внедрившиеся, соответственно, до формирования отложений верхнего девона либо уже после их размыва, также не будут содержать ксенолитов этих пород. Так, например, тр. Сытыканская, которая судя по разным абсолютным датировкам – 384 ± 14 и 344 млн лет, могла внедриться как в

Таблица 2

Эрозионный срез кимберлитов Алаakit-Мархинского рудного поля и вмещающих пород

Table 2

Erosion section of kimberlites of the Alakit-Markhinsky ore field and host rocks

Название трубок – месторождений	Эрозионный срез рудовмещающих пород, м	Эрозионный срез месторождений, м		Возраст кимберлитовых трубок	
		Достоверный	Предполагаемый	Датированные ксенолиты	Абс. возраст, млн лет
Краснопресненская	325		До 100		
Юбилейная	450	450		O ₁ ar–D ₃ fr	341–354 и 366
Айхал	500	500		D ₃ fr	344–384±24
Заря	480		100–480		360
Комсомольская	490	390			409, 419 и 422
Сытыканская	490		100–490	O ₁ tr–S ₁ l	384±14 и 344

Примечание. Данные из источников: [4, 13, 17, 20, 23, 24] и др.

Note. Data from sources: [4, 13, 17, 20, 24], etc.

раннем карбоне (после завершения процессов денудации), так и до образования отложений среднего–верхнего девона.

Точность относительной величины денудации палеонтологически датированных кимберлитовых тел при высокодостоверных реконструкциях оценивается в ± 25 м. Косвенным доказательством правомерности принятой в расчетах ошибки и, как следствие, корректности выполненных реконструкций является то, что разница среза кимберлитовмещающих толщ и кимберлитов АМКП, установленная в настоящей работе и предшественниками [4], составляет 60 м ($\sim 10\%$), т. е. укладывается в обозначенный коридор ± 100 м.

Выполненные палеотектонические исследования могут использоваться при палеогеологическом и палеотектоническом анализе кимберлитовых полей и других площадей, изученных бурением в комплексе с ГИС. Представленная схема эрозионного среза однозначно указывает, что максимальная денудация восточной части поля АМКП обусловлена тектонической составляющей – региональным воздыманием ее в позднем девоне–раннем карбоне. Среднемасштабные и локальные структуры на схеме (см. рис. 1) имеют как эрозионный, так и тектонический генезис. Более детальный анализ при палеогеографических и палеотектонических реконструкциях выполняется с помощью комплекта карт (схем), включающих, кроме выше охарактеризованной, схему погребенного рельефа нижнепалеозойской поверхности и структурно-тектоническую карту кимберлитовмещающих пород. Комплекс тектонических схем дает возможность осуществлять морфогенетический анализ погребенной нижнепалеозойской поверхности (воссоздать историю его формирования и развития), а также выделять и проследивать разновозрастные разрывные нарушения и пликативные дислокации [22, 25].

Заключение

1. Историко-геологический анализ Алакит-Мархинского кимберлитового поля, выполненный на основе палеотектонических карт и схем, геопрофилей, результатов датирования кимберлитов и прочих геолого-геофизических данных, позволяет более детально и обоснованно подойти к решению проблемы эрозионно-денудационного среза кимберлитовых тел и вмещающих пород.

2. Эрозионный срез средне- и нижнепалеозойских пород центральной части Алакит-Мархинского кимберлитового поля изменяется от 320 до

530 м, а кимберлитовых тел, содержащих ксенолиты из кимберлитов с достоверно определенной фауной верхнего девона, – от 325 м до 500 м.

3. Учитывая высокую точность определения микрофауны и, особенно, конодонтов, по которым в настоящее время для Сибири разработаны детальные зональные шкалы, необходимо провести опробование ксенолитов осадочных пород из кимберлитовых трубок для определения их ярусной принадлежности, с целью уточнения эрозионного среза.

4. Апробированная методика определения эрозионного среза Алакит-Мархинского рудного поля, с определенными коррективами, может использоваться для других кимберлитовых полей Западной Якутии.

Литература

1. Харьков А.Д., Зинчук Н.Н., Крючков А.И. Коренные месторождения алмазов мира. М.: Недра, 1998. 555 с.
2. Подчасов В.М., Минорин В.Е., Богатых И.Я., Голубев Ю.К., Граханов С.А., Кривонос В.Ф., Подвысоцкий В.Т., Харьков А.Д., Эринчек Ю.М., Ягнышев Б.С. Геология, прогнозирование, методика поисков, оценки и разведки коренных месторождений алмазов. Кн. 1. Коренные месторождения. Якутск: ЯФ ГУ «Издательство СО РАН», 2004. 548 с.
3. Горев Н.И. Тектонические исследования при прогнозировании коренных источников алмазов // Алмазная геология в АК «АЛРОСА» – настоящее и будущее. Воронеж, ВГУ, 2005. С. 1175–1202.
4. Брахфогель Ф.Ф. Геологические аспекты кимберлитового магматизма северо-востока Сибирской платформы. Якутск, 1984. 128 с.
5. Алмазные месторождения Якутии / Бобриневич А.П., Бондаренко М.Н., Гневушев М.А. и др. М.: Госгеолтехиздат, 1959. 527 с.
6. Михайлов М.В., Гридасов Н.В. К вопросу о возрасте кимберлитовой трубки Мир // Материалы по геологии и полезным ископаемым Якутской АССР. Вып. 11. Якутск, 1963. С. 64–70.
7. Рожков И.С. Закономерности размещения россыпей и их коренных источников на территории Якутии // Геология россыпей Якутии. М., 1964. С. 5–43.
8. Милашев В.А. Петрохимия кимберлитов Якутии и факторы их алмазоносности. Л.: Недра, 1965. 160 с. (Труды НИИГА; Т. 139).
9. Леонов Б.Н., Прокопчук В.И., Орлов Ю.Л. Алмазы Приленской области. М.: Недра, 1966. 279 с.
10. Алмазоносные россыпи Западной Якутии / Рожков И.С., Михалев Г.П., Прокопчук Б.И., Шамшина Э.А. М.: Наука, 1967. 280 с.
11. Отнюков Н.И. Новые данные о глубине денудационного среза кимберлитовых трубок Мало-Бо-

- туобинского района // Геология и геофизика. 1971. № 4. С. 143–147.
12. Брахфогель Ф.Ф., Зайцев А.И., Шамина Э.А. Возраст кимберлитовых магматитов – основа прогнозирования алмазности территорий // Советская геология. 1977. № 9. С. 20–24.
13. Зайцев А.И., Смелов А.П. Изотопная геохронология пород кимберлитовой формации Якутской провинции / ИГАБМ СО РАН. Якутск, 2010. 108 с.
14. Кривонос В.Ф., Прокопчук Б.И. Эпохи кимберлитового вулканизма на северо-востоке Сибирской платформы // Советская геология. 1973. № 3. С. 11–20.
15. Зинчук Н.Н., Савко А.Д., Шевырев Л.Т. О количестве эпох мощного корообразования и кимберлитового магматизма в неогее Земли // Геология, закономерности размещения, методы прогнозирования и поисков алмазных месторождений. Мирный, 1998. С. 48–51.
16. Савко А.Д., Шевырев Л.Т., Зинчук Н.Н. Эпохи мощного корообразования и алмазного магматизма в истории Земли. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1999. 102 с.
17. Jing Sun, Chuan-Zhou Liu, Tappe S., Kostrovitsky S.I., Fu-Yuan Wu, Yakovlev D., Yue-Heng Yang, Jin-Hui Yang. Repeated kimberlite magmatism beneath Yakutia and its relationship to Siberian flood volcanism: Insights from in situ U-Pb and Sr-Nd perovskite isotope analysis // Earth and Planetary Science Letters. 2014. No 404. P. 283–295.
18. Тарабукин В.П. Конодонты из ксенолитов осадочных пород в кимберлитовых трубках Далдыно-Алакитского района (восточная часть Сибирской платформы) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2003. № 2. С. 102–112.
19. Тарабукин В.П., Каныгин А.В., Смирнов Д.Л. и др. Находки палеозойских конодонтов в ксенолитах кимберлитовых трубок Сибирской платформы // Геология и геофизика, 1999. Т. 40, № 6. С. 834–842.
20. Девис Г.Л., Соболев Н.В., Харькив А.Д. Новые данные о возрасте кимберлитов Якутии, полученные уран-свинцовым методом по цирконам // Докл. АН СССР. 1980. Т. 254, № 1. С. 175–179.
21. Матухин Р.Г. Девон и нижний карбон Сибирской платформы (состав, условия осадконакопления, минерогенез). Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1991. 164 с.
22. Горев Н.И., Герасимчук А.В. Специализированные тектонические карты при прогнозировании коренных месторождений алмазов на Сибирской платформе: методика составления и анализа // Руды и металлы. 2017. № 4. С. 25–41.
23. Харькив А.Д., Зинчук Н.Н., Крючков А.И. Геолого-генетические основы шлихо-минералогического метода поисков алмазных месторождений. М.: Недра, 1995. 348 с.
24. Афанасьев В.П., Агашев А.М., Похиленко Н.П. Основные черты истории и условий формирования ореолов индикаторных минералов кимберлитов Сибирской платформы // Геология рудных месторождений. 2013. Т. 55, № 4. С. 295–304.
25. Горев Н.И., Манаков А.В., Эринчек Ю.М., Гарат М.Н. Особенности строения осадочного чехла Малоботуобинского алмазного района Якутии по данным палеоструктурного анализа // Региональная геология и металлогения. 1994. № 2. С. 132–144.

Поступила в редакцию 04.12.2019

Принята к публикации 17.02.2020

Об авторах

ГОРЕВ Николай Иванович, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, Научно-исследовательское геологическое предприятие (НИГП) АК «АЛРОСА» (ПАО), Россия, 678174, Мирный, Чернышевское шоссе, 16, GorevNI@alrosa.ru;

ШАХУРДИНА Надежда Константиновна, старший научный сотрудник, Научно-исследовательское геологическое предприятие (НИГП) АК «АЛРОСА» (ПАО), Россия, 678174, Мирный, Чернышевское шоссе, 16, ShakhurdinaNK@alrosa.ru;

САЛИХОВ Равиль Фанисович, главный специалист, Вилуйская геологоразведочная экспедиция (ВГРЭ) АК «АЛРОСА» (ПАО), Россия, 678190, Республика Саха (Якутия), п. Айхал, ул. Первооткрывателей, 1, SalikhovRF@alrosa.ru;

ПРОЦЕНКО Елена Викторовна, заведующий отделом, Научно-исследовательское геологическое предприятие (НИГП) АК «АЛРОСА» (ПАО), Россия, 678174, Мирный, Чернышевское шоссе, 16, ProtsenkoEV@alrosa.ru.

Горев Н.И., Шахурдина Н.К., Салихов Р.Ф., Проценко Е.В. К вопросу об эрозионном срезе кимберлитов Алаakit-Мархинского рудного поля // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2020, Т. 25, № 1. С. 20–31. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-1-2>

DOI 10.31242/2618-9712-2020-25-1-2

To the question concerning the erosion section of kimberlites of the Alakit-Markhinsky ore field

N.I. Gorev^{1*}, N.K. Shakhurdina¹, R.F. Salikhov², E.V. Protsenko¹

¹Geo-Scientific Research Enterprise ALROSA (PJSC), Mirny, Russia

²Vilyui Exploration Expedition ALROSA (PJSC), Aykhal, Republic of Sakha (Yakutia), Russia

*GorevNI@alrosa.ru

Abstract. Erosion section of kimberlite bodies and host rocks is one of the prognostic and search criteria of the primary diamond deposits of Western Yakutia. The depth of erosion and the intensity of kimberlite weathering determine the scale and quality of placer diamondiferousness and the contrast of the halos of satellite minerals – direct exploratory signs of deposits. The material for the retrospective analysis of the Alakit-Markhinsky ore field was the available information on the geology of the area: stratigraphy, tectonics, paleogeography, isotopic and paleontological dating of kimberlites, well logging etc. The procedure of investigations and analysis of specialized tectonic maps and schemes is considered, allowing determination of erosion section of buried kimberlite fields and deposits. It is shown that paleogeological reconstructions based on large-scale cartographic materials using logging data make it possible to calculate the level of erosion cut of kimberlites and host rocks with an accuracy of ± 5 to ± 100 m (up to 10–20 % of the denudation value). As a result of investigation, it was found that the kimberlite bodies of the Alakit-Markhinsky ore field are eroded to a depth of 325 to 500 m, increasing eastward. The existence of two epochs of kimberlite magmatism in the Middle Paleozoic is confirmed, while the Late Devonian-Early Carboniferous kimberlites differ from Late Silurian-Early Devonian ones in larger denudation comparable with the reconstructed thickness of the Devonian deposits..

Key words: kimberlite, Western Yakutia, paleotectonics, erosion section, xenolith, criteria and signs, deposit, diamond.

References

1. Khar'kiv A.D., Zinchuk N.N., Kryuchkov A.I. Korennyye mestorozhdeniya almazov mira. M.: Nedra, 1998. 555 p.
2. Podchasov V.M., Minorin V.Ye., Bogatykh I.Ya., Golubev Yu.K., Grakhanov S.A., Krivonos V.F., Podvysotskiy V.T., Khar'kiv A.D., Erinchek Yu.M., Yagnyshev B.S. Geologiya, prognozirovaniye, metodika poiskov, otsenki i razvedki korennykh mestorozhdeniy almazov. Kniga 1. Korennyye mestorozhdeniya. Yakutsk: YAF GU «Izdatel'stvo SO RAN», 2004. 548 p.
3. Gorev N.I. Tektonicheskiye issledovaniya pri prognozirovanii korennykh istochnikov almazov // Almaznaya geologiya v AK «ALROSA» – nastoyashcheye i budushcheye». Voronezh: VGU, 2005. P. 1175–1202.
4. Brakhfogel' F.F. Geologicheskiye aspekty kimberlitovogo magmatizma severo-vostoka Sibirskoy platformy. Yakutsk, 1984. 128 p.
5. Almaznyye mestorozhdeniya Yakutii / Bobriyevich A.P., Bondarenko M.N., Gnevushev M.A. i dr. M.: Gosgeoltekhizdat, 1959. 527 p.
6. Mikhaylov M.V., Gridasov N.V. K voprosu o vozraste kimberlitovoy trubki Mir // Materialy po geologii i poleznym iskopayemym Yakutskoy ASSR. Iss. 11. Yakutsk, 1963. P. 64–70.
7. Rozhkov I.S. Zakonomernosti razmeshcheniya rossypey i ikh korennykh istochnikov na territorii Yakutii // Geologiya rossypey Yakutii. M., 1964. P. 5–43.
8. Milashev V.A. Petrokhimiya kimberlitov Yakutii i faktory ikh almazonosnosti. L.: Nedra, 1965. 160 p. (Trudy NIIGA; Vol. 139).

9. Leonov B.N., Prokopchuk V.I., Orlov Yu.L. Almazy Prilenskoy oblasti. M., Nedra, 1966. 279 p.
10. *Almazonosnyye rossypi Zapadnoy Yakutii* / Rozhkov I.S., Mikhalev G.P., Prokopchuk B.I., Shamshina E.A. M.: Nauka, 1967. 280 p.
11. Otnyukov N.I. Novyye dannyye o glubine denudatsionnogo sreza kimberlitovykh trubok Malo-Botuobinskogo rayona // *Geologiya i geofizika*. 1971. No. 4. P. 143–147.
12. Brakhfogel' F.F., Zaytsev A.I., Shamshina E.A. Vozrast kimberlitovykh magmatitov – osnova prognozirovaniya almazonosnosti territoriy // *Sovetskaya geologiya*. 1977. No. 9. P. 20–24.
13. Zaytsev A.I., Smelov A.P. Izotopnaya geokhronologiya porod kimberlitovoy formatsii Yakutskoy provintsii / IGABM SO RAN. Yakutsk, 2010. 108 p.
14. Krivonos V.F., Prokopchuk B.I. Epokhi kimberlitovogo vulkanizma na severo-vostoke Sibirskoy platformy // *Sovetskaya geologiya*. 1973. No. 3. P. 11–20.
15. Zinchuk N.N., Savko A.D., Shevyrev L.T. O kolichestve epokh moshchnogo koroobrazovaniya i kimberlitovogo magmatizma v neogeey Zemli // *Geologiya, zakonovernosti razmeshcheniya, metody prognozirovaniya i poiskov almaznykh mestorozhdeniy*. Mirnyy, 1998. P. 48–51.
16. Savko A.D., Shevyrev L.T., Zinchuk N.N. Epokhi moshchnogo koroobrazovaniya i almazonosnogo magmatizma v istorii Zemli. Voronezh: Izd-vo VGU, 1999. 102 p.
17. Jing Sun, Chuan-Zhou Liu, Tappe S., Kostrovitsky S.I., Fu-Yuan Wu, Yakovlev D., Yue-Heng Yang, Jin-Hui Yang. Repeated kimberlite magmatism beneath Yakutia and its relationship to Siberian flood volcanism: Insights from in situ U-Pb and Sr-Nd perovskite isotope analysis // *Earth and Planetary Science Letters*. 2014. No. 404. P. 283–295.
18. Tarabukin V.P. Konodonty iz ksenolitov osadochnykh porod v kimberlitovykh trubkakh Daldyno-Alakitskogo rayona (vostochnaya chast' Sibirskoy platformy) // *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyatsiya*. 2003. No. 2. P. 102–112.
19. Tarabukin V.P., Kanygin A.V., Smirnov D.L. i dr. Nakhodki paleozoyskikh konodontov v ksenolitakh kimberlitovykh trubok Sibirskoy platformy // *Geologiya i geofizika*, 1999. Vol. 40. No. 6. P. 834–842.
20. Devis G.L., Sobolev N.V., Khar'kov A.D. Novyye dannyye o vozraste kimberlitov Yakutii, poluchennyye uran-svintsovyim metodom po tsirkonam // *Dokl. AN SSSR*. 1980. Vol. 254, No. 1. P. 175–179.
21. Matukhin R.G. Devon i nizhniy karbon Sibirskoy platformy (sostav, usloviya osadkonakopleniya, mineralogeniya). Novosibirsk: Nauka. Sib. otd-niye, 1991. 164 p.
22. Gorev N.I., Gerasimchuk A.V. Spetsializirovannyye tektonicheskiye karty pri prognozirovanii kornykh mestorozhdeniy almazov na Sibirskoy platforme: metodika sostavleniya i analiza // *Rudy i metally*. 2017. No. 4. P. 25–41.
23. Khar'kov A.D., Zinchuk N.N., Kryuchkov A.I. Geologo-geneticheskie osnovy shliho-mineralogicheskogo metoda poiskov almaznykh mestorozhdeniy. M.: Nedra, 1995. 348 p.
24. Afanas'yev V.P., Agashev A.M., Pokhilenko N.P. Osnovnyye cherty istorii i usloviy formirovaniya oreolov indikatornykh mineralov kimberlitov Sibirskoy platformy // *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*. 2013. Vol. 55, No. 4. P. 295–304.
25. Gorev N.I., Manakov A.V., Erinchek Yu.M., Garat M.N. Osobennosti stroyeniya osadochnogo chekhla Malobotuobinskogo almazonosnogo rayona Yakutii po dannym paleostrukturnogo analiza // *Regional'naya geologiya i metallogeniya*. 1994. No. 2. P. 132–144.

About the authors

GOREV Nikolai Ivanovich, candidate of Science in Geology and Mineralogy, leading researcher, Geo-Scientific Research Enterprise, Public Joint Stock Company «ALROSA», 16 Chernyshevskoe sh., Mirny, GorevNI@alrosa.ru;

SHAKHURDINA Nadezhda Konstantinovna, senior researcher, Geo-Scientific Research Enterprise, Public Joint Stock Company «ALROSA», 16 Chernyshevskoe sh., Mirny, ShakhurdinaNK@alrosa.ru;

SALIKHOV Ravil Fanisovich, chief specialist, Vilyui Exploration Expedition, Public Joint Stock Company «ALROSA», 1 ul. Pervootkryvateley, Aykhal, Republic of Sakha (Yakutia), Russia, SalikhovRF@alrosa.ru;

PROTSENKO Elena Viktorovna, head of department, Geo-Scientific Research Enterprise, Public Joint Stock Company «ALROSA», 16 Chernyshevskoe sh., Mirny, ProtsenkoEV@alrosa.ru.

Citation

Gorev N.I., Shakhurdina N.K., Salikhov R.F., Protsenko E.V. To the question of the erosion section of kimberlites of the Alakit-Markhinsky ore field // *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2020, Vol. 25, N 1. P. 20–31. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-1-2>

Глобальная палеогеография и палеобиогеография средней юры по брахиоподам*

В.С. Гриненко**, В.В. Баранов

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

**grinenkovs@diamond.ysn.ru

Аннотация. Установлено, что в средней юре (аален–келловей) палеогеография Земли была представлена двумя суперконтинентами – Пацифидой и Аразией – и четырьмя континентами – Атлантидой, Лемуридой, Гипербореей и Антарктидой, которые были разделены мелководными шельфовыми морскими бассейнами шириной около 2000–3000 км. Бореальный бассейн соединялся с Тетическим – западным и восточным проливами, и с Русским морем. Антарктический морской бассейн имел общие связи с бассейнами, которые окружали Пацифиду. С Тетическим бассейном он сообщался также морским бассейном, который протягивался вдоль восточного склона Африканского континента. На основании анализа пространственно-временного распространения среднеюрских брахиопод выделены Экваториальная, Бореальная и Нотальная надобласти. Экваториальная надобласть представлена Европейско-Меланезийско-Китайской (Тетической), Новозеландско-Новокаледонской и Западно-Южно-Американской областями (Realm), в составе первой выделяются провинции: Европейская, Северо-Африканская, Русская, Аравийская, Эфиопская, Кавказско-Крымская, Иранская, Центрально-Среднеазиатская, Памирская, Тибетская, Меланезийско-Китайско-Японская. В составе Бореальной надобласти выделена Сибирско-Северо-Американская область с четырьмя провинциями: Сибирской, Западно-Канадской, Невадской и Гренландской. В составе Нотальной надобласти установлена Антарктическая область.

Ключевые слова: палеогеография, палеобиогеография, Пацифида, Аразия, Атлантида, Лемурида, Гиперборея, Антарктида, средняя юра, аален, байос, бат, келловей, брахиоподы.

Благодарности. Работа выполнена по государственному заданию ИГАБМ СО РАН и профинансирована Минобрнауки России.

Введение

Данная работа продолжает серию публикаций по палеогеографии и палеобиогеографии среднего палеозоя–мезозоя [1–9]. Основные возражения оппонентов к нашим палеогеографическим и палеобиогеографическим реконструкциям сводятся к следующему: первое – «почему было так мало воды и откуда она появилась?» и второе – «возможно ли оконтурить границы морских бассейнов, используя лишь одну группу морской фауны, в нашем случае – брахиопод». В предлагаемых нами палеогеографических схемах мы не ставили своей целью определить, каков основной источник поступления планетарной воды в океанические бассейны – эндогенный или экзогенный. Об этом феномене можно узнать из монографий российских ученых – Е.М. Рудича [10] и В.В. Орленка [11].

Нам было важно определить положение в пространстве границы суши и моря, используя

при этом на материках границы распространения морских фаций и фаций ландшафтов суши, привлекая для решения этой задачи конодонтовую и брахиоподовую фауну. Как известно, брахиоподы с раннего по поздний палеозой доминировали в эвфотической зоне мелководных шельфовых морских бассейнов. И в настоящее время местообитание 95 % представителей родов замковых брахиопод приурочено к мелководным шельфам современных материков [12].

Палеогеографию суши, ныне скрытой под водной толщей океанов, мы реконструировали по материалам глубоководного бурения, которые были изложены в работах А.А. Пронина [13], Е.М. Рудича [14–16], В.В. Орленка [11], Б.А. Блюмана [17–19], О.В. Петрова и др. [20]. В своих построениях мы также учитывали данные по геоморфологии [21, 22] и геологическому строению дна океанов [23–31]. Несомненный интерес представляют остатки экзотических пород, таких как

* Публикуется в порядке дискуссии

галька и валуны, которые могли быть снесены только с относительно расчлененной суши, существовавшей на месте современных океанов. Такие толщи грубобломочных пород вплоть до конгломератов, по данным А.А. Пронина [13] и А. Ирдли [32], существовали по обеим сторонам Северной и Южной Америки и на западе Африканского континента. Возможно, большинство таких толщ различного возраста известны в Южной Америке, Африке и Индии, генезис которых считается до сих пор ледниковым, а на самом деле они являются продуктами разрушения материковой суши, которая находилась на месте современных океанов. В последнее время появляются работы, в которых пересматривается «ледниковое» происхождение конгломератов в Южной Америке [33]. Интересно, что «ледниковая теория» подвергается критике и в анализе стратиграфии четвертичной геологии [34]. И вообще, крайне нелогично, что покровные оледенения в древней истории Земли происходили только в пределах Южного полушария.

Материал и методы исследований

Материалом для построения модели палеобиогеографии послужили американские справочники по брахиоподам «*Treatise of invertebrate paleontology*» [35, 36] и новые данные по географическому распространению среднеюрских брахиопод, которые появились после выхода этих работ [37–40], а также небольшая коллекция брахиопод авторов из среднеюрских отложений Северо-Востока Азии.

Методика и терминология, используемые в данной статье, рассматривались авторами в предыдущих работах [1, 4, 7, 8]. При сравнительном анализе связей между палеобиоохориями применялся коэффициент сходства $K = 2a/(b + c)$, где a – количество общих видов между палеобиоохориями, b и c – общее количество видов в сравниваемых палеозоохориях.

Результаты исследований

В средней юре, по сравнению с поздним триасом и ранней юрой, наша планета была представлена уже двумя суперконтинентами – Пацифидой и Аразией, а суперконтинент Афалия разделился широким проливом на два континента: Атлантиду и Лемуриду. Этот пролив проходил вдоль восточного побережья Африки, от Аравийского полуострова до морского бассейна, окружающего континент Антарктиду. В высоких широтах продол-

жал существовать материк Гиперборея. В средней юре материк Аразия разделил на две части морской бассейн с названием Русское море (см. рисунок). Первые следы зарождения Атлантического океана и Мексиканского залива подтверждаются заложением трога Чиуауа вдоль южного обрамления Северной Америки [38]. Как видим на реконструкции палеогеографии, в это время на Земле суша преобладала над водой.

Возникает вопрос, а где же захоронены громадные объемы терригенного материала, который должен был сноситься с этих материков? У А.А. Пронина [13, с. 190] мы находим ответ: «...осадочная оболочка Земли на 95 % состоит из терригенного материала...» и, далее, «...в палеозое и докембрии образоваться 95 % сиалических терригенных пород могло только при условии наличия на поверхности Земли соответствующих по размерам континентальных площадей, чередующихся с небольшими по площади и мелководными морями эпиконтинентального и геосинклинального типов, располагающихся на континентального типа коре...».

В средней юре палеозоохории наивысшего ранга представлены Экваториальной, Бореальной и Нотальной надобластями (Superrealm). В Экваториальной надобласти выделяются **Альпийско-Меланезийско-Китайская (Тетическая)** и **Западно-Южно-Американская** области (Realm). Первая представлена 4 отрядами Rhynchonellida, Spiriferinida, Terebratulida, Thecideida, 9 надсемействами Pugnacoidea, Rhynchonelloidea, Norelloidea, Dielasmatoidea, Koninckinoidea, Suesioidea, Thecideoidea, Loboidothyridoidea, Discolioidea, 24 семействами Basiliolidae, Dimerellidae, Prionorhynchiidae, Wellerellidae, Rhynchonellidae, Norellidae, Ochotorhynchiidae, Tetrarhynchiidae, Muirwoodellidae, Koninckinidae, Bactryniidae, Thecideidae, Juvavellidae, Loboidothyrididae, Loboidothyridinae, Lectoconchidae, Boreiothyrididae, Tegulithyrididae, Hesperithyrididae, Lissajousithyrididae, Lobothyrididae, Nucleatidae, Tegulithyrididae, Postepithyrididae и 19 подсемействами Basiliolinae, Pamirorhynchiinae, Septocrurellinae, Calvirhynchiinae, Rhynchonellinae, Cirpinae, Pirorhynchiinae, Ivanoviellinae, Diholcorhynchiinae, Cyclothyrinae, Tetrarhynchiidae, Gibbirhynchiinae, Moorellinae, Davidsonellinae, Thecideinae, Lacczellinae, Lissajousithyridinae, Lobothyridinae, Karadagithirinae. Западно-Южно-Американская область по таксономическому разнообразию значительно уступает Альпийско-Меланезийско-

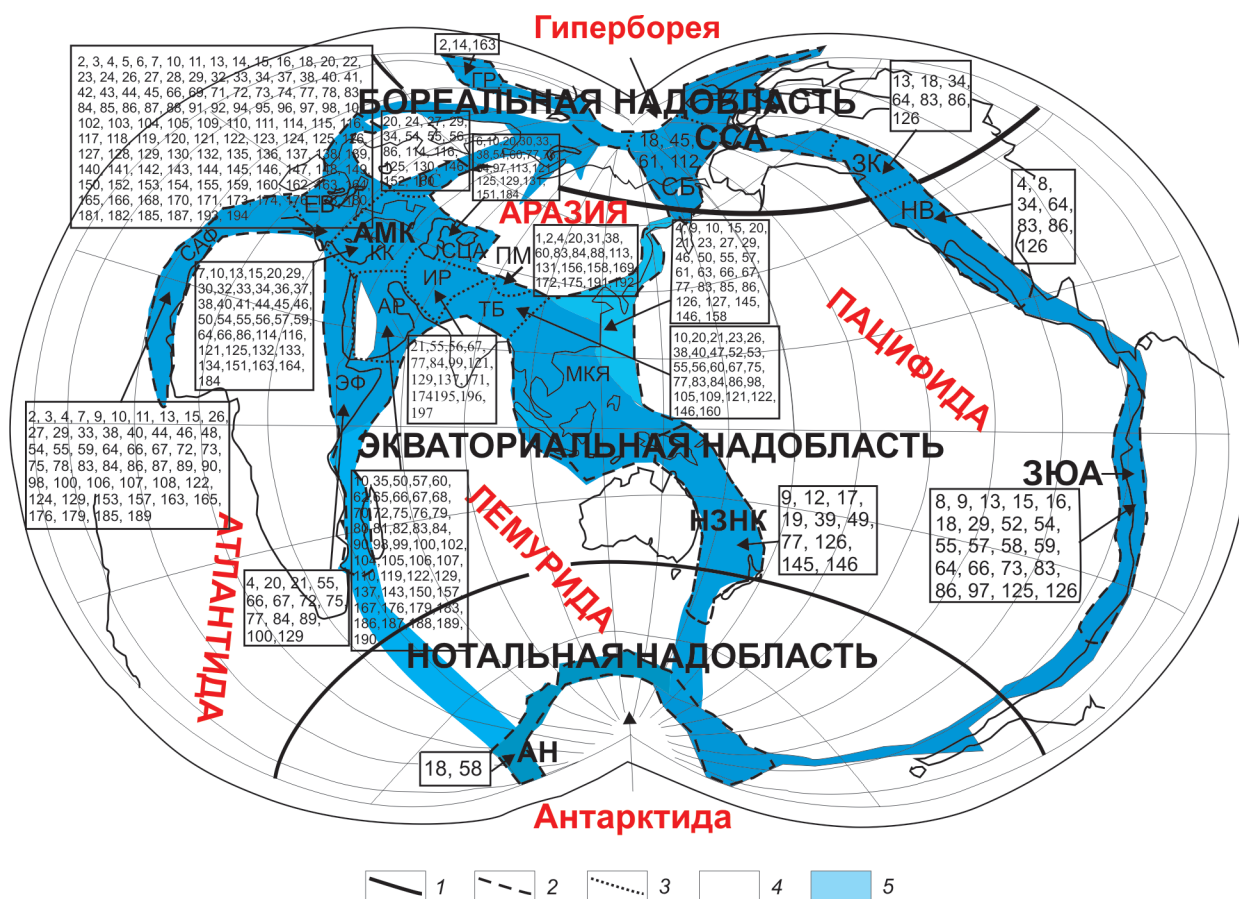


Схема палеогеографии и палеобиогеографии средней юры по брахиоподам. 1–3 – границы: 1 – надобластей, 2 – областей, 3 – провинций, 4 – суша, 5 – вода. Биогеографические области: АМК – Альпийско-Меланезийско-Китайская, АН – Антарктическая, ЗСА – Западно-Северо-Американская, ЗЮА – Западно-Южно-Американская, НКНЗ – Новокаледонско-Новозеландская, СБ – Сибирская; провинции: АР – Аравийская, ГР – Гренландская, ЕВ – Европейская, ЗК – Западно-Канадская, ИР – Иранская, КК – Кавказско-Крымская, МКА – Меланезийско-Китайско-Японская, НВ – Невадская, ПМ – Памирская, РС – Русская, СА – Северо-Африканская, ТБ – Тибетская, ЦС – Центрально-Среднеазиатская, ЭФ – Эфиопская; Родовой состав брахиопод: 1 – *Almorhynchia*, 2 – *Apringia*, 3 – *?Soaresirhynchia*, 4 – *Pseudogibbirhynchia*, 5 – *Septocrurella*, 6 – *Calvirhynchia*, 7 – *Sulcirostra*, 8 – *Anarhynchia*, 9 – *Prionirhynchia*, 10 – *?Sphenorhynchia*, 11 – *?Curtirhynchia*, 12 – *Herangirhynchia*, 13 – *Homeorhynchia*, 14 – *Laevigaterhynchia*, 15 – *Rhynchonelloidea* (*Rhynchonelloidea*), 16 – *Rhynchonelloidea* (*Aalenirhynchia*), 17 – *Caledonirhynchia*, 18 – *Ptichorhynchia*, 19 – *?Tainuirhynchia*, 20 – *Ivanoviella*, 21 – *Bihendulirhynchia*, 22 – *?Bradfordirhynchia*, 23 – *?Himalairhynchia*, 24 – *?Microrhynchia*, 25 – *Minutulirhynchia*, 26 – *Ptyctorhynchia*, 27 – *Rhynchonelloidea*, 28 – *Sharpirhynchia*, 29 – *Thurmannella*, 30 – *Bilaminella*, 31 – *Davanirhynchia*, 32 – *Cubanirhynchia*, 33 – *Striirhynchia*, 34 – *Capillirhynchia*, 35 – *?Lirellarina*, 36 – *?Neocirpa*, 37 – *?Trichorahynchia*, 38 – *Acanthothiris*, 39 – *Kawhiarhynchia*, 40 – *?Paraacanthothyrus*, 41 – *?Acanthothyrus*, 42 – *Rectirhynchia*, 43 – *Gnathorhynchia*, 44 – *Holcorhynchia*, 45 – *Maxillirhynchia*, 47 – *Homaliarhynchia*, 48 – *Nannirhynchia*, 49 – *Aucklandirhynchia*, 50 – *Globirhynchia*, 51 – *Granulirhynchia*, 52 – *Lacunaerhynchia*, 53 – *Pararhactorhynchia*, 54 – *Septaliphoria*, 55 – *Torquirhynchia*, 56 – *Cardinirhynchia*, 57 – *Eurysites*, 58 – *Flabellirhynchia*, 59 – *Parvirhynchia*, 60 – *Indorhynchia*, 61 – *Moquellina*, 62 – *Strongyloria*, 63 – *Tanggularella*, 64 – *T. (Tetrarhynchia)*, 65 – *Baeorhynchia*, 66 – *Cymatorhynchia*, 67 – *Daghanirhynchia*, 68 – *Deltarhynchia*, 69 – *Druganirhynchia*, 70 – *Echyrosia*, 71 – *Goniorhynchia*, 72 – *Pysnorina*, 73 – *Quadratirhynchia*, 74 – *Robustirhynchia*, 75 – *Somalirhynchia*, 76 – *Amydroptychus*, 77 – *B. (Burmirhynchia)*, 78 – *B. (Hopkinsirhynchia)*, 79 – *?Colpotoria*, 80 – *Conarosia*, 81 – *Nastosia*, 82 – *?Schizoria*, 83 – *Kallirhynchia*, 84 – *Kutchirhynchia*, 85 – *Obsoletirhynchia*, 86 – *Rhactorhynchia*, 87 – *Isjuminella*, 88 – *Costirhynchia*, 89 – *Septirhynchia*, 90 – *Heteromychus*, 91 – *Lessinirhynchias*, 92 – *Rioulina*, 93 – *Stentorina*, 94 – *Moorellina*, 95 – *Mimikonstantia*, 96 – *Thecidella*, 97 – *Loboidothyris*, 98 – *Avonothyris*, 99 – *Arabatia*, 100 – *Bihenithyris*, 101 – *Charltonithyris*, 102 – *Dolichobrochus*, 103 – *Pseudoglossothyris*, 104 – *Ptyctothyris*, 105 – *Sphaeroidothyris*, 106 – *Striithyris*, 107 – *Wattonithyris*, 108 – *Bothrothyris*, 109 – *Cererithyris*, 110 – *Plectothyris*, 111 – *Rocheithyris*, 112 – *Boreiothyris*, 113 – *Pamirothyropsis*, 114 – *Cheirothyropsis*, 115 – *Cheniothyris*, 116 – *Dictyothyris*, 117 – *Dienope*, 118 – *Lissajousithyris*, 119 – *Apatecosia*, 120 – *Arcelinithyris*, 121 – *Dorsoplicathyris*, 122 – *Monsardithyris*, 123 – *Strongylobrochus*, 124 – *Stroudithyris*, 125 – *Morrisithyris*, 126 – *Lobothyris*, 127 – *Lophrothyris*, 128 – *Argovithyris*, 129 – *Tubithyris*, 130 – *Muirwoodella*, 131 – *Goniothyropsis*, 132 – *Karadagithyris*, 133 – *Karadagella*, 134 – *Negramithyris*, 135 – *Arceythyris*, 136 – *Caryona*, 137 – *Conarothyris*, 138 – *Epithyris*,

139 – *Euidothyris*, 140 – *Ferrythyris*, 141 – *Galliennithyris*, 142 – *Gigantothyris*, 143 – *Glyphisaria*, 144 – *Heimia*, 145 – *Holcothyris*, 146 – *Kutchithyris*, 147 – *Millythyris*, 148 – *Perrierithyris*, 149 – *Petalothyris*, 150 – *Plectoidothyris*, 151 – *Tchegemithyris*, 152 – *Tegulithyris*, 153 – *Prototegulithyris*, 154 – *Lazithyris*, 155 – *Goniothyris*, 156 – *Gibbithyrella*, 157 – *?Magharithyris*, 158 – *Naradanithyris*, 159 – *Neumayrithyris*, 160 – *Rugithyris*, 161 – *Trichothyris*, 162 – *Weldonithyris*, 163 – *Nucleata*, 164 – *Kubanithyris*, 165 – *Linguithyris*, 166 – *Disculina*, 167 – *Goliathyris*, 168 – *Zeilleria*, 169 – *Ajukuzella*, 170 – *Antiptychina*, 171 – *Aulacothyris*, 172 – *Bazardarella*, 173 – *Cincta*, 174 – *Digonella*, 175 – *Kuntella*, 176 – *Lazella*, 177 – *Mycerosia*, 178 – *Obovothyris*, 179 – *Parathyridina*, 180 – *Rugitela*, 181 – *Uniptychina*, 182 – *Ornithella*, 183 – *Polyplectella*, 184 – *Gusarella*, 185 – *Eudesia*, 186 – *Apothyris*, 187 – *Flabellothyris*, 188 – *Praeudesia*, 189 – *Sphraganaria*, 190 – *Xenorina*, 191 – *Coriothyris*, 192 – *Vandobiella*, 193 – *Hamptonina*, 194 – *Zellania*, 195 – *Somalithyris*, 196 – *Moiseevia*, 197 – *Moeschia*.

The scheme of paleogeography and paleobiogeography of the Middle Jurassic as derived from brachiopods. 1–3 – designations: borders: 1 – superrealms, 2 – realms, 3 – provinces, 4 – land, 5 – water. Biogeographical realms: AMK – Alpine-Melanesian-Chinese (Tethian), AH – Antarctic, 3CA – West-North-American, 3HA – West-South-American, HKH3 – New Zealand-New Caledonian, CB – Siberian; provinces: AP – Arabian, GP – Greenlandian, EB – European, 3K – West-Canadian, IP – Iranian, KK – Caucasian-Crimean, МКЯ – Thai-Chinese-Japanese, HB – Newadan, ПМ – Pamirian, PC – Russian, CA – North-African, ТБ – Tibetan, ЦС – Central-Middle-Asian, ЭФ – Ethiopian.

Generic composition of brachiopods: 1 – *Almorhynchia*, 2 – *Apringia*, 3 – *?Soaresirhynchia*, 4 – *Pseudogibbirhynchia*, 5 – *Septocrurella*, 6 – *Calvirhynchia*, 7 – *Sulcirostra*, 8 – *Anarhynchia*, 9 – *Prionirhynchia*, 10 – *?Sphenorhynchia*, 11 – *?Curtirhynchia*, 12 – *Herangirhynchia*, 13 – *Homeorhynchia*, 14 – *Laevigaterhynchia*, 15 – *Rhynchonelloidea* (*Rhynchonelloidea*), 16 – *Rhynchonelloidea* (*Aalenirhynchia*), 17 – *Caledonirhynchia*, 18 – *Ptichorhynchia*, 19 – *?Tainuirhynchia*, 20 – *Ivanoviella*, 21 – *Bihendulirhynchia*, 22 – *?Bradfordirhynchia*, 23 – *?Himalairhynchia*, 24 – *?Microrhynchia*, 25 – *Minutulirhynchia*, 26 – *Ptyctorhynchia*, 27 – *Rhynchonelloidea*, 28 – *Sharpirhynchia*, 29 – *Thurmannella*, 30 – *Bilaminella*, 31 – *Davanirhynchia*, 32 – *Cubanirhynchia*, 33 – *Striirhynchia*, 34 – *Capillirhynchia*, 35 – *?Lirellarina*, 36 – *?Neocirpa*, 37 – *?Trichorahynchia*, 38 – *Acanthothiris*, 39 – *Kawhiarhynchia*, 40 – *?Paraacanthothyris*, 41 – *?Acanthothyropsis*, 42 – *Rectirhynchia*, 43 – *Gnathorhynchia*, 44 – *Holcorhynchia*, 45 – *Maxillirhynchia*, 47 – *Homaliarhynchia*, 48 – *Nannirhynchia*, 49 – *Aucklandirhynchia*, 50 – *Globirhynchia*, 51 – *Granulirhynchia*, 52 – *Lacunaerhynchia*, 53 – *Pararhactorhynchia*, 54 – *Septaliphoria*, 55 – *Torquirhynchia*, 56 – *Cardinirhynchia*, 57 – *Eurysites*, 58 – *Flabellirhynchia*, 59 – *Parvirhynchia*, 60 – *Indorhynchia*, 61 – *Moquellina*, 62 – *Strongyloria*, 63 – *Tanggularella*, 64 – *T. (Tetrarhynchia)*, 65 – *Baeorhynchia*, 66 – *Cymatorhynchia*, 67 – *Daghanirhynchia*, 68 – *Deltarhynchia*, 69 – *Druganirhynchia*, 70 – *Echyrosia*, 71 – *Goniorhynchia*, 72 – *Pycnorina*, 73 – *Quadratarhynchia*, 74 – *Robustirhynchia*, 75 – *Somalirhynchia*, 76 – *Amydroptychus*, 77 – *B. (Burmishynchia)*, 78 – *B. (Hopkinsirhynchia)*, 79 – *?Colpotoria*, 80 – *Conarosia*, 81 – *Nastosia*, 82 – *?Schizoria*, 83 – *Kallirhynchia*, 84 – *Kutchirhynchia*, 85 – *Obsoletirhynchia*, 86 – *Rhactorhynchia*, 87 – *Isjuminella*, 88 – *Costirhynchia*, 89 – *Septirhynchia*, 90 – *Heteromychus*, 91 – *Lessinirhynchias*, 92 – *Rioulina*, 93 – *Stentorina*, 94 – *Moorellina*, 95 – *Mimikonstantia*, 96 – *Thecidella*, 97 – *Loboidothyris*, 98 – *Avonothyris*, 99 – *Arabatia*, 100 – *Bihenithyris*, 101 – *Charltonithyris*, 102 – *Dolichobrochus*, 103 – *Pseudoglossothyris*, 104 – *Ptyctothyris*, 105 – *Sphaeroidothyris*, 106 – *Striithyris*, 107 – *Wattonithyris*, 108 – *Bothrothyris*, 109 – *Cererithyris*, 110 – *Plectothyris*, 111 – *Rocheithyris*, 112 – *Boreiothyris*, 113 – *Pamirothyropsis*, 114 – *Cheirothyropsis*, 115 – *Cheniothyris*, 116 – *Dictyothyris*, 117 – *Dienope*, 118 – *Lissajousithyris*, 119 – *Apatecosia*, 120 – *Arcelinithyris*, 121 – *Dorsoplicathyris*, 122 – *Monsardithyris*, 123 – *Strongylobrochus*, 124 – *Stroudithyris*, 125 – *Morrisithyris*, 126 – *Lobothyris*, 127 – *Lophrothyris*, 128 – *Argovithyris*, 129 – *Tubithyris*, 130 – *Muirwoodella*, 131 – *Goniothyropsis*, 132 – *Karadagithyris*, 133 – *Karadagella*, 134 – *Negramithyris*, 135 – *Arceythyris*, 136 – *Caryona*, 137 – *Conarothyris*, 138 – *Epithyris*, 139 – *Euidothyris*, 140 – *Ferrythyris*, 141 – *Galliennithyris*, 142 – *Gigantothyris*, 143 – *Glyphisaria*, 144 – *Heimia*, 145 – *Holcothyris*, 146 – *Kutchithyris*, 147 – *Millythyris*, 148 – *Perrierithyris*, 149 – *Petalothyris*, 150 – *Plectoidothyris*, 151 – *Tchegemithyris*, 152 – *Tegulithyris*, 153 – *Prototegulithyris*, 154 – *Lazithyris*, 155 – *Goniothyris*, 156 – *Gibbithyrella*, 157 – *?Magharithyris*, 158 – *Naradanithyris*, 159 – *Neumayrithyris*, 160 – *Rugithyris*, 161 – *Trichothyris*, 162 – *Weldonithyris*, 163 – *Nucleata*, 164 – *Kubanithyris*, 165 – *Linguithyris*, 166 – *Disculina*, 167 – *Goliathyris*, 168 – *Zeilleria*, 169 – *Ajukuzella*, 170 – *Antiptychina*, 171 – *Aulacothyris*, 172 – *Bazardarella*, 173 – *Cincta*, 174 – *Digonella*, 175 – *Kuntella*, 176 – *Lazella*, 177 – *Mycerosia*, 178 – *Obovothyris*, 179 – *Parathyridina*, 180 – *Rugitela*, 181 – *Uniptychina*, 182 – *Ornithella*, 183 – *Polyplectella*, 184 – *Gusarella*, 185 – *Eudesia*, 186 – *Apothyris*, 187 – *Flabellothyris*, 188 – *Praeudesia*, 189 – *Sphraganaria*, 190 – *Xenorina*, 191 – *Coriothyris*, 192 – *Vandobiella*, 193 – *Hamptonina*, 194 – *Zellania*, 195 – *Somalithyris*, 196 – *Moiseevia*, 197 – *Moeschia*.

Китайской области. Она характеризуется двумя отрядами Rhynchonellida, Terebratulida, четырьмя надсемействами Pugnacoidea, Rhynchonelloidea, Thecideoidea, Loboidothyridoidea, 8 семействами Wellerellidae, Prionorhynchiidae, Welleridae, Rhynchonellidae, Tetrarhynchiidae, Thecideoidea, Loboidothyrididae, Lobothyrididae и девятью подсемействами Cirpinae, Piarorhynchiinae, Ivanoviellinae, Cyclothyridinae, Tetrarhynchiidae, Gibbirhynchiinae, Ancorellinae, Loboidothyridinae и Lobothyridinae. В составе Альпийско-Меланезийско-Китайской области выделяются: Европейская,

Северо-Африканская, Русская, Аравийская, Эфиопская, Кавказско-Крымская, Иранская, Центрально-Среднеазиатская, Памирская, Тибетская и Меланезийско-Китайско-Японская провинции. **Европейская** провинция была ограничена территорией Западной Европы. Она характеризуется наивысшим родовым разнообразием из всех провинций и представлена 133 родами и под родами брахиопод (см. рисунок).

Северо-Африканская провинция занимала север Африки и была представлена 54 родами и под родами брахиопод. Она имеет 43 общих рода

с Европейской провинцией. Это: *Apringia*, *?Soaresirhynchia*, *Pseudogibbirhynchia*, *Sulcistrostra*, *Prionirhynchia*, *Sphenorhynchia*, *?Curtirhynchia*, *Homeorhynchia*, *Rhynchonelloidea*, *Ptyctorhynchia*, *Rhynchonelloidella*, *Thurmannella*, *Striirhynchia*, *Acanthothiris*, *?Paraacanthothyris*, *Gnathorhynchia*, *Monticlairella*, *Nannirhynchia*, *Septaliphoria*, *Torquirhynchia*, *Parvirhynchia*, *T. (Tetrarhynchia)*, *Cymatorhynchia*, *Pycnoria*, *Quadratorhynchia*, *Burmishynchia* (*Hopkinsirhynchia*), *Kallirhynchia*, *Kutchirhynchia*, *Rhactorhynchia*, *Isjuminella*, *Avonothyris*, *Bihenithyris*, *Monsardithyris*, *Stroudithyris*, *Tubithyris*, *Prototegulithyris*, *?Magharithyris*, *Nucleata*, *Linguithyris*, *Lazella*, *Parathyridina*, *Eudesia* и *Sphriganaria*. Она отличается от Европейской провинции присутствием родов *Daghanirhynchia*, *Somalirhynchia*, *Septirhynchia*, *Heteromyschus*, *Bihenithyris*, *Striithyris*, *Wattonithyris*, *Bothrothyris*, *?Magharithyris*, *Parathyridina*, *Sphriganaria*. Коэффициент сходства (КС) между этими провинциями составляет 0,43, что свидетельствует о стабильной биогеографической связи между ними.

Русская провинция была расположена вдоль восточной окраины Восточно-Европейской (Русской) платформы и представлена 16 родами: *Ivanoviella*, *?Microrhynchia*, *Rhynchonelloidella*, *Thurmannella*, *Capillirhynchia*, *Septaliphoria*, *Torquirhynchia*, *Cardinirhynchia*, *Rhactorhynchia*, *Cheirothyropsis*, *Dictyothyris*, *Morrisithyris*, *Muirwoodella*, *Kutchithyris*, *Tegulithyris* и *Rugithyris*. Все они встречаются и в Европейской провинции. Существование биогеографической связи между ними подтверждает и коэффициент сходства между ними, который составляет 0,21. Русская провинция имеет с Северо-Африканской провинцией 5 общих родов: *Rhynchonelloidella*, *Thurmannella*, *Septaliphoria*, *Torquirhynchia* и *Rhactorhynchia* (коэффициент сходства (КС) = 0,16), что свидетельствует о слабых биогеографических связях между ними. **Аравийская** провинция занимала территорию Аравийского полуострова (Синай, Израиль, Аравия). Она представлена 48 родами брахиопод. Общими с Европейской провинцией являются чуть больше половины родов: *Sphenorhynchia*, *Globirhynchia*, *Cymatorhynchia*, *Daghanirhynchia*, *Pycnoria*, *Somalirhynchia*, *Kallirhynchia*, *Kutchirhynchia*, *Heteromyschus*, *Avonothyris*, *Bihenithyris*, *Dolichobrochus*, *Ptyctothyris*, *Sphaeroidothyris*, *Striithyris*, *Wattonithyris*, *Plectothyris*, *Apatecosia*, *Dorsoplicathyris*, *Dorsoplicathyris*, *Tubithyris*, *Conarothyris*, *Glyphisaria*, *Plectoidothyris*, *?Magharithyris*, *Lazella*, *Parathyridina*, *Flabellothyris* и *Sphriga-*

naria. Коэффициент сходства (КС) между ними составляет 0,22, что свидетельствует о существовании биогеографических связей между ними. Более стабильные связи у Аравийской провинции существовали с Северо-Африканской провинцией, с которой у нее было 17 общих родов и, соответственно, коэффициент сходства между ними был значительно выше – 0,35. **Эфиопская** провинция занимала восточные районы Африканского континента и остров Мадагаскар. Она представлена 13 родами – *Pseudogibbirhynchia*, *Ivanoviella*, *Cymatorhynchia*, *Bihendulirhynchia*, *Torquirhynchia*, *Daghanirhynchia*, *Pycnoria*, *Somalirhynchia*, *Burmishynchia*, *Kutchirhynchia*, *Septirhynchia*, *Bihenithyris* и *Tubithyris*. Она имеет шесть общих родов с Аравийской (КС = 0,24) и 10 общих родов с Северо-Африканской провинцией (КС = 0,33), что свидетельствует о ее более тесных биогеографических связях с последней. У Эфиопской провинции с Русской один общий род *Ivanoviella* (КС = 0,07). **Кавказско-Крымская** провинция располагалась на территории Крыма, Кавказа и Турции. Она представлена 38 родами и под родами (см. рисунок). Она имеет 12 общих родов с Русской провинцией – *Sulcistrostra*, *Homeorhynchia*, *Ivanoviella*, *Thurmannella*, *Capillirhynchia*, *Septaliphoria*, *Torquirhynchia*, *Cardinirhynchia*, *Rhactorhynchia*, *Cheirothyropsis*, *Dictyothyris* и *Morrisithyris* (КС = 0,428), 28 общих родов и под родов с Европейской провинцией – *Sulcistrostra*, *?Sphenorhynchia*, *Homeorhynchia*, *R. (Rhynchonelloidea)*, *Ivanoviella*, *Thurmannella*, *Cubanirhynchia*, *Striirhynchia*, *Capillirhynchia*, *?Trichorahynchia*, *Acanthothiris*, *?Paraacanthothyris*, *?Acanthothyropsis*, *Holcorhynchia*, *Maxilirhynchia*, *Monticlairella*, *Septaliphoria*, *Torquirhynchia*, *Cardinirhynchia*, *Parvirhynchia*, *T. (Tetrarhynchia)*, *Rhactorhynchia*, *Cheirothyropsis*, *Dictyothyris*, *Morrisithyris*, *Karadagithyris*, *Nucleata* и *Kubanithyris* (КС = 0,33), 16 общих родов с Северо-Африканской провинцией (КС = 0,37) и шесть общих родов с Аравийской провинцией (КС = 0,14), т. е. она характеризовалась стабильными биогеографическими связями с Русской, Европейской, Северо-Африканской, а также слабыми связями с Аравийской провинцией. **Иранская** провинция занимала территорию современного Ирана. Она представлена 15 родами – *Bihendulirhynchia*, *Torquirhynchia*, *Cardinirhynchia*, *Daghanirhynchia*, *Burmishynchia*, *Kutchirhynchia*, *Arabatia*, *Dorsoplicathyris*, *Tubithyris*, *Conarothyris*, *Aulacothyris*, *Digonella*, *Somalithyris*, *Moiseevia* и *Moeschia*. С Кавказско-Крымской провин-

цией она имеет три общих рода – *Torquirhynchia*, *Cardinirhynchia* и *Dorsoplicathyris* (КС = 0,11), с Аравийской – 6 общих родов: *Daghanirhynchia*, *Kutchirhynchia*, *Arabatia*, *Dorsoplicathyris*, *Tubithyris*, *Conarothyris* (КС = 0,19). Таким образом, с сопредельными провинциями Кавказско-Крымской и Аравийской она имела слабые биографические связи. **Центрально-Среднеазиатская** провинция располагалась на территории современных Узбекистана, Туркмении и Российского Прикаспия. Она характеризуется 19 родами. Она имеет с Иранской провинцией четыре общих рода – *Sphenorhynchia*, *Burmishynchia*, *Kutchirhynchia* и *Dorsoplicathyris* (КС = 0,24), с Кавказско-Крымской – 9 общих родов: *Sphenorhynchia*, *Ivanoviella*, *Sharpirhynchia*, *Striirhynchia*, *Septaliphoria*, *Burmishynchia*, *Kutchirhynchia*, *Dorsoplicathyris*, *Tubithyris* (КС = 0,35), т. е. с Кавказско-Крымской провинцией она имела более тесные биогеографические связи, чем с расположенной южнее – Иранской. **Памирская** провинция занимала территорию одноименной горной системы. Она охарактеризована 19 родами – *Almorhynchia*, *Apringia*, *Pseudogibbirhynchia*, *Ivanoviella*, *Davanirhynchia*, *Acanthothiris*, *Indorhynchia*, *Kallirhynchia*, *Kutchirhynchia*, *Costirhynchia*, *Pamirothyropsis*, *Goniothyropsis*, *Gibbithyrella*, *Naradanithyris*, *Ajukuzella*, *Bazardarella*, *Kuntella*, *Coriothyris* и *Vandobiella*. Она с Центрально-Среднеазиатской провинцией имеет шесть общих родов *Ivanoviella*, *Acanthothiris*, *Indorhynchia*, *Kutchirhynchia*, *Pamirothyropsis*, *Goniothyropsis* (КС = 0,32) и с Иранской – только один общий род (КС = 0,06). Таким образом, если с Центрально-Среднеазиатской провинцией она имела стабильные биогеографические связи, то с Иранской – такая связь, практически, отсутствовала. **Тибетская** провинция занимала территорию Афганистана, Пакистана, западной Индии, Непала, Гималаев и Тибета. Она характеризуется 25 родами – *Sphenorhynchia*, *Somalirhynchia*, *Acanthothiris*, *Ivanoviella*, *Bihendulirhynchia*, *?Himalairhynchia*, *Ptyctorhynchia*, *?Paraacanthothyris*, *Homaliarhynchia*, *Lacunaerhynchia*, *Pararhactorhynchia*, *Torquirhynchia*, *Cardinirhynchia*, *Indorhynchia*, *Daghanirhynchia*, *Burmishynchia*, *Kallirhynchia*, *Kutchirhynchia*, *Rhactorhynchia*, *Avonothyris*, *Sphaeroidothyris*, *Cererithyris*, *Dorsoplicathyris*, *Monsardithyris* и *Kutchithyris*. Она имеет с Памирской и Центрально-Среднеазиатской провинциями по пять общих родов (КС = 0,23), с Иранской – 7 общих родов (КС = 0,38), что свидетельствует о более широких биогеографических связях между Ти-

бетской и Иранской провинциями, чем между Тибетской и Центрально-Среднеазиатской. **Меланезийско-Китайско-Японская** провинция охватывала территорию Бирмы, Таиланда, Индонезии, Китая и Японии. Она представлена 32 родами брахиопод (см. рисунок). Имеет девять общих родов – *Ivanoviella*, *Bihendulirhynchia*, *Torquirhynchia?*, *Himalairhynchia*, *Daghanirhynchia*, *Burmishynchia*, *Kallirhynchia*, *Rhactorhynchia* и *Kutchithyris* с Тибетской провинцией (КС = 0,34) и три общих рода – *Ivanoviella*, *Kutchithyris*, *Kallirhynchia* – с Памирской (КС = 0,12). При сравнении с этими двумя провинциями мы видим, что наиболее тесные связи существовали у нее с Тибетской провинцией. Между крайне западной – Европейской и крайне восточной – Меланезийско-Китайско-Японской провинциями наблюдаются стабильные биогеографические связи (КС = 0,23). **Западно-Южно-Американская область** протягивается вдоль западной окраины Южной Америки и представлена 21 родом и подродом – *Anarhynchia*, *Prionorhynchia*, *Homoeorhynchia*, *R. (Rhynchonelloidea)*, *R. (Aalenirhynchia)*, *Ptilorhynchia*, *Thurmannella*, *Lacunaerhynchia*, *Septaliphoria*, *Torquirhynchia*, *Eurysites*, *Flabellirhynchia*, *Parvirhynchia*, *Tetrarhynchia*, *Cymatorhynchia*, *Quadratorhynchia*, *Kallirhynchia*, *Rhactorhynchia*, *Loboidothyris*, *Morrisithyris*, *Lobothyris*, из них у нее два общих рода *Prionorhynchia* и *Lobothyris* (КС = 0,13) с Новозеландско-Новокаледонской областью, что свидетельствует о слабой биогеографической связи между ними.

Бореальная надобласть представлена Сибирско-Северо-Американской областью и характеризуется 12 родами – *Pseudogibbirhynchia*, *Anarhynchia*, *Homoeorhynchia*, *Capillirhynchia*, *Gnathorhynchia*, *Globirhynchia*, *Flabellirhynchia*, *Tetrarhynchia*, *Quadratorhynchia*, *Kallirhynchia*, *Rhactorhynchia* и *Lobothyris*, из них у нее восемь общих родов (КС = 0,48) с Западно-Южно-Американской областью, что свидетельствует об очень стабильных биогеографических связях между ними. Сибирско-Северо-Американская область и Меланезийско-Китайско-Японская провинция имеют четыре общих рода – *Pseudogibbirhynchia*, *Globirhynchia*, *Kallirhynchia* и *Lobothyris* (КС = 0,18) и 12 общих родов – с Европейской провинцией Тетической области – *Pseudogibbirhynchia*, *Anarhynchia*, *Ptilorhynchia*, *Gnathorhynchia*, *Maxillirhynchia*, *Globirhynchia*, *Flabellirhynchia*, *T. (Tetrarhynchia)*, *Quadratorhynchia*, *Kallirhynchia*, *Rhactorhynchia* и *Lobothyris* (КС = 0,15), т. е. с этими палеозоохориями

у нее были слабые биогеографические связи. В состав Сибирско-Северо-Американской области входят четыре провинции: Сибирская, Канадская, Невадская и Гренландская, последние две расположены в зоне экотона между Бореальной и Экваториальной надобластями. **Сибирская** провинция занимает территорию Восточной Сибири и представлена четырьмя родами брахиопод – *Ptilorhynchia*, *Maxillirhynchia*, *Tettrahynchia* и *Boreiothyris*. **Западно-Канадская** провинция расположена на западном обрамлении Канадского щита и характеризуется семью родами – *Homoeorhynchia*, *Ptilorhynchia*, *Capillirhynchia*, *Tettrahynchia*, *Kallirhynchia*, *Rhactorhynchia* и *Lobothyris*. Сибирская и Канадская провинции имеют два общих рода – *Ptilorhynchia* и *Tettrahynchia* (КС = 0,36), что свидетельствует о стабильной биогеографической связи между ними. **Невадская** провинция занимает территорию штатов Невада, Калифорнии и Юта и представлена 11 родами – *Pseudogibbirhynchia*, *Anarhynchia*, *Homoeorhynchia*, *Gnathorhynchia*, *Globirhynchia*, *Flabellirhynchia*, *Quadrirhynchia*, *Kallirhynchia*, *Rhactorhynchia*, *Stentorina* и *Lobothyris*. С Западно-Канадской провинцией она имеет четыре общих рода – *Ptilorhynchia*, *Tettrahynchia*, *Kallirhynchia* и *Lobothyris*. Коэффициенты сходства между Канадской и Невадской провинциями относительно высоки (КС = 0,46), между Невадской провинцией и Западно-Южно-Американской областью он выше (КС = 0,66), что свидетельствует о более тесных биогеографических связях у Невадской провинции с Западно-Южно-Американской областью (семь общих родов), чем с Канадской провинцией. **Гренландская** провинция расположена на восточном обрамлении Гренландского щита и представлена тремя родами – *Apringia*, *Pseudogibbirhynchia* и *Nucleata*. Все эти виды встречаются в Европейской провинции (КС = 0,02), при этом наблюдается полное отсутствие их в остальных провинциях Бореальной надобласти (КС = 0).

В составе **Нотальной надобласти** выделяется Антарктическая область, представленная двумя биполярными родами *Ptilorhynchia* и *Flabellirhynchia*.

Выводы

Таким образом, в средней юре, по сравнению с поздним триасом и ранней юрой, площадь морских бассейнов заметно увеличилась. Вдоль вос-

точного обрамления Русской платформы возник морской бассейн, который соединил Бореальный и Тетический бассейны. Морской бассейн, который заложен вдоль восточного края Африканского континента, соединился с Антарктическим бассейном и разделил ранее существующий суперконтинент Афалию на два континента – Лемуриду и Атлантиду. В средней юре, по сравнению с ранней юрой, дифференциация брахиопод между биогеографическими надобластями, областями и провинциями значительно возросла.

Литература

1. Баранов В.В. Кризис новой глобальной тектоники литосферных плит и палеобиогеография пржедольских брахиопод северных регионов Евразии и Северной Америки // Вестник Госкомгеологии. 2016. № 1(15). С. 77–90.
2. Баранов В.В., Гриненко В.С. Средний палеозой–ранний мезозой: Панталассы, Палеопацифика или Пацифида? // Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит: Материалы IV Всероссийской конференции с международным участием. Владивосток, 17–23 сентября 2018 г. Владивосток: Дальнаука, 2018. С. 16–19.
3. Баранов В.В., Гриненко В.С. Эволюция глобальной палеогеографии среднего палеозоя и ранне-го–среднего мезозоя // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы совещания. Вып. 16. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2018. С. 28–30.
4. Гриненко В.С., Баранов В.В. 4. Палеогеография и палеобиогеография ранней юры (геттанг–плинсбах) по брахиоподам // Отечественная геология. 2018. № 1. С. 82–86.
5. Гриненко В.С., Баранов В.В. Проблемы палеогеографии, палеобиогеографии и стратиграфии терминального триаса Бореальной надобласти: бырандьянский ярус // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: материалы VII Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 60-летию Института геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, 5–7 апреля 2017 г. в 2 т. Якутск: Издательский дом СВФУ, 2017. С. 69–74.
6. Гриненко В.С., Баранов В.В. Глобальная палеогеография и палеобиогеография средней юры по брахиоподам // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы совещания. Вып. 16. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2018. С. 74–76.
7. Гриненко В.С., Баранов В.В. Палеогеография и палеобиогеография позднего триаса (карний–рэт) по

брахиоподам // Отечественная геология. 2019. № 2. С. 66–72.

8. *Гриненко В.С., Баранов В.В.* Глобальная палеогеография и палеобиогеография тоарского века по брахиоподам // Глобальная палеогеография и палеобиогеография тоарского века (ранняя юра) по брахиоподам // Вестник Института геологии Коми НЦ УРО РАН. 2019. № 5. С. 20–26. DOI: 10.19110/2221-1381-2019-5-20-26.

9. *Baranov V.V., Grinenko V.S., Blodgett R.B.* Global Conodont Paleobiogeography of the Tournaisian Stage (Early Carboniferous) // Kazan Golovkinsky Stratigraphic Meeting, 2017. Advances in Devonian, Carboniferous and Permian Research: Stratigraphy, Environments, Climate and Resources. Kazan, Russian Federation, 19–23 September 2017. Filodiritto International Proceedings. Kazan', 2018. P. 274–282.

10. *Рудич Е.М.* Мелководные фации Мирового океана // Океанизация Земли – альтернатива неомобилизма. Калининград, 2004. С. 218–234.

11. *Орленок В.В.* История океанизации Земли. Калининград: Янтарный сказ, 1998. 248 с.

12. *Зезина О.Н.* Экология и распространение современных брахиопод. М.: Наука, 1976. 138 с.

13. *Пронин А.А.* Геологические проблемы современных и древних океанов. Л.: Наука, 1977. 216 с.

14. *Рудич Е.М.* Основные закономерности тектонического развития Приморья, Сахалина и Японии как зоны перехода от континента к океану. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 270 с.

15. *Рудич Е.М.* Движущиеся материки и эволюция океанического ложа. М.: Недра, 1983. 272 с.

16. *Рудич Е.М.* Расширяющиеся океаны: факты и гипотезы. М.: Недра, 1984. 250 с.

17. *Блюман Б.А.* Выветривание базальтов и несогласия в коре океанов: возможные геодинамические следствия // Региональная геология и металлогения. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2008. № 35. С. 72–86.

18. *Блюман Б.А.* Земная кора океанов (по материалам международных программ глубоководного бурения в Мировом океане). СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2011. 344 с.

19. *Блюман Б.А.* Актуальные вопросы геологии океанов и континентов. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2013. 397 с.

20. *Петров О.В., Морозов А.Ф., Лайба А.А. и др.* Архейские граниты на Северном полюсе // Строение и развитие литосферы. М: Paulsen, 2010. С. 192–203.

21. *Ломакин И.Э.* Линеаменты дна Индийского океана // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2009. № 1. С. 5–15.

22. *Ломакин И.Э.* Линеаменты дна Атлантического океана // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2012. № 2. С. 5–24.

23. *Белоусов В.В.* Земная кора и верхняя мантия океанов. М.: Наука, 1968. 253 с.

24. *Васильев Б.И.* Основные черты геологического строения северо-западной части Тихого океана. Владивосток: ДВО АН СССР, 1988. 192 с.

25. *Васильев Б.И.* Основы региональной геологии Тихого океана. Ч. 1 и 2. Владивосток: Дальнаука, 1992. 176 с.

26. *Васильев Б.И.* Меланезийский тип Тихоокеанской зоны перехода // Тихоокеанская геология. 1993. № 5. С. 3–12.

27. *Васильев Б.И., Чой Д.Р.* Геология глубоководных желобов и островных дуг Тихого океана. Владивосток: Дальнаука, 2001. 184 с.

28. *Резанов И.А.* История представлений о месте океанов в структуре Земли // Тихоокеанская геология. 1983. № 4. С. 79–87.

29. *Резанов И.А.* Эволюция земной коры. М.: Наука, 1985. 144 с.

30. *Удинцев Г.Б.* Рельеф и строение дна океанов. М.: Недра, 1987. 240 с.

31. *Фролов В.Т., Фролова Т.И.* Происхождение Тихого океана. М.: МАКСпресс, 2011. 50 с.

32. *Eardley A.J.* Structural geology of North America. New York, 1951.

33. *Moxness L.D., Isbella J.L., Paulsa K.N., Limarino C.O., Schencman J.* Sedimentology of the mid-Carboniferous fill of the Olta paleovalley, eastern Paganzo Basin, Argentina: Implications for glaciation and controls on diachronous deglaciation in western Gondwana during the late Paleozoic Ice Age // Journal of South American Earth Sciences. 2018. Vol. 84. P. 127–148.

34. *Жарков В.А.* К вопросу о «ледниковом переотложении» морской кайнозойской фауны // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России. Т. II. Материалы XVII Геологического съезда Республики Коми 16-18 апреля 2019 г. Сыктывкар, 2019. С. 144–146.

35. *Treatise of invertebrate paleontology.* Pt. H. Brachiopoda. Revised. Vol. 4. Rhynchonelloformea (part). Geol. Soc. Amer., Inc. and the Univ. Kansas Boulder, Colorado, and Lawrence. Kansas, 2002. P. 921–1668.

36. *Treatise of invertebrate paleontology.* Pt. H. Brachiopoda. Revised. Vol. 5. Rhynchonelloformea (part). Geol. Soc. Amer., Inc. and the Univ. Kansas Boulder, Colorado, and Lawrence. Kansas, 2006. P. 1689–2320.

37. *Baeza-Carratalá J. F., Joral, F.G., Sandoval J.* Bajocian-Early Bathonian (Jurassic) brachiopods from the Subbetic domain (Betic Cordillera, SE Spain): Taxonomy and palaeobiogeographic implications // N. Jb. Geol. Paleont. Abh. 2014. V. 274/1. P. 1–24.

38. *Feldman H.R., Radulovic V.J., Hegab A.A., Radulovic B.V.* Taxonomy and paleobiogeography of late Ba-

thonian brachiopods from Gebel Engabashi, northern Sinai // *J. Paleontol.* 2012. Vol. 86, N 2. P. 238–252.

39. Mukherjee D., Fursich F.T. Jurassic brachiopods from east-central Iran // *Beringeria*. 2014. V. 44. P. 107–127.

40. Vörös A., Dulai A. Jurassic brachiopods of the Transdanubian Range (Hungary); stratigraphical distribution and diversity changes // *Fragmenta Palaeontologica Hungarica*, 2007. V. 24–25. P. 51–68.

Поступила в редакцию 07.11.2019

Принята к публикации 21.01.2020

Об авторах

ГРИНЕНКО Виталий Семенович, старший научный сотрудник, кандидат геолого-минералогических наук, Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, Россия, 677980, Якутск, пр. Ленина, 39,

<https://orcid.org/0000-0002-5242-2200>, grinenkovs@diamond.ysn.ru;

БАРАНОВ Валерий Васильевич, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, Россия, 677980, Якутск, пр. Ленина, 39,

<https://orcid.org/0000-0003-3262-7302>, baranowvalera@yandex.ru.

Информация для цитирования

Гриненко В.С., Баранов В.В. Глобальная палеогеография и палеобиогеография средней юры по брахиоподам // *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2020, Т. 25, № 1. С. 32–42. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-1-3>

DOI 10.31242/2618-9712-2020-25-1-3

Global paleogeography and paleobiogeography of the Middle Jurassic (Aalenian-Callovian) as derived from brachiopods*

V.S. Grinenko**, V.V. Baranov

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

***grinenkovs@diamond.ysn.ru*

Abstract. It is established that in the Middle Jurassic (Aalenian – Callovian), the paleogeography of the Earth was represented by two Supercontinents – Pacifida and Arasia, and four continents: Atlantida, Lemurida, Hyperborea and Antarctida, which were separated by shallow shelf sea basins, about 2000–3000 km wide. The Boreal basin was connected to the Alpine-Melanesian-Chinese (Tethys) by western, eastern straits, and the Russian sea. Based on the study of spatial-temporal distribution of the Early Jurassic brachiopods, Equatorial, Boreal, and Notal superrealms were differentiated. The Equatorial Superrealm is represented by the Alpine-Melanesian-Chinese (Tethian), New Zealand-New Caledonian, West-South-American realms. Within the Alpine-Melanesian-Chinese Realm, the provinces are distinguished: the European, North-African, Russian, Arabian, Ethiopian, Caucasian-Crimean, Iranian, Central-Middle-Asian, Pamirian, Tibetan, Thai-Chinese-Japanese. In the structure of Boreal Superrealm, the Siberian-North-American realm is distinguished, divided into Siberian, West-Canadian, Nevadan and Greenlandian Provinces. The Antarctic Realm is established in the composition of the Notal Superrealm.

Key words: paleogeography, paleobiogeography, Pacifida, Arasia, Atlantida, Lemurida, Hyperborea, Antarctida, Middle Jurassic, Aalenian, Bajocian, Bathonian, Callovian, brachiopods.

Acknowledgements. This work is done under state assignment of DMPGI SB RAS and financial support of Ministry of Science and Higher Education of Russian Federation.

* Published as a discussion

References

1. Baranov V.V. Krisis novoi global'noi tektoniki plit i paleobiogeografia przhidol'skikh brachiopod severnykh regionov Evrazii i Severnoi Ameriki // Vestnik Goskomgeologii. 2016. № 1(15). P. 77–90.
2. Baranov V.V., Grinenko V.S. Srednii paleozoi–rannii mezozoi: Pantalassy, Paleopatsifika ili Patsifida? // Geologicheskie protsessy v obstanovke sybductsii, kollizii i skol'zhenia litosfernykh plit. Materialy IV Vserossiiskoi konferentsii s mezhdynarodnym uchastiem. Vladivostok: Dal'nauka. 2018. P. 16–19.
3. Baranov V.V., Grinenko V.S. Evolutsia global'noi paleogeografii – paleobiogeografii srednego paleozoya i rannego–srednego mezozoya // Geodinamicheskaya evolutsia litosfery Tsentral'no-Aziatskogo podvizhnogo poyasa (ot okeana k kontinentu). Materialy soveshchaniia. Vyp. 16. Irkutsk: Institut zemnoi kory SO RAN, 2018. P. 28–30.
4. Grinenko V.S., Baranov V.V. Paleogeografia i paleobiogeografia rannei yury (gettang–plinsbakh) po brachiopodam // Otechestvennaya geologia. 2018. No. 1. P. 82–86.
5. Grinenko V.S., Baranov V.V. Problemy paleogeografii, paleobiogeografii i stratigrafii terminalnogo triasa Borealnoi nadoblasti: byrandjanskii yarus // Geologia i mineral'no-syr'evye resursy Severo-Vostoka Rossii: materialy VII Vserossiiskoi nauchno-practicheskoi konferentsii, posvyaschennoi 60-letiyu Instituta geologii almaza i blagorodnykh metallov SO RAN, 5–7 aprelya 2017 g., v 2 t. Yakutsk: Izdatel'skii dom SVFU. P. 69–74.
6. Grinenko V.S., Baranov V.V. Global'naya paleogeografia i paleobiogeografia srednei yury po brachiopodam // Geodinamicheskaya evolutsia litosfery Tsentral'nogo podvizhnogo poyasa (ot okeana k kontinentu). Materialy soveshchaniia. 2018. Vyp. 15. Irkutsk: Institut zemnoi kory SO RAN, 2018. P. 74–76.
7. Grinenko V.S., Baranov V.V. Paleogeographia i paleobiogeographia pozdnego triasa (karnii-ret) po brachiopodam // Otechestvennaya geologia. 2019. No. 2. P. 66–72.
8. Grinenko V.S., Baranov V.V. Global'naya paleogeografia i paleobiogeografia toarskogo veka (rannaya yura) po brachiopodam // Vestnik Instituta geologii Komi NTS URO RAN. 2019. No. 5. P. 20–26. DOI: 10.19110/2221-1381-2019-5-20-26.
9. Baranov V.V., Grinenko V.S., Blodgett R.B. Global Conodont Paleobiogeography of the Tournaisian Stage (Early Carboniferous) // Kazan Golovkinsky Stratigraphic Meeting, 2017. Advances in Devonian, Carboniferous and Permian Research: Stratigraphy, Environments, Climate and Resources. Kazan, Russian Federation, 19–23 September 2017. Filodiritto International Proceedings. Kazan', 2018. P. 274–282.
10. Rudich E.M. Melkovodnye fatsii Mirovogo okeana // Okeanizatsia Zemli – alternativa neomobilizma. Kaliningrad, 2004. P. 218–234.
11. Orlenok V.V. Istoria okeanizatsii Zemli. Kaliningrad: Yantarnyi skaz, 1998. 248 p.
12. Zezina O.N. Ekologia i rasprostranenie sovremennykh brachiopod. M.: Nauka, 1976. 138 p.
13. Pronin A.A. Geologicheskie problemy sovremennykh i drevnykh okeanov. L.: Nauka, 1977. 216 p.
14. Rudich E.M. Osnovnye zakonomernosti tektonicheskogo razvitiia Primoria, Sakhalina i Yaponii kak zony perekhoda ot kontinenta k okeanu. M.: Izdatelstvo AN SSSR, 1962. 270 p.
15. Rudich E.M. Dvizhushchiesya materiki i evolutsia okeanicheskogo lozha. M.: Nedra, 1983. 270 p.
16. Rudich E.M. Rasschirayushchiesya okeany: fakty i gipotezy. M.: Nedra, 1984. 250 p.
17. Bljuman B.A. Vyvetrivanie bazaltov i nesoglasia v kore okeanov: vozmozhnye gelogicheskie sledstvia. Regional'. geolog. i metallogenia. SPb.: Izdatelstvo VSEGEI, 2008. No. 35. P. 72–86.
18. Bljuman B.A. Zemnaya kora okeanov (po materialam mezhdunarodnykh programm glubokovodnogo burenia v Mirovom okeane). SPb.: Izdatelstvo VSEGEI, 2011. 344 p.
19. Bljuman B.A. Aktual'nye voprosy geologii okeanov i kontinentov. SPb.: Izdatelstvo VSEGEI, 2011. 397 p.
20. Petrov O.V., Morozov A.F., Laiba A.A. i dr. Arheiskie granity na Severnom polyuse. M.: Paulsen, 2010. P. 192–203.
21. Lomakin I.E. Lineamenty dna Indiiskogo okeana // Geologia i poleznye iskopaemye Mirovogo okeana. 2009. No. 1. P. 5–15.
22. Lomakin I.E. Lineamenty dna Atlanticheskogo okeana // Geologia i poleznye iskopaemye Mirovogo okeana. 2012. No. 2. P. 5–24.
23. Belousov V.V. Zemnaya kora i verkhnyia mantia okeanov. M.: Nauka, 1968. 253 p.
24. Vasil'ev B.I. Osnovnye cherty geologicheskogo stroenia severo-zapadnoi chasti Tikhogo okeana. Vladivostok: DVO AN SSSR, 1982. 192 p.
25. Vasil'ev B.I. Osnovy regionalnoi geologii Tikhogo okeana. Ch. 1 i 2. Vladivostok: Dal'nauka, 1992. 176 p.
26. Vasil'ev B.I. Melaneziiskii tip Tikhookeanskoi zony perekhoda // Tikhookeanskaya geologia. 1993. No. 5. P. 3–12.
27. Vasil'ev B.I., Choi D.R. Geologia glubokovodnykh zhelobov i ostrovnykh dug Tikhogo okeana: Dal'nauka, 2001. 184 p.
28. Rezanov I.A. Istoria predstavlenii o meste okeanov v structure Zemli // Tikhookeanskaya geologia. 1983. No. 2. P. 79–87.
29. Rezanov I.A. Evolutsia zemnoi kory. M.: Nauka, 1985. 144 p.
30. Udintsev G.B. Rel'ef i stroenie dna okeanov. M.: Nedra, 1987. 240 p.
31. Frolov V.T., Frolova T.I. Proishoschdenie Tikhogo okeana. M.: MAKSpres, 2011. 50 p.
32. Eardley A.J. Structural geology of North America. New York, 1951.
33. Moxnessa L.D., Isbella J.L., Paulsa K.N., Limari-nob C.O., Schencman J. Sedimentology of the mid-Car-

boniferous fill of the Olta paleovalley, eastern Paganzo Basin, Argentina: Implications for glaciation and controls on diachronous deglaciation in western Gondwana during the late Paleozoic Ice Age // *Journal of South American Earth Sciences*. 2018. Vol. 84. P. 127–148.

34. Zharkov V.A. K voprosy o “lednikovom pereotlozhenii” morskoi kainozoiskoi fauny // *Geologia i mineral’nye resursy Evropeiskogo Severo-Vostoka Rossii*. T. II. Materialy XVII Geologicheskogo syezda Respubliki Komi, 16-18 aprelya 2019 g. Syktyvkar: Geoprint, 2019. P. 144–146.

35. *Treatise of invertebrate paleontology*. Pt. H. Brachiopoda. Revised. Vol. 4. Rhynchonelloformea (part). Geol. Soc. Amer., Inc. and the Univ. Kansas Boulder, Colorado, and Lawrence. Kansas, 2002. P. 921–1668.

36. *Treatise of invertebrate paleontology*. Pt. H. Brachiopoda. Revised. Vol. 5. Rhynchonelloformea (part).

Geol. Soc. Amer., Inc. and the Univ. Kansas Boulder, Colorado, and Lawrence. Kansas, 2006. P. 1689–2320.

37. Baeza-Carratalá J. F., Joral, F.G., Sandoval J. Bajocian-Early Bathonian (Jurassic) brachiopods from the Subbetic domain (Betic Cordillera, SE Spain): Taxonomy and palaeobiogeographic implications // *N. Jb. Geol. Paleont. Abh.* 2014. V. 274/1. P. 1–24.

38. Feldman H.R., Radulovic V.J., Hegab A.A., Radulovic B.V. Taxonomy and paleobiogeography of late Bathonian brachiopods from Gebel Engabashi, northern Sinai // *J. Paleontol.* 2012. Vol. 86, N 2. P. 238–252.

39. Mukherjee D., Fursich F.T. Jurassic brachiopods from east-central Iran // *Beringeria*. 2014. V. 44. P. 107–127.

40. Vörös A., Dulai A. Jurassic brachiopods of the Transdanubian Range (Hungary); stratigraphical distribution and diversity changes // *Fragmenta Palaeontologica Hungarica*, 2007. V. 24–25. P. 51–68.

About the authors

GRINENKO Vitaliy Semenovich, candidate of Geological and Mineralogical Sciences, senior researcher, Diamond and Precious Metal Geology Institute, SB RAS, 39 Lenin ave., Yakutsk, 677980, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-5242-2200>, grinenkovs@diamond.ysn.ru;

BARANOV Valeryi Vasil’evich, doctor of Geological and Mineralogical Sciences, leading researcher, Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin ave., Yakutsk, 677980, Russia, <https://orcid.org/0000-0003-3262-7302>, baranowvalera@yandex.ru.

Citation

Grinenko V.S., Baranov V.V. Global paleogeography and paleobiogeography of the Middle Jurassic (Aalenian-Callovian) as derived from brachiopods // *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2020, Vol. 25, N 1. P. 32–42. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-1-3>

Инженерная геология, мерзловедение и грунтоведение

УДК 551.510.42 (571.56-25)

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

Загрязнение атмосферы города Якутска взвешенными веществами

В.Н. Макаров, Н.В. Торговкин

*Институт мерзлотоведения Сибирского отделения РАН, Якутск, Россия
makarov@mpi.ysn.ru*

Аннотация. Определены основные физико-химические свойства (содержание химических элементов, минералогический и гранулометрический состав) взвешенных веществ в атмосфере Якутска. На территории города было проведено геохимическое изучение почв, снежного покрова и взвешенных веществ (ВВ) в приземной атмосфере. Поступающие в приземную атмосферу ВВ полидисперсны и представляют собой совокупность твердых частиц разного размера. Около 70 % количества ВВ в атмосфере относится к собственно пыли, аэросуспензии занимают 20 %, средне-мелкодисперсные – около 10 %. В полидисперсных ВВ присутствуют токсичные элементы: Мп, Со, Си, Cd, Pb, Zn. Экологически наиболее опасны средне-мелкодисперсные частицы ВВ с высоким содержанием элементов 1 и 2 классов токсичности Cd, Pb и Си. Среднегодовые концентрации ВВ в воздухе города в 1,8 раза выше санитарных норм. Взвешенные вещества (пыль и аэрозоли) пагубно воздействуют на здоровье человека.

Ключевые слова: городская атмосфера, взвешенные частицы, дисперсность, микроэлементы, токсичность.

Благодарности. Авторы благодарят ООО «Группа Компаний Синет» за материальную и информационную поддержку наших исследований.

Введение

Загрязнение воздуха является одной из основных причин смертности во всем мире. Точная оценка его пространственного и временного распределения является обязательной для проведения эпидемиологических исследований, способных оценить долгосрочные (например, ежегодные) и краткосрочные (например, ежедневные) последствия для здоровья.

Загрязняющие воздух взвешенные вещества (ВВ) – это дым, сажа, пыль и капельки жидкости, образующиеся при хозяйственной деятельности (сгорании топлива) и присутствующие в воздухе. Способность ВВ неблагоприятно влиять на здоровье человека была замечена еще многие столетия назад, но только исследованиями последних лет доказана серьезная угроза здоровью людей при их воздействии. Так, достоверно установлена связь между уровнем ВВ в атмосферном воздухе и увеличением суточной смертности [1]. Взвешенные частицы могут быть причиной биологического загрязнения воздуха, т. е. содержать вредные микроорганизмы, включаю-

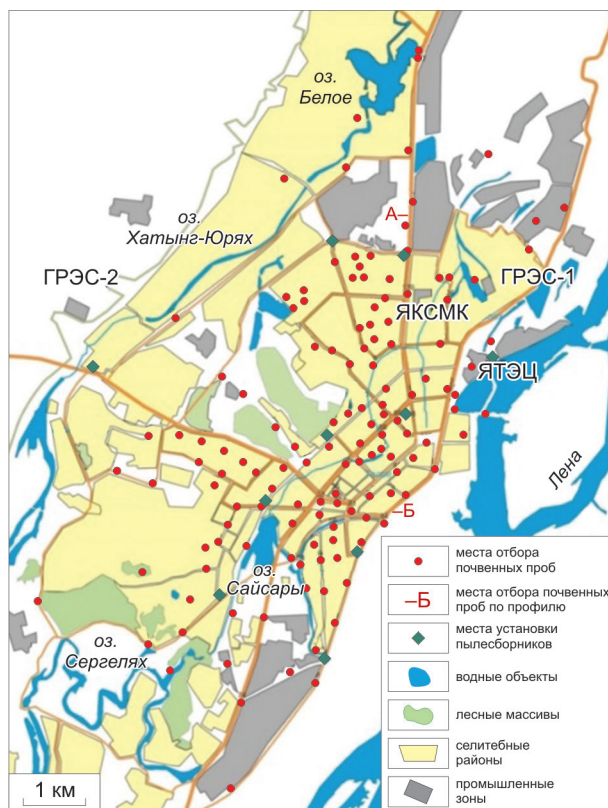
щие бактерии, вирусы и грибки. Считается, что ингаляционный (через легкие) путь поступления загрязнений в организм наиболее опасный [2].

Методика исследований

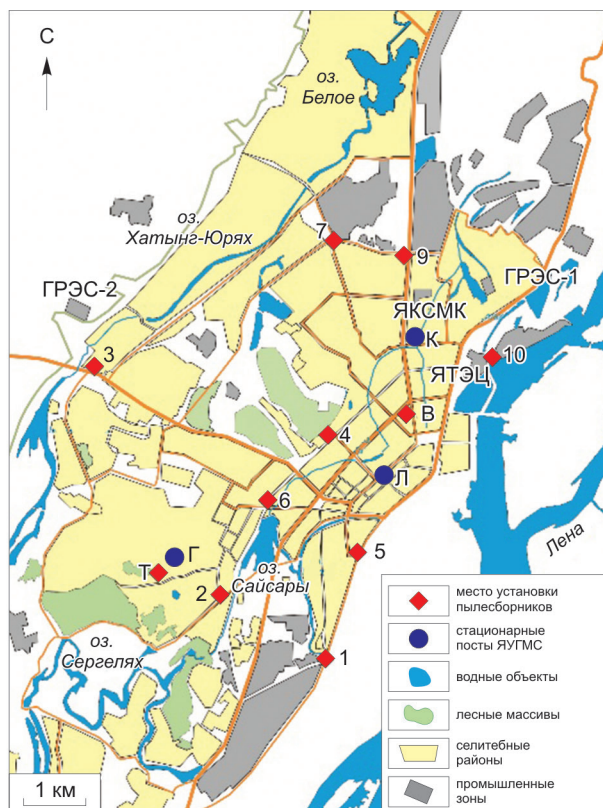
Для получения информации о количестве, происхождении и химическом составе ВВ Якутска авторами в 2018–2019 гг. на территории города было проведено геохимическое изучение почв, снега и пыли в приземной атмосфере.

Почвенный покров является основным источником поступления загрязнителей в атмосферу и одновременно одним из депонов веществ-загрязнителей. Основные пути попадания загрязняющих веществ в почвогрунты города: эоловый перенос и выпадение атмосферных осадков. Уровень накопления химических элементов в почвах связан с их концентрацией в выпадениях, объемом выпадений и с продолжительностью их поступлений.

Для выявления качественных и количественных особенностей химического состава городских почв в 2018 г. было отобрано 180 литохимических проб (рис. 1).



Литохимическое опробование
Lithochemical testing



Расположение пылесборников
Location of dust collectors

Рис. 1. Схема фактического материала.

Fig. 1. Scheme of the actual material.



Рис. 2. Пылесборники на территории города

a – пылесборник в районе речного порта; *б* – Стационар «Туймаада».

Fig. 2. Dust collectors in the city

a – a dust collector in the area of the river port; *б* – The Tuymaada training ground.

Для исследования запыленности приземной атмосферы на территории города было установ-

лено 10 пылесборников (рис. 2, *a*). Сбор пыли происходил в период с 17 июля по 15 октября

2019 г. Фоновый пункт наблюдений находился на стационаре «Туймаада» ИМЗ СО РАН (рис. 2, б).

Содержание ВВ в зимней атмосфере города изучалось путем определения количества пылевых выпадений в снежном покрове. Снежный покров как естественный накопитель дает действительную величину сухих и влажных выпадений в холодный сезон и может служить индикатором атмосферного загрязнения [3].

Также были использованы данные Якутской УГМС о концентрации ВВ в атмосферном воздухе на территории г. Якутск.

Аналитическая обработка геохимических проб проведена в лаборатории подземных вод и геохимии криолитозоны Института мерзлотоведения СО РАН (аналитики Л.Ю. Бойцова, Е.С. Петрова, О.В. Шепелева), в Центральной геологической лаборатории АО «Якутскгеология» и в Институте проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН (г. Черноголовка, Московская обл.).

Минералогический состав ВВ определен в лаборатории общей геокриологии ИМЗ СО РАН ведущим инженером И.В. Климовой.

Геохимические пробы направлялись на химический, приближенно-количественный атомно-эмиссионный спектральный, атомно-абсорбционный и масс-спектрометрический анализы. Все определения проводились по методикам, включенным в Государственный реестр методик количественного химического анализа.

Результаты и обсуждение

Взвешенные вещества представляют собой собирательное понятие, включающее твердые частицы, атмосферные аэрозоли, непосредственно поступающие в воздух, и те частицы, которые образуются в процессе превращения газов. Размер частиц в воздухе колеблется от 0,01 до 100 мкм. Крупные частицы размером больше 10 мкм осаждаются быстрее и улавливаются, в основном, при очистке. Мельчайшие частицы от 0,01 до 0,1 мкм определяются в большинстве случаев в небольшом количестве проб воздуха. Среди мелкой фракции частиц, которые накапливаются в воздухе и могут переноситься на большие расстояния, преобладают частицы размером от 0,1 до 2,5 мкм.

Уровень загрязнения ВВ, измеряемый обычно в микрограммах на кубический метр, является одним из важнейших показателей качества воз-

духа, которым дышат люди. Взвешенные вещества – недифференцированная по составу пыль (аэрозоль), содержащаяся в воздухе населенных пунктов; показатель вредности – резорбтивное действие, класс опасности – 3, на уровне таких токсичных металлов как V, W, Mn, Ge и др. Установленная величина ПДК (мг/м³) ВВ атмосфере: максимальная разовая (ПДК_{мр}) – 0,5, среднесуточная (ПДК_{сс}) – 0,15 [4].

Концентрация ВВ в приземной атмосфере города измерена Якутским УГМС на трех стационарных постах (пр. Ленина, ул. Кальвица и Гимеин). Загрязнение атмосферного воздуха оценивалось при сравнении фактических концентраций примесей (в мг/м³) с ПДК – предельно допустимыми концентрациями, установленными Минздравсоцразвития России [4]. Концентрация взвешенных веществ в воздухе города в течение десятилетнего периода (2008–2018 гг.) постоянно превышает ПДК_{сс}. Среднегодовые концентрации ВВ в течение этого времени были в 1,8 раза выше санитарных норм, в летний период – в 2,1, зимний – в 1,6 раза (рис. 3).

Опасность ВВ определяется не только их количеством в атмосфере, но и физико-химическими свойствами.

По данным анализа материала, собранного пылесборниками, ВВ в приземной атмосфере Якутска полидисперсны и представляют собой совокупность твердых частиц разного размера. В разных частях города дисперсный состав ВВ в основном относится к собственно пыли, фракция РМ₁₀₋₁₀₀ занимает около 70 % объема ВВ (РМ – аббревиатура «particulate matter», цифра показывает содержание всех частиц диаметром 10–100 мкм). Частицы крупной фракции РМ_{>100} –

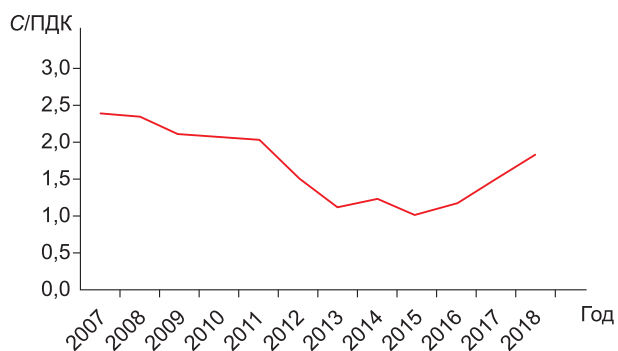


Рис. 3. Концентрация взвешенных веществ в приземной атмосфере Якутска (по данным Якутского УГМС).

Fig. 3. The concentration of suspended solids in the surface atmosphere of Yakutsk (according to the Yakut UGMS).

аэроусуспензии, на территории города распределяются неравномерно, составляя в среднем около 20 % количества ВВ, но в местах высокой транспортной нагрузки объем крупной фракции возрастает до 43 %. Частицы PM_{10} – средне-мелкодисперсной фракции распределены наиболее равномерно, их количество в среднем составляет около 10 % ВВ. Адсорбируя на своей поверхности токсичные вещества, PM_{10} могут находиться во взвешенном состоянии несколько суток и переноситься на десятки (иногда сотни) километров от источника воздействия, представляя серьезную угрозу для здоровья населения [5]. Частицы этой фракции наиболее опасны, поскольку могут проникать в глубокие отделы легких, вплоть до альвеол и задерживаться там. Подсчитано, что альвеол достигает около 10 % вдыхаемых пылинков, а 15 % заглатывается со слюной.

С повышением дисперсности пыли увеличивается поверхность частиц, создается большая площадь соприкосновения мелких пылевых частиц с тканью легких, повышаются их хими-

ческая активность и сорбционная способность. Пылевые частицы сорбируют своей поверхностью газы, пары, радиоактивные вещества, ионы, свободные радикалы и др. Вдыхание с пылью токсических веществ усиливает вредное действие пыли.

Минералогический состав основной массы ВВ (PM_{10-100}) в атмосфере города представлен в легкой фракции: кварцем и карбонатами (по 36 %) и полевым шпатом (24 %); в тяжелой: преимущественно амфиболами (49 %), эпидотом и пироксенами (по 10–11 %), ильменитом и гранатами (около 7 %).

Наблюдается значимая корреляционная связь во ВВ между аномалиями ряда тяжелых металлов и минералами тяжелой фракции: гидроокислами железа и моноклинными пироксенами.

Минералогический состав снеговой пыли (PM_{10}) сложен в основном карбонатами (около 70 %), углистыми соединениями (15 %), включениями кварца и полевого шпата (10 %) и ожелезненного (?) растительного детрита (5 %). В твердой фазе снега по сравнению с составом летних ВВ существенно уменьшилось поступление в атмосферу из почвы, покрытой снегом, кварца и полевого шпата; вследствие отопительного сезона возросло количество углистых соединений.

Основная масса атмосферной пыли формируется в результате выдувания материала придорожных почв, применения противогололедной песчаной подсыпки, выпадений аэрозолей из атмосферы, воздействия транспортных средств и инфраструктуры.

Объем выпадений ВВ из атмосферы на фоновом пункте наблюдений (станция «Туймаада» ИМЗ СО РАН) с июля и до конца 2019 г. изменялся в пределах от максимальных в теплое время 0,009–0,019 до минимальных значений в октябре–декабре после выпадения снега 0,001–0,004 г/(м²·сут.). В среднем величина выпадения ВВ из атмосферы на фоновом пункте наблюдений в период действия пробоотборников с 17 июля по 15 октября 2019 г. была равна 0,013 г/(м²·сут.).

Поступление из ВВ атмосферы на территории города в теплое время года (июль–октябрь 2019 г.) оказалось на два порядка выше фоновых значений и составляла в среднем 5 г/(м²·сут.) (медиана – 4,3). Диапазон выпадения ВВ изменялся от 1,6 в районе речного порта до 8–9 г/(м²·сут.) в районах высокой транспортной нагрузки – улицы Лермонтова, Жорницкого (рис. 4).

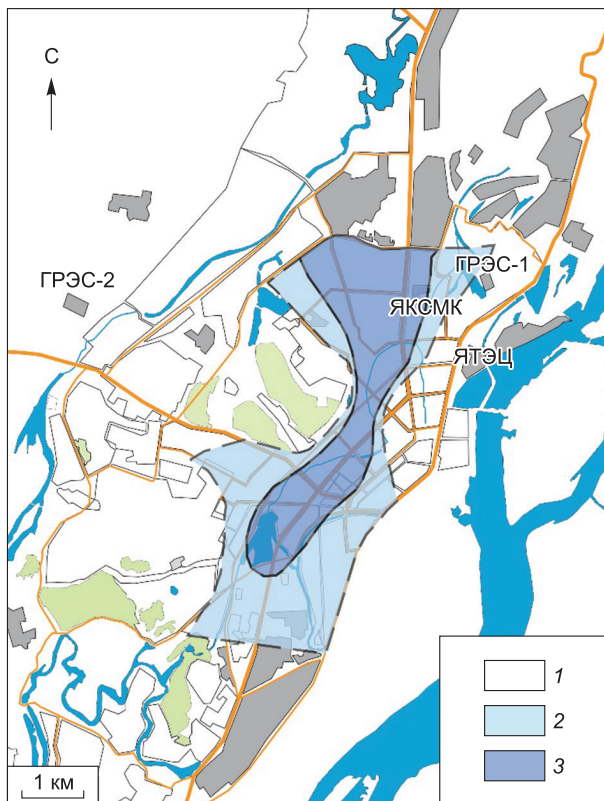


Рис. 4. Объем выпадения ВВ из атмосферы, г/(м²·сутки)
1 – менее 2; 2 – 2–5; 3 – 5–9.

Fig. 4. The volume of SS from the atmosphere, g/(m²·day)
1 – less than 2; 2 – 2–5; 3 – 5–9.

Важное значение имеет химический состав ВВ, обуславливающий раздражающее, токсическое, аллергическое, канцерогенное действие на организм. ВВ, насыщенные токсичными элементами, быстро проникают в организм и вызывают острые отравления.

Химический состав выпадающих из атмосферы частиц сильно различается в зависимости от их размера и происхождения. Типоморфный комплекс микроэлементов в составе частиц ВВ различной крупности неоднороден и различается в наиболее распространенных (PM_{10-100}) и наиболее экологически опасных (PM_{10}) гранулометрических фракциях (рис. 5).

Во фракции PM_{10-100} наблюдается преимущественное присутствие сидерофильных (Ti, Mn, Co, Ni, W), поступающих в атмосферу в комплексе с минералами группы железа, и халькофильных (Zn, Ga, Sn) элементов. В более дисперсных частицах (PM_{10}) концентрируются литофильные (Sc, Cr, Y) и экологически наиболее опасные халькофильные (Cu, Cd, Pb) элементы. Остаются инертными, присутствующими примерно в равных концентрациях в различных фракциях ВВ, литофильные породообразующие элементы (Be, V, Nb, Mo).

Состав халькофильных элементов, концентрирующихся в окружающей среде Якутска, близок к наблюдаемому в других зонах урбанизации (табл. 1).

Как в PM_{10-100} , так и в PM_{10} присутствуют элементы третьего (Mn), второго (Co, Cu) и даже первого (Cd, Pb, Zn) класса опасности. Содержание большинства этих элементов во ВВ ниже санитарных норм для почв населенных пунктов. Концентрация даже такого распростра-

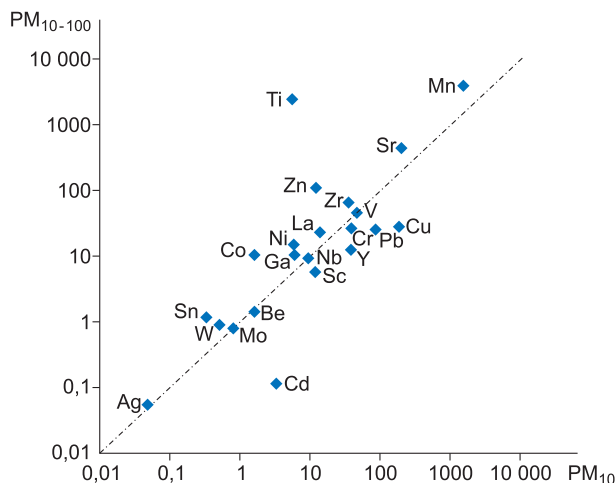


Рис. 5. Соотношение микроэлементов во ВВ приземной атмосферы, мг/кг (фракции PM_{10-100} и PM_{10}).

Fig. 5. The ratio of trace elements in the explosive surface atmosphere, mg/kg (fractions PM_{10-100} and PM_{10})

ненного в почвах города металла, как свинец, в большинстве проб пылевой фракции PM_{10-100} не достигает уровня ПДК_{почв}. Содержание других опасных токсикантов (Zn, As) во всех пробах ВВ превышает санитарные нормы для почв (табл. 2).

Особенно неблагоприятны с санитарно-экологической точки зрения дисперсные ВВ, составляющие около 10 % приземной атмосферы города, в которых накапливаются Cd, Pb и Cu (ул. Лермонтова, Жорницкого на пересечении с окружным шоссе).

Важно отметить, что в PM_{10} доля биологически доступных форм токсичных металлов Ag, Co, Mn, Mo и Sb составляет 40–60 %, Cu, Ni и Zn – 60–80 %, а Cd, Pb и Tl – более 80 % [7].

Таблица 1

Микроэлементы-концентраторы во взвешенных веществах атмосферы, почве и снеге

Table 1

Trace elements in suspended atmospheric substances, soil and snow

Компоненты окружающей среды	Якутск	Города [5]
Снег, пыль ($PM_{<10}$)	Be, Y, Sc, Cr, Cu, Cd, Pb	V, Cr, Mn, Zn, Cu, Se, Pb, Ni, Cd, Pt, Pd, Rd
Пыль (PM_{10-100})	Ti, Mn, Co, Ni, Zn, Ga, Sr, Zr, Sn, La	Zn, Pb, As, Cr, Sb, Cu, Ni, Sn, Sr, Cd, Mo, Ag
Почвы	Li, Ti, Cr, Mn, Co, Ni, Zn, Ga, As, Nb, Mo, Ag, Sn, W, Pb, Hg, Cu	Zn, Pb, As, Cr, Sb, Cu, Ni, Ti, Mn, V, Sn, Cd, Mo, Ag, Hg

Таблица 2

Распределение химических элементов во ВВ приземной атмосферы Якутска, мг/кг

Table 2

Distribution of chemical elements in SS of the surface atmosphere of Yakutsk, mg/kg

Химические элементы	Содержание				Стандарт. отклон.	ПДК _{почв} [6]
	Миним.	Максим.	Среднее арифм.	Среднее геомет.		
Li	11,31	14,98	13,01	12,96	1,19	50-100
Be	1,33	1,67	1,47	1,47	0,10	-
Sc	4,85	7,08	5,87	5,82	0,89	-
V	35,00	58,22	45,89	45,38	7,30	150
Cr	16,38	42,03	26,90	25,99	7,51	100
Co	6,93	16,33	10,81	10,33	3,49	5
Ni	12,78	17,51	15,17	15,12	1,36	50
Cu	12,94	40,71	28,51	26,79	9,50	33
Zn	77,19	157,41	111,49	108,32	28,15	55
As	2,43	3,94	3,19	3,15	0,57	2-10
Ag	0,020	0,267	0,063	0,041	0,079	-
Cd	0,071	0,208	0,115	0,107	0,050	0,5-2
Sn	0,714	1,733	1,198	1,166	0,293	50
Sb	0,649	2,600	1,620	1,477	0,647	4.5
W	0,750	1,140	0,923	0,915	0,129	-
Pt	0,004	0,045	0,021	0,016	0,014	-
Pb	21,5	37,0	26,883	26,481	7,44	32
Hg	0,008	0,020	0,013	0,013	0,015	2,1
Tl	0,300	0,390	0,333	0,332	0,074	10
Th	3,700	10,600	5,683	5,337	0,930	-

Закключение

Одним из существенных экологических факторов состояния окружающей среды является загрязнение атмосферы. Считается, что ингаляционный (через легкие) путь поступления загрязнений в организм наиболее опасен, так как загрязнения попадают сразу внутрь организма, сильнее происходит и усвоение токсичных веществ. К группе загрязнителей окружающей среды, пагубно воздействующих на здоровье человека, относятся видимые загрязнения: взвешенные вещества (пыль и аэрозоли), источниками которых являются в основном пыление почв, выбросы объектов энергетики и выхлопные газы автомобилей.

Загрязнение атмосферного воздуха Якутска взвешенными веществами ежегодно превышает санитарные нормы в среднем в 1,8 раза, а в летний период – в 2,1 раза.

Поступающие в приземную атмосферу ВВ полидисперсны и представляют собой совокупность твердых частиц разного размера. Наиболее опасны средне-мелкодисперсные PM_{10} , составляющие около 10 % объема ВВ в атмосфере города и способные проникать в глубокие отделы легких, вплоть до альвеол.

Определен химический состав различных гранулометрических фракций ВВ, распространенных в атмосфере города. Как в пылевых, так и в средне-мелкодисперсных ВВ присутствуют токсичные элементы: Mn, Co, Cu, Cd, Pb, Zn. Особенно неблагоприятны с санитарно-экологической точки зрения средне-мелкодисперсные частицы с высоким содержанием элементов 1 и 2 классов токсичности Cd, Pb и Cu, формирующие аномалии в приземной атмосфере ряда районов города.

Высокие темпы урбанизации, рост численности населения и автомобилизации привели к за-

грязнению атмосферного воздуха Якутска, формированию специфической среды и техногенных аномалий загрязняющих веществ. Чистота воздуха — один из основных факторов качества жизни, и одной из первоочередных задач окружной администрации Якутска является разработка и реализация программы борьбы с запыленностью территории города.

Литература

1. Ревич Б.А., Быков А.А. Оценка риска смертности населения России от техногенного загрязнения воздушного бассейна // Проблемы прогнозирования. М. 1989. Вып. 3. С. 147–162.
2. Константинов А.П. Экология и здоровье: опасности мифические и реальные // Экология и жизнь. 2012. № 8. С. 86–88.

3. Геохимия снежного покрова Якутии / В.Н. Макаров, Н.Ф. Федосеев, В.И. Федосеева. Якутск: Ин-т мерзлотоведения СО АН СССР, 1990. 152 с.

4. ГН 2.1.6.1338-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. М.: Минздрав России, 2003 (с изменениями 03.11.05 и 02.02.08).

5. Urban airborne particulate matter: origin, chemistry, fate and health impacts / Eds.: F. Zereini, C.L.S. Wiseman. Heidelberg: Springer-Verlag, 2011. 656 p.

6. National Emissions Inventory 2014. United States Environmental Protection Agency, 2014. URL: <https://www.epa.gov/air-emissions-inventories/2014-national-emissions-inventory-nei-data> (дата обращения: 15.05.2019).

7. Falta T., Limbeck A., Koellensperger G., Hann S. Bioaccessibility of selected trace metals in urban PM_{2.5} and PM₁₀ samples: a model study // Analytical and Bioanalytical Chemistry. 2008 No. 390. P. 1149–1157.

Поступила в редакцию 29.01.2020

Принята к публикации 04.03.2020

Об авторах

МАКАРОВ Владимир Николаевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Россия, 677010, г. Якутск, ул. Мерзлотная, 36,

<http://orcid.org/0000-0002-6086-886X>, Makarov@mpi.ysn.ru;

ТОРГОВКИН Николай Владимирович, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник, Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Россия, 677010, Якутск, ул. Мерзлотная, 36, <https://orcid.org/0000-0003-2799-1468>, nick1805torg@gmail.com.

Информация для цитирования

Макаров В.Н., Торговкин Н.В. Загрязнение атмосферы города Якутска взвешенными веществами // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2020, Т. 25, № 1. С. 43–50. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-1-4>

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

Pollution of atmosphere in Yakutsk by suspended substances

V.N. Makarov, N.V. Torgovkin

Permafrost Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Russia
makarov@mpi.ysn.ru

Abstract. The main physicochemical properties (content of chemical elements, mineralogical and granulometric composition) of suspended solids in the atmosphere of Yakutsk sampled in the summer of 2019 were determined on the territory of the city, a geochemical study of suspended solids (SS) in the surface atmosphere, soil and snow cover was carried out. SS entering the surface atmosphere are polydisperse and comprise a combination of solid particles of different sizes. About 70 % of the amount of SS in the atmosphere is related to dust itself, aerosuspensions account for 20 %, and medium-finely dispersed suspended

particles account for about 10%. Polydisperse SS contain toxic elements: Mn, Co, Cu, Cd, Pb, Zn. The most environmentally hazardous particles are medium-finely dispersed ones with a high content of elements of the 1st and 2nd classes of toxicity: Cd, Pb, and Cu. The average annual concentration of SS in the air of the city is 1.8 times higher than the sanitary standards. Suspended substances (dust and aerosols) adversely affect human health.

Key words: urban atmosphere, suspended particles, dispersion, trace elements, toxicity.

Acknowledgements. Authors thank LLC Gruppa Kompaniy SINET for material and informational support of our research.

References

1. Revich B.A., Bykov A.A. Assessment of the risk of mortality of the Russian population from industrial pollution of the air basin // *Forecasting Problems*. 1989. No. 3. P. 147–162.
2. Konstantinov A.P. Ecology and health: mythical and real dangers // *Ecology and Life*. 2012. No. 8. P. 86–88.
3. *The geochemistry of the snow cover of Yakutia* / V.N. Makarov, N.F. Fedoseev, V.I. Fedoseev. Yakutsk: Institute of permafrost SB AS USSR, 1990. 152 p.
4. GN 2.1.6.1338-03 Maximum allowable concentrations (MPC) of pollutants in the atmospheric air of populated areas. M.: Ministry of Health of Russia, 2003 (with changes 03.11.05 and 02.02.08).
5. *Urban airborne particulate matter: origin, chemistry, fate and health impacts* / Eds.: F. Zereini, C.L.S. Wiseman. Heidelberg: Springer-Verlag, 2011. 656 p.
6. *National Emissions Inventory 2014*. United States Environmental Protection Agency, 2014. URL: <https://www.epa.gov/air-emissions-inventories/2014-national-emissions-inventory-nei-data> (дата обращения: 15.05.2019).
7. Falta T., Limbeck A., Koellensperger G., Hann S. Bioaccessibility of selected trace metals in urban PM_{2.5} and PM₁₀ samples: a model study // *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2008 No. 390. P. 1149–1157.

About the authors

MAKAROV Vladimir Nikolaevich, doctor of geological and mineralogical sciences, professor, chief researcher, Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 36 Merzlotnaya st., Yakutsk, 677010, Russia, <http://orcid.org/0000-0002-6086-886X>, Makarov@mpi.ysn.ru;

TORGOVKIN Nikolai Vladimirovich, candidate of geological and mineralogical sciences, researcher, Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 36 Merzlotnaya st., Yakutsk, 677010, Russia, <https://orcid.org/0000-0003-2799-1468>, nick1805torg@gmail.com.

Citation

Makarov V.N., Torgovkin N.V. Pollution of atmosphere in Yakutsk by suspended substances // *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2020, Vol. 25, N 1. P. 43–50. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-1-4>

ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ

Экология

УДК 631.416.2

DOI 10.31242/2618-9712-2020-25-1-5

К оценке фосфатного состояния мерзлотных почв Южной Якутии

А.П. Чевычелов, О.Г. Захарова*

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия

*olya.choma@mail.ru

Аннотация. Впервые изучено фосфатное состояние пяти типов мерзлотных почв Южной Якутии, а именно содержание и внутрипрофильное распределение валового фосфора, а также формы минеральных фосфатов и подвижные фосфаты, определяемые соответственно по методике Чанга–Джексона и Гинзбург–Артамоновой. Средневзвешенное содержание валового фосфора в исследуемых почвах невысокое и изменяется от 290 до 474 мг/кг. По содержанию общего фосфора данные типы почв объединяются в следующий убывающий ряд: палево-бурые (474 мг/кг) > подзолистые альфегумусовые (429 мг/кг) > перегнойно-карбонатные (320 мг/кг) $\approx$ подзолистые типичные (318 мг/кг) > дерново-карбонатные (290 мг/кг). При этом внутрипрофильное распределение валового фосфора в подзолистых альфегумусовых почвах носит элювиально-иллювиальный, в подзолистых типичных – аккумулятивно-элювиальный, а в палево-бурых, дерново- и перегнойно-карбонатных – аккумулятивный характер.

Показано, что в ландшафтно-климатических условиях Южной Якутии формируются в основном кислые не насыщенные обменными основаниями мерзлотные и длительно-сезонномерзлотные почвы элювиального ряда, которые характеризуются низкой биологической активностью. В данных почвах отмечается очень низкое и низкое количество подвижных фосфатов, которое в среднем составляет 2,5–6,7 мг P_2O_5 /100 г почвы и не превышает 1–2 % от их валового содержания.

Также отмечено, что общее количество рыхлосвязанных фосфатов и фосфатов кальция, наиболее доступных для растений, в исследованных почвах, как правило, незначительно и составляет в основном менее 5 % от их валового содержания. При этом в составе минеральных фосфатов почв Южной Якутии преобладают труднодоступные для растений фосфаты алюминия (Al-P) и фосфаты железа (Fe-P), при абсолютном господстве последней фракции. Содержание Al-P и Fe-P в данных почвах изменяется в широких пределах и составляет соответственно максимально около 40 % и 60% от их валового содержания.

Ключевые слова: мерзлотные почвы, состав и свойства, фосфаты, содержание, распределение.

Благодарности. Статья выполнена по проекту «Фундаментальные и прикладные аспекты изучения разнообразия растительного мира Северной и Центральной Якутии» (0376-2016-0001; рег. номер AAAA-A17-117020110056-0)

Введение

Фосфор (P) является облигатным биофилом, играющим огромную роль в жизни растений. В растениях P встречается как в виде простых неорганических солей, таких как фосфаты Ca, Mg, K и Na, так и в составе сложных органических соединений, к которым относятся нуклеиновые кислоты, нуклеопротеиды, а также аденозинтрифосфорная кислота (АТФ). При недостатке P нарушается обмен энергии и веществ в растениях [1], при этом подвижность и доступность

фосфора в почвах определяется почвенными микроорганизмами [2, 3].

В отличие от азота и углерода, фосфор целиком поставляется в растения из почв. При этом содержание доступных для растений форм P зависит как от их фосфатного состояния, так и от ландшафтно-климатических факторов миграции данного элемента. Исследованию фосфатного состояния почв Сибири посвящено значительное количество публикаций, но в них, как правило, изучались почвы немерзлотных регионов

[4–9; и др.]. Фосфатное состояние криогенных почв, в том числе и мерзлотных почв Якутии, изучено крайне недостаточно. В связи с этим целью данной статьи являлась оценка фосфатного состояния основных типов мерзлотных почв Южной Якутии в зависимости от литолого-геохимических и ландшафтно-климатических условий данной территории.

Материалы и методы исследования

Наши исследования проводились на территории Южной Якутии, при этом изучаемая часть данного региона ограничивается географическими координатами: 56–60° с. ш. и 120–128° в. д. В геоморфологическом отношении наши работы проводились на Лено-Алданском плато, в почвенном покрове (ПП) которого абсолютно преобладают мерзлотные дерново- и перегнойно-карбонатные почвы, а также на Алданском нагорье и в Чульманской впадине, где в ПП господствуют подзолистые и палево-бурые почвы. Исследуемый регион также в целом характеризуется преимущественно горным рельефом, холодным резко-континентальным гумидным кли-

матом и преобладанием в растительном покрове среднетаежной лесной растительности.

При выполнении работ использовались общепринятые почвенные методы, такие как сравнительно-географический, профильно-генетический и сравнительно-аналитический [10, 11]. Диагностика исследуемых типов почв осуществлялась согласно принципам классификации мерзлотных почв Якутии [12]. Содержание общего Р в почвах определялось в процессе изучения их валового состава [13, 14], минеральные формы фосфора по Чангу–Джексону, а также подвижные фосфаты по Гинзбург–Артамоновой выделялись согласно методикам [15] и определялись фотометрическим методом. Полученные данные обрабатывались методами вариационно-статистического анализа [16].

Результаты и их обсуждение

Подзолистые альфегумусовые почвы исследуемой территории формируются, как правило, на элювиоделовии архейских магматических пород (гранитогайсы) и характеризуются кислой реакцией среды, малым содержанием гумуса в мине-

Таблица 1

Физико-химические свойства почв Южной Якутии

Table 1

Physico-chemical properties of soils of Southern Yakutia

Глубина, см	Горизонт	pH _{H₂O}	Гумус, %	Обменные катионы, смоль (экв)/кг почвы			Фракции, %	
				Ca ⁺²	Mg ⁺²	H ⁺	<0,001 мм	<0,01 мм
Подзолистая альфегумусовая, разр. 4БГ-03								
4–10	A0A1	3,9	61,5*	12,5	7,8	10,8	–	–
10–18	A2	4,1	1,5	2,6	2,0	11,8	8,2	29,9
20–30	Bfe	4,9	2,0	1,8	0,6	1,4	11,1	32,3
Палево-бурая типичная, разр. 5БГ–03								
15–25	A1	3,9	22,5	6,5	1,9	17,0	–	–
30–37	B	3,9	2,9	9,6	3,2	7,5	22,5	31,9
40–50	BC	4,3	1,0	9,3	11,6	1,2	27,4	38,8
Дерново-карбонатная типичная, разр. 3Т-08								
2–6	A1	6,0	26,5	41,9	16,9	0,9	–	–
10–20	B	6,9	3,1	25,9	7,9	0,5	36,8	61,7
40–50	BC	7,6	1,7	20,5	8,9	0,3	33,3	43,0
Перегнойно-карбонатная глееватая, разр. 8А								
0–7	Ah	7,8	46,4*	73,1	35,2	0,6	19,4	37,9
7–10	AB	7,9	3,2	45,5	31,9	0,5	27,0	48,0
40–50	B	7,9	0,7	40,8	30,0	0,4	27,6	48,2

* Приведено значение потери при прокаливании. Прочерк – значение не определено.

* The value of the loss during calcination is given. Dash – the value is undefined.

ральных горизонтах, не насыщенным обменными основаниями почвенно-поглощающим комплексом (ППК) и в основном легким, супесчано-суглинистым гранулометрическим составом [17]. При этом внутрипрофильное распределение частиц глины (<0,01 мм) и ила (<0,001 мм) в данных почвах носит элювиально-иллювиальный характер (табл. 1, разр. 4БГ-03).

Палево-бурые почвы [12], а по прежней терминологии мерзлотно-таежные [18] формируются в основном на коре выветривания юрских песчаников и алевролитов, так же как и подзолистые являются кислыми, их ППК, особенно в верхних горизонтах, не насыщен обменными катионами Ca^{+2} и Mg^{+2} , а их гранулометрический состав, как правило, суглинистый. В гумусовых горизонтах данных почв содержится довольно много грубоперегнойного гумуса, количество которого резко падает в нижележащих минеральных горизонтах (см. табл. 1, разр. 5БГ-03).

Остаточно-карбонатные почвы, т. е. дерново- и перегнойно-карбонатные, в отличие от кислых

бескарбонатных почв, формируются на элювиально-делювиальных отложениях осадочных карбонатных пород – доломитов и известняков. Данные почвы характеризуются обычно нейтральной и слабощелочной реакцией, особенно нижних минеральных горизонтов, насыщенностью ППК обменными основаниями, как правило, тяжелым тяжелосуглинисто-легкоглинистым гранулометрическим составом. Поверхностные гумусовые и перегнойные горизонты данных почв содержат также много грубоперегнойного органического вещества, количество которого резко падает в нижней минеральной толще почвенного профиля (см. табл. 1, разр. 3Т-08 и разр. 8А).

Содержание валового Р в исследованных почвах приведено в таблице 2. При этом нужно подчеркнуть, что внутрипрофильное распределение данного элемента в подзолистых альфегумусовых почвах носит элювиально-иллювиальный, в подзолистых типичных – аккумулятивно-элювиальный, а в палево-бурых, дерново- и перегнойно-карбонатных – в большей степени ак-

Таблица 2

Содержание валового фосфора в почвах Южной Якутии, мг/кг

Table 2

The content of total phosphorus in soils of Southern Yakutia, mg/kg

Тип почвы	Горизонт	n	lim	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	V, %
Подзолистые альфегумусовые	A0(A0A1)	6	83 – 374	227 ± 39	43
	A2	7	66 – 814	292 ± 93	84
	Bfe	7	264 – 1408	559 ± 150	71
	C(CD)	7	176 – 880	402 ± 89	59
Подзолистые типичные	A0(A0A1)	7	176 – 528	412 ± 43	28
	A2	7	66 – 530	280 ± 67	64
	B	7	88 – 638	371 ± 82	59
	C	6	90 – 506	286 ± 64	54
Палево-бурые	A0(A0A1)	5	176 – 1012	537 ± 167	70
	A1(A1A2)	8	198 – 1144	558 ± 130	66
	B	8	242 – 1146	523 ± 117	63
	C(BC)	8	264 – 990	435 ± 103	67
Дерново-карбонатные	A0(A0A1)	3	264 – 286	271 ± 7	5
	A1(A1A2)	9	88 – 550	315 ± 57	54
	B	9	90 – 880	337 ± 78	70
	C(CD)	9	176 – 550	259 ± 38	44
Перегнойно-карбонатные	Ah	7	154 – 704	305 ± 71	62
	A1(AB)	8	176 – 814	358 ± 73	57
	B	8	220 – 968	402 ± 85	60
	C	8	132 – 330	259 ± 22	24

Примечание. Здесь и далее: n – объем выборки, lim – пределы изменения содержаний, $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$ – среднее и его ошибка, V – коэффициент вариации.

Note. Here and further: n – sample size, lim-limits of content change, $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$ – average and its error, V – coefficient of variation.

кумулятивный характер. С учетом содержания общего фосфора в отдельных почвенных горизонтах и их мощности нами было рассчитано средневзвешенное количество данного элемента для пяти изучаемых типов почв Южной Якутии. По содержанию валового Р данные типы почв объединяются в следующий убывающий ряд: палево-бурые (474 мг/кг) > подзолистые альфегумусовые (429 мг/кг) > перегнойно-карбонатные (320 мг/кг) $\approx$ подзолистые типичные (318 мг/кг) > дерново-карбонатные (290 мг/кг). Таким образом, средневзвешенное содержание общего Р в почвах Южной Якутии в целом изменяется незначительно и составляет 290–474 мг/кг. При этом увеличение общего количества Р в палево-бурых почвах обусловлено повышенным содержанием данного элемента в почвообразующих породах, на которых формируются данные почвы, о чем ранее сообщалось [19].

Также необходимо отметить, что среднее содержание валового Р в подзолистых альфегумусовых почвах Южной Якутии (429 мг/кг) сопоставимо с таковым в подзолах (380 мг/кг), а в дерново- и перегнойно-карбонатных почвах данного региона (290 мг/кг и 320 мг/кг соответственно) – более чем в 3 раза меньше, чем в перегнойно-карбонатных почвах (1000 мг/кг) европейской части бывшего СССР [20].

Как уже указывалось, исследуемый регион в ландшафтно-климатическом отношении является преимущественно горно-таежным холодным и гумидным. Все это в итоге приводит к преобладанию в почвах данной территории элювиальных почвенных процессов, таких как подзоло-

образование, оподзоливание и выщелачивание, протекающих преимущественно в кислой среде. В результате формируются кислые не насыщенные обменными основаниями почвы, элювиальные горизонты которых обеднены подвижными фосфатами, доступными для растений. Кроме того, в холодном гумидном климате под таежной растительностью в Южной Якутии формируются мерзлотные или длительно-сезонномерзлотные почвы с низкой биологической активностью, грубогумусовые горизонты которых также, как правило, не способствуют биогенному закреплению здесь фосфора и накоплению подвижных фосфатов.

Вследствие этого поверхностные горизонты всех исследуемых типов почв характеризуются предельно низким средним содержанием подвижных фосфатов, которое изменяется в узком интервале значений от 2,5 до 6,7 мг P_2O_5 /100 г почвы (табл. 3) при значительной вариабельности отдельных величин ($V = 23\text{--}87\%$). Согласно известной шкале содержания подвижных фосфатов в почвах, определенных по методике Гинзбург–Артамоновой [15], можно констатировать, что исследуемые подзолистые типичные, подзолистые альфегумусовые и дерново-карбонатные почвы характеризуются в основном как очень низко обеспеченные, а перегнойно-карбонатные и палево-бурые почвы – как низко обеспеченные подвижными фосфатами.

Это положение также подтверждается в наших предыдущих исследованиях, где оценивалось содержание подвижных фосфатов в слое 0–20 см 12 типов (подтипов) и разновидностей

Таблица 3

Содержание подвижных фосфатов в почвах Южной Якутии, мг P_2O_5 /100 г почвы

Table 3

Content of mobile phosphates in soils of Southern Yakutia, mg P_2O_5 /100g of soil

Тип почвы	Горизонт	n	lim	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	V, %
Подзолистые альфегумусовые	A2	6	1,5 – 4,0	$2,6 \pm 0,4$	38
	Bfe	6	3,0 – 6,0	$4,7 \pm 0,4$	23
Подзолистые типичные	A2	8	1,2 – 4,5	$2,5 \pm 0,6$	68
	B	8	1,5 – 7,7	$3,2 \pm 0,8$	69
Палево-бурые	A1(A1A2)	16	1,3 – 11,0	$5,2 \pm 0,9$	69
	B	16	1,4 – 19,0	$6,7 \pm 1,2$	70
Дерново-карбонатные	A1(A1A2)	10	1,7 – 7,8	$3,6 \pm 0,6$	55
	B	10	1,7 – 5,1	$2,6 \pm 0,4$	50
Перегнойно-карбонатные	A1	10	0,8 – 15,3	$6,4 \pm 1,6$	80
	B	10	0,9 – 11,5	$4,6 \pm 1,2$	87

различных почв Южной Якутии. По результатам этих работ было отмечено, что 75 % всей анализируемой выборки исследованных почв оказались низко обеспеченными подвижными фосфатами [21]. При этом данные почвы также являются в среднем более чем в 2,5 раза низко обеспеченными подвижными фосфатами (29,4 %), чем почвы Восточной Сибири [22].

Согласно нашим расчетам, среднее содержание подвижных форм Р в подзолистых почвах составляет 0,8–0,9 %, дерново-карбонатных – 0,8–1,1 %, палево-бурых – 0,9–1,3 %, перегнойно-карбонатных – 1,1–1,8 % и в целом не превышает 1–2 % от общего количества данного элемента в почвах Южной Якутии. Поэтому не случайно отмечается, что особенностями фосфатного состояния мерзлотных почв Забайкалья являются низкая степень подвижности их природных соединений и низкое содержание легкодоступных растениям фосфатов [23]. Последнее положение также полностью подтверждается при анализе содержания и распределения форм минеральных фосфатов в почвах Южной Якутии. Так, содержание рыхлосвязанных фосфатов, которые растворимы в воде и представляют легкодоступный резерв для растений, изменяется в изучаемых почвах от 0,5 до 9,2 мг $P_2O_5/100$ г почвы. При этом относительное содержание фосфатов данной фракции составляет всего 0,1–5,2 %, или менее 5 % от их валового содержания. Основная часть минеральных фосфатов в исследованных почвах представлена фосфатами алюминия (Al-P) и фосфатами железа (Fe-P), т. е. фосфатами фракции 2 и 3 (табл. 4). Содержание Al-P в данных почвах изменяется в широких пределах от 1,6 до 34,3 мг $P_2O_5/100$ г почвы, их абсолютное количество увеличивается в гор. А2 подзолистой альфегумусовой и в гор. В палево-бурой почвы, составляя 19,7–20,2 %, или около 20 % от их валового содержания.

При этом максимальное количество фосфатов алюминия от их общего содержания (37,8 %) обнаружено в оглеенном гор. ВСg перегнойно-карбонатной глееватой почвы. Фосфаты железа, которые в меньшей степени доступны для растений, чем фосфаты алюминия, составляют большую часть всех минеральных фосфатов исследованных типов почв Южной Якутии. Содержание Fe-P в данных почвах варьирует также в очень широких пределах от 0,4 до 147,0 мг $P_2O_5/100$ г и составляет минимально 0,5–5,9 %, а

максимально – 56,7–69,2 % от их валового содержания. Количество фосфатов железа, так же как и фосфатов алюминия, относительно увеличивается в гор. А2 подзолистой альфегумусовой и в гор. В палево-бурой почвы, составляя 21,3–34,2 % от их валового содержания, но максимальное количество данной фракции обнаружено в гор. АВ и В дерново- и перегнойно-карбонатной почв, где оно соответственно достигало 60–70 % от их валового содержания (см. табл. 4). При этом в относительном исчислении фосфаты железа максимально составляют 77,9–79,4 %, или около 80 % от суммы всех форм минеральных фосфатов в данных почвах.

В связи с этим отметим, что дерново-подзолистая суглинистая почва Московской области содержала 46 %, а наиболее обогащенные железом субтропический подзол и краснозем Грузии – соответственно 52 и 67 % Fe-P [24], т. е. значительно меньше по сравнению с мерзлотными остаточно-карбонатными почвами Южной Якутии.

Уменьшение содержания рыхлосвязанных фосфатов, наряду с увеличением количества Al-P и Fe-P в почвах Южной Якутии, является вполне закономерным явлением, так как, согласно известным положениям химии почв, в слабнокислых и кислых почвах фосфаты связываются или осаждаются гидроксидами или ионами Fe и Al и при этом доля усвояемых фосфатов понижается [25].

Общее количество фосфатов кальция, так же как и рыхлосвязанных, в исследованных почвах в целом незначительно и изменяется от 0,6 до 10,4 мг $P_2O_5/100$ г почвы, составляя 0,1–8,7 %, а в большей степени меньше 5 % от их валового содержания. Максимальное количество Ca-P отмечается в гор. ВС_{Ca} дерново-карбонатной почвы, и при этом оно составляет почти 80 % от суммы всех фракций минеральных фосфатов, тогда как в других почвах максимальное относительное содержание Ca-P составляет 18,1–20,6 %, или около 20 %.

Окклюдируемые Al-P и Al(Fe)-P фракции 5 и 6 минеральных почвенных фосфатов обычно представляют прочнозакрепленные полуторными оксидами Fe и Al соединения, не доступные для растений. Суммарное содержание данных фосфатов в изучаемых почвах изменяется, как правило, незначительно от 2,1 до 23,3 мг $P_2O_5/100$ г почвы, что составляет 3,5–7,7 % и в

Таблица 4

Формы минеральных фосфатов в различных типах почв Южной Якутии, мг $P_2O_5/100$ г почвы

Table 4

Forms of mineral phosphates in various soils types of Southern Yakutia, mg $P_2O_5/100$ g of soil

Глубина, см	Горизонт	Формы минеральных фосфатов						Валовой Р
		Рыхлосвязанные	Al-P	Fe-P	Ca-P	Оккл. Al-P	Оккл. Al(Fe)-P	
Подзолистая альфегумусовая, разр. 4БГ-03								
4–10	A0A1	$\frac{9,2^*}{1,7}$	$\frac{21,6}{3,9}$	$\frac{62,5}{11,4}$	$\frac{0,6}{0,1}$	$\frac{0,9}{0,2}$	$\frac{1,3}{0,2}$	$\frac{550}{100}$
10–18	A2	$\frac{1,7}{2,8}$	$\frac{12,1}{20,2}$	$\frac{12,8}{21,3}$	$\frac{0,9}{1,5}$	$\frac{0,3}{0,5}$	$\frac{1,8}{3,0}$	$\frac{60}{100}$
20–30	Bfe	$\frac{0,6}{0,3}$	$\frac{7,0}{3,0}$	$\frac{13,6}{5,9}$	$\frac{6,6}{2,9}$	$\frac{1,0}{0,4}$	$\frac{3,3}{1,4}$	$\frac{230}{100}$
Палево-бурая типичная, разр. 5БГ–03								
15–25	A1	$\frac{1,5}{0,5}$	$\frac{34,3}{11,4}$	$\frac{44,8}{14,9}$	$\frac{0,6}{0,2}$	$\frac{19,0}{6,3}$	$\frac{4,3}{1,4}$	$\frac{300}{100}$
30–37	B	$\frac{1,6}{1,2}$	$\frac{25,6}{19,7}$	$\frac{44,4}{34,2}$	$\frac{4,3}{3,3}$	$\frac{4,0}{3,1}$	$\frac{0,6}{0,5}$	$\frac{130}{100}$
40–50	BC	$\frac{1,6}{1,3}$	$\frac{16,8}{14,0}$	$\frac{25,8}{21,5}$	$\frac{10,4}{8,7}$	$\frac{2,7}{2,3}$	$\frac{0,2}{0,2}$	$\frac{120}{100}$
Дерново-карбонатная типичная, разр. 3Т–08								
2–6	A1	$\frac{5,7}{5,2}$	$\frac{12,5}{11,4}$	$\frac{59,5}{54,1}$	$\frac{1,6}{1,4}$	$\frac{1,0}{0,9}$	$\frac{1,8}{1,6}$	$\frac{110}{100}$
10–20	B	$\frac{1,4}{1,5}$	$\frac{4,8}{5,3}$	$\frac{51,0}{56,7}$	$\frac{1,4}{1,5}$	$\frac{1,3}{1,4}$	$\frac{4,3}{4,8}$	$\frac{90}{100}$
40–50	BC _{Ca}	$\frac{0,8}{1,0}$	$\frac{1,6}{2,0}$	$\frac{0,4}{0,5}$	$\frac{13,6}{17,0}$	$\frac{Сл}{-}$	$\frac{1,1}{1,4}$	$\frac{80}{100}$
Перегнойно-карбонатная глееватая, разр. 8А								
0–7	Ah	$\frac{5,3}{1,8}$	$\frac{10,5}{3,5}$	$\frac{147,0}{49,0}$	$\frac{4,6}{1,5}$	$\frac{0,2}{0,1}$	$\frac{123,5}{41,2}$	$\frac{300}{100}$
7–10	AB	$\frac{2,0}{1,0}$	$\frac{26,6}{13,3}$	$\frac{138,5}{69,2}$	$\frac{5,8}{2,9}$	$\frac{3,6}{1,8}$	$\frac{1,2}{0,6}$	$\frac{200}{100}$
40–50	BCg	$\frac{0,5}{0,1}$	$\frac{13,6}{37,8}$	$\frac{72,5}{20,1}$	$\frac{6,5}{1,8}$	$\frac{3,0}{0,8}$	$\frac{1,8}{0,5}$	$\frac{360}{100}$

Примечание. Над чертой – мг $P_2O_5/100$ г почвы, под чертой – в % от валового содержания. Сл – следовое количество.
 Note. Above the line – mg $P_2O_5/100$ g of soil, below the line – in % of the gross content. Сл – the trace amount.

основном менее 5 % от их валового содержания. Лишь только в гор. Ah перегноино-карбонатной почвы отмечалось значительное количество окклюдируемых Al(Fe)-P, которое составляло 123,5 мг $P_2O_5/100$ г почвы, или около 40 % от их валового содержания.

Выводы

1. Средневзвешенное содержание валового Р в исследованных типах почв Южной Якутии невысокое и изменяется от 290 до 474 мг/кг. По содержанию общего Р данные почвы объединяются в следующий убывающий ряд: пале-

во-бурые (474 мг/кг) > подзолистые альфегумусовые (429 мг/кг) > перегнойно-карбонатные (320 мг/кг) ≈ подзолистые типичные (318 мг/кг) > дерново-карбонатные (290 мг/кг). Внутрипрофильно валовой Р распределяется в подзолистых альфегумусовых почвах по элювиально-иллювиальному, в подзолистых типичных – по аккумулятивно-элювиальному, а в палево-бурых, дерново- и перегнойно-карбонатных – преимущественно по аккумулятивному типу.

2. В условиях главным образом горного рельефа территории, холодного гумидного климата и преобладания в растительном покрове таежной растительности в Южной Якутии в основном формируются кислые почвы элювиального ряда с низкой биологической активностью, в которых преобладающими процессами являются подзолообразование, оподзоливание и выщелачивание. Вследствие этого данные почвы характеризуются очень низким и низким средним содержанием подвижных фосфатов, доступных для растений, которое изменяется от 2,5 до 6,7 мг $P_2O_5/100$ г почвы и не превышает 1–2 % от их валового содержания.

3. В составе минеральных фосфатов исследованных типов почв преобладают труднодоступные для растений фосфаты алюминия и фосфаты железа при абсолютном господстве последней фракции. Содержание Al-P и Fe-P в данных почвах изменяется в широких пределах и составляет соответственно максимально около 40 % и 60 % от их валового содержания. Общее количество рыхлосвязанных фосфатов и фосфатов кальция в исследованных почвах, как правило, незначительно и имеет подчиненное значение, составляя в основном менее 5 % от их валового содержания.

Литература

1. Ринькис Г.Я., Рамане Х.К., Паэгле Г.В., Куницкая Т.А. Система оптимизации и методы диагностики минерального питания растений. Рига: Зинатне, 1989. 197 с.
2. Gyaneshwar P., Naresh Kumar G., Parekh L.J., Poole P.S. Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants // Plant and Soil. 2002. Vol. 245, No. 1. P. 83–93. DOI: 10.1023/A:1020663916259
3. Rodriguez H., Fraga R. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion // Biotechnology Advance. 1999. Vol. 17, No. 4. P. 319–339. DOI: 10.1016/S0734-9750(99)00014-2
4. Богданов Н.И. Валовой и органический фосфор в сибирских черноземах // Почвоведение. 1954. № 5. С. 25–37.
5. Антипина Л.П. Фосфор в почвах Сибири: автореф. дис. ... д.с.-х.н. Омск, 1991. 36 с.
6. Рузавин Ю.Н., Убугунова В.И., Пьянкова Н.А. Содержание фосфатов в целинных и пахотных почвах Западного Забайкалья // Почвы степных и лесостепных экосистем Внутренней Азии и проблемы их рационального использования. Улан-Удэ, 2015. С. 108–111.
7. Антоненко Е.В. Фосфатный режим почв пашни северной и центральной сельскохозяйственных зон Амурской области // Адаптивные технологии в растениеводстве Амурской области. Благовещенск, 2016. С. 41–46.
8. Мангатаев Ц.Д. Фосфатный фонд автоморфных почв Западного Забайкалья // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2006. № 4. С. 79–83.
9. Наумченко Е.Т., Ковшик И.Г. Изменение фосфатного фонда луговых черноземовидных почв при длительном внесении удобрений // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2013. № 1(99). С. 42–44.
10. Роде А.А. Система методов исследования в почвоведении. Новосибирск: Наука, 1971. 92 с.
11. Розанов Б.Г. Морфология почв. М.: Изд-во МГУ, 1983. 320 с.
12. Еловская Л.Г. Классификация и диагностика мерзлотных почв Якутии. Якутск: Якутский филиал СО АН СССР, 1987. 172 с.
13. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 487 с.
14. Воробьева Л.А. Химический анализ почв. М.: Изд-во МГУ, 1998. 272 с.
15. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
16. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. М.: ЛИБРОКОМ, 2009. 328 с.
17. Белоусова Н.И. Роль миграции воднорастворимых веществ в формировании Al-Fe-гумусовых почв (по данным лизиметрических исследований) // Почвоведение. 1974. № 12. С. 54–69.
18. Коноворовский А.К. Почвы севера зоны Малого БАМа. Новосибирск: Наука, 1984. 120 с.
19. Чевычелов А.П., Кузнецова Л.И. Географические особенности формирования химического состава поверхностных вод Южной Якутии // География и природные ресурсы. 2017. № 1. С. 171–178. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2017-1(171-178)
20. Кудрин С.А. Средний химический состав основных типов почв Европейской части СССР по валовым анализам // Почвоведение. 1963. № 5. С. 21–25.
21. Чевычелов А.П., Захарова О.Г. Оценка плодородия различных типов почв Южной Якутии // Плодородие. 2017. № 5. С. 42–44.
22. Гамзиков Г.П. Агрохимические проблемы сибирского земледелия // Вестник НГАУ. 2011. № 5(21). С. 5–20.
23. Пигарева Н.Н. Особенности фосфатного фонда почв криолитозоны Забайкалья // Агрохимия. 2010. № 6. С. 3–12.

24. Гинзбург К.Е. Фосфор основных типов почв СССР. М.: Наука, 1981. 241 с.

25. Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Суханова Н.И. Химия почв. М.: Высшая школа, 2005. 558 с.

Поступила в редакцию 20.01.2020
Принята к публикации 02.03.2020

Об авторах

ЧЕВЫЧЕЛОВ Александр Павлович, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, 677980, Россия, Якутск, пр. Ленина, 41, <https://orcid.org/0000-0002-2668-9745>, chev.soil@list.ru;

ЗАХАРОВА Ольга Гаврильевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, 677980, Россия, Якутск, пр. Ленина, 41, <https://orcid.org/0000-0002-4053-4977>, olya.choma@mail.ru.

Информация для цитирования

Чевычелов А.П., Захарова О.Г. К оценке фосфатного состояния мерзлотных почв Южной Якутии // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2020, Т. 25, № 1. С. 51–59. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-1-5>

DOI 10.31242/2618-9712-2020-25-1-5

To the assessment of the phosphate status of permafrost soils of Southern Yakutia

A.P. Chevychelov, O.G. Zakharova*

*Institute for Biological Problems of Cryolithozone,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia
olya.choma@mail.ru

Abstract. The phosphate status of five types of permafrost soils in Southern Yakutia is studied for the first time: the content and intra-profile distribution of total phosphorus, as well as mineral and mobile phosphates determined according to Chang-Jackson and Ginsburg-Artamonova methods, respectively. The study revealed that the weighted mean content of total phosphorus in examined soils was not very high, and varied from 290 to 474 mg/kg. According to the total phosphorus content, these types of soils were arranged into the following descending sequence: pale-brown (474 mg/kg) > podzolic alpha-humus (429 mg/kg) > muck-calcareous (320 mg/kg) ≈ podzolic typical (318 mg/kg) > sod-calcerous (290 mg/kg). At the same time, the intra-profile distribution of total phosphorus in podzolic alpha-humus soils had an eluvial-illuvial pattern, podzolic typical and sod-calcerous soils had an accumulative eluvial distribution pattern, pale-brown soils were characterized by an eluvial distribution, and muck-calcerous soils had an accumulative distribution pattern.

It was demonstrated that landscape and climatic conditions of southern Yakutia favor the development of primarily acidic permafrost soils unsaturated with exchangeable bases, as well as long-seasonal permafrost soils of eluvia row, which are characterized by low biological activity. These soils are also characterized by the low content of mobile phosphates, with the average value of 2,5–6,7 mg P₂O₃/100 g of soil and not higher than 1–2 % of its total content.

It was also shown that the total content of loosely linked phosphates and calcium phosphates, which are more readily utilized by plants, is generally low in the examined soils and is mainly less than 5 % of their total content. At the same time, aluminum phosphates (Al-P) and iron phosphates (Fe-P) that are hardly available for plants prevail in the mineral phosphate composition of the soils of Southern Yakutia, with the dominance of the latter fraction. The content of Al-P and Fe-P in these soils varied significantly, with the maximum variations of 40 and 60 % of their total content, respectively.

Key words: permafrost soils, composition and properties, phosphates, content, distribution.

Acknowledgements. The article is based on the project "Fundamental and applied aspects of studying the diversity of the flora of Northern and Central Yakutia" (0376-2016-0001; reg. number AAAA17-117020110056-0)

References

1. Rin'kis G.Ya., Ramane H.K., Paegle G.V., Kuničkaya T.A. Sistema optimizacii i metody diagnostiki mineral'nogo pitaniya rastenij. Riga: Zinatne, 1989. 197 p.
2. Gyaneshwar P., Naresh Kumar G., Parekh L.J., Poole P.S. Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants // Plant and Soil. 2002. Vol. 245, No. 1. P. 83–93. DOI: 10.1023/A:1020663916259
3. Rodriguez H., Fraga R. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion // Biotechnology Advance. 1999. Vol. 17, No. 4. P. 319–339. DOI: 10.1016/s0734-9750(99)00014-2
4. Bogdanov N.I. Valovoj i organicheskiy fosfor v sibirskih chernozemah // Pochvovedenie. 1954. No. 5. P. 25–37.
5. Antipina L.P. Fosfor v pochvah Sibiri: avtoref. dis.... d. s.-h. n. Omsk, 1991. 36 p.
6. Ruzavin Yu.N., Ubugunova V.I., P'yankova N.A. Soderzhanie fosfatov v celinnyh i pahotnyh pochvah Zapadnogo Zabajkal'ya // Pochvy stepnyh i lesostepnyh ekosistem Vnutrennej Azii i problemy ih racional'nogo ispol'zovaniya. Ulan-Ude, 2015. P. 108–111.
7. Antonenko E.V. Fosfatnyj rezhim pochv pashni severnoj i central'noj sel'skohozyajstvennyh zon Amurskoj oblasti // Adaptivnye tekhnologii v rastenievodstve Amurskoj oblasti. Blagoveshchensk, 2016. P. 41–46.
8. Mangataev C.D. Fosfatnyj fond avtomorfnyh pochv Zapadnogo Zabajkal'ya // Vestnik SVNC DVO RAN. 2006. No. 4. P. 79–83.
9. Naumchenko E.T., Kovshik I.G. Izmenenie fosfatnogo fonda lugovyh chernozemovidnyh pochv pri dlitel'nom vnesenii udobrenij // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2013. No. 1(99). P. 42–44.
10. Rode A.A. Sistema metodov issledovaniya v pochvovedenii. Novosibirsk: Nauka, 1971. 92 p.
11. Rozanov B.G. Morfologiya pochv. M.: Izd-vo MGU, 1983. 320 p.
12. Elovskaya L.G. Klassifikaciya i diagnostika merzlotnyh pochv Yakutii. Yakutsk: Yakutskij filial SO AN SSSR, 1987. 172 p.
13. Arinushkina E.V. Rukovodstvo po himicheskomu analizu pochv. M.: Izd-vo MGU, 1970. 487 p.
14. Vorob'eva L.A. Himicheskij analiz pochv. M.: Izd-vo MGU, 1998. 272 p.
15. Agrohimičeskie metody issledovaniya pochv. M.: Nauka, 1975. 656 p.
16. Dmitriev E.A. Matematicheskaya statistika v pochvovedenii. M.: LIBROKOM, 2009. 328 p.
17. Belousova N.I. Rol' migracii vodorastvorimyh veshchestv v formirovanii Al-Fe-gumusovyh pochv (po dannym lizimetricheskikh issledovanij) // Pochvovedenie. 1974. No. 12. P. 54–69.
18. Konorovskij A.K. Pochvy severa zony Malogo BAMA. Novosibirsk: Nauka, 1984. 120 p.
19. Chevychelov A.P., Kuznecova L.I. Geografichesk- ie osobennosti formirovaniya himicheskogo sostava poverhnostnyh vod Yuzhnoj Yakutii // Geografiya i prirodnye resursy. 2017. No. 1. P. 171–178.
20. Kudrin S.A. Srednij himicheskij sostav osnovnyh tipov pochv Evropejskoj chasti SSSR po valovym analizam // Pochvovedenie. 1963. No. 5. P. 21–25.
21. Chevychelov A.P., Zaharova O.G. Ocenka plodorodiya razlichnyh tipov pochv Yuzhnoj Yakutii // Plodorodie. 2017. No. 5. P. 42–44.
22. Gamzikov G.P. Agrohimičeskie problemy sibirskogo zemledeliya // Vestnik NGAU. 2011. No. 5(21). P. 5–20.
23. Pigareva N.N. Osobennosti fosfatnogo fonda pochv kriolitozony Zabajkal'ya // Agrohimiya. 2010. No. 6. P. 3–12.
24. Ginzburg K.E. Fosfor osnovnyh tipov pochv SSSR. M.: Nauka, 1981. 241 p.
25. Orlov D.S., Sadovnikova L.K., Suhanova N.I. Himiya pochv. M.: Vysshaya shkola, 2005. 558 p.

About the authors

CHEVYCHELOV Aleksandr Pavlovich, doctor of biological sciences, chief researcher, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 677980, Russia, Yakutsk, 41 Lenina St., <https://orcid.org/0000-0002-2668-9745>, chev.soil@list.ru;

ZAKHAROVA Olga Gavril'evna, candidate of biological sciences, researcher, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 677980, Russia, Yakutsk, 41 Lenina St., <https://orcid.org/0000-0002-4053-4977>, olya.choma@mail.ru.

Citation

Chevychelov A.P., Zakharova O.G. To the assessment of the phosphate status of permafrost soils of Southern Yakutia // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2020, Vol. 25, N 1. P. 51–59. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-1-5>

Температурная регуляция ритмов зимней спячки

А.И. Ануфриев

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия

anufry@ibpc.ysn.ru

Аннотация. Работа посвящена изучению температурной регуляции ритмики зимней спячки у зимоспящих видов сем. *Sciuridae*. Использованы материалы наблюдений за ходом зимней спячки по температуре тела и температуре в подстилке гнезда 34 особей четырех видов. Впервые у беличьих в состоянии гипотермии получены графические зависимости температуры тела от температуры среды и зависимости продолжительности оцепенений от температуры тела. У всех видов имеется относительно небольшой интервал температуры тела (от 1° до –1 °С), в котором отмечены наиболее продолжительные периоды спячки, зависимость температуры тела от температуры среды выражена отчетливо. Зона температурного оптимума спячки у всех видов близка к температуре почв их коренных местообитаний на протяжении большей части зимовки. У зимоспящих сем. *Sciuridae* и сем. *Erinaceus* во время спячки присутствует ряд сходных черт в общей организации ряда процессов спячки и температурной регуляции ее ритмики.

Ключевые слова: зимняя спячка, температура тела, температура среды, гипотермия, пробуждения, температурная регуляция.

Благодарности. Работа выполнена в рамках темы Государственного задания ИБПК ЯНЦ СО РАН: «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». АААА-А17-117020110058-4.

Введение

Зимняя спячка присутствует в широком филогенетическом диапазоне видов млекопитающих и характеризуется длительными гипотермическими оцепенениями, которые регулярно прерываются краткими периодами нормотермии [1]. Интервал внешних температур, в границах которого возможно протекание спячки, у зимоспящих млекопитающих ограничен. Для большинства гибернантов он находится в пределах от –5° до 15 °С [2]. Для сусликов верхняя граница температуры среды, при которой возможна спячка, расположена около 22 °С, при более высоких температурах состояние спячки не наступает. У сурков этот показатель также находится около 22°, у хомячков в пределах 9–12 °С, у летучих мышей выше 22° [3–6]. Длительность периодов оцепенения (баутов – от англ. bout период) имеет внутривидовые, межвидовые и сезонные особенности [7–11]. Имеется зависимость между глубиной спячки (температурой тела и продолжительностью оцепенений) и температурой окружающей среды у золотистых сусликов, летучих мышей, у четырех видов бурундуков рода *Eutamias*,

у европейских ежей, европейских сусликов и альпийских сурков [9, 11–13].

Целью настоящей работы было изучение влияния температуры среды на ход зимней спячки и формирование ритмов спячки у животных четырех видов сем. *Sciuridae*, и их сравнение со спячкой представителя сем. *Erinaceus*.

Материал и методики исследований

В сообщение вошли материалы, полученные с 2010 по 2019 г., с перерасчетом накопленных данных в соответствии с поставленной целью (см. таблицу). Бурундуков (*Tamias sibiricus jacutensis* Ognev, 1935) и длиннохвостых (сибирских) сусликов (*Spermophilus undulatus* Pallas, 1778) отлавливали в окрестностях г. Якутск в августе. Черношапочных сурков (*Marmota camtschatica* Pallas, 1811) и арктических (берингийских) сусликов (*Spermophilus parryi* Richardson, 1827) отлавливали на территории Якутии в отрогах Верхоянского хребта в безморозный период. Черношапочных сурков было три особи, два самца и самка, наблюдения за температурой тела проводили на протяжении трех лет. Эксперимен-

Исследованные виды и объем материала

The studied species and volume of the material

Вид	Число особей	Период исследований	Объем материала, тыс. ч	Масса тела перед спячкой, г
Type of species	Number of species	Study period	Volume of the material (thousand/ hour)	Body weight before hibernation (g)
<i>T. sibiricus</i>	8	2011-2016	32,0	97–124
<i>S. undulatus</i>	15	2012-2019	57,8	760–1140
<i>S. parryii</i>	8	2010-2014	33,6	840–1180
<i>M. camtschatica</i> *	3	2010-2013	40,5	960–3800

тальным животным до начала спячки, в конце августа – сентябре, внутрибрюшинно имплантировали приборы длительной регистрации температуры тела (температурные накопители¹ DS-1922L). Приборы были запрограммированы на измерение температуры с частотой 1 раз в 60 мин. Часть материала от бурундуков и двух видов сусликов получена при наблюдении за температурой в подстилке гнезда на протяжении зимней спячки.

Эти данные использованы при расчете зависимости длительности оцепенений от температуры среды. В зимний период в подвальном помещении ИБПК СО РАН, где зимовали животные, поддерживали температурный режим, близкий к естественному на горизонтах почв коренных местообитаний животных. По полученному массиву цифровых данных о температуре тела и температуре среды рассчитаны зависимость температуры тела от температуры среды, зависимость продолжительности периодов гипотермии от температуры тела и от температуры среды. Приведенные в сообщении сравнительные данные о спячке белогрудого ежа получены при обработке первичных материалов и написании статей о спячке двух видов семейства *Erinaceus* [14, 15].

Результаты

Начало спячки у всех видов в экспериментальных условиях характеризовалось относительно непродолжительными погружениями в гипотермное состояние, длительность которых постепенно увеличивалась. Уменьшение продолжительности оцепенений для всех видов характерно перед окончанием спячки. Температура тела в нормотермии между интервалами гипотермии у всех

видов находилась на уровне 33–37 °С. Продолжительность нормотермного состояния при спонтанных пробуждениях у беличьих 11–16, саморазогревание 3–6 ч. Остывание при залегании в спячку у бурундуков 5–7, у сусликов 10–12, у сурков снижение температуры тела занимает до 40 ч. Длительность интервалов гипотермии в спячке у сибирского бурундука наименьшая среди рассматриваемых видов, в среднем 5–7 сут., максимальная до 229 ч (9,5 сут.). У двух видов сусликов и у черношапочного сурка максимальная продолжительность периодов гипотермии может превышать 400 ч (17–20 сут.). Средняя длительность периодов спячки 10–12 сут.

При перезимовке четырех длиннохвостых сусликов в штольне ИМЗ СО РАН 2018/19 гг. зверьки от 58 до 68 % общего времени спячки находились в состоянии гипотермии с температурой тела от 0 до –1 °С. Спячка проходила в абсолютной темноте и при отсутствии шумового влияния, неизбежного при перезимовке в виварии. Температура среды с ноября до начала апреля понизилась от –3 до –8 °С. Средняя продолжительность оцепенений была 225–331 ч, пробуждений – от 15 до 23 ч (оцепенения: гипотермия + остывание при залегании; пробуждения: гомойотермия + саморазогревание). Доля времени, которое зверьки проводили в состоянии гипотермии, 94–95 % от общего времени спячки. Максимальная продолжительность гипотермного периода в спячке у взрослого самца была 501 ч, ранее таких продолжительных баутов у беличьих не отмечалось. Зверек, у которого зарегистрирован такой продолжительный период гипотермии, к началу спячки годовалый самец массой тела 920 г. За 3,5 тыс. ч спячки потери массы у него составили 258 г (около 1,7 г/сут. [16]).

Для всех видов выявлена зависимость температуры тела от температуры окружающей среды (рис. 1). Форма графика от близкой к линейной

¹ Подробное описание прибора и основные характеристики можно найти на сайтах www.elin.ru, <http://www.thermochron.ru/>, <http://www.ibdl.ru/>

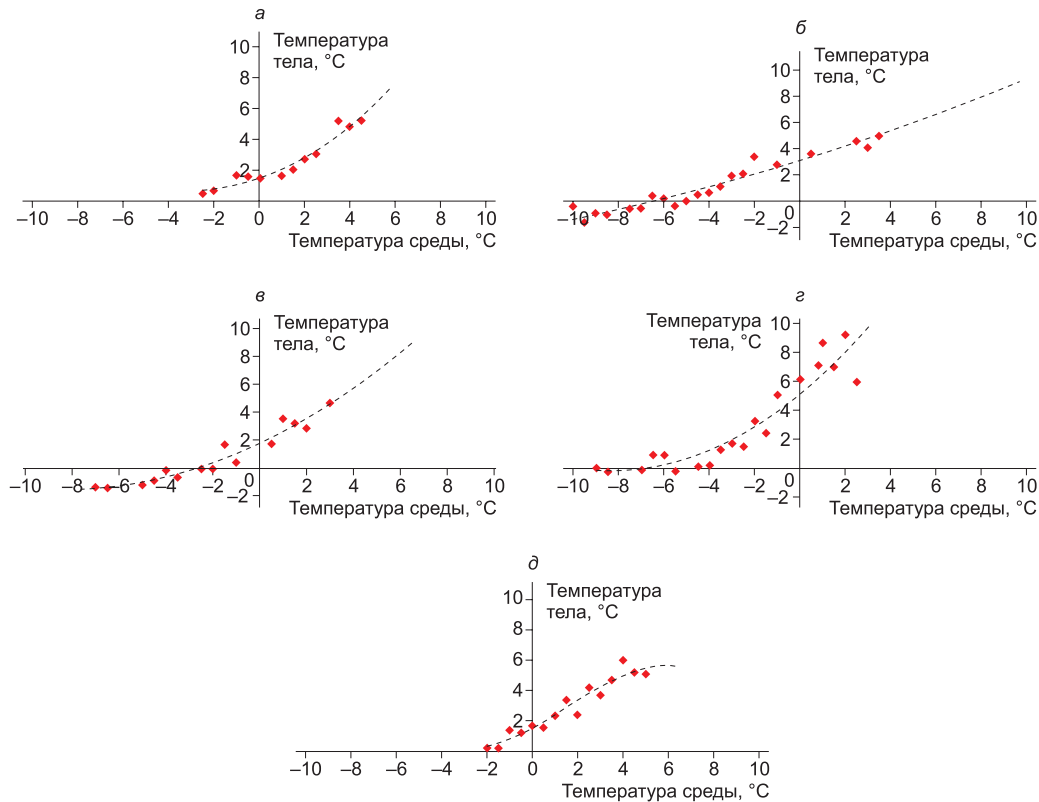


Рис. 1. Зависимость температура тела от температуры среды в период зимней спячки у бурундука (а), длиннохвостого суслика (б), арктического суслика (в), черношапочного сурка (г), белогрудого ежа (д – [14]).

Fig. 1. Dependence of body temperature on the temperature of the environment during the winter hibernation of a chipmunk (а), long-tailed gopher (б), arctic gopher (в), black-capped marmot (г), and white-breasted hedgehog (д – [14]).

до экспоненциальной. Особенно это выражено у длиннохвостого суслика. Графическая кривая аппроксимируется и линейной и экспоненциальной зависимостями, при этом в обоих случаях коэффициент аппроксимации около 0,93 (рис. 1, б). У бурундука минимальная температура тела ($0,5^{\circ}\text{C}$) была при температурах среды $-2 \dots -3^{\circ}\text{C}$ и монотонно возрастала с ростом температуры среды. У длиннохвостого и арктического сусликов минимальная температура тела в спячке (до -2°C) отмечена при окружающих температурах $-6 \dots -8^{\circ}\text{C}$. У черношапочного сурка минимальная температура тела до -1°C , при температурах внешней среды -8°C и ниже, при окружающих температурах выше 0°C температура тела возрастала, а длительность оцепенений уменьшалось.

У всех видов отчетливо выражена зависимость продолжительности периодов гипотермии от температуры окружающей среды. Графические кривые аппроксимируются параболой. Максимальная продолжительность гипотермии у разных

видов отмечена в различных диапазонах температуры среды. У бурундука и длиннохвостого суслика диапазон температур с наиболее продолжительными периодами спячки расположен в области от $-2 \dots -3$ до $-3 \dots -4^{\circ}\text{C}$. У арктических сусликов и сурков область оптимальных для спячки температур почти целиком расположена в диапазоне ниже 0°C . При температурах среды выше 0°C продолжительность интервалов гипотермии у сурков не превышала 200 ч. При температурах среды ниже и выше оптимальных для всех видов, длительность периодов гипотермии снижалась (рис. 2).

Длительность периодов гипотермии связана с температурой среды, температура тела также зависит от последней. Значит, имеется температура тела, при которой периоды гипотермии максимальны. Наиболее продолжительные периоды спячки у всех видов отмечены в диапазоне температуры тела от -1 до 1°C (рис. 3). Минимальная отмеченная температура тела у бурундука была $0,5^{\circ}\text{C}$, у сибирских и арктических сусликов

ТЕМПЕРАТУРНАЯ РЕГУЛЯЦИЯ РИТМОВ ЗИМНЕЙ СПЯЧКИ

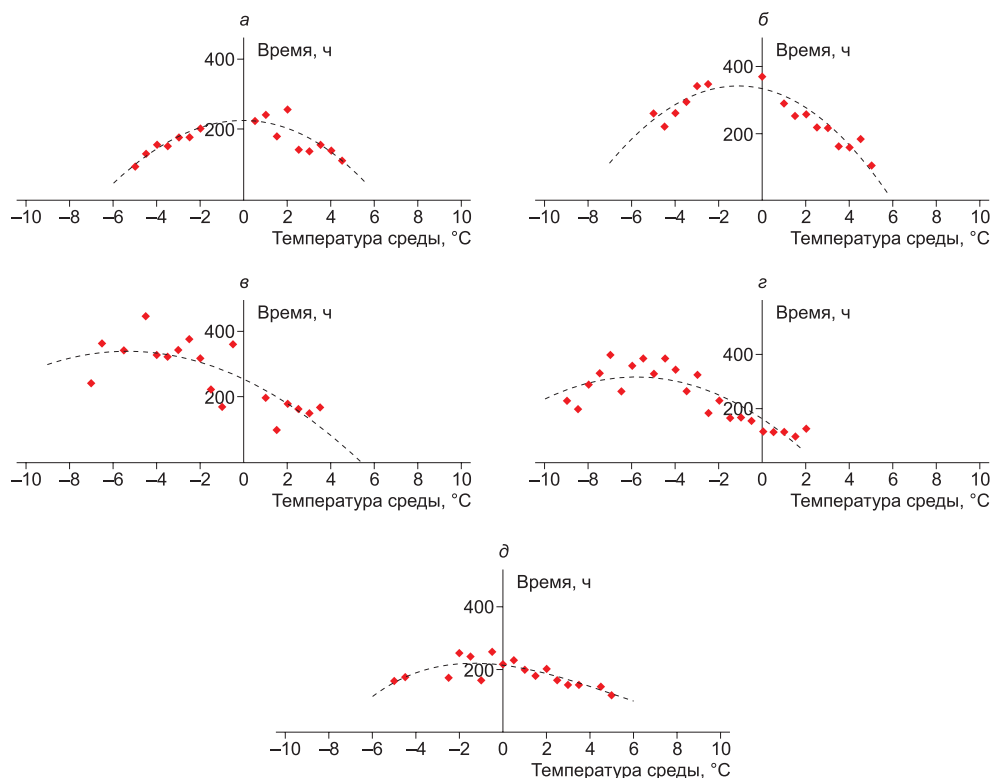


Рис. 2. Зависимость продолжительности интервалов гипотермии от температуры среды у сибирского бурундука (а), сибирского суслика (б), арктического суслика (в), черношапочного сурка (г) и белогрудого ежа (д – [14]).

Fig. 2. Dependence of the hypothermia intervals duration on the environment temperature of a Siberian chipmunk (а), Siberian gopher (б), Arctic gopher (в), black-capped marmot (г) and white-breasted hedgehog (д – [14]).

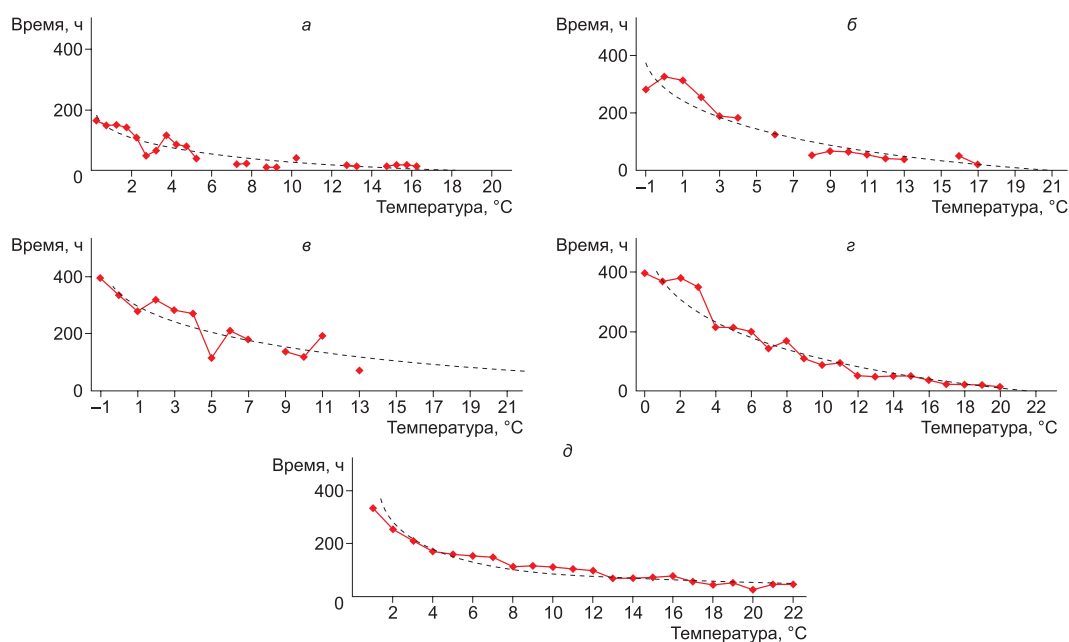


Рис. 3. Зависимость продолжительности интервалов гипотермии от температуры тела у сибирского бурундука (а), сибирского суслика (б), арктического суслика (в), черношапочного сурка (г) и белогрудого ежа (д – [14]).

Fig. 3. Dependence of the hypothermia intervals duration on body temperature of a Siberian chipmunk (а), Siberian gopher (б), Arctic gopher (в), black-capped marmot (г) and white-breasted hedgehog (д – [14]).

до -2°C , причем при температурах тела ниже -1°C длительность интервалов гипотермии заметно снижалась [17, 18]. Наиболее продолжительные периоды гипотермии, около 400 ч, у арктического суслика отмечены при температурах тела около -1°C . Продолжительность гибернации уменьшалась и была минимальна при температуре тела, максимальной при гибернации вида. Спячка бурундука с температурой тела выше 16°C не отмечена, у сибирского суслика это $15-17^{\circ}\text{C}$, арктического суслика 13°C , черношапочного сурка 20°C .

Обсуждение

Сибирский бурундук и длиннохвостый суслик совместно обитают на одной территории, соответственно сходны температурные почвенно-грунтовые условия перезимовки, у бурундука углубленность нор до 120, у длиннохвостого суслика – 120–140 см, и это связано с глубиной сезонной оттайки грунта [17]. Соответственно зимняя спячка проходит в сходном диапазоне температур среды. Вместе с тем, у этих видов имеются различия в протекании спячки. Относительно крупные длиннохвостые суслики способны находиться в спячке с температурой в полости тела ниже 0°C , и с максимальной продолжительностью периодов гипотермии до 17 суток и более. Бурундук, имеющий значительно меньшие размеры и массу тела, способен находиться в гипотермии до 10 сут., с температурой тела выше 0°C .

У арктического суслика зимняя спячка практически на всем ее протяжении проходит при температурах среды ниже нуля, с минимальными значениями ниже -10°C , в период завершения спячки и выхода животных на поверхность почвы [17]. В диапазоне от -2 и до -6°C отмечены наиболее продолжительные периоды гипотермии (рис. 2, в). Наиболее продолжительные интервалы гипотермии у арктического суслика из Верхоянья при температурах тела ниже 0° , а у длиннохвостого суслика при околонулевых значениях (см. рис. 2, б, в).

Диапазон предпочитаемых температур в спячке у черношапочного почти сурка целиком расположен в области температур ниже 0°C , причем нижняя граница интервала предпочитаемых внешних температур около $-8 \dots -10^{\circ}\text{C}$ (см. рис. 2, г). Отметим, что спячка черношапочного сурка с температурой тела до -1°C отмечена при температурах среды около и ниже -8°C . При тем-

пературах тела около нуля отмечены наиболее продолжительные периоды спячки (см. рис. 3, з).

Все исследованные виды объединяет способность находиться в состоянии зимней спячки при окружающих температурах среды ниже нуля. У трех видов описана способность находиться в состоянии гипотермии с температурой тела (внутрибрюшинно и под кожей) ниже 0°C [17, 19]. Совсем недавно было показано, что два вида ежей сем. *Erinaceus*, имеющие обширные ареалы на Европейском континенте (*E. roumanicus* и *E. europaeus*), способны находиться в спячке с температурой в полости тела ниже 0° [14, 15]. У белогрудого ежа в состоянии гипотермии, как и у беличьих, также было выявлена оптимальная для зимней спячки температурная зона, которая включает температурный интервал с положительными и отрицательными значениями (см. рис. 2, д). Оптимальная для спячки температура тела также находилась в области околонулевых значений (см. рис. 3, д). Минимальная температура в полости тела у белогрудого ежа была $-1,3^{\circ}\text{C}$ [14]. У представителей этих филогенетически достаточно удаленных семейств, *Sciuridae* и *Erinaceus*, прослеживается ряд сходных черт в общей организации зимней спячки и ее составляющих. В начальный период спячки интервалы гипотермии относительно непродолжительны, с ноября по март достигают максимальной длительности, у ежей до 17, у сусликов и сурков до 18–20 сут. Перед окончанием спячки, в конце марта–начале апреля, пробуждения учащаются. Для всех видов характерен относительно быстрый рост температуры при спонтанных пробуждениях. За 3–5 ч зимоспящие с околонулевыми положительными либо отрицательными температурами тела превращаются в гомойотермных животных с температурой в полости тела около $35-37^{\circ}\text{C}$. Сходны и механизмы влияния температуры среды на формирование ритмов зимней спячки. Общей является способность находиться в гипотермии в условиях отрицательных температур среды, с температурой тела ниже 0°C [14, 15].

Заключение

Зона температурного оптимума спячки у исследованных зимоспящих видов соответствует температуре почв месторасположения зимовочных гнезд, их коренных местообитаний на протяжении большей части периода зимней спячки. Это не противоречит экологическому закону «оп-

тимумов» и зависимости от факторов среды. У всех изученных видов имеется относительно узкая область температуры тела, при которой отмечены наиболее продолжительные периоды спячки (от 1 до -1°C). Отчетливо выражена зависимость температуры тела от температуры среды.

Повышенную степень холодаадаптации демонстрируют виды, заселяющие территории с более холодными почвенно-грунтовыми условиями зимовки и спячки, это арктический суслик и черношапочный сурок. Зимняя спячка у сибирского бурундука и сибирского суслика оптимально проходит как при околонулевых положительных, так и при околонулевых отрицательных температурах среды.

Представители сем. Sciuridae и сем. Erinaceus во время зимней спячки демонстрируют удивительное сходство в общей организации ряда процессов зимней спячки и температурной регуляции ее ритмики.

Литература

1. Melvin R. G., Andrews M. T. Torpor induction in mammals: recent discoveries fueling new ideas // Trends Endocrinol. Metab. 2009. No. 20. P. 490–498.
2. Слоним А.Д. Экологическая физиология животных. М.: Высшая школа, 1971. 448 с.
3. Калабухов Н.И. Летняя спячка сусликов (*C. fulvus* и *C. pygmaeus*) // Тр. лаб. эксперимент. биологии Моск. Зоопарка, 1929. Т. 5. С. 163–176.
4. Kayser Ch. The physiology of natural hibernation. N.-Y: Pergamon Press, 1961. 325 p.
5. Pengelley E.T., Fisher K.C. Onset and cessation of hibernation under constant temperature and light in the golden-mantled ground squirrel, *Citellus lateralis* // Nature. 1957. Vol. 180. P. 1371–1372.
6. Pengelley E.T., Fisher K.C. The effect of temperature and photoperiod on the yearly hibernating behavior of captive golden-mantled ground squirrel (*Citellus lateralis*) // Canadian. J. Zool. 1963. Vol. 41. P. 1103–1120.
7. Strumwasser F. Factors in the pattern, timing and predictability of hibernation in the squirrel, *Citellus beecheyi* // Am. J. Physiol. 1959. Vol. 196. P. 8–14.
8. Pengelley E.T., Fisher K.C. The effect of temperature and rhythmical arousal ground squirrels (*Citellus lateralis*) // Can. J. Zool. 1961. Vol. 39, No. 1. P. 105–120.
9. Ortmann S., Heldmaier G. Regulation of body temperature and energy requirements of hibernating Alpine marmots (*Marmota marmota*) // Am. J. Physiol. Regulatory Integrative Comp. Physiol. 2000. Vol. 278, No. 3. P. 698–704.
10. Oklejewicz M., Daan S., Strijkstra A.M. Temporal organization of hibernation in wild-type and tau mutant Syrian hamsters // J. Comp. Physiol. (B). 2001. Vol. 171. P. 431–439.
11. Hut R.A., Barnes B.M., Daan S. Body temperature patterns before, during, and after semi-natural hibernation in the European ground squirrel // J. Comp. Physiol. [B] 2002. Vol. 172 (1). P. 47–58.
12. Kristofersson R., Soivio A. Hibernation of the hedgehog (*Erinaceus europaeus* L.) The periodicity of hibernation of undisturbed animals during the winter in a constant ambient temperature // Ann. Acad. Sci. Fenn. 1964(A). IV. Biol. Vol. 122. P. 1–22.
13. Heller H., Poulson T.L. Circadian rhythms. II. Endogenous and exogenous factors controlling reproduction and hibernation in chipmunks (*Eutamias*) and ground squirrel (*Spermophilus*) // Comp. Biochem. and Physiol. 1970. Vol. 33. P. 357–383.
14. Рutowская М.В., Диатроптов М.Е., Кузнецова Е.В., Ануфриев А.И., Феоктистова Н.Ю., Суров А.В. Динамика температуры тела белогрудого ежа (*Erinaceus roumanicus* Barrett-Hamilton, 1900) во время зимней спячки // Зоол. журн. 2019а. № 5. С. 556–566.
15. Рutowская М. В., Диатроптов М.Е., Кузнецова Е.В., Ануфриев А.И., Феоктистова Н.Ю., Суров А.В. Феномен снижения температуры тела до отрицательных значений у ежей рода *Erinaceus* во время зимней спячки // Журн. эвол. биохим. и физиол. 2019б. Т. 55. Вып. 6. С. 463–464.
16. Ануфриев А.И., Ядрихинский В.Ф. Температурная регуляция процессов зимней спячки у длиннохвостого суслика *Spermophilus undulatus* Pallas, 1778 // Принципы экологии. 2019. Т. 8. № 3. С. 8–17.
17. Ануфриев А.И. Механизмы зимней спячки мелких млекопитающих Якутии. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. 157 с.
18. Ануфриев А.И. Экологические механизмы температурных адаптаций млекопитающих и зимующих птиц Якутии. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2013. 220 с.
19. Barnes B.M. Freeze avoidance in a mammal: body temperatures below 0°C in an Arctic hibernator // Science. 1989. Vol. 244. P. 1593–1595.

Поступила в редакцию 04.02.2020

Принята к публикации 24.03.2020

Об авторе

АНУФРИЕВ Андрей Иванович, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Россия, 677980, г. Якутск, пр. Ленина, 41, <https://orcid.org/0000-0003-1246-3275>, anufry@ibpc.ysn.ru.

DOI 10.31242/2618-9712-2020-25-1-6

Temperature regulation in the rhythm of winter hibernation

A.I. Anufriev

*Institute for Biological Problems of Cryolithozone
Siberian Branch of Russian Academy for Sciences, Yakutsk, Russia
gogoleva_ss@mail.ru

Abstract. The work is devoted to the study for temperature regulation of hibernation rhythms in winter-sleeping species of Sciuridae family. The data on observations of hibernation course on body temperature and temperature in the nest litter of 34 individuals from four species were used. For the first time graphical dependences of body temperature on the environment temperature and the dependence of the torpor duration on body temperature in squirrels in a state of hypothermia were obtained. All species have a relatively small interval of body temperature (from +1 to –1 °C), in which the longest periods of hibernation are marked, the dependence of body temperature on the environment temperature is clearly expressed. The hibernation temperature optimum zone, in all species, is close to the soil temperature regime of their native habitats during most of the wintering. Hibernators from Sciuridae and Erinaceus families, during their hibernation, demonstrate a number of similarities in the overall organization of hibernation processes, and temperature regulation of its rhythm.

Key words: hibernation, body temperature, environment temperature, hypothermia, awakenings, temperature regulations.

Acknowledgements. The research was carried out within the framework of state assignment of Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS “The structure and dynamics of animal populations and communities in the cold region of the North-East of Russia in modern conditions of global climate change and the anthropogenic transformation of northern ecosystems: factors, mechanisms, adaptations, conservation.” AAAA-A17-117020110058-4.

References

1. Melvin R. G., Andrews M. T. Torpor induction in mammals: recent discoveries fueling new ideas // Trends Endocrinol. Metab. 2009. No. 20. P. 490–498.
2. Slonim A.D. *Ehkologicheskaya fiziologiya zhivotnykh*. M.: Vysshaya shkola, 1971. 448 p.
3. Kalabukhov N.I. Letnyaya spyachka suslikov (*C. fulvus* i *C. pygmaeus*) // Tr. lab. ehksperiment. biologii Mosk. Zooparka. 1929. Vol. 5. P. 163–176.
4. Kayser Ch. The physiology of natural hibernation. N.-Y: Pergamon Press, 1961. 325 p.
5. Pengelley E.T., Fisher K.C. Onset and cessation of hibernation under constant temperature and light in the golden-mantled ground squirrel, *Citellus lateralis* // Nature. 1957. Vol. 180. P. 1371–1372.
6. Pengelley E.T., Fisher K.C. The effect of temperature and photoperiod on the yearly hibernating behavior of captive golden-mantled ground squirrel (*Citellus lateralis*) // Canadian. J. Zool. 1963. Vol. 41. P. 1103–1120.
7. Strumwasser F. Factors in the pattern, timing and predictability of hibernation in the squirrel, *Citellus beecheyi* // Am. J. Physiol. 1959. Vol. 196. P. 8–14.
8. Pengelley E.T., Fisher K.C. The effect of temperature and rhythmical arousal ground squirrels (*Citellus lateralis*) // Can. J. Zool. 1961. Vol. 39, No. 1. P. 105–120.
9. Ortman S., Heldmaier G. Regulation of body temperature and energy requirements of hibernating Alpine marmots (*Marmota marmota*) // Am. J. Physiol. Regulatory Integrative Comp. Physiol. 2000. Vol. 278, No. 3. P. 698–704.
10. Oklejewicz M., Daan S., Strijkstra A.M. Temporal organization of hibernation in wild-type and tau mutant Syrian hamsters // J. Comp. Physiol. (B). 2001. Vol. 171. P. 431–439.

11. Hut R.A., Barnes B.M., Daan S. Body temperature patterns before, during, and after semi-natural hibernation in the European ground squirrel // J. Comp. Physiol. [B] 2002. Vol. 172 (1). P. 47–58.
12. Kristoffersson R., Soivio A. Hibernation of the hedgehog (*Erinaceus europaeus* L.) The periodicity of hibernation of undisturbed animals during the winter in a constant ambient temperature // Ann. Acad. Sci. Fenn. 1964(A). IV. Biol. Vol. 122. P. 1–22.
13. Heller H., Poulson T.L. Circadian rhythms. II. Endogenous and exogenous factors controlling reproduction and hibernation in chipmunks (*Eutamias*) and ground squirrel (*Spermophilus*) // Comp. Biochem. and Physiol. 1970. Vol. 33. P. 357–383.
14. Rutovskaya M.V., Diatryptov M. E., Kuznetsova E.V., Anufriev A.I., Feoktistova N.Y., Surov A.V. Dinamika temperatury tela belogrudogo ezha (*Erinaceus roumanicus* Barrett-Hamilton, 1900) vo vremya zimnej spyachki // Zool. zhurn. 2019a. No. 5. P. 556–566.
15. Rutovskaya M.V., Diatryptov M.E., Kuznetsova E.V., Anufriev A.I., Feoktistova N.Y., Surov A.V. Fenomen snizheniya temperatury tela do otritsatel'nykh znachenij u ezhej roda *Erinaceus* vo vremya zimnej spyachki // ZHurn. ehvol. biokhim. i fiziol. 2019b. Vol. 55, No. 6. P. 463–464.
16. Anufriev A.I., YAdrikhinskij V.F. Temperaturnaya regulyatsiya protsessov zimnej spyachki u dlinnokhvostogo suslika *Spermophilus undulatus* Pallas, 1778 // Printsipy ehkologii. 2019. Vol. 8, No. 3. P. 8–17.
17. Anufriev A.I. Mekhanizmy zimnej spyachki melkikh mlekopitayushhikh Yakutii. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN. 2008. 157 p.
18. Anufriev A.I. Ehkologicheskie mekhanizmy temperaturnykh adaptatsij mlekopitayushhikh i zimuyushhikh ptits Yakutii. Novosibirsk: Izdatel'stvo SO RAN. 2013. 220 p.
19. Barnes B.M. Freeze avoidance in a mammal: body temperatures below 0 °C in an Arctic hibernator // Science. 1989. Vol. 244. P. 1593–1595.

About the author

ANUFRIEV Andrey Ivanovich, doctor of biological sciences, chief researcher, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk, 677980, Russia, <https://orcid.org/0000-0003-1246-3275>, anufry@ibpc.ysn.ru.

Citation

Anufriev A.I. Temperature regulation in the rhythm of winter hibernation // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2020, Vol. 25, N 1. P. 60–67. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-1-6>

Учет численности безнадзорных собак на территории города Магадан

А.В. Ямборко, С.В. Киселев

Институт биологических проблем Севера ДВО РАН, г. Магадан, Россия,
yambor84@inbox.ru

Аннотация. На основе данных маршрутных учетов, проведенных в 2016 г., рассчитаны численность и плотность населения безнадзорных собак (*Canis lupus familiaris*) на территории г. Магадан, выявлено их пространственное распределение по городским районам. В учет включались все безнадзорные собаки: бесхозные (бездомные) и собаки полувольного содержания (имеющие хозяина, но покидающие территорию домохозяйства без сопровождения человека). Общая численность животных по учетным данным составила 500–800 особей, средняя плотность населения – 45 ос./км². Установлено, что плотность популяции безнадзорных собак зависит от типа застройки и определяется наличием кормов и укрытий. Наибольшая плотность населения отмечена в зоне малоэтажной жилой застройки (102 ос./км²), а наименьшая – в зоне многоэтажной жилой застройки (32 ос./км²). Плотность популяции на промышленно-складской территории промежуточная (42 ос./км²). Полученные данные могут быть использованы при планировании работ по регулированию численности безнадзорных собак.

Ключевые слова: безнадзорные собаки, учет численности, г. Магадан.

Благодарности. Исследование поддержано грантом губернатора Магаданской области молодым ученым в 2016 г.

Введение

Совместное существование человека и безнадзорных собак (*Canis lupus familiaris*) на урбанизированных территориях представляет ряд серьезных проблем, таких как распространение гельминтозов и зоонозных инфекций, загрязнение животными городской среды, проявление прямой агрессии по отношению к человеку и др. [1–6]. Для решения этих проблем необходимо проведение мероприятий, направленных на сокращение численности безнадзорных собак. Вместе с тем регуляция их численности путем прямого истребления негуманна и запрещена федеральным законом [7]. Разработка эффективных и вместе с тем гуманных мер контроля численности безнадзорных животных ОСВВ-методом (отлов – стерилизация – вакцинация – выпуск) предполагает всестороннее изучение их экологии и этологии [8]. Очевидно, что для обоснования и планирования мероприятий по регуляции численности бездомных собак в населенном пункте необходимо в первую очередь обладать сведениями по их численности, а также распределению особей по различным районам. На территории г. Магадан подобные исследования ранее не про-

водились – восполнение этого пробела и стало целью данной работы.

Материалы и методы исследования

Городская среда разделялась на однородные зоны, в каждой из которых выделялись две учетные площадки [9]. Площадь каждой зоны определялась по картам Google с использованием калькулятора для расчета площадей.

Зонирование охватило не весь город. Отдаленные районы, садово-огороднические участки, «зеленая зона» в анализ не вошли. В совокупности было выделено три основные зоны (табл. 1, см. рисунок):

- многоэтажная жилая застройка – центральная часть города и спальные районы, занятые жилыми строениями, магазинами и административными зданиями;
- малоэтажная жилая застройка («частный сектор») – расположена на границе города и состоит из частных домовладений с придомовой территорией, как правило, огороженной забором;
- промышленно-складская территория – промышленные объекты, кооперативные гаражи и торговые склады.

Перечень зон и учетных площадок

Table 1

List of zones and discount areas

Зоны Zone	Номер и район расположения учетной площадки Number and location district of accounting area	Площадь учетной площадки, км ² Accounting area, km ²
Многоэтажная жилая застройка Multi-storey residential development	1. Центр города Center	0,56
	2. Микрорайон «Строитель» Microdistrict «Stroitel'»	0,46
Малоэтажная жилая застройка («частный сектор») Low-rise residential development («private sector»)	3. Микрорайон «Нараево» Microdistrict «Nagaevo»	0,38
	4. Ул. Транспортная–ул. Речная Transportnaya St.–Rechnaya St.	0,36
Промышленно-складская территория Industrial and storage area	5. Микрорайон «Марчекан» Microdistrict «Marchekan»	0,47
	6. 4-й км основной трассы 4th km of the main highway	0,41

Учеты численности городской популяции собак проводились с 24 марта по 13 мая 2016 г. Использовался метод выборочного учета на пробных площадках [10]. Наблюдения на каждой площадке осуществлялись пятикратно с интервалом в 5–10 дней. Пеший обход площадок производился в светлое время суток. Информация о каждой встреченной собаке включала следующие сведения: внешний вид, пол, возраст, место встречи и масть. По возможности, каждая особь фотографировалась. Площадки тщательно обследовались, осматривались все дворы и улицы.

Для расчета численности животных, а также установления плотности их популяции и статистической достоверности учета (стандартной ошибки, доверительных интервалов), применяли метод накопительного учета [10]. Численность собак определялась как количество отмеченных на исследуемой местности оседлых особей (ос.). Таковыми считали животных, зарегистрированных хотя бы в два из пяти учетных дней в пределах одной площадки. Так же как и некоторые другие авторы [6], в анализ включали всех бродячих собак – бесхозных (бездомных) и собак полувольного содержания (имеющих хозяина, но покидающих территорию домохозяйства без сопровождения человека). Это связано со следующими особенностями. С одной стороны, далеко не все собаки полувольного содержания в

Магадане имеют ошейники, и отделить их от бездомных собак не представляется возможным. С другой стороны, бесхозные собаки и собаки полувольного содержания образуют единую популяцию, в отличие от репродуктивно изолированных от них владельческих домашних собак [6].

Результаты и обсуждение

В табл. 2 приведены данные о суммарной площади, занимаемой каждой зоной в городе, охваченной учетами площади участка в пределах каждой зоны, а также доля обследованной площади от общей площади зоны. Наибольшую площадь занимает многоэтажная жилая застройка, наименьшую – «частный сектор». Последняя зона оказалась наиболее исследованной – учетами была покрыта почти половина ее площади.

Результаты учета безнадзорных собак на площадках приведены в таблице 3. Наибольшее количество особей за пять дней учета зарегистрировано на площадках в «частном секторе». Для этой зоны характерна и наибольшая плотность населения безнадзорных животных. В двух других зонах количество собак было примерно одинаковым: плотность популяции животных на площадках промышленно-складской территории при этом оказалась несколько выше, чем на площадках жилой многоэтажной застройки.



Схема расположения учетных площадок на территории города Магадана. Площадки, принадлежащие к одной зоне, выделены одинаковой штриховкой (обозначения см. в табл. 1).

The schematic location of accounting areas in Magadan. Areas belonging to the same zone are highlighted with the same hatch-ing (indications see in Table 1).

В табл. 4 приведены экстраполированные дан-ные по плотности и численности собак в раз-личных зонах и по городу в целом. При выбо-рочных учетах животных, как правило, получа-ются большие значения статистической ошибки,

поэтому помимо точечных оценок произведе-ны интервальные оценки численности [11].

Максимальная плотность населения безнад-зорных собак зарегистрирована на территории малоэтажной жилой застройки, что отмечалось

Таблица 2

Площадь зон и учетных площадок в городе

Table 2

Area of zones and accounting areas in Magadan

Зоны Zone	Общая площадь городской застройки, км ² Total urban area, km ²	Площадь, охваченная учетами, км ² Area covered by accounting, km ²	Доля охваченной учетами от общей площади, % The share covered by accounting of the total area, %
Многоэтажная жилая застройка Multi-storey residential development	6,71	1,02	15,2
Малоэтажная жилая застройка («частный сектор») Low-rise residential development («private sector»)	1,82	0,74	40,7
Промышленно-складская территория Industrial and storage area	5,23	0,88	16,8
Итого по зонированной части города Total for the zoned part of the city	13,76	2,64	19,2

Таблица 3

Результаты учета на площадках

Table 3

Area accounting results

Зоны Zone	Номер площадки Area number	Число отмеченных животных, ос. Number of the noted animals, ind.	Плотность населения, ос./км ² Density, ind./km ²
Многоэтажная жилая застройка Multi-storey residential development	1	14	25
	2	18	39
Малоэтажная жилая застройка («частный сектор») Low-rise residential development («private sector»)	3	31	82
	4	44	122
Промышленно-складская территория Industrial and storage area	5	14	30
	6	22	54

Основные результаты учета для зонированной части города

Table 4

The main accounting results for the zoned part of the city

Зоны Zone	Плотность населения, ос./км ² , $M \pm m$ Density, ind./km ² , $M \pm m$	Численность, ос., $M \pm m$ Number, ind., $M \pm m$	Доверительный интервал оценки численности для вероятности 95 %, ос. Confidence interval for abundance estimates for a probability of 95 %, ind.	
			Нижний Lower	Верхний Upper
Многэтажная жилая застройка Multi-storey residential development	32 ± 7	215 ± 48	157	310
Малозэтажная жилая застройка («частный сектор») Low-rise residential development («private sector»)	102 ± 20	185 ± 36	140	257
Промышленно- складская территория Industrial and storage area	42 ± 12	218 ± 65	147	345
Всего по городу Total in the city	45 ± 12	619 ± 88	483	792

Примечание. $M \pm m$ – среднее и ошибка среднего

Note. $M \pm m$ – mean and error of mean

и в некоторых других городах [12, 13]. Однако, по причине малой площади, занимаемой «частным сектором», общая численность собак здесь оказалась ниже по сравнению с другими зонами. Высокая плотность популяции, в первую очередь, вызвана тем, что здесь встречаются не только собственно бездомные животные, но и собаки полувольного содержания, имеющиеся почти в каждом подворье. На это указывает наличие на многих из них ошейников и характерное поведение собак-охранников.

Несколько ниже плотность населения в промышленно-складской зоне. Здесь обитают преимущественно стайные животные (вероятно – родственники), и каждая такая группа привязана к определенному промышленному объекту, считая его своей территорией. Собаки, встречающиеся здесь, в большинстве своем имеют крупные размеры и длинную шерсть. Схожий фенотип жи-

вотных может быть следствием не только родственных связей, но и действия естественного отбора, направленного на сохранение особей, наиболее приспособленных к суровым условиям обитания.

Наименьшая плотность населения собак отмечена в жилой многоэтажной застройке. Здесь, так же как и в «частном секторе», высока доля собак полувольного содержания, а собственно бездомные животные обычно держатся возле продуктовых магазинов, киосков или во дворах, где их кормят жители.

Заключение

В ходе проведенного исследования были получены сведения о численности и плотности популяции, пространственному распределению безнадзорных собак в г. Магадан. Представленные данные могут быть использованы при пла-

нировании работ по регулированию их численности возвратным методом, а также для оценки эффективности таких мероприятий. Установлено, что плотность населения безнадзорных собак значительно зависит от типа застройки. Наибольшая плотность популяции собак отмечена в зоне малоэтажной застройки, а наименьшая – в зоне многоэтажной. Плотность населения на промышленно-складской территории – промежуточная. Данная особенность, по всей видимости, является следствием локальных различий в обилии кормов и убежищ. Влияние этих факторов на территориальное распределение безнадзорных собак, так же как и на их социальную организацию, отмечалось во многих работах [12–17]. В целом расчетная численность безнадзорных собак в период исследования в г. Магадан составляла 500–800 особей. Полученные значения плотности популяции безнадзорных собак для г. Магадан превышают данные по многим другим городам [3, 4, 11, 12, 17, 18]. Это отчасти связано с тем, что в отличие от большинства других авторов, мы включили в учеты не только собственно бездомных собак, но и животных полувольного содержания. В сравнении с Омском, где учеты проводились по идентичной методике [6], плотность населения собак в г. Магадан оказалась ниже. Необходимо также принимать во внимание, что полученные оценки основаны на однократных учетах (март, 2016 г.), тогда как численность собак может быть подвержена существенным сезонным и межгодовым колебаниям [2, 3, 5, 12, 13, 17]. Для получения более точных оценок обилия собак на территории г. Магадан необходимы более продолжительные исследования.

Литература

1. Reid J.B., Chantrey D.F., Davie C. Eliminator behaviour of domestic dogs in an urban environment // *Applied Animal Behaviour science*. 1984. Vol. 12. No. 3. P. 279–287.
2. Седова Н.А. Экологический анализ ситуации с бездомными собаками на примере Карелии // *Ветеринарная патология*. 2007. № 3 (22). С. 124–130.
3. Ивантер Э.В., Седова Н.А. Экологический мониторинг группировок бездомных собак (на примере г. Петрозаводска) // *Экология*. 2008. № 2. С. 116–121.
4. Золина Н.Ф. Особенности экологии популяций бездомных собак в городе Пензе // *Известия ПГПУ им. В.Г. Белинского*. 2011. № 25. С. 195–198.
5. Шамсувалеева Э.Ш., Рахимов И.И. Особенности экологии бездомных собак в условиях города Казани и его окрестностей. Казань: ЗАО «Новое знание», 2013. 168 с.
6. Макенов М.Т., Кассал Б.Ю. Исследование популяции свободноживущих собак г. Омска // *Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология*. 2014. № 7. С. 87–98.
7. Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: федеральный закон от 27.12.2018 № 498-ФЗ // *Российская газета*. 2018. № 295.
8. Данилов Вит.А., Сидоров М.М., Данилов Вас.А. Учет бездомных собак г. Якутска // *Наука и образование*. 2014. № 2. С. 69–72.
9. Блохин А.А., Лебединский А.А. Эффективность возвратного ОСВВ-метода регулирования численности безнадзорных собак в Нижнем Новгороде // *Современные проблемы гуманитарных и естественных наук: Материалы XXXI международной научно-практической конференции (Москва, 22–23 ноября 2016 г.)*. Научно-информационный издательский центр «Институт стратегических исследований», 2016. С. 236–242.
10. Челинцев Н.Г. Математические основы учета животных. М.: Центр охотконтроль, 2000. 431 с.
11. Поярко А.Д., Верещагин А.О., Богомолов П.Л. Исследование популяции бездомных собак (*Canis familiaris*) на территории Москвы. Сообщение 1 // *Зоологический журнал*. 2011. Т. 90. № 4. С. 498–504.
12. Наконечный Н.В. Структура популяции и поведенческие особенности бродячих собак города Сургута // *Вестник СурГУ*. 2016. Вып. 3 (13). С. 43–48.
13. Сидоров М.М., Шадрин Е.Г., Данилов В.А., Яковлева М.Л. Изменения численности и распределения по территории безнадзорных собак г. Якутска // *Проблемы популяционной биологии. Материалы XII Всероссийского популяционного семинара памяти Николая Васильевича Глотова (1939–2016)* // Йошкар-Ола: ООО ИПФ «Стринг», 2017. С. 203–206.
14. Font E. Spacing and social organization: urban stray dogs revisited // *Applied Animal Behaviour Science*. 1987. Vol. 17. No. 3–4. P. 319–328.
15. Daniels T.J., Bekoff M. Population and social biology of free-ranging dogs, *Canis familiaris* // *Journal of mammalogy*. 1989. Vol. 70, No. 4. P. 754–762.
16. Шамсувалеева Э.Ш., Аринина А.В., Салахов Н.В. Факторы размещения бездомных собак на территории города // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 9-1. С. 91–95.
17. Прорвина Л.Н. Численность и плотность популяции бездомных собак в городе Тюмень // *Аграрная наука и образование Тюменской области: связь времен. Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 140-летию Тю-*

менского реального училища, 60-летию Тюменского государственного сельскохозяйственного института. Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2019. С. 98–104.

18. Залозных Д.В., Пономаренко О.И. Численность, особенности распределения и территориальное поведение бездомных собак в Нижнем Новгороде // Ветеринарная патология. 2006. № 2 (17). С. 19–22.

Поступила в редакцию 15.01.2020

Принята к публикации 27.02.2020

Об авторах

ЯМБОРКО Алексей Владимирович, кандидат биологических наук, 685000, г. Магадан, ул. Портовая, 18, <https://orcid.org/0000-0002-0213-4761>, yambor84@inbox.ru;

КИСЕЛЕВ Сергей Викторович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт биологических проблем Севера ДВО РАН, 685000, г. Магадан, ул. Портовая, 18, <https://orcid.org/0000-0001-6246-8088>, kiselevmagadan@mail.ru.

Информация для цитирования

Ямборко А.В., Киселев С.В. Учет численности безнадзорных собак на территории города Магадан // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2020, Т. 25, № 1. С. 68–75. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-1-7>

DOI 10.31242/2618-9712-2020-25-1-7

Counting the number of stray dogs in Magadan

A.V. Yamborko, S.V. Kiselev

*Institute of biological problems of the North, FEB RAS, Magadan, Russia,
yambor84@inbox.ru*

Abstract. Based on the data of route census conducted in 2016, the number and density of the stray dog population (*Canis lupus familiaris*) in Magadan were calculated; the spatial distribution of these dogs in urban areas was revealed. All stray dogs were included in censusing: ownerless (stray) and semi-free dogs (having a master, but leaving the household territory without an accompanying person). The total number of animals according to the census was 500–800 individuals, the average population density was 45 ind./km². The population density of stray dogs was established to depend on the type of building development and was determined by the presence of food and shelters. The highest population density was detected in the low-rise housing zone (102 ind./km²), and the lowest – in the high-rise residential area (32 ind./km²). The population density at the industrial and warehouse territory occupied an intermediate position (42 ind./km²). The data obtained can be used to plan the work aimed at the regulation of the number of stray dogs.

Key words: Siberian platform, stray dogs, censusing, Magadan.

Acknowledgements. This study was supported by the grant of governor of Magadan region for young scientists.

References

1. Reid J.B., Chantrey D.F., Davie C. Eliminator behaviour of domestic dogs in an urban environment // Applied Animal Behaviour science. 1984. Vol. 12, No. 3. P. 279–287.

2. Sedova N.A. Ekologicheskij analiz situacii s bezdomnymi sobakami na primere Karelii // Veterinarnaya patologiya. 2007. No. 3 (22). P. 124–130.

3. Ivanter Je.V., Sedova N.A. Ekologicheskij monitoring gruppirovok bezdomnyh sobak (na pri-

mere g. Petrozavodskaya) // *Ekologiya*. 2008. No. 2. P. 116–121.

4. *Zolina N.F.* Osobennosti ekologii populyacij bezdomnyh sobak v gorode Penze // *Izvestiya PGPU im. V.G. Belinskogo*. 2011. No. 25. P. 195–198.

5. *Shamsuvaleeva E.Sh., Rahimov I.I.* Osobennosti ekologii bezdomnyh sobak v usloviyah goroda Kazani i ego okrestnostej. Kazan': ZAO «Novoe znanie», 2013. 168 p.

6. *Makenov M.T., Kassal B.Yu.* Issledovanie populyacii svobodnozhiyushih sobak g. Omska // *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: Biologiya*. 2014. No. 7. P. 87–98.

7. *Ob otvetstvennom obrashchenii s zhivotnymi i o vnesenii izmenenij v otchel'nye zakonodatel'nye akty Rossijskoj Federacii: federal'nyj zakon ot 27.12.2018 № 498-FZ* // *Rossijskaya Gazeta*. 2018. No. 295.

8. *Danilov Vit.A., Sidorov M.M., Danilov Vas.A.* Uchet bezdomnyh sobak g. Yakutska // *Nauka i obrazovanie*. 2014. No. 2. P. 69–72.

9. *Blohin A.A., Lebedinskij A.A.* Effektivnost' vozvratnogo OSVV-metoda regulirovaniya chislennosti beznadzornyh sobak v Nizhnem Novgorode // *Sovremennye problemy gumanitarnyh i estestvennyh nauk: Materialy XXXI mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (Moskva, 22–23 noyabrya 2016 g.)*. Nauchno-informacionnyj izdatel'skij centr «Institut strategicheskikh issledovanij», 2016. P. 236–242.

10. *Chelincev N.G.* Matematicheskie osnovy ucheta zhivotnyh. M.: Centrohotkontrol', 2000. 431 p.

11. *Poyarkov A.D., Vereshhagin A.O., Bogomolov P.L.* Issledovanie populyacii bezdomnyh sobak (*Canis familiaris*) na territorii Moskvyy. Soobshchenie 1 // *Zoologicheskij zhurnal*. 2011. Vol. 90, No. 4. P. 498–504.

12. *Nakonechnyj N.V.* Struktura populyacii i povedencheskie osobennosti brodyachih sobak goroda Surguta // *Vestnik SurGU*. 2016. Vol. 3 (13). P. 43–48.

13. *Sidorov M.M., Shadrina E.G., Danilov V.A., Yakovleva M.L.* Izmeneniya chislennosti i raspredeleniya po territorii beznadzornyh sobak g. Yakutska // *Problemy populyacionnoj biologii. Materialy XII Vserossijskogo populyacionnogo seminar pamyati Nikolaya Vasil'evicha Glotova (1939–2016)*. Ioshkar-ola: OOO IPF «String», 2017. P. 203–206.

14. *Font E.* Spacing and social organization: urban stray dogs revisited // *Applied Animal Behaviour Science*. 1987. Vol. 17. No. 3–4. P. 319–328.

15. *Daniels T.J., Bekoff M.* Population and social biology of free-ranging dogs, *Canis familiaris* // *Journal of mammalogy*. 1989. Vol. 70, No. 4. P. 754–762.

16. *Shamsuvaleeva E.Sh., Arinina A.V., Salahov N.V.* Faktory razmeshheniya bezdomnyh sobak na territorii goroda // *Fundamental'nye issledovaniya*. 2015. No. 9–1. P. 91–95.

17. *Prorvina L.N.* Chislennost' i plotnost' populyacii bezdomnyh sobak v gorode Tyumen' // *Agrarnaya nauka i obrazovanie Tyumenskoj oblasti: svyaz' vremen. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashhennoj 140-letiyu Tyumenskogo real'nogo uchilishha, 60-letiyu Tyumenskogo gosudarstvennogo sel'skhozayajstvennogo instituta. Tyumen': Gosudarstvennyj agrarnyj universitet Severnogo Zaural'ya*, 2019. P. 98–104.

18. *Zaloznyh D.V., Ponomarenko O.I.* Chislennost', osobennosti raspredeleniya i territorial'noe povedenie bezdomnyh sobak v Nizhnem Novgorode // *Veterinarnaya patologiya*. 2006. No. 2 (17). P. 19–22.

About the authors

YAMBORKO Aleksey Vladimirovich., candidate of biological sciences, researcher, Institute of Biological Problems of the North, FEB RAS, Magadan, 685000, 18 Portovaya st., Russia, <https://orcid.org/0000-0002-0213-4761>, yambor84@inbox.ru;

KISELEV Sergey Viktorovich., candidate of biological sciences, senior researcher, Institute of Biological Problems of the North, FEB RAS, Magadan, 685000, 18 Portovaya st., Russia, <https://orcid.org/0000-0001-6246-8088>, kiselevmagadan@mail.ru

Citation

Yamborko A.V., Kiselev S.V. Counting the number of stray dogs in Magadan // *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2020, Vol. 25, N 1. P. 68–75. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-1-7>

Биологические ресурсы

УДК 581.6

DOI 10.31242/2618-9712-2020-25-1-8

Продуктивность некоторых доминирующих кормовых травянистых растений о. Завьялова (Магаданская область)

Е.Г. Николин*, Е.В. Кириллин, И.М. Охлопков

Институт биологических проблем криолитозоны ФИЦ ЯНЦ СО РАН, Якутск, Россия

*enikolin@yandex.ru

Аннотация. В связи с экспертизой пастбищной пригодности территории для разведения овцебыка (*Ovibos moschatus* Zimm.) в летний период 2018 г. была проведена экспресс-оценка продуктивности трех видов доминирующих травянистых растений о. Завьялова, расположенного в Охотском море, недалеко от г. Магадан. Методом модельных растений, разработанным В.Н. Андреевым, был определен запас надземной фитомассы *Hierochloe alpina*, *Aconogonon tripterocarput*, *Oxytropis evenorut*. Поскольку корневища *Oxytropis evenorut* используются в питании многих видов растительноядных животных, для этого вида был определен и запас подземной фитомассы на глубине 22–25 см. Установлено, что запас надземной фитомассы модельных растений *Hierochloe alpina*, у которых на дату учета (30.06.2018 г.) высота генеративных побегов достигала 33–34 см, варьирует в пределах от 9,2 до 12,3 г воздушно-сухого веса (в среднем 10,7 г). На долю ветоши у этого вида приходится около 10 % всей фитомассы. У *Aconogonon tripterocarput* средняя высота побегов варьировала от 33 до 48 см. Запас фитомассы отдельного генеративного побега у этого вида колеблется от 0,89, до 1,59 г (в среднем – 1,25 г). Значительная часть фитомассы (от 30 до 66 %, в среднем 45 %) у этого вида расположена на высоте до 20 см над уровнем почвы. Общая фитомасса модельных растений *Oxytropis evenorut*, включая корневища, варьирует от 68,3 до 162,2 г (в среднем 115,3 г). Средний запас зеленой массы модельных растений *O. evenorut* составил 23,4 г, живых ветвей каудекса – 57,9, корневищ – 16,2, мортмассы – 17,7 г. Предположительно запас надземной фитомассы исследованных растений к концу вегетации может увеличиться на 15–20 %. Приведенные нами результаты могут оцениваться как первичная оценка продуктивности наиболее перспективных в кормовом отношении растений этой территории. Эти данные могут служить предварительным показателем продуктивности рассмотренных видов. Для более глубокого и объективного определения кормового потенциала растительности о. Завьялова, его пастбищной емкости для растительноядных животных, необходимы накопление статистических данных, расширение ассортимента наблюдаемых растений, наблюдения за динамикой фитомассы и др. Данное сообщение является частью цикла публикаций, посвященных адаптации овцебыка на о. Завьялова.

Ключевые слова: Продуктивность тундровых сообществ, запас фитомассы, травянистые растения, метод моделей, *Hierochloe alpina*, *Aconogonon tripterocarput*, *Oxytropis evenorut*.

Благодарности. Выражаем глубокую признательность нашим коллегам из ИБПС ДВО РАН за консультации, организационно-техническую помощь и содействие – заведующему лабораторией экологии млекопитающих д.б.н. Н.Е. Докучаеву; заведующему лабораторией геоботаники, к.б.н. Е.А. Тихменеву; сотрудникам В.Б. Докучаевой, к.б.н. М.Г. Хоревой, к.б.н. Н.А. Сазановой, Е.В. Желудевой, к.б.н. Е.А. Андриановой.

Благодарим инициатора работы по интродукции овцебыков на о. Завьялова, депутата Магаданской областной думы И.Б. Донцова и его помощников за энергичную и эффективную организацию полевых работ, позволившую в короткие сроки провести намеченное обследование.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИБПК СО РАН на 2017–2020 гг. по теме «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» (регистрационный номер: АААА-А17-117020110058-4) и задания Дирекции биологических ресурсов и особо охраняемых природных территорий МОП РС(Я).

Введение

В связи с экспертизой пастбищной пригодности территории о. Завьялова для разведения овцебыка (*Ovibos moschatus* Zimm.), в летний период 2018 г. была проведена экспресс-оценка продуктивности некоторых доминирующих и наиболее широко распространенных видов травянистых растений. Из произрастающих на острове Завьялова 364 видов сосудистых растений [1] к числу таких доминантов, наиболее перспективных в кормовом отношении для многих видов животных, относятся *Hierochloe alpina* (Sw.) Roem. et Schult., *Oxytropis evenorum* Jurtz., *Aconogonon tripterocarpum* (A. Grey) Hara.

Hierochloe alpina, *Aconogonon tripterocarpum* и виды, близкие к *Oxytropis evenorum* (из секции *Orobia* Bunge), хорошо или удовлетворительно поедаются северным оленем [2, 3], что может служить косвенным критерием их кормовой пригодности и для других видов копытных.

По этим трем видам было решено определить запас их надземной фитомассы. На острове распространены также некоторые виды корневищных и кочкообразующих осок и пушиц, такие как *Carex soczavaeana* Gorodk., *Eriophorum brachyantherum* Trautv. et C.A. Mey. и др., весьма важные кормовые растения, но они обычно приурочены к депрессиям рельефа и на момент нашего посещения острова недавно освободились от снега и только начинали вегетацию. Поэтому проводить учет их фитомассы мы посчитали не целесообразным.

Данная работа представляет собой один из разделов экспертизы острова, результаты которой публикуются в виде цикла статей [4, 5].

Материалы и методы исследования

Обследование о. Завьялова было проведено в период с 29 июня по 2 июля 2018 г. Оценка продуктивности травянистых растений осуществлялась методом моделей [6, 7]. Для оценки продуктивности надземная часть модельных растений срезалась, высушивалась до воздушно-сухого состояния и взвешивалась с точностью до сотых долей грамма. Виды *Hierochloe alpina* и *Oxytropis evenorum* исследованы по двум модельным растениям. Поскольку корневища *O. evenorum* на о. За-

вьялова охотно поедаются бурым медведем и есть сведения, что корневища близкого к *O. evenorum* вида – *O. sordida* (Willd.) Pers. не менее охотно поедаются северным оленем и используются в пищу населением [3], а по нашим наблюдениям корни многих видов остролодок идут в питание и черношапочного сурка (*Marmota camtschatica* Pallas), мы посчитали необходимым для этого вида остролодки оценить и запас подземной фитомассы. Мы предполагаем, что корни *O. evenorum* (по крайней мере их верхняя часть) могут войти и в рацион питания овцебыков в данной местности. Так как почва в местах произрастания *O. evenorum* каменистая, извлечь его корневища нам удалось на глубине до 22–25 см (ниже корни мельчают и уходят в пространство между камнями). При этом диаметр главного корня в месте отсечения достигал 10–13 мм, диаметр отдельных шнуровидных ветвей корня на глубине около 40 см не превышал 3–4 мм. Судя по остаткам растений, извлеченных из почвы бурым медведем, его копанки обычно находятся на глубине не ниже 15–20 см. Причем, замечено, что у выкопанных медведем растений в основном поедается собственно корневище, тогда как каудексы и зеленая масса обычно отбрасываются рядом с ямкой (рис. 1).

Материал по *Hierochloe alpina* и *Oxytropis evenorum* был собран на возвышенном плакорном участке в правобережье среднего течения р. Рас-



Рис. 1. *Oxytropis evenorum* (ветошь с обломками каудекса), выкопанный и объединенный бурым медведем.

Fig. 1. *Oxytropis evenorum* (fragments of caudex) eaten by a brown bear.

свет, близ пункта с координатами 59°02'56,2" с.ш. 150°34'39,3" в.д. (высотный интервал местности – 120–130 м н. ур. м.). Растения произрастали в разнотравно-кустарничковой каменистой тундре среди разреженных зарослей кедрового стланика и березы Миддендорфа. Здесь же взяты и четыре модельных растения *Aconogonon tripterocarpum*. Еще две модели *A. tripterocarpum* (табл. 1, № 5, 6) взяты на северном склоне безымянной горы в верховьях р. Рассвет, близ пункта с координатами 59°02'33,2" с.ш. 150°35'12,9" в.д. (высотный интервал местности – 180–190 м н. ур. м.). Они произрастали в разнотравно-кустарничково-лишайниковой (кладониевой) тундре с обнажениями окатанных крупноглыбовых валунов, покрытых эпилитными лишайниками. Данное сообщество развито среди зарослей ольховника и кедрового стланика средней сомкнутости (до 50–60 %).

Срезы *Hierochloe alpina* сделаны на высоте 3,5 см над узлом кущения.

Для *Aconogonon tripterocarpum*, нижняя часть побегов которого сильно грубеет и редко поедается животными, распределение надземной фитомассы оценивалось по горизонтальным интервалам в 10 см.

Мортмасса имела значительные показатели и обособлялась нами только у *O. evenorum*. У остальных видов ее значение было не столь заметно, и мы не выделяли ее из общей фитомассы.

На момент нашего исследования на перегибах склонов, в депрессиях, по руслам водотоков еще сохранялись участки снежников, большинство растений находилось в фазе бутонизации или полного цветения. По нашей оценке, запас фитомассы *Hierochloe alpina* и *Oxytropis evenorum* находился в пределах около 85–90 % от его полного сезонного накопления, а *Aconogonon tripterocarpum*, вероятно, около 70–80 %.

Краткая характеристика района исследования. Остров Завьялова расположен в Охотском море, в 19 км западнее п-ова Кони, в интервале координат: 59°09' с. ш., 150°42' в. д. – крайний северо-восточный пункт, и 59°00' с. ш., 150°28' в. д. – крайний юго-западный пункт. Остров имеет вытянутую в северо-восточном направлении форму: 21,5 км – длина, 4–7,5 км – ширина; его площадь составляет 11669,2 га [1]. Высотные отметки преобладают в пределах 200–300 м. Наиболее высокая, гористая часть острова расположена в его северо-восточной части и достигает 1116 м н. ур. м. (г. Завьялова).

Природные условия, флора и растительность о. Завьялова хорошо изучены сотрудниками ИБПС ДВО РАН, сведения о них опубликованы в статьях и монографиях [1, 8–12].

В целом растительность острова носит горно-тундровый характер с высокой степенью каменистости, ограниченной заболоченностью, и значительным участием кустарниковых сообществ, в которых преобладают *Pinus pumila*, *Betula middendorffii*, *Duschekia fruticosa*. На эколого-фитоценотической карте о. Завьялова выделяется 16 контуров растительности [1]. Наши наблюдения в среднем течении р. Рассвет проведены в пределах значительного по площади (около 45 % территории острова) контура 8 – кедровостланики разреженные лишайниково-кустарничковые и кустарничковые в сочетании с ерниками из березы Миддендорфа, фрагментами горных тундр и ольховников.

Результаты и обсуждение

Hierochloe alpina (Sw.) Roem. et Schult. (зубровка альпийская) – сем. Роaceae Barnhart; жизненная форма (приводится по данным Т.Г. Полозовой [13, 14] и сводки Н.А. Секретаревой [15]) – травы плотнoderновинные. В отличие от многих арктических и субарктических территорий, которые входят в ареал этого вида, *H. alpina* на о. Завьялова отличается высокой степенью кустистости дерновин, формирующих повышенное количество побегов. Встречается часто, во многих тундровых сообществах криоксеромезо-фитного эколого-исторического ряда, но произрастает единично, разреженно или умеренно обильно. Нередко на 1 м² площади сообщества приходится от 1 до 6–7 растений с разной степенью развития дернин, обычно с общим проективным покрытием не выше 20–25 %. Площадь основания некоторых дернин растений доходит до 155–175 см² (иногда и более). Модельные растения показаны на рисунках 2 и 3. На дату среза (30.06.2018 г.) зубровка альпийская находилась в фазе начала цветения, высота генеративных побегов достигала 33–34 см. Запас надземной фитомассы модельных растений варьировал от 9,2 до 12,3 г (в среднем 10,7 г). Ветошь занимала около 10 % всей фитомассы.

Aconogonon tripterocarpum (A. Grey) Hara (таран трехкрылоплодный) – сем. Polygonaceae Juss.; жизненная форма – травы корневищные. Встречается часто, обычно связан с тундровыми или



Рис. 2. *Hierochloa alpina* (модельное растение 1).

Fig. 2. *Hierochloa alpina* (model plant 1).



Рис. 3. *Hierochloa alpina* (модельное растение 2).

Fig. 3. *Hierochloa alpina* (model plant 2).



Рис. 4. *Aconogonon tripterocarpum* на горном склоне, в прогалине среди зарослей ольховника и кедрового стланика. Экземпляр с обильным побегообразованием.

Fig. 4. *Aconogonon tripterocarpum* on a mountain slope, in a clearing among thickets of *Alnus fruticosa* and *Pinus pumila*. Specimen with abundant shoot formation.



Рис. 5. Каменистая горная тундра с доминированием *Oxytropis evenorum* на склоне, по левому борту долины руч. Кочкарный.

Fig. 5. Rocky mountain tundra dominated by *Oxytropis evenorum* on the slope, on the left side of the Kockharny river valley.

кустарниковыми сообществами криоксеромезофитного или мезофитного ряда. Произрастает единично или рассеянно. Чаще встречаются 1–2-стебельные растения, но иногда он значительно кустится (рис. 4). Ценное, каротинсодержащее кормовое растение северного оленя [3].

Средняя высота побегов тарана трехкрылоплодного на время учета составляла 42,7 см, минимальная – 33 см, максимальная – 48 см (см. табл. 1). Запас надземной фитомассы одного генеративного побега модельных растений колеблется от 0,89 до 1,59 г (в среднем – 1,25 г). Значительная часть фитомассы (от 30 до 66 %; в среднем – 45 %) расположена на высоте до 20 см над уровнем почвы. Это быстро грубеющая и мало поедаемая животными фракция. Соответствен-

но, около половины наиболее свежей и привлекательной для животных зелени или немного больше половины ее приходится на высоту 20–40 см. У более высоких растений (см. табл. 1, образцы 5, 6) это соотношение смещается на высоту около 25 см.

Oxytropis evenorum Jurtz. (остролодка или остролодочник эвенов) – сем. Fabaceae Lindl.; жизненная форма – травы стержнекорневые. Встречается часто, обычно связан с тундрами криоксеромезофитного ряда, нередко с обнажениями мелко- или крупноглыбовых горных пород (рис. 5). Вид, морфологически близкий к широко распространенному арктическому таксону *O. sordida* (Willd.) Pers. (из одной с ним секции *Orobia* Bunge), который на Таймыре счи-

Таблица 1

Надземная фитомасса генеративных побегов *Aconogonon tripterocarpum* на о. Завьялова

Table 1

Above-ground phytomass generative shoots *Aconogonon tripterocarpum* on Zavyalov Island

Номер модели	Место сбора	Высота, см	Воздушно-сухой вес (г) по горизонтам среза (см)						
			0–10	10–20	20–30	30–40	40–50	50–60	Всего
1	Надпойма р. Рассвет (пр. берег), на выс. ~ 125 м н. ур. м., в тундре	38	0,39	0,52	0,44	0,24	–	–	1,59
2	Там же	37	0,17	0,34	0,37	0,23	–	–	1,11
3	Там же	33	0,24	0,35	0,23	0,07	–	–	0,89
4а	Там же, побег 1	42	0,39	0,35	0,22	0,24	0,14	–	1,34
4б	Побег 2	39	0,46	0,34	0,22	0,28	–	–	1,30
5	Склон горы на выс. ~ 180 м н. ур. м., в разреженном ольховнике	52	0,18	0,23	0,28	0,22	0,14	–	1,05
6	Там же	58	0,19	0,25	0,26	0,29	0,19	0,29	1,47
В среднем		42,7	0,29	0,34	0,29	0,22	0,07	0,04	1,25



тается ценным нажировочным растением северного оленя [3].

В местах произрастания модельных растений остролодка эвенов не выделяется повышенным обилием и на 1 м² приходится от 0,25 до 1–2 растений этого вида. В качестве модельных растений остролодки эвенов были выбраны зрелые генеративные особи этого вида, но, судя по общему запасу и структуре фитомассы, модельный куст (МК) 2 принадлежал к более старому экземпляру.

МК-1 *O. evenorum* имел диаметр куста 33 см, высоту генеративных побегов 13 см, среднюю высоту листьев – 9 см (рис. 6). На момент учета (30.06.2018 г.) растение находилось в фазе бутонизации и, вероятно, имело накопление свежей фитомассы около 80 % от ее годового прироста.

Размеры растения МК-2: диаметр куста 43 см, высота генеративных побегов 11 см, средняя высота листьев – 10–11 см (рис. 7). На момент учета (та же дата) растение вступило в фазу начала цветения.

Общая фитомасса модельных растений, включая все надземные побеги, отмершую часть, кор-

Рис. 6. Модельный куст 1 *Oxytropis evenorum*: а – в природе; б – извлеченный из почвы.

Fig. 6. Model bush No. 1 *Oxytropis evenorum*: а – in nature; б – Extracted from soil.

Таблица 2

Запас фитомассы модельных растений *Oxytropis evenorum* на о-ве Завьялова

Table 2

Stock of phytomass of model plants *Oxytropis evenorum* on Zavyalov Island

Модельные кусты (МК)	Надземная фитомасса (г / %)			Подземная фитомасса (глубина извлечения; вес)
	Живая часть растений		Мортмасса (ветви каудекса, генеративные побеги, черешки листьев)	
	Листья и генеративные побеги	Ветви каудекса с прилистниками		
МК-1	20,30 / 35,8	32,62 / 57,5	3,78 / 6,7	22 см – 11,62 г
МК-2	26,53 / 18,8	83,13 / 58,8	31,69 / 22,4	25 см – 20,80 г
В среднем	23,42 / 23,7	57,88 / 58,4	17,74 / 17,9	23,5 см – 16,21 г

невища, за исключением их тонких конечных ответвлений, варьирует от 68,3 до 162,2 г, в среднем 115,3. Более старые растения (МК-2) по сравнению с молодыми (МК-1) имеют более высокие абсолютные показатели фитомассы по всем ее категориям (табл. 2). Однако соотношение зеленой части растения по отношению к каудексам у них снижается почти вдвое (до 18,8 % у МК-2 против 35,8 % у МК-1), тогда как более чем в 3 раза возрастает доля мортмассы (22,4 % против 6,7 % соответственно). Корни у МК-1 заметно тоньше и длиннее (их шнуровидная часть достигает 40 см, при этом диаметр в месте отсечения около 3–4 мм). Даже притом, что нам не удалось извлечь корни у МК-2 на такой же глубине, что и у МК-1, масса корневой системы у МК-2 (20,8 г) почти вдвое превысила таковую у МК-1 (11,6 г). Средний запас зеленой массы модельных растений *O. evenorum* составил 23,4 г, живых ветвей каудекса – 57,9, корневищ – 16,2, мортмассы – 17,7 г.

Заключение

Полученные нами данные по продуктивности модельных травянистых растений о. Завьялова имеют характер предварительных сведений о кормовых ресурсах этой территории. Они нуждаются в детализации, выяснении сезонного прироста, погодовой динамики запаса фитомассы исследованных растений, уточнении максимальных сезонных показателей их продуктивности. Равно необходимо наблюдение за многими другими ценными кормовыми растениями, с тем чтобы более объективно определить емкость пастбищ острова для растительноядных животных.

По результатам нашего исследования можно констатировать факт, что на о. Завьялова средний запас надземной фитомассы модельных растений *Hierochloe alpina* составляет 10,7 г, *Aconogonon*



Рис. 7. Модельный куст 2 *Oxytropis evenorum*: а – в природе; б – извлеченный из почвы.

Fig. 7. Model bush No. 2 *Oxytropis evenorum*: а – in nature; б – extracted from soil.

tripterocarpum – 1,3 г, *Oxytropis evenorum* – запас зеленой массы – 23,4 г, живых ветвей каудекса – 57,9 г. Предположительно запас надземной фитомассы этих растений к концу вегетации может увеличиться на 15–20 %. Корневища *O. evenorum*

для некоторых видов животных могут иметь кормовое значение, и их запас варьирует в зависимости от возраста зрелого растения от 11,6 до 20,8 г (в среднем – 16,2 г).

Литература

1. *Остров Завьялова* (геология, геоморфология, история, археология, флора и фауна). М.: ГЕОС, 2012. 212 с.
2. *Кормовые растения сенокосов и пастбищ СССР* / Ларин И.В., Агабабян Ш.М., Работнов Т.А., Любская А.Ф., Ларина В.К., Касименко М.А., Говорухин В.С., Зафрен С.Я. Т 1–3. М., Л.: Сельхозгиз. 1950, 1951, 1956.
3. *Кормовая характеристика растений Крайнего Севера* / Александрова В.Д., Андреев В.Н., Вахтина Т.В., Дыдина Р.А., Карев Г.И. Петровский В.В., Шамурин В.Ф. М.; Л.: Наука, 1964. 483 с.
4. *Николин Е.Г., Кириллин Е.В., Охлопков И.М.* Потенциальные кормовые растения овцебыка (*Ovibos moschatus* Zimm.) на о. Завьялова (Магаданская область, Россия) // VAVILOVIA. 2019, № 2(1). С. 31–48. DOI: <https://doi.org/10.30901/2658-3860-2019-1-31-48>.
5. *Николин Е.Г., Кириллин Е.В., Охлопков И.М.* Продуктивность лишайниковых сообществ о. Завьялова (Магаданская область) // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2019, № 3 (24). С. 88–99. DOI 10.31242/2618-9712-2019-24-3-8.
6. *Андреев В.Н., Галактионова Т.Ф., Захарова В.И., Неустроева А.И.* Методика определения сезонных изменений запаса надземной фитомассы у

травянистых растений // Бот. журн. 1972. Т. 57, № 10. С. 1265–1270.

7. *Андреев В.Н., Галактионова Т.Ф.* Продуктивность кормовых растений якутской тундры. Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1993. 120 с.

8. *Маленина М.О., Беркутенко А.Н.* Флора и растительность острова Завьялова (Охотское море) // Бот. журн. 1992. Т. 77, № 3. С. 86–94.

9. *Флора островов Северной Охотии*. Магадан: ИБПС ДВО РАН, 2003. 173 с.

10. *Хорева М.Г., Лысенко Д.С.* Дополнение к флоре о. Завьялова (Тауйская губа, Охотское море) // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2011. № 1. С. 104–106.

11. *Хорева М.Г., Мочалова О.А., Лысенко Д.С.* Флористические находки на о. Завьялова (Тауйская губа, Охотское море) // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2012. № 1. С. 79–81.

12. *Докучаева В.Б.* Ценогическая структура каменоберезников острова Завьялова (Охотское море) // Отечественная геоботаника: основные вехи и перспективы. Матер. Всеросс. науч. конф. с международным участием (Санкт-Петербург, 20–24 сентября, 2011 г.). СПб., 2011. Т. 1. С. 71–73.

13. *Полозова Т.Г.* Жизненные формы сосудистых растений в различных подзонах Таймырской тундры // Жизненные формы: структура, спектры, эволюция. М., 1981. С. 265–281.

14. *Полозова Т.Г.* Жизненные формы сосудистых растений подзоны южных тундр на Таймыре // Южные тундры Таймыра. Л., 1986. С. 122–134.

15. *Секретарева Н.А.* Сосудистые растения Российской Арктики и сопредельных территорий. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2004. 129 с.

Поступила в редакцию 10.12.2019

Принята к публикации 17.02.2020

Об авторах

НИКОЛИН Евгений Георгиевич, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны ФИЦ ЯНЦ СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 41, <http://orcid.org/0000-0003-0053-6713>, enikolin@yandex.ru;

КИРИЛЛИН Егор Владимирович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны ФИЦ ЯНЦ СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 41, <http://orcid.org/0000-0001-7810-3032>, e.kir@mail.ru;

ОХЛОПКОВ Иннокентий Михайлович, кандидат биологических наук, директор, Институт биологических проблем криолитозоны ФИЦ ЯНЦ СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 41, <http://orcid.org/0000-0002-6227-5216>, imokhlopkov@yandex.ru.

Информация для цитирования

Николин Е.Г., Кириллин Е.В., Охлопков И.М. Продуктивность некоторых доминирующих кормовых травянистых растений о. Завьялова (Магаданская область) // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2020, Т. 25, № 1. С. 76–84. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-1-8>

The productivity of some dominant forage herbaceous plants of the Zavyalov island (Magadan oblast)

E.G. Nikolin*, E.V. Kirillin, I.M. Okhlopkov

Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS Yakutsk, Russia

**enikolin@yandex.ru*

Abstract. In connection with the expert assessment of the pasture suitability of the territory for breeding musk oxen (*Ovibos moschatus* Zimm.), in the summer of 2018, an express assessment of the productivity of 3 species of dominant herbaceous plants of Zavyalov Island, located in the sea of Okhotsk, not far from Magadan, was carried out. By the method of model plants developed by V.N. Andreev, the stock of aerial phytomass of *Hierochloe alpina*, *Aconogonon tripterocarpum*, *Oxytropis evenorum* was determined. Since the rhizomes of *Oxytropis evenorum* are used in the diet of many species of herbivores, a reserve of underground phytomass at a depth of 22–25 cm was determined for this species. It was found that the resource of the above-ground phytomass of model plants *Hierochloe alpina*, for which the height of generative shoots reached 33–34 cm on the record day (30.06.2018), varies from 9,2 to 12,3 g of air-dry mass (10,7 g on average). The fraction of dead grass in this species accounts for about 10 % of the total phytomass. For *Aconogonon tripterocarpum*, the average height of shoots varied from 33 to 48 cm. The resource of the phytomass of a single generative shoot in this species ranged from 0,89 to 1,59 g (1,25 g on average). A significant part of the phytomass (from 30 to 66 %; 45 % on average) in this species is located at an altitude of up to 20 cm above ground. The total phytomass of model plants *Oxytropis evenorum*, including rhizomes, varies from 68,3 to 162,2 g (115,3 g on average). The average resource of the green mass of *O. evenorum* model plants was 23,4 g, living branches of the caudex – 57,9 g, rhizomes – 16,2 g, mort-mass – 17,7 g. Presumably, the resource of above-ground phytomass of the studied plants may increase by 15–20% by the end of the growing season. Our results can be evaluated as a primary assessment of the productivity of the most promising forage plants of this territory. These data can serve as a preliminary indicator of the productivity of the species considered. For a deeper and objective determination of the forage potential of the vegetation on the Zavyalov Island and its pasture capacity for herbivorous animals, it is necessary to accumulate statistical data, expand the range of observed plants, observe the dynamics of phytomass, etc. This report is part of a series of publications devoted to the adaptation of the musk ox to Zavyalov Island conditions.

Key words: Productivity of tundra communities, stock of phytomass, herbaceous plants, the models method, *Hierochloe alpina*, *Aconogonon tripterocarpum*, *Oxytropis evenorum*.

Acknowledgements. We express our deep appreciation to our colleagues from IBPN FEB RAS for providing organizational and technical assistance and support: to Head of the Laboratory of Ecology of Mammals, Dr. Sci. in Biology N. E. Dokuchaev; Head of the Laboratory of Geobotany, Cand. Sci. in Biology E. A. Tikhmenev; employees Cand. Sci. in Biology M. G. Horeva, Cand. Sci. in Biology N. A. Cazanova, Cand. Sci. in Biology E. A. Andrianova, B. V. Dokuchaeva, E. V. Zholudeva.

We thank the initiator of the work on the introduction of musk oxen on O. Zavyalov, Deputy of the Magadan regional Duma I. B. Dontsov and his assistants for the energetic and effective organization of field work, which allowed in a short time to conduct the planned survey.

The work is done in the framework of the state assignment of IBPC SB RAS for 2017–2020 years on the subject: “Structure and dynamics of populations and communities of animals of the cold region of the North-East of Russia in modern conditions of global climate change and anthropogenic transformation of Northern ecosystems: factors, mechanisms, adaptation, and preservation” (registration number: AAAA-A17-117020110058-4) and assignments of the Directorate of biological resources and specially protected natural areas of the Ministry of nature protection of the RS(Y).

References

1. The Zavyalov Island (geology, geomorphology, history, archaeology, flora and fauna). Moscow: GEOS, 2012. 212 p.
2. Kormovye rasteniya senokosov i pastbishch SSSR / Larin I.V., Agababyan SH.M., Rabotnov T.A., Lyubskaya A.F., Larina V.K., Kasimenko M.A., Govoruhin V.S., Zafren S.YA. Vol. 1–3. M., L.: Sel'hozgiz, 1950, 1951, 1956.

3. *Kormovaya* harakteristika rastenij Krajnego Severa / Aleksandrova V.D., Andreev V.N., Vahtina T.V., Dy-dina R.A., Karev G.I. Petrovskij V.V., SHamurin V.F. M., L.: Nauka, 1964. 483 p.
4. *Nikolin E.G., Kirillin E.V., Okhlopkov I.M.* Potential fodder plants of the Musk-Ox (*Ovibos moschantus* Zimm.) on the Zavyalov Island (Magadan oblast, Russia) // *VAVILOVIA*. 2019, No. 2 (1). P. 31–48. DOI: <https://doi.org/10.30901/2658-3860-2019-1-31-48>
5. *Nikolin E.G., Kirillin E.V., Okhlopkov I.M.* The productivity of lichen communities of the Zavyalov Island (Magadan oblast) // *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2019. No. 3 (24). P. 88–99. (In Russ.). DOI 10.31242/2618-9712-2019-24-3-8.
6. *Andreev V.N., Galaktionova T.F., Zaharova V.I., Neustroeva A.I.* Metodika opredeleniya sezonnyh izmenenij zapasa nadzemnoj fitomassy u travyanyh rastenij // *Bot. zhurn.* 1972. Vol. 57, No. 10. P. 1265–1270.
7. *Andreev V.N., Galaktionova T.F.* Produktivnost' kormovyh rastenij yakutskoj tundry. Yakutsk: YANC SO RAN, 1993. 120 p.
8. *Malenina M.O., Berkutenko A.N.* Flora i rastitel'nost' ostrova Zav'yalova (Oxotskoe more) // *Bot. zhurn.* 1992. Vol. 77, No. 3. P. 86–94.
9. *Xoreva M.G.* Flora ostrovov Severnoj Oxotii. Magadan: IBPS DVO RAN, 2003. 173 p.
10. *Xoreva M.G., Ly'senko D.S.* Dopolnenie k flore o. Zav'yalova (Taujskaya guba, Oxotskoe more) // *Vestnik SVNCz DVO RAN*. 2011. No. 1. P. 104–106.
11. *Xoreva M.G., Mochalova O.A., Ly'senko D.S.* Floristicheskie naxodki na o. Zav'yalova (Taujskaya guba, Oxotskoe more) // *Vestnik SVNCz DVO RAN*. 2012. No. 1. P. 79–81.
12. *Dokuchaeva V.B.* Cenoticheskaya struktura karmenobereznikov ostrova Zav'yalova (Oxotskoe more) // *Otechestvennaya geobotanika: osnovny'e veki i perspektivy*. Mater. Vseross. nauch. konf. s mezhdunarodny'm uchastiem (Sankt-Peterburg, 20–24 sentyabrya, 2011 g.). SPb., 2011. Vol. 1. P. 71–73.
13. *Polozova T.G.* Zhiznennye formy sosudistyh rastenij v razlichnyh podzonah Tajmyrskoj tundry // *Zhiznennye formy: struktura, spektry, evolyuciya*. M., 1981. P. 265–281.
14. *Polozova T.G.* Zhiznennye formy sosudistyh rastenij podzony yuzhnyh tundr na Tajmyre // *Yuzhnye tundry Tajmyra*. L., 1986. P. 122–134.
15. *Sekretareva N.A.* Vascular plants of Russian Arctic and adjacent territories. Moscow: KMK Scientific Press Ltd, 2004. 129 p.

About the authors

NIKOLIN Evgenii Georgievich, doctor of biological sciences, chief researcher, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenin ave., Yakutsk, 677980, Russia, <http://orcid.org/0000-0003-0053-6713>, enikolin@yandex.ru;

KIRILLIN Egor Vladimirovich, candidate of biological sciences, senior researcher, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenin ave., Yakutsk, 677980, Russia, <http://orcid.org/0000-0001-7810-3032>, e.kir@mail.ru;

OKHLOPKOV Innokenty Mikhailovich, candidate of biological sciences, director, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk, 677980, Russia, <http://orcid.org/0000-0002-6227-5216>, imokhlopkov@yandex.ru.

Citation

Nikolin E.G., Kirillin E.V., Okhlopkov I.M. The productivity of a some dominant forage herbaceous plants of the Zavyalov island (Magadan oblast) // *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2020, Vol. 25, N 1. P. 76–84. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-1-8>

Введение в культуру и размножение *in vitro* *Hemerocallis*, сорта ‘Wine and Roses’

Н.С. Строева, В.Г. Дарханова, Г.В. Филиппова*

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия

*nureeva@yandex.ru

Аннотация. Исследована возможность применения методов и подходов биотехнологии высших растений для клонального микроразмножения *in vitro* рода *Hemerocallis* (Красоднев) сорта ‘Wine and Roses’. Использование генеративных органов (бутонов) в качестве первичных эксплантов позволило без причинения ущерба материнским растениям-донорам, произрастающим в коллекционном питомнике, ввести красоднев в культуру *in vitro*. Определены особенности индукции каллусообразования на питательной среде Мурасиге и Скуга в присутствии нафтилуксусной кислоты и/или 6-бензиламинопурина. Апробированы условия для получения растений-регенерантов из эмбриогенных каллусных культур. Использование в качестве регулятора роста биокомпозиата, полученного в результате механохимической обработки древесной зелени пихты (100 мг/л), содержащего водорастворимые соли тритерпеновых кислот, выявило его высокую эффективность в процессах морфогенеза и регенерации в каллусной культуре красоднева *in vitro*. В течение трех пассажей каллуса отмечалось развитие клеток меристематического и эмбрионального типа, из которых в результате многократных делений формировались почки и эмбриоиды. Дальнейшее культивирование приводило к формированию растений-регенерантов красоднева. Проведенное исследование позволило получить стерильную культуру и подобрать состав питательной среды для успешного размножения *Hemerocallis* в условиях *in vitro*. Разработан протокол микрклонального размножения *in vitro* рода *Hemerocallis* (Красоднев) сорта ‘Wine and Roses’, который может являться эффективным способом для успешного размножения.

Ключевые слова: *Hemerocallis*, культура *in vitro*, каллус, клональное микроразмножение; растения-регенеранты.

Благодарности. Работа выполнена в рамках госзадания ИБПК СО РАН на 2017–2020 гг. по проекту VI.52.1.8. Фундаментальные и прикладные аспекты изучения разнообразия растительного мира Северной и Центральной Якутии № АААА-А17-117020110056-0.

Введение

Лилейник или Красоднев (*Hemerocallis*) – род растений семейства Hemerocallidaceae. Представители рода относительно однородны [1]. Все имеют розетку длинных линейных листьев, отрастающих от многолетнего корневища. Крупные цветки состоят из венчика с шестью лепестками, собраны в соцветия по 2–10 шт. Несмотря на то что продолжительность цветения цветка 1–2 дня, благодаря большому количеству цветоносов цветение продолжается 1–1,5 месяца. Природный ареал *Hemerocallis* охватывает умеренную и субтропическую Азию, причем основное разнообразие рода сосредоточено в Китае, Корее и Японии, а также Дальнем Востоке России [2, 3]. На территории Якутии произрастает

H. minor, численность которого в силу эффективности крупных лимонно-желтых цветков сокращается в результате чрезмерного использования человеком [4]. За пределами Дальнего Востока *Hemerocallis* в основном выращивают как неприхотливое садовое декоративное растение, насчитывающее большое количество селекционных гибридов с различной формой лепестков и окраской венчика.

Также известно об использовании *Hemerocallis* в качестве пищевого и лекарственного растения. В странах Азии сушеные и свежие цветочные почки некоторых видов *Hemerocallis* довольно часто используются в качестве добавки в супы и рагу. В работах [5–7] показано, что цветочные почки обогащены значительным содер-

жанием антиоксидантов, среди которых мощную антиоксидантную активность проявляли гликозиды и некоторые производные кофеилхиновой кислоты. Молодые побеги и корни также употребляются в пищу, но корни проявляют токсичность [8], что связывают с наличием в тканях корней нейротоксинов [2]. Отмечается антипролиферативные эффекты и цитотоксичность в отношении раковых клеток антрахинонов, выделенных из корней [9]. *Hemerocallis* использовался в народной медицине Азии для лечения расстройств сна и частой смены настроения, желтухи и воспалений [2].

Наряду с традиционными способами размножения хозяйственно ценных видов, сортов, гибридов растений (семенами, вегетативным размножением, черенкованием) использование микроклонального размножения в культуре *in vitro* позволяет получать большое количество особей для достижения различных задач, вне зависимости от времени года. Возможность введения в культуру *in vitro* различных органов и тканей растений успешно применяется в различных областях сельского хозяйства, а также в цветоводстве для ускорения и облегчения селекционной работы, ускоренного размножения растений с ценными признаками, а также фитофармпроизводстве в качестве источников физиологически активных веществ и т. д. Кроме того, большое значение приобретает сохранение и размножение в культуре *in vitro* редких и исчезающих видов.

Цель исследования – введение в культуру и размножение *in vitro* *Hemerocallis* (Красноднева), определение оптимальных условий каллусогенеза, морфогенеза, соматического эмбриогенеза и ризогенеза.

Материалы и методы

Объектом исследований являлся *Hemerocallis* (Красоднев) ‘Wine and Roses’, произрастающий в коллекционном питомнике многолетней флоры Ботанического сада Института биологических проблем криолитозоны (БС ИБПК). БС расположен в 7 км юго-западнее г. Якутск на второй надпойменной террасе долины р. Лена и на водораздельном пространстве Лено-Вилуйской равнины [10]. Долинная часть территории, на которой расположены коллекционные участки, сложена отложениями четвертичного возраста, представленными песками желтовато-серыми, среднезернистыми, кварц-полевошпатно-слюди-

стыми мощностью 30 м. В основании террасы залегает небольшой по мощности слой галечника карбонатных и, реже, изверженных горных пород. Пески перекрыты серыми тяжелыми суглинками мощностью 1–1,4 м.

В основу протокола по культивированию изолированных тканей и органов были положены методические рекомендации, предложенные Н.В. Катаевой и В.А. Аветисовым [11]. Для успешной регенерации важным моментом считается стадия развития цветка на момент введения в культуру ткани. В этой связи в качестве первичного материала для введения в культуру *in vitro* использовали цветки, собранные с растений, произрастающих в открытом грунте в фазе бутонизации, когда они плотно закрыты листочками обертки. Для успешного введения в культуру экспланты подвергали поверхностной стерилизации. Все работы проводили в стерильных (асептических) условиях ламинарного бокса (БОВ-001-АМС, Россия). Бутоны, смоченные в 96%-м этиловом спирте обжигали в пламени спиртовки. Затем проводили замачивание бутонов в 0,1%-м растворе сулемы в течение 10 мин. Далее их трижды прополаскивали в асептической дистиллированной воде и помещали на фильтровальную бумагу в чашки Петри для удаления излишков воды. Этот метод эффективно освобождает поверхность исходного материала от бактериальной и грибной инфекции.

Работа в асептических условиях, приготовление и стерилизация питательных сред была проведена согласно рекомендациям Р.Г. Бутенко, Ф.Л. Калинина и др. [12,13]. Бутоны делили на фрагменты и помещали на питательные среды с фитогормонами (нафтилуксусная кислота (НУК) и 6-бензиламинопури́н (БАП)). Для культивирования в условиях *in vitro* использовали среду Мурасиге и Скуга (МС) [14]. В состав 0,6%-х агаризованных питательных сред на разных этапах исследования также включали 30 г/л сахарозы, различные концентрации НУК, БАП, кинетина, индолилуксусной кислоты (ИУК), 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты (2,4-Д), pH среды доводили до 5,8–5,9. Образование и рост каллусов, а затем и растений-регенерантов *Hemerocallis* проводили при 16-часовом световом периоде, постоянной температуре 24–25 °С, освещенности 3000 люкс и влажности 70 %.

Морфологическая характеристика растений-регенерантов *in vitro* осуществлялась путем из-

мерения линейных размеров корней, побегов, а также учитывали их количество.

Статистическую обработку данных проводили с учетом общепринятых методических указаний по биологической статистике [15]. Для каждого признака определяли среднее арифметическое значение и его ошибку. Сравнение выборок проводили методом одно- и двухфакторного дисперсного анализа, значимость отличий определяли с использованием критерия Даннета для множественного сравнения при уровне значимости $p \leq 0,05$. Расчет проводился с помощью пакета AnalystSoft, StatPlus v.2007.

Результаты и их обсуждение

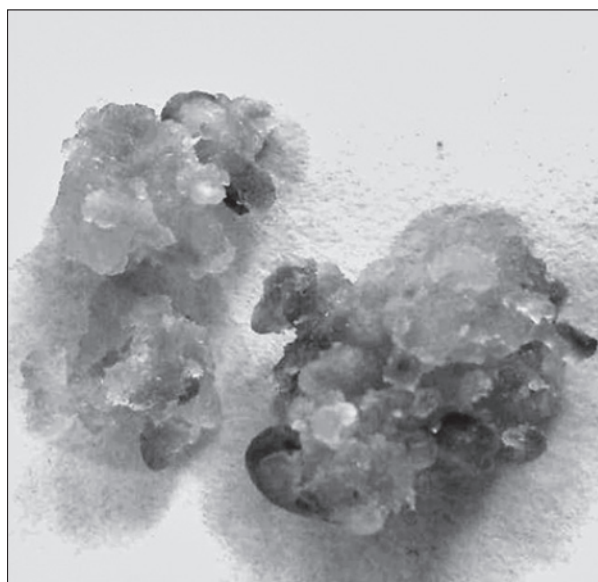
Для введения в культуру *in vitro* в качестве эксплантов используют надземные и подземные органы, фрагменты их ткани и семена растений [12]. Результат культивирования *Heimerocallis* во многом зависит от типа экспланта, состава питательных сред, баланса фитогормонов, способности вида (сорта) к регенерации и т. д. [16–18]. Регенерация растений обусловлена уникальным свойством растительных клеток – тотипотентности [12]. Наличие этого свойства позволяет реализовывать разные онтогенетические программы (органогенез, каллусогенез или соматический эмбриогенез) при модификации состава среды культивирования и физических факторов, что обусловлено способностью соматических растительных клеток изменять свой статус в условиях *in vitro* [19].

Основным типом культивируемых растительных клеток является каллусная ткань, которая образуется в результате дедифференциации меристемных и специализированных клеток, не потерявших ядро и способных к пролиферации. Данный процесс в условиях *in vitro* всегда протекает в присутствии биологических регуляторов роста и развития – фитогормонов [20]. В этой связи для образования первичного каллуса из тканей бутонов *Heimerocallis* питательную среду МС дополняли в первом случае БАП и НУК в концентрациях 8 и 3 мг/л соответственно, во втором БАП – 5 мг/л. Образовавшийся каллус постепенно покрывал всю поверхность площади экспланта, имел светло-зеленую окраску, плотную консистенцию и зернистую структуру (см. рисунок).

Формирование эмбриоидов в культуре тканей происходит в два этапа. На первом этапе сома-

тические клетки дифференцируются в эмбриональные, следующая стадия сопровождается развитием эмбриоидов. Соматический эмбриогенез может происходить как в тканях первичного экспланта, так и в каллусной культуре [21]. Для индукции соматического эмбриогенеза в каллусной культуре в нашем исследовании были использованы шесть вариантов, различающихся гормональным составом и их концентрациями в питательной среде, а также один вариант среды, дополненной биоккомпозитом (табл. 1). Известно, что использование биодоступных органических веществ в культуре *in vitro* способно стимулировать развитие каллусной ткани, ускорять стеблевой морфогенез и укоренение побегов [12, 22]. Показана высокая эффективность использования композита на основе механоактивированной древесной зелени пихты (МПН), содержащего водорастворимые соли тритерпеновых кислот [23–25]. Это обусловило применение МПН в концентрации 100 мг/л.

Отмечено, что наиболее эффективной являлась среда с внесением в качестве стимулятора МПН. В результате на данной питательной среде образовывались многочисленные белые глобулы и рыхлый зернистый зеленый каллус, а также у 50 % наблюдалось образование растений-регенерантов (табл. 2).



Каллус *Heimerocallis*, полученный из первичных эксплантов (бутонов).

Callus *Heimerocallis* obtained from primary explants (flower bud).

Таблица 1

Влияние экзогенных регуляторов роста на морфогенез и регенерационную способность в культуре каллуса *Hemerocallis*

Table 1

The influence of exogenous growth regulators on morphogenesis and regenerative capacity in callus culture *Hemerocallis*

Регуляторы роста, мг/л [Growth regulators, mg/l]	Образование [Formation]				
	регенерантов [regenerated plants]	корней [root]	побегов [shoot]	эмбриоидов [embryoid]	каллуса [callus]
БАП [BAP] 8,0 НУК [NAA] 3,0	–	–	–	+	+
БАП [BAP] 0,2 ИУК [IAA] 0,1	+	–	+	+	+
БАП [BAP] 1,5 НУК [NAA] 0,1	+	+	+	+	+
2, 4 Д [2.4 D] 1,0 Кинетин [kinetin] 0,2	+	+	+	+	+
НУК [NAA] 1,0	+	–	+	–	+
ИУК [IAA] 1,0	–	–	–	+	+
МПН [MPA] * 100,0	+	+	+	+	+

Примечание. «–» – отсутствие; «+» – наличие; * – МПН.

Note. «–» – lack of; «+» – available; * – mechanochemical preparation from *Abies*.

Таблица 2

Влияние механохимического препарата пихты (100 мг/л) на морфогенез и регенерационную способность в культуре каллуса *Hemerocallis*

Table 2

The effect of the mechanochemical preparation from *Abies* (100 mg / l) on the morphogenesis and regenerative ability in the culture of callus *Hemerocallis*

Признак [Sign]	1-й пассаж [1st passage]	2-й пассаж [2nd passage]
Частота побегообразования [Shoot formation frequency], %	50,0±12,5	31,0±7,6
Частота ризогенеза [Rhizogenesis frequency], %	50,0±12,5	39,6±6,8
Число побегов на эксплант, шт. [The number of shoots per explant, pcs]	2,1±0,4	2,1±0,4
Число листьев на побег, шт. [The number of leaves per shoot, pcs]	4,7±0,9	2,1±0,3
Длина листьев, см [Leaf length, cm]	2,5±0,5	1,7±0,2
Количество корней на побег, шт. [The number of roots per shoot, pcs.]	2,3±1,4	1,2±0,1
Длина корней, см [Root length, cm]	5,5±1,0	4,0±0,5

Таблица 3

**Динамика развития эмбриогенного каллуса и регенерантов *Heimerocallis*
в зависимости от среды культивирования и экзогенных регуляторов роста**

Table 3

**Dynamics of the development of embryogenic callus and *Heimerocallis* regenerants
depending on the culture medium and exogenous growth regulators**

Признак [Sign]	МПН 100 мг/л [MPA* 100 mg/l]		БАП 0,2 мг/л + ИУК 0,1 мг/л [BAP 0,2 mg/l + IAA 0,1 mg/l]	
	30 день [days]	60 день [days]	30 день [days]	60 день [days]
Частота каллусогенеза [Callusogenesis frequency], %	22,6±7,2	12,5±3,5	80,0±5,8	80,0±6,3
Частота побегообразования [Shoot formation frequency], %	83,9±5,4	87,5±2,2	30,0±9,5	40,0±8,2
Частота ризогенеза [Rhizogenesis frequency], %	48,4±11,3	45,0±8,5	10,0±0,1	22,0±4,8
Число побегов на эксплант, шт. [The number of shoots per explant, pcs]	1,4±0,2	2,0±0,3	1,3±0,3	2,3±0,5
Число листьев на побег, шт. [The number of leaves per shoot, pcs]	2,5±0,3	2,3±0,2	1,5±0,5	1,7±0,3
Длина листьев, см [Leaf length, cm]	2,2±0,3	4,1±0,3	1,1±0,3	1,7±0,3
Количество корней на побег, шт. [The number of roots per shoot, pcs.]	1,6±0,2	2,2±0,3	1,0±0,1	1,5±0,1
Длина корней, см [Root length, cm]	4,4±0,6	4,8±0,3	0,5±0,2	1,0±0,2

Полученные растения в среднем имели 4,7±0,9 шт. листьев и 2,3±1,4 шт. корней, длиной 2,5±0,5 и 5,5±1,0 см соответственно. С целью поддержания способности к делению и сохранения жизнеспособности каллуса через 4–6 недель, как правило, производят перенос клеток каллуса на свежую питательную среду – пассируют. Регулярное пассирование позволяет в течение длительного времени сохранять каллусные культуры в условиях *in vitro*. Во втором пассаже при посеве эмбриогенного каллуса красоднева на аналогичную среду отмечено образование растений-регенерантов только в 31 % случаев, в остальных – наблюдался рост каллуса. Количество побегов на эксплант составляло 2,1±0,4 шт. Растения-регенеранты характеризовались наличием 2,1±0,3 шт. листьев с длиной 1,7±0,2 см. Показано, что только у 40 % растений были индуцированы процессы ризогенеза. Среднее количество корней на одно растение составляло 1,2±0,1 шт, с длиной 4,0±0,5 см (табл. 2).

В следующем пассаже в результате культивирования каллуса на двух различных питательных средах отмечено, что безгормональная среда MS, дополненная МПН, вызывала, в отличие от среды, содержащей фитогормоны, наибольшую частоту побегообразования и ризогенеза, растения-регенеранты формировали большее число листьев и корней (табл. 3).

Следует отметить, что интенсивность роста растений-регенерантов также была выше в варианте с использованием механоактивированной древесной зелени пихты. По этому показателю отмечено превышение в 2,4 раза длины листьев и в 4,0 раза длины корней по сравнению с вариантом, содержащим БАП и ИУК в концентрации 0,2 мг/л и 0,1 мг/л соответственно.

Заключение

Показана возможность применения методов и подходов биотехнологии высших растений для клонального микроразмножения *in vitro* рода *Heimerocallis* (Красоднев) сорта ‘Wine and Roses’.

Использование генеративных органов (бутонов) в качестве первичных эксплантов позволяет без причинения ущерба материнским растениям-донорам, произрастающим в коллекционном питомнике, ввести красоднев в культуру *in vitro*. Исследовали особенности индукции каллусообразования на питательной среде Мурасиге и Скуга в присутствии нафтилуксусной кислоты и/или 6-бензиламинопурина. Также апробированы условия для получения растений-регенерантов из эмбриогенных каллусных культур. Использование в качестве регулятора роста биоконкомпозита, полученного в результате механохимической обработки древесной зелени пихты (100 мг/л), содержащего водорастворимые соли тритерпеновых кислот, выявили его высокую эффективность в процессах морфогенеза и регенерации в каллусной культуре красоднева *in vitro*. В течение трех пассажей каллуса отмечали развитие клеток меристематического и эмбрионального типа, из которых в результате многократных делений формировались почки и эмбриониды. Дальнейшее культивирование приводит к формированию растений-регенерантов красоднева. Таким образом, проведенное исследование позволило получить стерильную культуру и подобрать состав питательной среды для успешного размножения *Hemerocallis* в условиях *in vitro*.

Литература

1. Dahlgren R.M.T., Clifford H.T., Yeo P.F. The families of the monocotyledons. Structure, Evolution, and Taxonomy. Berlin: Springer, 1985. 520 p.
2. Rodriguez-Enriquez M.J., Grant-Downton R.T. A new day dawning: *Hemerocallis* (daylily) as a future model organism // AoB Plants. 2012. Vol. 5. P. 1–15. pls055: doi:10.1093/aobpla/pls055.
3. Хими́на Н.И. Лилейники. М.: Кладезь-Букс, 2009. 96 с.
4. Красная книга Республики Саха (Якутия). Т. 1: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и грибов / Отв. ред. Н.С. Данилова. М.: Ре-арт, 2017. 412 с.
5. Bor J.Y., Chen H.Y., Yen G.C. Evaluation of antioxidant activity and inhibitory effect on nitric oxide production of some common vegetables // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2006. Vol. 54. P. 1680–1686. doi:10.1021/jf0527448.
6. Cichewicz R.H., Nair M.G. Isolation and characterization of stelladerol, a new antioxidant naphthalene glycoside, and other antioxidant glycosides from edible daylily (*Hemerocallis*) flowers // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2002. Vol. 50. P. 87–91. doi:10.1021/jf010914k.
7. Lin Y.L., Lu C.K., Huang Y.J., Chen H.J. Antioxidative caffeoylquinic acids and flavonoids from *Hemerocallis fulva* flowers // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2011. Vol. 59. P. 8789–8795. doi: 10.1021/jf201166b.
8. Zhang Y., Cichewicz R.H., Nair M.G. Lipid peroxidation inhibitory compounds from daylily (*Hemerocallis fulva*) leaves // Life Science. 2004. Vol. 75. P. 753–763. doi:10.1016/j.lfs.2004.03.002.
9. Cichewicz R.H., Zhang Y., Seeram N.P., Nair M.G. Inhibition of human tumor cell proliferation by novel anthraquinones from daylilies // Life Sciences. 2004. Vol. 74. P. 1791–1799. doi:10.1016/j.lfs.2003.08.034.
10. Нахабцева С.Ф. Растительность Якутского ботанического сада // Интродукция растений в Центральной Якутии. М.; Л.: Наука, 1965. С. 37–43.
11. Катаева Н.В., Аветисов В.А. Клональное размножение в культуре ткани // Культура клеток растений. М.: Наука, 1981. С. 137–149.
12. Бутенко Р.Г. Культура изолированных тканей и физиология морфогенеза растений. М.: Наука, 1964. 272 с.
13. Калинин Ф.Л., Сарнацкая В.В., Полищук В.Е. Методы культуры тканей в физиологии и биохимии растений. Киев: Наукова думка, 1980. 320 с.
14. Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bioassay with tobacco tissue cultures // Physiologia Plantarum. 1962. Vol. 15. P. 473–476.
15. Зайцев Г.Н. Математический анализ биологических данных. М., 1991. 183 с.
16. Чурикова О.А. Микроклональное размножение и некоторые особенности лилейников и хост *in vitro* // Вестник Московского университета: Биология. 2008. № 2. С. 45–50.
17. Chen J., Hall D.E., De Luca V. Effects of the growth retardant paclobutrazol on large-scale micropropagation of daylily (*Hemerocallis* spp.) // In Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant. 2005. Vol. 41. P. 58–62. doi:10.1079/IVP2004595.
18. Matand K., Wu N., Conley S., Acquah G. A more improved protocol for in vitro shoot organogenesis in daylily (*Hemerocallis* sp.) // African Journal of Biotechnology. 2013. Vol. 12(8). P. 820–825. doi: 10.5897/AJB12.2561
19. Feher A., Pasternak T.P., Dudits D. Transition of somatic plant cells to an embryogenic state // Plant Cell Tissue Organ Cult. 2003. Vol. 74. P. 201–228.
20. Лутова Л.А. Биотехнология высших растений / Изд. 2-е. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2010. 240 с.
21. Halperin W., Wetherall D.F. Adventive embryony in tissue cultures of wild carrot: *Daucus carota* // Amer. J. Bot. 1964. Vol. 51. P. 274–283.
22. Korolev K.G., Lomovskii O.I., Rozhanskaya O.A., Vasil'ev V.G. Mechanochemical preparation of water-soluble forms of triterpene acids // Chemistry Natural Compounds. 2003. Vol. 39(4). P. 366–372. doi:10.1023/B:CONC.0000003418.28517.f6
23. Рожанская О.А., Дарханова В.Г., Строева Н.С., Королев К.Г., Ломовский О.И. Особенности морфогенеза

неза эспарцета и люцерны *in vitro* // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2008. № 5 (185). С. 58–65.

24. Рожанская О.А., Юдина Н.В., Ломовский О.И., Королев К.Г. Влияние регуляторов роста растительного происхождения на морфогенез рапса *in vitro* // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2003. № 2 (148). С. 108–112.

25. Дарханова В.Г., Трофимова И.Г., Строева Н.С., Филиппова Г.В., Воронов И.В. Влияние механохимического препарата пихты на морфогенез картофеля (*Solanum tuberosum* L.) при микроразмножении *in vitro* // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 130. С. 670–679. doi: 10.21515/1990-4665-130-046.

Поступила в редакцию 12.12.2019

Принята к публикации 05.02.2020

Об авторах

СТРОЕВА Наталья Семеновна, инженер-исследователь, Институт биологических проблем криолитозоны ФИЦ ЯНЦ СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 41, <http://orcid.org/0000-0003-2803-4440>, natali.stroeva.62@mail.ru;

ДАРХАНОВА Валентина Гаврильевна, инженер-исследователь, Институт биологических проблем криолитозоны ФИЦ ЯНЦ СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 41, <http://orcid.org/0000-0002-8789-5147>, darhana@mail.ru;

ФИЛИППОВА Галина Валерьевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны ФИЦ ЯНЦ СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 41, <http://orcid.org/0000-0002-2024-6062>, nureeva@yandex.ru.

Информация для цитирования

Строева Н.С., Дарханова В.Г., Филиппова Г.В. Введение в культуру и размножение *in vitro* *Hemerocallis*, сорта ‘Wine and Roses’ // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2020, Т. 25, № 1. С. 85–93. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-1-9>

DOI 10.31242/2618-9712-2020-25-1-9

Introduction to culture and *in vitro* reproduction of the *Hemerocallis*, variety ‘Wine and Roses’

N.S. Stroeve, V.G. Darkhanova, G.V. Filippova*

Institute of Biological Problems of Cryolithozon, SB RAS, Yakutsk, Russia

**nureeva@yandex.ru*

Abstract. The possibility to use the methods and approaches of higher plant biotechnology for *in vitro* clonal micropropagation of the genus *Hemerocallis* (Krasodnev) of the varieties ‘Wine and Roses’ was investigated. The use of generative organs (flower buds) as primary explants allowed them to be introduced into an *in vitro* culture without any harm to donor plants grown in the nursery. The specific features of the induction of callus formation on the nutrient medium of Murashige and Skoog in the presence of naphthylacetic acid and/or 6-benzylaminopurine are determined. The conditions for obtaining regenerated plants from embryogenic callus cultures were tested. The use of a biocomposite obtained as a growth regulator by means of mechanochemical treatment of the biological product from fir branches and needles (100 mg/l) containing water-soluble salts of triterpene acids revealed its high efficiency in the processes of morphogenesis and regeneration in the callus culture of *Hemerocallis in vitro*. During the three passages of callus, the development of meristematic and embryonic cells was noted, from which the kidneys and embryoids formed as a result of repeated divisions. Further cultivation led to the formation of regenerated plants. The

study allowed us to obtain a sterile culture and select the composition of a nutrient medium for the successful propagation of Hemerocallis in vitro. In vitro clonal micropropagation protocol was developed for the genus Hemerocallis of the 'Wine and Roses' variety, which can be an effective method for successful reproduction.

Key words: *Hemerocallis*, in vitro culture, callus, clonal micropropagation, regenerated plants.

Acknowledgements. *The work was carried out as part of the state assignment of the Institute of Biological Problems of the Cryolithozone of the SB RAS for 2017-2020. according to project VI.52.1.8. Fundamental and applied aspects of the study of plant diversity in Northern and Central Yakutia No. AAAA-A17-117020110056-0.*

References

1. Dahlgren R.M.T., Clifford H.T., Yeo P.F. The families of the monocotyledons. Structure, Evolution, and Taxonomy. Berlin: Springer, 1985. 520 p.
2. Rodriguez-Enriquez M.J., Grant-Downton R.T. A new day dawning: *Hemerocallis* (daylily) as a future model organism // *AoB Plants*. 2012. Vol. 5. P. 1–15. p15055: doi:10.1093/aobpla/pls055.
3. Khimina N.I. Lileyniki. M.: Kladez'-Buks, 2009. 96 p.
4. Krasnaya kniga Respubliki Sakha (Yakutiya). Vol. 1: Redkie i nakhodyashchiesya pod ugrozoy ischeznoventiya vidy rasteniy i gribov / Otv. red. N.S. Danilova. M.: Reart, 2017. 412 p.
5. Bor J.Y., Chen H.Y., Yen G.C. Evaluation of antioxidant activity and inhibitory effect on nitric oxide production of some common vegetables // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2006. Vol. 54. P. 1680–1686. doi:10.1021/jf0527448.
6. Cichewicz R.H., Nair M.G. Isolation and characterization of stelladerol, a new antioxidant naphthalene glycoside, and other antioxidant glycosides from edible daylily (*Hemerocallis*) flowers // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2002. Vol. 50. P. 87–91. doi:10.1021/jf010914k.
7. Lin Y.L., Lu C.K., Huang Y.J., Chen H.J. Antioxidative caffeoylquinic acids and flavonoids from *Hemerocallis fulva* flowers // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2011. Vol. 59. P. 8789–8795. doi: 10.1021/jf201166b.
8. Zhang Y., Cichewicz R.H., Nair M.G. Lipid peroxidation inhibitory compounds from daylily (*Hemerocallis fulva*) leaves // *Life Science*. 2004. Vol. 75. P. 753–763. doi:10.1016/j.lfs.2004.03.002.
9. Cichewicz R.H., Zhang Y., Seeram N.P., Nair M.G. Inhibition of human tumor cell proliferation by novel anthraquinones from daylilies // *Life Sciences*. 2004. Vol. 74. P. 1791–1799. doi:10.1016/j.lfs.2003.08.034.
10. Nakhabtseva S.F. Rastitel'nost' Yakutskogo botanicheskogo sada // *Introduktsiya rasteniy v Tsentral'noy Yakutii*. M.; L.: Nauka, 1965. P. 37–43.
11. Kataeva N.V., Avetisov V.A. Klonal'noe razmnzhenie v kul'ture tkani. Kul'tura kletok rasteniy. M.: Nauka, 1981. P. 137–149.
12. Butenko R.G. Kul'tura izolirovannykh tkaney i fiziologiya morfogeneza rasteniy. M.: Nauka, 1964. 272 p.
13. Kalinin F.L., Sarnatskaya V.V., Polishchuk V.E. Metody kul'tury tkaney v fiziologii i biokhimii rasteniy. Kiev: Naukova dumka, 1980. 320 p.
14. Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bioassay with tobacco tissue cultures // *Physiologia Plantarum*. 1962. Vol. 15. P. 473–476.
15. Zaytsev G.N. Matematicheskiy analiz biologicheskikh dannykh. M., 1991. 183 p.
16. Churikova O.A. Mikroklonal'noe razmnzhenie i nekotorye osobennosti lileynikov i khost in vitro // *Vestnik Moskovskogo universiteta: Biologiya*. 2008. No. 2. P. 45–50.
17. Chen J., Hall D.E., De Luca V. Effects of the growth retardant paclobutrazol on large-scale micropropagation of daylily (*Hemerocallis* spp.) // *In Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant*. 2005. Vol. 41. P. 58–62. doi:10.1079/IVP2004595.
18. Matand K., Wu N., Conley S., Acquah G. A more improved protocol for in vitro shoot organogenesis in daylily (*Hemerocallis* sp.) // *African Journal of Biotechnology*. 2013. Vol. 12(8). P. 820–825. doi: 10.5897/AJB12.2561
19. Feher A., Pasternak T.P., Dudits D. Transition of somatic plant cells to an embryogenic state // *Plant Cell Tissue Organ Cult*. 2003. Vol. 74. P. 201–228.
20. Lutova L.A. Biotehnologiya vysshikh rasteniy. Izd. 2-e. SPb.: Izd-vo S.-Peterb. Un-ta, 2010. 240 p.
21. Halperin W., Wetherall D.F. Adventive embryony in tissue cultures of wild carrot: *Daucus carota* // *Amer. J. Bot.* 1964. Vol. 51. P. 274–283.
22. Korolev K.G., Lomovskii O.I., Rozhanskaya O.A., Vasil'ev V.G. Mechanochemical preparation of water-soluble forms of triterpene acids // *Chemistry Natural Compounds*. 2003. Vol. 39(4). P. 366–372. doi:10.1023/B:CONC.0000003418.28517.f6
23. Rozhanskaya O.A., Darkhanova V.G., Stroeveva N.S., Korolev K.G., Lomovskiy O.I. Osobennosti morfogeneza espartseta i lyutserny in vitro // *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki*. 2008. No. 5 (185). P. 58–65.
24. Rozhanskaya O.A., Yudina N.V., Lomovskiy O.I., Korolev K.G. Vliyanie regulatorov rosta rastitel'nogo proiskhozhdeniya na morfogeneza rapsa in vitro // *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki*. 2003. No. 2 (148). P. 108–112.

25. Darkhanova V.G., Trofimova I.G., Stroeveva N.S., Filippova G.V., Voronov I.V. Vliyaniye mekhanokhimicheskogo preparata pikhty na morfogenez kartofelya (*Solanum tuberosum* L.) pri mikrorazmnozhenii in vitro // Politematicheskiy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017. No. 130. P. 670–679. doi: 10.21515/1990-4665-130-046.

About the authors

STROEVA Natalya Semenovna, research engineer, Institute for Biological Problems of Cryolithozone, SB RAS, 41 Lenin ave., Yakutsk, 677980, Russia,

<http://orcid.org/0000-0003-2803-4440>, natali.stroeveva.62@mail.ru;

DARKHANOVA Valentina Gavril'evna, research engineer, Institute for Biological Problems of Cryolithozone, SB RAS, 41 Lenin ave., Yakutsk, 677980, Russia,

<http://orcid.org/0000-0002-8789-5147>, darhana@mail.ru;

FILIPPOVA Galina Valer'evna, senior researcher, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenin ave., Yakutsk, 677980, Russia,

<http://orcid.org/000000000-0002-2024-6062>, nureeva@yandex.ru.

Citation

Stroeveva N.S., Darkhanova V.G., Filippova G.V. Introduction to culture and in vitro reproduction of the *Hemerocallis*, variety 'Wine and Roses' // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2020, Vol. 25, N 1. P. 85–93. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-1-9>

Годовая динамика вторичных метаболитов в талломах *Cetraria laevigata* и *Flavocetraria cuscullata* в условиях Центральной Якутии

И.А. Прокопьев*, И.В. Слепцов, Л.Н. Порядина, С.М. Рожина

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия

*ilya.a.prokopiev@gmail.com

Аннотация. На территории Якутии лишайники представляют собой существенный компонент растительного покрова как в тундровой, так и в таежной зонах. Они отличаются большой устойчивостью к неблагоприятным условиям среды, что приводит к накоплению лишайниками различных биологически активных веществ, выполняющих адаптационные функции. Климат Центральной Якутии характеризуется резкой континентальностью, которая проявляется в длинной, холодной, малоснежной зиме и коротком, жарком засушливом лете. По климатическим условиям Центральная Якутия занимает второе место в республике по самым низким температурам зимой и первое – по высоким температурам летом. Методом ВЭЖХ проведено исследование годовой динамики накопления лишайниковых кислот в талломах *Cetraria laevigata* Rass. и *Flavocetraria cuscullata* (Bellardi) Kärnefelt & Thell в условиях Центральной Якутии. Показано, что максимальное содержание фумарпротоцетраровой кислоты в талломах *Cetraria laevigata* наблюдалось в феврале и марте, а минимальные значения – в мае. Предположено, что фумарпротоцетраровая кислота может проявлять криопротекторные свойства за счет образования гидрофобного слоя в клеточной стенке гиф внутренней части лишайника. Выявлено, что в талломах *Flavocetraria cuscullata* максимальные концентрации усниновой, алло-протолихестериновой и протолихестериновой кислот были в июне и июле, а минимальные – в январе и феврале. Установлено, что *Cetraria laevigata* и *Flavocetraria cuscullata* проявляют видоспецифическую ответную реакцию при изменении погодных условий, что может быть связано с различными стратегиями адаптации и функциями лишайниковых кислот в талломах лишайника. Исследованные виды лишайников входят в состав кормов северного оленя (ягель). Вид *Flavocetraria cuscullata* относится к хорошо поедаемым лишайникам, особенно в зимний период. Учитывая антимикробную активность усниновой кислоты, входящей в талломы данного лишайника, и высокую долю этого вида в кормовой базе оленей, можно утверждать, что *Flavocetraria cuscullata* имеет особую значимость для оленеводства не только в кормовом, но и в ветеринарно-фармацевтическом отношении.

Ключевые слова: *Cetraria laevigata*, *Flavocetraria cuscullata*, криопротекторы, лишайники, лишайниковые кислоты, Центральная Якутия.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственных заданий ИБПК СО РАН на 2017-2021 гг. «Фундаментальные и прикладные аспекты изучения разнообразия растительного мира Северной и Центральной Якутии» (АААА-А17-117020110056-0); «Разработка биопрепаратов из тканей растений и животных Якутии на основе изучения особенностей их биохимического состава и механизмов адаптации к условиям Севера (АААА-А17-117020110055-3); поддержана грантом РФФИ 18-44-140019 «Качественные и количественные характеристики криопротекторов лишайников Арктики и Субарктики».

Введение

Лишайники являются группой комплексных организмов и распространены почти во всех наземных экосистемах Арктики и Субарктики. Они отличаются большей устойчивостью к неблаго-

приятным условиям среды по сравнению с высшими растениями. Экстремальность условий обитания приводит к накоплению лишайниками различных биологически активных веществ, выполняющих адаптационные функции. Хорошо из-

вестна устойчивость лишайников к низким температурам, условиям обезвоживания и регидратации, благодаря наличию криопротекторов и осмопротекторов в их талломах [1].

Криопротекторы, накапливаясь в цитоплазме, способны понижать температуру замерзания внутриклеточного содержимого, увеличивая, таким образом, морозостойкость растений. Фенольные соединения, наряду с полиолами, сахарами и свободными аминокислотами, обладают криопротекторными свойствами и играют важную роль в адаптации высших сосудистых растений к действию низких температур [3]. В то же время, данных о соединениях лишайников, обладающих криопротекторными свойствами, все еще не так много [1].

На территории Якутии лишайники представляют собой существенный компонент растительного покрова, как в тундровой, так и в таежной зонах. Лишайники семейства Parmeliaceae распространены по всей территории Якутии, являясь, наряду с лишайниками семейства Cladoniaceae, основным кормом для северного оленя, особенно в зимний период [4]. Более 60 % всего количества кормов, потребляемых оленем в течение года, составляют лишайники. Питательная ценность ягельного корма, а также переваримость лишайников очень высокие [5]. Вид *Flavocetraria cucullata* (Bellardi) Kärnefelt & Thell относится к хорошо поедаемым лишайникам, особенно в зимний период. Для вида *Cetraria laevigata* Rass. отмечается, что поедается он мало, особенно когда есть выбор другого корма [6].

Климат Центральной Якутии характеризуется резкой континентальностью, которая проявляется в длинной, холодной, малоснежной зиме (октябрь–апрель) и коротком, жарком засушливом лете. Климат характеризуется высокими амплитудами годовых и суточных температур, особенно в летние месяцы. По климатическим условиям Центральная Якутия занимает второе место в республике по наличию самых низких температур зимой и первое – по высоким температурам летом [7–9].

По состоянию на начало 2019 года лишенобита Центральной Якутии представлена 273 видами лишайников из 90 родов отдела сумчатых лишайников (Ascomycota). По количеству видов лидируют семейства Parmeliaceae (66 видов) и Cladoniaceae (48 видов). Лишайники родов *Cladonia*, *Cetraria*, *Flavocetraria* являются эдификаторами и доминантами напочвенного покрова

различных растительных сообществ Центральной Якутии.

Известно, что накопление вторичных метаболитов в лишайниках зависит от различных абиотических факторов среды: освещенность, температура, влажность и т. д. [10]. В то же время сведений о накоплении вторичных метаболитов в лишайниках, произрастающих в Якутии, крайне мало. Так, ранее было показано, что содержание усниновой кислоты в лишайниках *Cladonia stellaris* (Opiz) Pouzar et Vězda, *Cladonia arbuscula* (Wallr.) Flot. и *Flavocetraria cucullata* (Bellardi) Kärnefelt & Thell, произрастающих в Центральной Якутии, было наибольшим в июне, а наименьшим – в декабре [11].

Цель исследования – изучить годовую динамику содержания вторичных метаболитов в талломах лишайников *Cetraria laevigata* и *Flavocetraria cucullata*, произрастающих в условиях Центральной Якутии.

Материалы и методы. В качестве объектов исследования были выбраны кустистые лишайники, относящиеся к семейству Parmeliaceae: *Flavocetraria cucullata* (Bellardi) Kärnefelt & Thell и *Cetraria laevigata* Rass, которые достаточно широко распространены в бореальных лесах Восточной Сибири.

Отбор образцов лишайников проводился в течение 2018–2019 гг. во второй декаде каждого месяца на участке площадью 10 м² в сосново-бруснично-лишайниковом лесу, расположенном в окрестностях г. Якутска (61°55'22,30" с.ш., 129°32'5,79" в.д.).

Мониторинг температуры воздуха на поверхности почвы в месте отбора проб лишайников проводился с помощью регистраторов температуры ТР-2 «ООО Инженерные технологии» (Россия), позволяющих фиксировать температуру с интервалом измерения 4 ч.

Для анализа брали верхние молодые части воздушно-сухих лишайников длиной не более 1,0 см. Измельченную пробу исследуемого образца лишайника (навеска 10 мг) экстрагировали 1 мл ацетона при постоянном перемешивании в течение 24 ч и температуре 20–25 °С.

Разделение методом ВЭЖХ (высокоэффективная жидкостная хроматография) проводили на приборе Милихром А-02 фирмы «ЭкоНова» (Россия) с обращенно-фазной колонкой 2×75 мм ProntoSIL-C18 AQ (120 Å, 5 мкм). В качестве подвижной фазы «А» использовали 0,1%-й водный раствор уксусной кислоты, «В» – ацетони-

трил, градиентный режим элюирования с возрастанием доли «В» от 10 до 50 % в течение 5 мин и от 50 до 100 % – в течение 20 мин при скорости потока 100 мкл/мин и температуре колонки 40 °С. Детектирование осуществляли на длинах волн 210, 230, 240, 260 и 280 нм.

Идентификацию проводили, сопоставляя времена удерживания и спектральные отношения пиков на хроматограмме с пиками стандартов лишайниковых веществ из коллекции Ботанического института им. В.Л. Комарова.

Все измерения были выполнены в трех биологических и аналитических повторностях. Расчет среднего значения и его стандартного отклонения проводили с помощью программы StatPlus v.2007.

Результаты и обсуждение

Мониторинг температуры на поверхности почвы в местах сбора лишайников показал, что среднемесячные положительные температуры наблюдались с мая по октябрь, а отрицательные – с ноября по апрель (рис. 1).

Минимальная среднемесячная температура наблюдалась в феврале и составляла –25,5 °С, а максимальная температура – в июле 19,5 °С.

Хроматографический анализ экстракта *Cetraria laevigata* показал, что основным метаболитом лишайника является депсидон – фумарпротоцеттаровая кислота. Выявлено, что в период с октября по декабрь ее содержание в талломах не изменялось, находясь на уровне 38–39 мг/г сухой массы (рис. 2).

Установлено, что с декабря по март наблюдалось повышение в 1,2 раза содержания фумарпротоцеттаровых кислот, в талломах *Cetraria*

laevigata. Нами предположено, что изменение содержания фумарпротоцеттаровой кислоты может быть связано с ее криопротекторными свойствами. Максимальное содержание фумарпротоцеттаровой кислоты было зафиксировано в феврале и марте. Известно, что исследуемое соединение преимущественно накапливается в клеточной стенке гиф внутренней части таллома и образует там гидрофобную поверхность, которая препятствует проникновению воды в клетки лишайника и, следовательно, образованию там кристаллов льда [10]. Содержание фумарпротоцеттаровой кислоты начинает уменьшаться с апреля по май, что может быть связано с повышением температуры и началом таяния снега. Стоит отметить, что минимальное содержание фумарпротоцеттаровой кислоты было зафиксировано в мае, когда закончился процесс активного таяния снега, а общее количество осадков было минимальным [7]. Известны факты вымывания фумарпротоцеттаровой кислоты из слоевищ лишайников при существенном повышении влажности слоевищ, при этом верхний почвенный слой подкисляется [12]. Начиная с июня, в талломах *Cetraria laevigata* вновь наблюдается повышение в среднем в 1,3 раза содержания фумарпротоцеттаровой кислоты, что могло быть связано с ее участием в регуляции внутреннего водного баланса лишайника, благодаря тому что за счет своих гидрофобных свойств это соединение препятствует перенасыщению влагой сердцевины лишайника, тем самым обеспечивая непрерывный газообмен с атмосферой [13].

Результаты проведенных исследований по динамике накопления усниновой, аллопротолехестериновой и протолехестериновой кислот в тал-

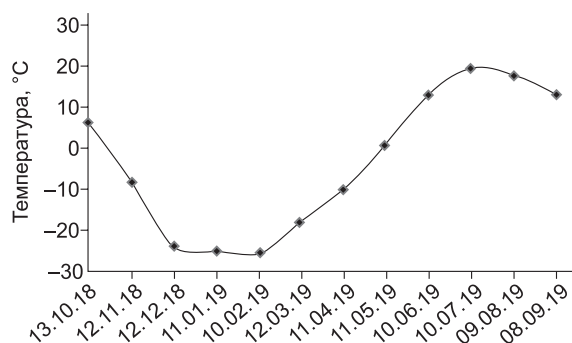


Рис. 1. Годовая температура на поверхности почвы в условиях Центральной Якутии (по данным исследования).

Fig. 1. Annual temperature on the soil surface in Central Yakutia (according to the study).

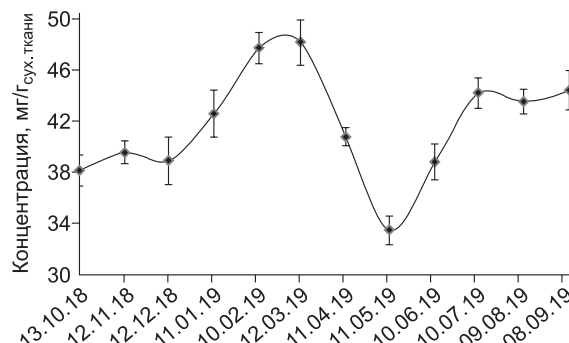


Рис. 2. Годовая динамика накопления фумарпротоцеттаровой кислоты в талломах *Cetraria laevigata*.

Fig. 2. Annual dynamics of accumulation of fumarprotocetraric acid in thallomas of *Cetraria laevigata*.

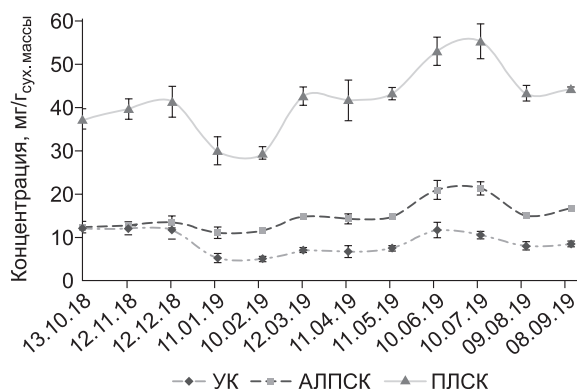


Рис. 3. Годовая динамика накопления усниновой, аллопротолихестериновой и протолихестериновой кислот в талломах *Flavocetraria cucullata* (УК – усниновая кислота, АЛПСК – аллопротолихестериновая кислота, ПЛСК – протолихестериновая кислота).

Fig. 3. Annual dynamics of accumulation usnic, allo-protolichesterinic and protolichesterinic acids in the thalli of *Flavocetraria cucullata* (УК – usnic acid, АЛПСК – allo-protolichesterinic acid, ПЛСК – protolichesterinic acid)

ломах *Flavocetraria cucullata* свидетельствуют о том, что содержание изученных лишайниковых веществ с октября по ноябрь в них не изменяются (рис. 3). С января по февраль наблюдается уменьшение содержания всех исследуемых соединений, что связано с понижением температуры и замедлением метаболизма лишайника. С марта по июль повышаются концентрации усниновой, аллопротолихестериновой и протолихестериновой кислот в талломе, что может быть связано с повышением температуры и активацией метаболических процессов [14]. Кроме того, повышение содержания усниновой кислоты в летний период может указывать на ее фотопротекторные свойства за счет поглощения избыточного УФ-излучения [10]. В августе наблюдалось снижение содержания исследуемых соединений, что может быть обусловлено уменьшением светового дня и снижением температуры воздуха. С августа по сентябрь не наблюдалось статистически достоверных изменений концентрации исследуемых лишайниковых кислот в талломах *Flavocetraria cucullata*.

Важно заметить, что динамика сезонных изменений содержания усниновой кислоты в *Flavocetraria cucullata*, произраставшей в условиях Центральной Якутии, в целом совпало с ранее полученными данными, что может указывать на относительное постоянство сезонных циклов накопления вторичных метаболитов в лишайниках [11].

Таким образом, *Cetraria laevigata* и *Flavocetraria cucullata* проявляют видоспецифическую динамику накопления вторичных метаболитов, что может быть связано с различными стратегиями адаптации к низкотемпературному стрессу и функциями лишайниковых кислот в талломах лишайника.

Выводы

1. Показано, что максимальное содержание фумарпроцеттаровой кислоты в талломах *Cetraria laevigata* наблюдалось в феврале и марте. Предположено, что фумарпроцеттаровая кислота может проявлять криопротекторные свойства за счет образования гидрофобного слоя в клеточной стенке гиф внутренней части лишайника. Минимальное содержание фумарпроцеттаровой кислоты в талломах *Cetraria laevigata* было зафиксировано в мае, когда закончился процесс активного таяния снега, а общее количество осадков было минимальным.

2. Установлено, что в талломах *Flavocetraria cucullata* максимальные концентрации усниновой, аллопротолихестериновой и протолихестериновой кислот были в июне и июле, что может быть связано с повышением температуры и активацией метаболических процессов. Повышение содержания усниновой кислоты в талломах *Flavocetraria cucullata* в летний период может указывать на ее фотопротекторные свойства за счет поглощения избыточного УФ-излучения. Минимальные значения концентрации усниновой, аллопротолихестериновой и протолихестериновой кислот в талломах *Flavocetraria cucullata* наблюдались январе и феврале, что связано с понижением температуры и замедлением метаболизма лишайника.

3. Установлено, что *Cetraria laevigata* и *Flavocetraria cucullata* проявляют видоспецифическую ответную реакцию при изменении погодных условий. Это может быть связано с различными стратегиями адаптации и функциями лишайниковых кислот в талломах лишайника.

Литература

1. Порядина Л.Н., Прокопьев И.А., Конорева Л.А., Чесноков С.В., Слепцов И.В., Филиппова Г.В., Шацурин М.М. Адаптационные биохимические механизмы, обеспечивающие устойчивость лишайников к экстремальным условиям среды обитания (обзор) // Природные ресурсы Арктики и Субарктики», 2018. № 4 (26). С. 109–117. DOI 10.31242/2618-9712-2018-26-4-109-117.

2. *Chalker-Scott L.* Enviromental significance of anthocyanins in plant stress responses // *Photochemistry and Photobiology*. 1999. Vol. 70, No. 1. P. 1–9.
3. *Hoshino T., Odaira M., Yoshida M. Tsuda S.* Physiological and Biochemical Significance of Antifreeze Substances in Plants // *Journal of Plant Research*. 1999. Vol. 112. P. 255–261.
4. *Рыкова Ю.В.* Распространение и запасы кустистых лишайников на северо-востоке Якутии // *Растительность и почвы субарктической тундры*. Новосибирск, 1980. С. 124–139.
5. *Мухачев А.Д.* Оленеводство. М.: Агропромиздат, 1990. 272 с.
6. *Куваев В. Б., Самарин В. П.* Кормовые растения северного оленя в Томпонском районе Якутской АССР (Верхоянский хребет) // *Материалы по растительности Якутии*. Л., 1961. С. 106–189.
7. *Гаврилова М.К.* Климат Центральной Якутии. Якутск: Книжное изд-во, 1973. 120 с.
8. *Захарова В.И.* Разнообразие сосудистых растений Центральной Якутии. Новосибирск: Наука, 2014. С. 3–24.
9. *Горохов А.Н., Фёдоров А.Н.* Современные тенденции изменения климата в Якутии // *География и природные ресурсы*. 2018. № 2. С. 111–119. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2018-2(111-119).
10. *Lawrey J.D.* Biological Role of Lichen Substances // *The Bryologist*. 1986. Vol. 89. P. 111–122. DOI: 10.2307/3242751
11. *Прокопьев И.А., Шеин А.А., Филиппова Г.В., Филиппов Э.В., Шапуринов М.М., Гладкина Н.П.* Годовая динамика содержания усниновой кислоты в талломах лишайников родов *Cladonia* и *Flavocetraria*, произрастающих в Центральной Якутии // *Химия растительного сырья*. 2015. № 4. С. 45–49.
12. *Armas R., Oliveira A.K., Vasconcelos T.L., Vicente C., Santiago R., Pereira E.C., Legaz M.F.* Effect of soil moisture on the percolation of lichen substances from *Cladonia verticillaris* (Raddi) Fr. in a quartzarenic neosol from Brazil // *Environmental Science An Indian Hynral (ESAIJ)*. 2016. V. 12(6). P. 243–251.
13. *Armaleo D., Zhang Y., Cheung S.* Light might regulate divergently depside and depsidone accumulation in the lichen *Parmotrema hypotropum* by affecting thallus temperature and water potential // *Mycologia*. 2008. Vol. 100(4). P. 565–576. DOI: 10.3852/07-162r
14. *Равинская А.П., Вайнштейн Е.А.* Влияние некоторых экологических факторов на содержание лишайниковых веществ // *Экология*. 1975. № 3. С. 82–85.

*Поступила в редакцию 10.12.2019
Принята к публикации 18.02.2020*

Об авторах

ПРОКОПЬЕВ Илья Андреевич, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Россия, 677980, Якутск, пр. Ленина, 41, <https://orcid.org/0000-0001-8755-7140>, ilya.a.prokopiev@gmail.com;

СЛЕПЦОВ Игорь Витальевич, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Россия, 677980, Якутск, пр. Ленина, 41, <https://orcid.org/0000-0002-5980-579X>, neroxasg@mail.ru;

ПОРЯДИНА Лена Николаевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Россия, 677980, Якутск, пр. Ленина, 41, <https://orcid.org/0000-0002-6445-4269>, porjadina-lena@rambler.ru;

РОЖИНА Сахаяна Михайловна, лаборант-исследователь, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Россия, 677980, Якутск, пр. Ленина, 41, <https://orcid.org/0000-0001-7223-9297>, sahayana-rozhina@mail.ru.

Информация для цитирования

Прокопьев И.А., Слепцов И.В., Порядина Л.Н., Рожина С.М. Годовая динамика вторичных метаболитов в талломах *Cetraria laevigata* и *Flavocetraria cuscullata* в условиях Центральной Якутии // *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2020, Т. 25, № 1. С. 94–100. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-1-10>

Annual dynamics of secondary metabolites in thalloms of *Cetraria laevigata* and *Flavocetraria cucullata* in Central Yakutia

I.A. Prokopiev*, I.V. Sleptsov, L.N. Poryadina, S.M. Rozhina

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

**ilya.a.prokopiev@gmail.com*

Abstract. On the territory of Yakutia, lichens are an essential component of vegetation in both tundra and taiga zones. They are highly resistant to adverse environmental conditions, which leads to the accumulation of various biologically active substances that perform adaptive functions in lichens. The climate of Central Yakutia is sharply continental, which manifests itself in a long, cold, low-snow winter and a short, hot dry summer. According to climatic conditions, Central Yakutia ranks second in the Republic in terms of the lowest temperatures in winter, and the first in terms of high temperatures in summer. The annual dynamics of lichen acid accumulation in thallomas of *Cetraria laevigata* Rasm and *Flavocetraria cucullata* (Bellardi) Kärnefelt & Thell in the conditions of Central Yakutia was studied by means of HPLC. It was shown that the maximum content of fumarprotocetraric acid in the thallomas of *Cetraria laevigata* was observed in February and March, and the minimum values in May. It is suggested that fumarprotocetraric acid may have cryoprotective properties due to the formation of a hydrophobic layer in the cell wall of the hyphae of the inner part of the lichen. It was found that the maximal concentrations of usnic, allo-protolichesterinic and protolichesterinic acids in the thalli of *Flavocetraria cucullata* was in June and July, and the minimal one was in January and February. It was revealed that *Cetraria laevigata* and *Flavocetraria cucullata* exhibit a species-specific response to changes in weather conditions, which may be associated with different adaptation strategies and functions of lichen acids in lichen thallomas. The studied species of lichens are part of the feed of reindeer (yagel). The species *Flavocetraria cucullata* is well eaten all year round, especially in winter. Taking into account the antimicrobial activity of usnic acid, part of the thalluses of this lichen, and a high proportion of this species in the fodder base of deer, it may be stated that *Flavocetraria cucullata* has special significance not only in feed but also in veterinary-pharmaceutical respect to reindeer husbandry.

Key words: cryoprotectors, lichens; lichen substances, photoprotectors, Central Yakutia, *Cetraria laevigata*, *Flavocetraria cucullata*.

Acknowledgements. The research was carried out within the framework of state assignment of Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS for 2017-2021 «Fundamental and applied aspects of the study of plant diversity of Northern and Central Yakutia». (AAA-A17-117020110056-0); «Development of biopreparations from tissues of plants and animals of Yakutia on the basis of studying of features of their biochemical structure and mechanisms of adaptation to conditions of the North (AAAAA-A17-117020110055-3); supported by the grant of RFBR 18-44-140019 «Qualitative and quantitative characteristics of cryoprotectors of lichens of the Arctic and subarctic».

References

1. Poryadina L.N., Prokop'ev I.A., Konoreva L.A., Chesnokov S.V., Sleptsov I.V., Filippova G.V., Shashurin M.M. Adaptatsionnye biokhimicheskie mekhanizmy, obespechivayushchie ustojchivost' lishajnikov k ekstremal'nym usloviyam sredy obitaniya (obzor) // Prirodnye resursy Arktiki i Subarkтики, 2018. No. 4 (26). P. 109–117. DOI 10.31242/2618-9712-2018-26-4-109-117.
2. Chalker-Scott L. Environmental significance of anthocyanins in plant stress responses // Photochemistry and Photobiology. 1999. Vol. 70, No. 1. P. 1–9.
3. Hoshino T., Odaira M., Yoshida M., Tsuda S. Physiological and Biochemical Significance of Antifreeze Substances in Plants // Journal of Plant Research. 1999. Vol. 112. P. 255–261.
4. Rykova Yu.V. Rasprostraneniye i zapasy kustistykh lishajnikov na severo-vostoke YAkutii // Rastitel'nost' i pochvy subarkticheskoy tundry. Novosibirsk, 1980. P. 124–139.
5. Muhachev A.D. Olenevodstvo. M.: Agropromizdat, 1990. 272 p.
6. Kuvaev V.B., Samarin V.P. Kormovye rasteniya severnogo olenya v Tomponskom rajone YAkutskoj ASSR

- (Verhoyanskij hrebet) // *Materialy po rastitel'nosti Yakutii*. L., 1961. P. 106–189.
7. *Gavrilova M.K.* Klimat Central'noj Yakutii. Yakutsk: Kn. izd-vo, 1973. 120 p.
 8. *Zaharova V.I.* Raznoobrazie sosudistyh rastenij Central'noj Yakutii. Novosibirsk: Nauka, 2014. P. 3–24.
 9. *Gorohov A.N., Fyodorov A.N.* Sovremennye tendencii izmeneniya klimata v Yakutii // *Geografiya i prirodnye resursy*. 2018. No. 2. P. 111–119. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2018-2(111-119).
 10. *Lawrey J.D.* Biological Role of Lichen Substances // *The Bryologist*. 1986. Vol. 89. P. 111–122. DOI: 10.2307/3242751
 11. *Prokop'ev I.A., Shein A.A., Filippova G.V., Filippov E.V., Shashurin M.M., Gladkina N.P.* Godovaya dinamika sodержaniya usninovoy kisloty v tallomah lishajnikov rodov *Cladonia* i *Flavocetraria*, proizrastayushchih v Central'noj Yakutii // *Himiya rastitel'nogo syr'ya*. 2015. No. 4. P. 45–49.
 12. *Armas R., Oliveira A.K., Vasconcelos T.L., Vicente C., Santiago R., Pereira E.C., Legaz M.F.* Effect of soil moisture on the percolation of lichen substances from *Cladonia verticillaris* (Raddi) Fr. in a quartzarenic neosol from Brazil // *Environmental Science An Indian Hymnal* (ESAIJ). 2016. V. 12(6). P. 243–251.
 13. *Armaleo D., Zhang Y., Cheung S.* Light might regulate divergently depside and depsidone accumulation in the lichen *Parmotrema hypotropum* by affecting thallus temperature and water potential // *Mycologia*. 2008. Vol. 100(4). P. 565–576. DOI: 10.3852/07-162r
 14. *Ravinskaya A.P., Vajnshtejn E.A.* Vliyanie nekotorykh ekologicheskikh faktorov na sodержanie lishajnikov veshchestv // *Ekologiya*. 1975. No. 3. P. 82–85.

About the authors

PROKOPIEV Ilya Andreevich, candidate of biological sciences, leading researcher, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk, 677980, Russia, <https://orcid.org/0000-0001-8755-7140>, ilya.a.prokopiev@gmail.com;

SLEPTSOV Igor Vital'evich, candidate of biological sciences, researcher, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk, 677980, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-5980-579X>, neroxasg@mail.ru;

PORYADINA Lena Nikolaevna, candidate of biological sciences, senior researcher, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk, 677980, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-6445-4269>, poryadina-lena@rambler.ru;

ROZHINA Sakhayana Mikhailovna, Research Assistant, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk, 677980, Russia, <https://orcid.org/0000-0001-7223-9297>, sahayana-rozhina@mail.ru.

Citation

Prokopiev I. A., Sleptsov I. V., Poryadina L. N., Rozhina S. M. Annual dynamics of secondary metabolites in thalloms of *Cetraria laevigata* and *Flavocetraria cucullata* in Central Yakutia // *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2020, Vol. 25, N 1. P. 94–100. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-1-10>

МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Материаловедение

УДК 678.7-13

DOI 10.31242/2618-9712-2020-25-1-11

Влияние размера частиц и концентрации фторсодержащего полимера на свойства морозостойких резин на основе пропиленоксидного каучука

Н.Н. Петрова, В.В. Портнягина

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия
pnn2002@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены проблемы эксплуатации резин и изделий из них в холодном климате, изучены особенности поведения эластомерных материалов уплотнительного назначения при их работе в экстремальных климатических условиях и предложены основные пути создания новых морозостойких резин. На основании представленной схемы получены резины на основе смесей пропиленоксидного каучука (СКПО), обладающего уникальной морозостойкостью ($T_c = -74^\circ\text{C}$), и фторсодержащих полимеров. В соответствии со стандартными методиками, принятыми в технологии резин, исследованы полимерные композиции на основе СКПО и политетрафторэтилена (ПТФЭ) или ультрадисперсного политетрафторэтилена (УПТФЭ), которые отличаются способом получения и степенью дисперсности. Выбранные для модификации резин фторполимеры обладают низким коэффициентом трения, стойкостью в большинстве известных жидкостей, термостойкостью. Методами электронной микроскопии исследованы структура резин и особенности их фазовой морфологии в зависимости от природы использованного в составе композиций фторполимера. Выявлено влияние размеров частиц дисперсной фазы и содержания фторсодержащего компонента на фазовую морфологию и эксплуатационные свойства резин. Показано, что по мере увеличения содержания в смеси ПТФЭ (УПТФЭ) повышается износостойкость резин, но снижается морозостойкость. Введение порошка УПТФЭ, обладающего меньшими размерами частиц, предпочтительнее для получения резин с высоким уровнем как низкотемпературных характеристик, так и износостойкости. Разработаны морозостойкие резины со сбалансированным комплексом свойств, на их составы получены патенты, они рекомендованы к применению.

Ключевые слова: эластомерные материалы, пропиленоксидный каучук, политетрафторэтилен, ультрадисперсный политетрафторэтилен, износостойкость, маслостойкость, морозостойкость, фазовая морфология.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 19-08-00615). Выражаем особую благодарность сотрудникам ФГБУН «Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского» к.т.н., с.н.с. Морозову А.В. и м.н.с. Буковскому П.О. за помощь в проведении триботехнических испытаний резин.

Введение

Освоение северных территорий, богатых природными ресурсами, – один из долгосрочных трендов развития РФ, который в последнее время приобрел особую важность и перспективность. Так, в нашей стране разрабатывается Стратегия «Арктика 2035», в которой будут объединены усилия всех регионов РФ, сформули-

рованы основы государственной политики в этой области и ключевые направления развития. Республика Саха (Якутия), расположенная в зоне холодного климата, экономика которой в основном базируется на развитии добывающих отраслей промышленности, является полигоном для апробации подобных идей. Одна из существенных проблем, возникающих при эксплуатации машин

и механизмов в экстремальных климатических условиях РС (Я), – это недостаточная морозостойкость полимерных деталей, комплектующих технику.

Климат Якутии характеризуется крайне низкими температурами (до -60°C) в зимнее время, частыми их изменениями с переходом через 0°C с амплитудой до $30\div 40^{\circ}\text{C}$ в осенне-весенний период, высоким содержанием ультрафиолета вследствие высокой прозрачности атмосферы и большого количества солнечных дней. Все это способствует более быстрому старению полимеров по радикальному механизму и выходу из строя полимерных материалов и изделий из них при эксплуатации в зимних условиях. Материал изделий становится хрупким, теряет свою эластичность вследствие значительного понижения температуры окружающего воздуха, примерзает к металлическим поверхностям и разрушается при приложении нагрузки (например, при запуске двигателя в момент страгивания). Масштаб таких отказов в работе в зимнее время значителен (до 30 % из общего числа) и обуславливает простой оборудования, необходимость проведения ремонтных работ, иногда в не приспособленных для этого условиях, может инициировать техногенные катастрофы и негативные последствия для окружающей среды [1].

Эластомеры – особый класс полимеров, обладающих интересным комплексом свойств, отличающихся от большинства известных термопластов, терморектопластов или полимерных волокон. Для них характерны высокоэластичность, т. е. способность подвергаться значительным (до тысячи процентов и более) обратимым деформациям при малых значениях напряжений, вызывающих эти деформации, низкий модуль в сочетании с механической прочностью, работоспособность в широком интервале температур. Ряд каучуков специального назначения обладает стойкостью в углеводородных и других агрессивных средах, газонепроницаемостью, высокими демпфирующими свойствами и устойчивой выносливостью. Более половины всех производимых в мире каучуков используются для изготовления автомобильных шин, оставшаяся часть широко применяется в производстве разнообразных уплотнительных деталей (манжеты, прокладки, сальники и т.д.), ремней, шлангов, обуви и товаров повседневного спроса. Условия эксплуатации этих изделий очень разнообраз-

ны, и для сохранения своей работоспособности они должны обладать определенным набором свойств, за каждое из которых могут отвечать разные элементы структуры эластомерного материала. Резины представляют собой сложные многокомпонентные системы, включающие, помимо каучука, вулканизирующие агенты, обеспечивающие сшивание макромолекул и образование сетки вулканизационных связей, ускорители и активаторы вулканизации, активные наполнители, повышающие прочностные характеристики, пластификаторы, регулирующие вязкость и снижающие температуру стеклования каучука, противостарители и т. д. [2, 3].

При эксплуатации в экстремальных климатических условиях Республики Саха (Якутия) требования, предъявляемые к резинотехническим изделиям (РТИ) уплотнительного назначения, предназначенным для герметизации соединений и технологических узлов, ужесточаются. Они должны обладать высокой морозостойкостью, которая традиционно характеризуется температурой стеклования (предельный уровень сохранения высокоэластических свойств при отрицательных температурах), и коэффициентом морозостойкости, отражающим степень сохранения высокоэластических свойств при низких температурах. Должны иметь высокую стойкость к воздействию агрессивных рабочих сред (масла, топливо, смазки) и противостоять абразивному воздействию при эксплуатации в подвижных соединениях, что обеспечивается достаточным уровнем прочностных характеристик и износостойкостью. Сочетание этих свойств в одном материале – достаточно сложная задача, поскольку за них отвечают разные факторы, определяющие структуру и химический состав эластомерного материала. Низкотемпературная эластичность зависит прежде всего от кинетической гибкости цепей каучука, а стойкость к воздействию углеводородных сред определяется наличием в составе карбоцепного полимера полярных группировок, затрудняющих вращение вокруг С–С-связей и повышающих жесткость цепи [4]. За морозостойкость отвечает весь объем образца, а масло- и износостойкость – преимущественно поверхностные свойства, поскольку как набухание материала при взаимодействии со средой, так и износ начинаются с поверхности.

Природа проявлений эластомером низкотемпературной эластичности и агрессивностойких

свойств различна, поэтому большинство способов, приводящих к повышению морозостойкости, ухудшают маслостойкость и наоборот. Характерный пример – бутадиен-нитрильные каучуки с различным содержанием нитрила акриловой кислоты: при увеличении содержания в эластомере полярных группировок с 18 до 40 %, сопровождающемся повышением стойкости каучуков в углеводородных средах, нижняя граница проявления высокоэластичности каучука – температура стеклования – сдвигается в область более высоких температур с -50 до -30 °С.

Традиционно резина марки В-14 на основе бутадиен-нитрильного каучука БНКС-18 исполь-

зуется для изготовления РТИ, которые эксплуатируются в составе арктической техники. Температура стеклования БНКС-18 составляет -50 °С при удовлетворительной стойкости в углеводородных средах. Введение до 30 мас.ч. пластификаторов, влияющих на уровень межфазного взаимодействия и гибкость каучука, например дибутилфталата, позволяет существенно улучшить морозостойкость резин. Однако, как показали проведенные нами натурные испытания [5], при эксплуатации в углеводородных средах значительная часть пластификатора вымывается в течение первого года экспозиции. Эти выводы были подтверждены при многократных длитель-

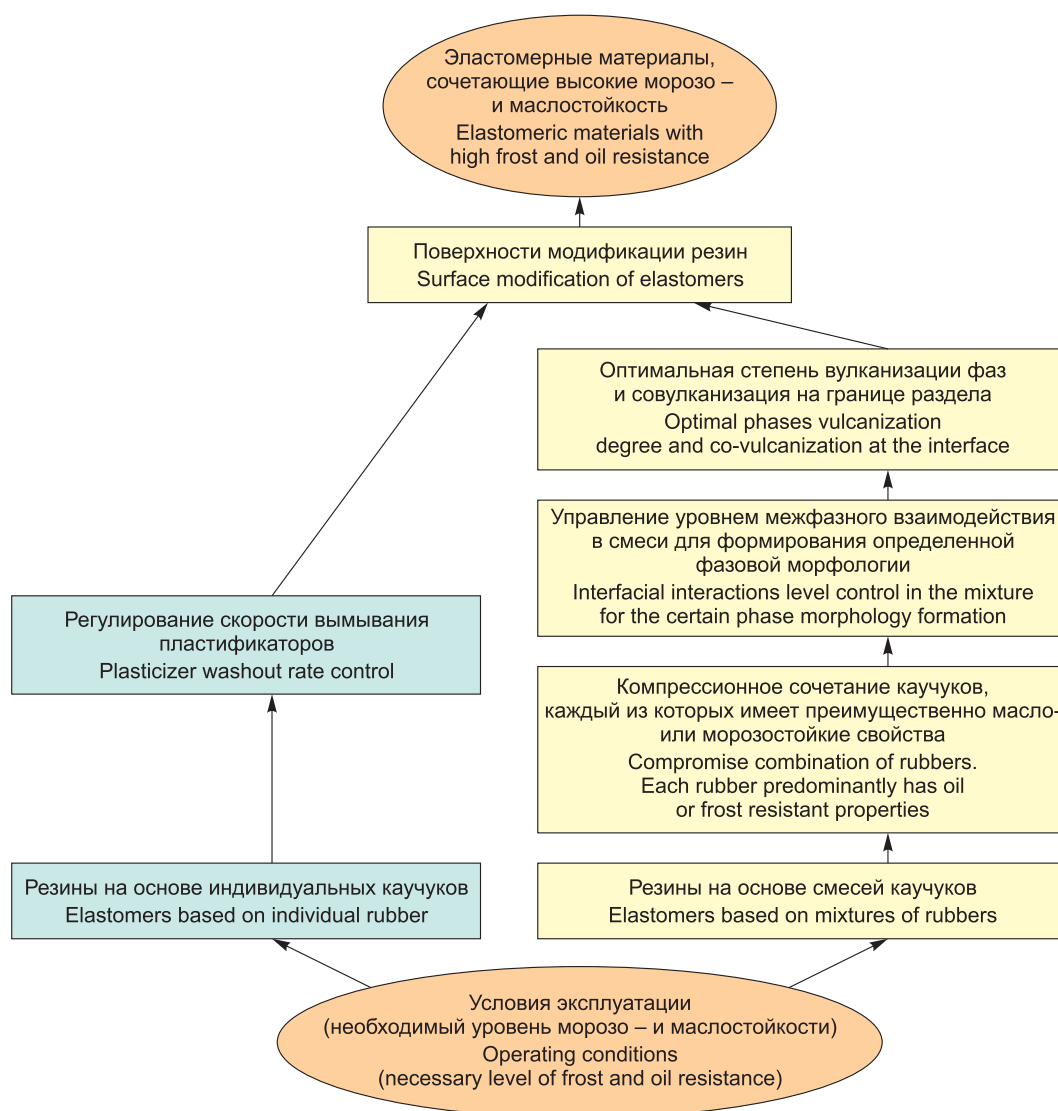


Рис. 1. Пути создания материалов с высоким уровнем морозо- и маслостойкости.

Fig. 1. Ways to create materials with a high level of frost and oil resistance.

ных испытаниях резин разного состава на основе бутадиен-нитрильных каучуков в нефти в климатических условиях Якутии [6]. Решением данной проблемы, по нашему мнению, может стать широкое применение новых каучуков уникальной морозостойкости, среди которых – пропиленоксидный каучук (СКПО). Он представляет сополимер пропиленоксида и алиллглицидового эфира ($T_c = -74\text{ }^{\circ}\text{C}$) [7, 8], производится в опытно-промышленных масштабах в Стерлитамаке (РФ). Резины на основе СКПО отлично зарекомендовали себя при натурных испытаниях в климатических условиях РС (Я) в течение 2 лет, после экспозиции в нефти коэффициент морозостойкости исследованных резин оставался стабильно высоким. Наличие простых эфирных связей в основной цепи СКПО обеспечивает высокую гибкость и подвижность каучука, которая не зависит от количества введенных пластификаторов, однако, износостойкость и маслостойкость его нуждаются в улучшении.

Для соединения в одном материале разнообразных свойств, иногда альтернативного характера, наиболее часто используется композиционный принцип, когда в одном материале сочетаются полимеры разной полярности и химической структуры и существующие противоречия между природой проявления свойств (в нашем случае это морозо- и маслостойкость, морозо- и износостойкость) преодолеваются на надмолекулярном уровне за счет создания оптимальной фазовой морфологии смеси [9]. Нами на модельных системах были проведены систематические исследования влияния фазовой морфологии резин на основе смесей каучуков на их масло- и морозостойкость. Была предложена принципиальная схема создания подобных материалов (рис. 1).

Данная схема была предложена на основе анализа экспериментального материала по изучению взаимосвязи параметров фазовой морфологии композиционных материалов на основе модельных смесей СКИ-3 (цис-1,4-полиизопрен, $T_c = -57\text{ }^{\circ}\text{C}$) и фторкаучуков (СКФ-26, СКФ-32, $T_c = -14 \div -20\text{ }^{\circ}\text{C}$) и их эксплуатационных свойств. В композициях СКИ-3 каучук общего назначения, ввиду полного отсутствия маслостойкости, отвечал за морозостойкость резин, а фторкаучук – за стойкость в углеродных средах. Данная пара полимеров является термодинамически не совместимой, что определяло грубодисперсную структуру исходных композиций. Пра-

вильный выбор соотношения полимерных компонентов, наполнителя и способа его введения, модифицирующих добавок и компатибилизаторов, регулирующих уровень межфазного взаимодействия, варьирование технологии производства позволили создать в исследованных резинах тонкодисперсную структуру (СКИ-3 – матрица, фторкаучук – дисперсная фаза с размерами частиц от 0,1 до 1,5 мкм) с повышенным взаимодействием компонентов, которая обеспечивала высокую низкотемпературную эластичность материала и приемлемую стойкость в углеводородных средах. Этот подход оказался плодотворным для создания целого класса новых морозостойких эластомерных материалов для эксплуатации в условиях Крайнего Севера.

Таким образом, свойства и структура смесей эластомеров рассматриваются с позиций коллоидно-химического подхода, учитывающего природу гетерогенных фаз, соотношение полимерных компонентов смеси, размер частиц дисперсной фазы, интенсивность взаимодействия на границе раздела и фазовую морфологию, которая формируется на стадии смешения и окончательно фиксируется в процессе вулканизации [10–12]. Правильный подбор рецептурно-технологических факторов, способа переработки эластомерного материала позволяет достичь равномерного распределения полимерных компонентов по объему матрицы и малых размеров частиц дисперсной фазы.

Целью данной работы является исследование влияния размеров частиц дисперсной фазы, соотношения полимерных компонентов, уровня межфазного взаимодействия на морозо-, масло- и износостойкость резин на основе смесей пропиленоксидного каучука и различных видов политетрафторэтилена.

Политетрафторэтилен (ПТФЭ) широко используется для модификации резин с целью увеличения их термической стойкости, придания гидрофобности, агрессивностности и улучшения триботехнических характеристик [13–32]. Политетрафторэтилен разных марок и различной степени дисперсности вводили в качестве наполнителя в резиновые смеси на основе бутадиен-нитрильного каучука [17, 25, 26], силоксановых каучуков [14, 21, 24, 28, 30], полиуретанов [28], полихлоропреновых каучуков и этиленпропилендиенового каучука [15, 21–23, 29].

В ходе ранних исследований ПТФЭ вводили в резины традиционным образом на смесительном оборудовании в виде порошка без какой-либо дополнительной обработки, однако, таким способом можно ввести не более 20 мас.ч., при этом многие полезные свойства ПТФЭ в полученных материалах не были до конца реализованы [21]. В настоящее время широкое распространение в качестве наполнителя резин получили микро- и наноразмерные порошки ПТФЭ. Микропорошки, размеры частиц в которых намного меньше, чем в ПТФЭ, получили широкое распространение для создания большого количества так называемых скользких полимерных материалов с низким коэффициентом трения.

Политетрафторэтилен ввиду своей инертности, малой адгезии к другим полимерам имеет малое межфазное взаимодействие с большинством исследованных эластомерных матриц, поэтому большое значение для получения резин с высокими свойствами имеет введение добавок, улучшающих межфазное взаимодействие. Например, в работе [32] в качестве компатибилизатора в композициях силоксановый каучук/ ПТФЭ использовался фторсилоксан, что приводило к значительному улучшению прочности и сопротивления раздиру полученных композитов. Другой возможный путь улучшения свойств композиций – применение порошков ПТФЭ со специально химически модифицированной поверхностью для обеспечения высокой адгезии к эластомерной матрице. Для улучшения межфазного взаимодействия в композициях на основе каучуков также используют радиационно-модифицированный ПТФЭ [14, 33].

Таким образом, анализ литературных данных показывает, что политетрафторэтилен широко используется для модификации каучуков различной химической природы, при этом достигается значительное улучшение триботехнических характеристик, механических свойств, стойкости в агрессивных средах полученных резин. Снижение размеров частиц порошка ПТФЭ, обработка поверхности частиц различными методами (облучение, химическая прививка функциональных групп), введение специальных добавок, повышающих межфазное взаимодействие в системе эластомер–ПТФЭ положительно влияют на равномерность распределения частиц ПТФЭ в эластомерной матрице, механические и триботехнические характеристики. Как показывает анализ первоисточников, ПТФЭ не был ранее ис-

пользован для совмещения с пропиленоксидным каучуком. Поэтому, учитывая уникальные морозостойкие свойства СКПО, представляет интерес использовать обозначенные выше подходы для создания новых типов морозостойких резин уплотнительного назначения, предназначенных для эксплуатации в условиях Крайнего Севера.

Материалы и методы исследования

Для создания морозостойких резин в данном исследовании применяли пропиленоксидный каучук, произведенный по ТУ 2294-067-16810126-2003 и обладающий уникальной морозостойкостью, озоно- и термостойкостью [7, 8]. Для увеличения масло- и износостойкости резин на основе СКПО были разработаны композиционные материалы, которые дополнительно содержали полностью фторированные полимеры, различающиеся способом производства и размерами частиц. В СКПО вводили как традиционный ПТФЭ (ГОСТ 10007-80), так и ультрадисперсный политетрафторэтилен (УПТФЭ, ТУ 2229-004-02698192-2002), полученный газовой конденсацией продуктов разложения ПТФЭ [34]. Оба полимера обладают низким коэффициентом трения, работоспособностью в широком диапазоне температур (вплоть до 350 °С), уникальной химической стойкостью, не набухают в углеводородных средах [34, 36]. УПТФЭ (товарный знак «Форум»), созданный в Институте химии ДВО РАН по термогазодинамическому методу, по некоторым характеристикам, таким как малый размер и форма частиц, повышенные адгезионные свойства к различным поверхностям, чувствительность к механическим воздействиям, несколько отличается от промышленных порошков ПТФЭ (фторопласт-4) [35, 36].

На рис. 2 представлены электронные микрофотографии порошков ПТФЭ и УПТФЭ. Анализ изображений показывает, что размер частиц ПТФЭ значительно выше, чем у ультрадисперсного ПТФЭ. Кроме того, первичные глобулы ПТФЭ собираются в агрегаты, которые при введении в резиновые смеси, по-видимому, сохраняют свою форму, поскольку температурные интервалы переработки резин и ПТФЭ абсолютно разные. Так, политетрафторэтилен перерабатывают при температурах 370–400 °С [40], а температура вулканизации резин не превышает 150 °С. Ультрадисперсный ПТФЭ при общей химической формуле с ПТФЭ отличается от последнего наличием некоторого количества низкомолеку-

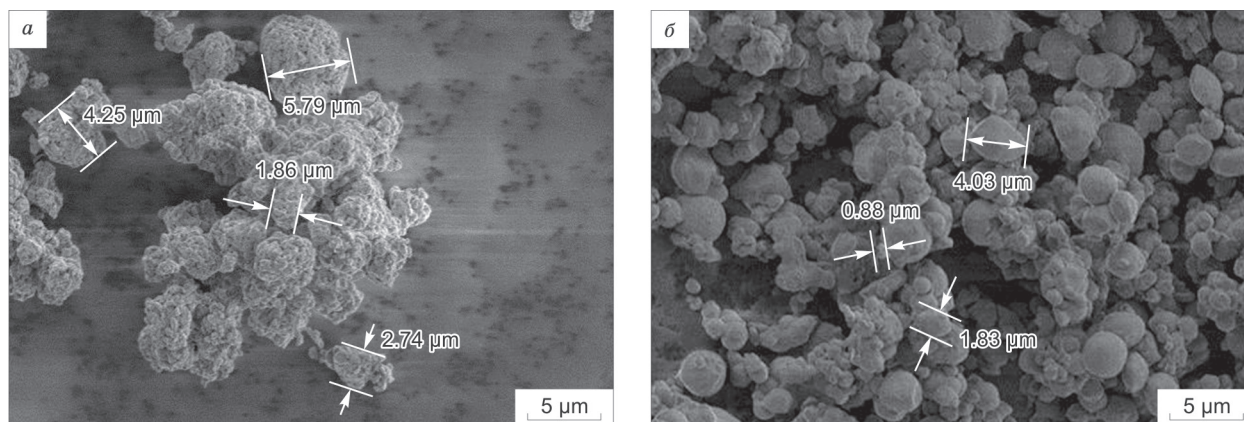


Рис. 2. Электронные микрофотографии порошков ($\times 3000$): *a* – ПТФЭ, *б* – УПТФЭ.

Fig. 2. SEM images ($\times 3000$): *a* – PTFE; *б* – UPTFE.

лярной фракции [34, 36–38], что обуславливает меньшие размеры глобул в исходном порошке.

Исследованные композиции на основе СКПО содержали разное количество фторсодержащих полимеров. В первой партии экспериментов содержание ПТФЭ и УПТФЭ составляло от 0,5 до 20 мас.ч. на 100 мас.ч. каучука. Введение более 20 мас.ч. ПТФЭ в резиновую смесь приводило к потере технологических и эксплуатационных свойств полученных материалов. Во второй серии экспериментов содержание УПТФЭ было решено увеличить от 20 до 50 мас.ч. на 100 мас.ч. каучука, значительное увеличение концентрации фторполимера в резиновой смеси не приводило к резкому ухудшению технологических свойств и перерабатываемости резиновой смеси.

Для регулирования интенсивности межфазного взаимодействия в резиновые смеси на основе СКПО и ПТФЭ, СКПО и УПТФЭ в качестве добавки, влияющей на фазовую морфологию смесей полимеров, вводили цеолитовую пасту в количестве 15 мас.ч. Паста на основе природных цеолитов якутского месторождения Хонгуруу была получена в мельнице-активаторе планетарного типа АГО-2 при совместной механохимической активации цеолитов и пластификатора при массовом соотношении 60:40 в течение 1 мин. Природные цеолиты – каркасные алюмосиликаты, представляют собой высокоэффективные адсорбенты с высокой удельной поверхностью и размером входных окон 4–11 Å, причем на цеолитах преимущественно адсорбируются полярные молекулы [41]. Результаты ИК-спектроскопии цеолитов, пластификатора и пасты на их основе свидетельствуют об интенсивном взаимодействии исходных компонентов в мельнице-активаторе [42].

Цеолитовая паста хорошо зарекомендовала себя при введении в резиновые смеси [43], ее можно рассматривать как компатибизатор в гетерогенных полимерных системах.

Резиновые смеси изготавливали в пластикоре «Brabender» PL 2200, а затем вулканизовали в электрическом прессе. Рецептуры резин по своему составу были однотипны и содержали все необходимые ингредиенты резиновых смесей. Для вулканизации эластомерной матрицы использовали серно-ускорительную систему, ПТФЭ относится к классу термопластов и не требует вулканизации. В качестве наполнителя был использован технический углерод.

Основные эксплуатационные характеристики резин изучали с помощью стандартных методов: физико-механические показатели в соответствии с ГОСТ 270-84, степень набухания по ГОСТ 9.030-74, износостойкость резин по ГОСТ 426-77, коэффициент морозостойкости по эластическому восстановлению при растяжении – согласно ГОСТ 408-78. Трибологические испытания резин проведены в Институте проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН (г. Москва) на трибометре UMT-2 по методике, изложенной в работах [39, 44], сопротивление резин абразивному износу также изучали на машине трения МИ-2 и приборе АР-40.

Структуру резин исследовали с помощью электронного микроскопа JSM-6480LV (JEOL, Япония), снабженного рентгеноспектральной приставкой «Oxford».

Результаты и обсуждение

Влияние концентрации фторполимера на основные свойства резин на основе СКПО. Измене-

Таблица 1

Основные свойства резин на основе смесей СКПО и фторполимеров

Table 1

The main properties of rubbers based on mixtures of SKPO and fluoropolymers

Наименование	Содержание фторполимера, мас.ч.	f_p , МПа	ΔV , см ³	Q, %, (нефть, 70 °C × 3 сут.)	K _м , %	
					T = -20 °C	T = -50 °C
СКПО исх.	0	7,2	0,23	22,0	0,95	0,82
СКПО + ПТФЭ	5	8,2	0,21	18,5	0,61	0,44
	10	8,9	0,18	19,9	0,63	0,38
	15	8,5	0,15	20,4	0,84	0,64
	20	8,5	0,11	18,0	0,69	0,47
	20	8,5	0,11	18,0	0,69	0,47
СКПО+УПТФЭ	5	5,9	0,14	21	0,92	0,85
	10	5,6	0,14	22	0,87	0,78
	15	5,9	0,18	22,5	0,89	0,8
	20	5,5	0,14	23	0,97	0,83

Примечание. Здесь и в таблице 2: f_p – условная прочность при растяжении, МПа; ΔV – объемный износ, см³; Q – степень набухания в нефти (70 °C, 3 суток), %; K_м – коэффициент морозостойкости по эластическому восстановлению при растяжении на 100 % при -20 и -50 °C.

Note. Here and in Table 2: f_p – tensile strength, МПа; ΔV – volumetric wear, which was determined on a friction machine MI-2, cm³; Q – the degree of swelling in oils MS-8P, SM-4,5 and MS-20 (70 °C, 3 days), %; K_м – frost resistance coefficient by elastic recovery under tension by 100% at -20 and -50 °C.

ние основных эксплуатационных свойств исследованных резин при введении фторполимеров представлено в табл. 1. При проведении испытаний контролировали прочностные свойства, объемный износ резин (прибор АР-40), степень набухания в нефти и коэффициент морозостойкости по эластическому восстановлению при растяжении (K_м), определенный при -20 и -50 °C, как основные показатели, характеризующие работу РТИ уплотнительного назначения.

Влияние фторполимеров (ПТФЭ, УПТФЭ) на основные эксплуатационные показатели полученных композиционных материалов на основе СКПО индивидуально. Однако, анализ полученных данных позволяет выделить некоторые общие закономерности изменения свойств. По мере увеличения содержания фторсодержащего компонента снижается объемный износ изученных эластомерных материалов. Фторопласт и его разновидности являются антифрикционными материалами, коэффициент трения ПТФЭ – один из самых низких среди существующих полимеров. При увеличении концентрации ПТФЭ, УПТФЭ в СКПО все больше фторсодержащего компонента содержится в единице объема образца, что приводит к существенному повышению износостойкости композиций: для резин, содержащих ПТФЭ, при введении 20 мас.ч она увеличи-

вается на 52 %, а при введении такого же количества УПТФЭ на 39 % соответственно (см. табл.1).

Аналогичным образом изменяется маслостойкость резин на основе СКПО и ПТФЭ: чем меньше в композиции набухающего в среде компонента, тем меньше степень набухания резин. Снижение степени набухания полученных резин составляет 18 % при некотором увеличении их прочности. Для резин, содержащих УПТФЭ, эта тенденция не столь явная. Степень набухания резин, содержащих от 5 до 20 мас.ч. фторполимера на 100 мас.ч. СКПО, практически не меняется, а прочность даже несколько снижается.

При проведении дополнительных испытаний для резин на основе СКПО/ УПТФЭ было замечено, что наиболее резкие изменения степени набухания и объемного износа происходят при введении малых количеств (0,5 ÷ 2 мас.ч.) фторполимерной добавки (рис. 3), а затем по мере увеличения ее содержания изменения носят менее выраженный характер. Так, при введении 0,5 мас.ч. УПТФЭ в резиновую смесь объемный износ снижается на 47 %, а степень набухания на 26 %.

Исследованные выше показатели являются преимущественно поверхностными свойствами: как износ, так и набухание в средах начинаются с поверхности материала. С этим связан извест-

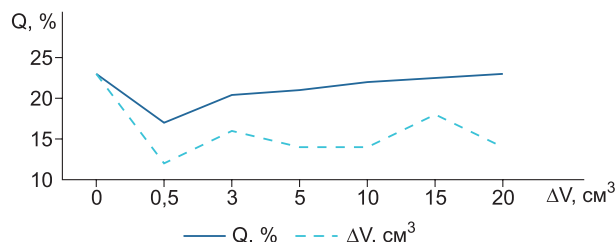


Рис. 3. Влияние содержания УПТФЭ на степень набухания и объемный износ резины на основе СКПО/УПТФЭ.

Fig. 3. Effect of UPTFE content on the degree of swelling and volumetric wear of rubbers based on SKPO / UPTFE.

ный способ их повышения путем нанесения защитных покрытий. При правильном выборе материала покрытия и обеспечении адгезии и надежной прочности связи между покрытием и субстратом эта проблема может быть решена почти полностью. Не так дело обстоит с морозостойкостью. Она определяется гибкостью и подвижностью цепей макромолекул [4], при этом за морозостойкость отвечает весь объем материала.

По мере увеличения содержания ПТФЭ, играющего роль жесткого полимерного наполнителя эластомерной матрицы, происходит существенное снижение K_m резины, как при -50°C , так и при более высокой температуре (см. табл. 1). Для резины на основе СКПО, содержащих УПТФЭ, коэффициенты морозостойкости близки к исходному значению, высокоэластические свойства материалов сохраняются при низких температурах практически полностью.

Подобные изменения свойств могут быть объяснены особенностями фазовой морфологии полученных смесевых резины. На рис. 4 представлены электронные микрофотографии сколов образцов на основе исходного СКПО и резины, модифицированных 20 мас.ч. ПТФЭ и УПТФЭ. Сколы были получены в жидком азоте, они характеризуют распределение фторсодержащего компонента в объеме эластомерной фазы. В рассмотренных композициях пропиленоксидный каучук образует непрерывную фазу, в которой диспергированы частицы фторполимера. В случае резины, содержащих ПТФЭ (см. рис. 4, б), размеры фазы частиц дисперсной фазы гораздо выше, чем для резины, содержащих УПТФЭ (см. рис. 4, в). Вследствие этого при введении в СКПО они сдерживают развитие высокоэластической деформации, мешая перестройке структуры при понижении температуры, что приводит к сниже-

нию коэффициента морозостойкости. В случае введения в резиновую смесь более мелких частиц УПТФЭ между частицами остается значительное расстояние, в целом, эластомерная матрица становится менее жесткой, чем в случае использования ПТФЭ. По этой же причине ультрадисперсный политетрафторэтилен можно ввести в эластомерный материал в значительно большем количестве.

Представляет интерес оценить, как меняется распределение частиц УПТФЭ в эластомерной матрице при переходе от малых степеней наполнения (1,5 мас.ч.) до более высоких (рис. 5), что позволяет сделать рентгеноспектральный приставка, присоединенная к электронному микроскопу для идентификации надмолекулярных образований. При малой концентрации частицы УПТФЭ достаточно равномерно распределены в объеме фазы, по мере увеличения их содержания происходит укрупнение частиц вследствие агрегирования, что существенно образом сказывается на свойствах полученных резины. Резервы наполнения еще не исчерпаны, т. е. можно еще увеличить содержание УПТФЭ, это и было сделано в следующей части исследования.

Введение УПТФЭ в количестве от 0,5 до 2 мас.ч. [4] приводит к улучшению износостойкости, снижению степени набухания, что связано с некоторым перераспределением полимерного наполнителя между поверхностью и объемом материала, которое было зафиксировано с помощью электронной микроскопии, методом дифрактометрического рентгеновского анализа. Введение 0,5÷2 мас.ч. УПТФЭ в СКПО по степени воздействия сопоставимо с введением 20 мас.ч. более крупнодисперсного ПТФЭ, при этом сохраняется высокий уровень морозостойкости (рис. 6).

Особенно привлекательно это выглядит с экономической точки зрения, поскольку фторсодержащие полимеры являются достаточно дорогими продуктами. Однако по мере изнашивания поверхностных слоев, обладающих повышенным содержанием УПТФЭ, износостойкость такого эластомерного материала должна снижаться. Поэтому для получения износостойких материалов, имеющих более стабильный характер работы в процессе абразивного износа, представляет интерес получение композитов на основе СКПО с высокой степенью наполнения ультрадисперсным политетрафторэтиленом.

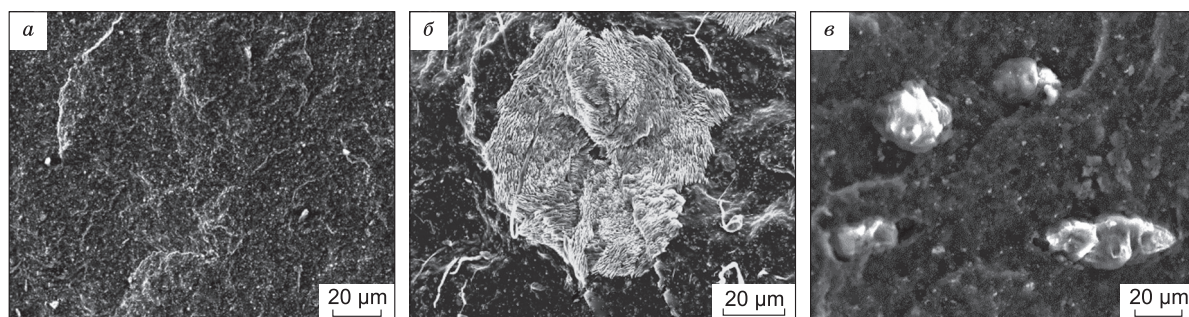


Рис. 4. Электронные микрофотографии образцов резин на основе исходного СКПО (а), СКПО и 20 мас.ч. фторопласта Ф-4 (б), СКПО и 20 мас.ч. УПТФЭ (в) при увеличении $\times 800$.

Fig. 4. SEM images in the volume of a samples based on unfilled SKPO (a), SKPO and 20 phr fluoroplastic F-4 (b), SKPO and 20 phr UPTFE (c) at $\times 800$ magnification.

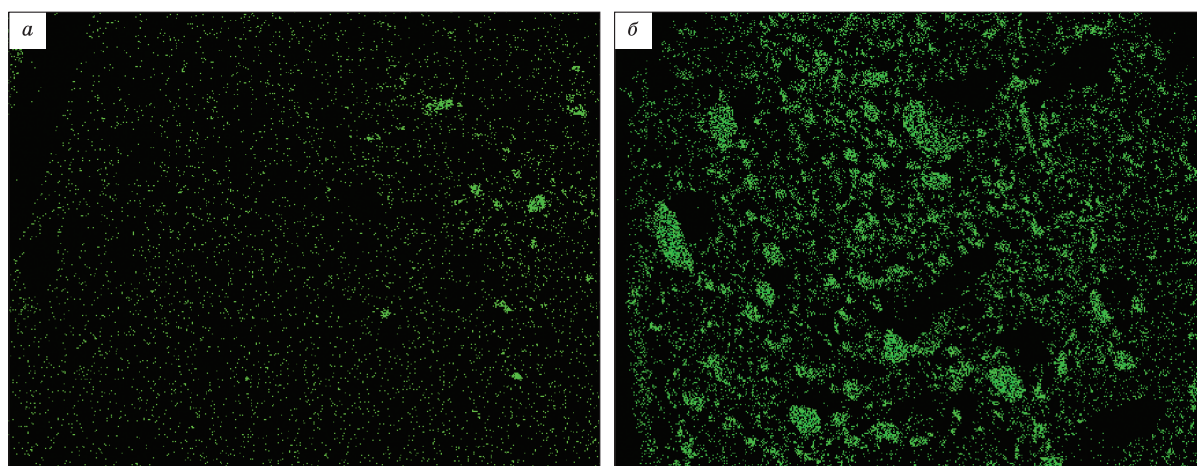


Рис. 5. Карта распределения элемента фтора в объеме композиций на основе СКПО, содержащих 1,5 мас.ч. (а) и 20 мас.ч. (б) УПТФЭ при увеличении в 100 раз.

Fig. 5. Map of the distribution of fluorine in the sample volume for compositions based on SKPO containing 1.5 phr (a) and 20 phr (b) UPTFE at $\times 100$ magnification.

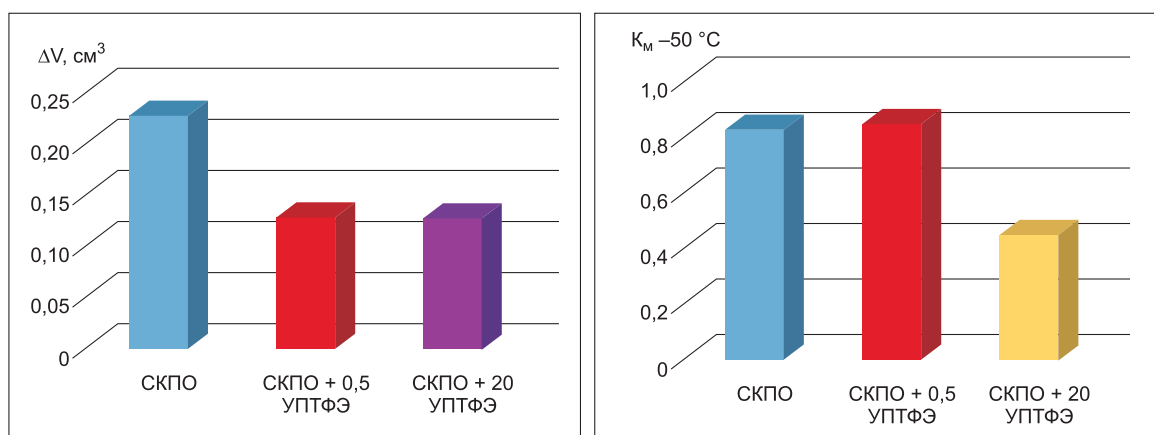


Рис. 6. Зависимость значений объемного износа и коэффициента морозостойкости при -50°C композитов на основе СКПО от содержания и типа фторполимера.

Fig. 6. Dependence of the values of volumetric wear and coefficient of frost resistance at -50°C of composites based on SKPO on the content and type of fluoropolymer.

Основные свойства резины на основе СКПО и УПТФЭ

Table 2

The main properties of materials based on SKPO and UPTFE

Наименование	f_p , МПа	$Q_{CM-4,5}$, %	Q_{MC-20} , %	Q_{MC-8} , %	ΔV , %	$K_{-20}^{\circ C}$	$K_{-50}^{\circ C}$
СКПО исходный	8,8	16,96	16,13	26,65	0,907	0,8487	0,6697
СКПО+50УПТФЭ	6,9	12,50	8,24	13,13	0,715	0,6510	0,2757

Резины с высокой степенью наполнения ультратонкодисперсным политетрафтортиленом. В резиновую смесь на основе пропиленоксидного каучука вводили последовательно 20, 30, 40 и 50 мас.ч. УПТФЭ. Характер полученных зависимостей во многом аналогичен зависимостям, полученным для смесей на основе СКПО, наполненных ПТФЭ. По мере увеличения содержания УПТФЭ существенно снижаются объемный износ и степень набухания резин в углеводородных средах (промышленные масла марок МС-8П, СМ-4,5 и МС-20), что несомненно является по-

ложительным фактом, но при этом одновременно ухудшаются значения K_m .

В табл. 2 приведены свойства композиционного материала, содержащего 50 мас.ч. УПТФЭ на 100 мас.ч. СКПО, который характеризуется достаточным уровнем прочности, высокими триботехническими свойствами и стойкостью в авиационных маслах (увеличение в 2 раза). Коэффициент морозостойкости данной резины ниже, чем у исходного материала, но эти значения даже несколько превышают морозостойкость резин на основе БНКС-18, традиционно используемых для

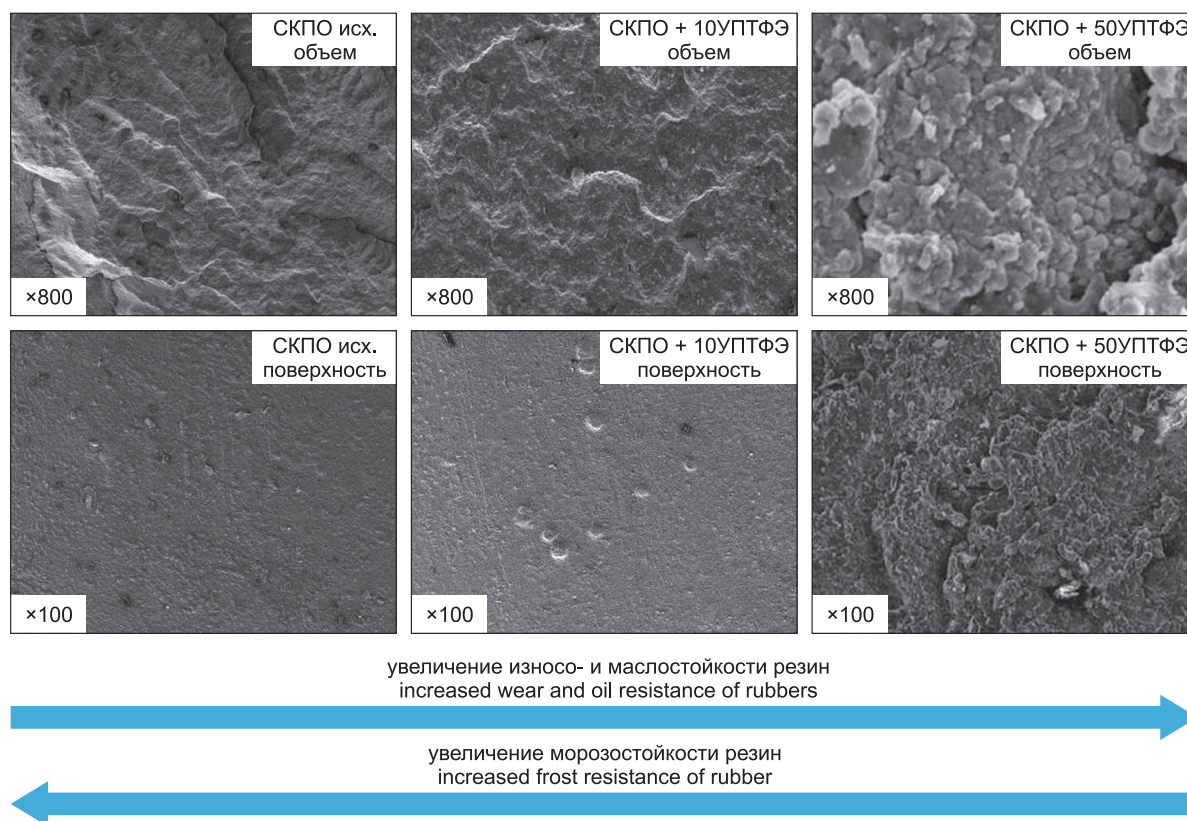


Рис. 7. Зависимость фазовой морфологии и свойств резин на основе СКПО от содержания УПТФЭ в объеме и на поверхности материала.

Fig. 7. The dependence of the phase morphology and properties of rubbers based on SKPO on the content of UPTFE in the volume and on the surface of the material.

производства уплотнительных материалов и изделий для техники Севера [42]. Кроме того, морозостойкость в данном случае обеспечивается не пластификаторами, которые экстрагируются контактирующей с изделием средой, а эластомерной матрицей, т. е. можно предположить, что данный показатель будет стабильным на протяжении всего периода эксплуатации РТИ.

Совместно с сотрудниками Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН (г. Москва) [39, 44] для резины, содержащей 50 мас.ч. УПТФЭ, были детально исследованы триботехнические свойства разработанного материала при комнатной и отрицательной температурах. Как показали исследования, резина продемонстрировала низкий коэффициент трения, что объясняется наличием в составе УПТФЭ, и стабильную работу при всех исследованных температурах и нагрузках. Коэффициент трения для данной резины при комнатной температуре в зависимости от скорости скольжения и приложенной нагрузки изменяется от 0,3 до 1,8, а при $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ – в пределах от 0,8 до 1,2, что существенно ниже, чем для промышленных резин на основе БНКС-18. Так, коэффициент трения, измеренный в этих же условиях, для резины марки В-14 на основе БНКС-18, при комнатной температуре варьируется в пределах от 1,1 до 1,9, при $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ лежит в интервале от 0,75 до 1,5.

Суммировать полученные результаты позволяет схема, представленная на рис. 7.

На рисунке представлено изменение фазовой морфологии исследованных резин в объеме материала и на его поверхности, а стрелками обозначены направления изменения основных эксплуатационных свойств резин. Для повышения износ- и маслостойкости резин необходимо увеличивать содержание фторсодержащего компонента, при этом предпочтительнее использовать более высокодисперсные полимерные продукты, ультрадисперсный политетрафторэтилен по сравнению с традиционным ПТФЭ (фторопласт-4) более эффективен. В пределе содержание УПТФЭ в СКПО может составлять 50 мас.ч., при этом будет получен материал с высокими триботехническими характеристиками при приемлемом уровне остальных эксплуатационных свойств, который обладает высокой стабильностью работы в условиях абразивного износа. Если же износостойкость эластомерного материала менее важна для решения определенных технических

задач (например, разработка уплотнений неподвижного типа), но необходимо обеспечить высокую морозостойкость, то дозировка фторполимера должна быть уменьшена. То есть, варьируя состав резин, размер частиц дисперсной фазы второго полимера, мы воздействуем на фазовую морфологию композиций и изменяем эксплуатационные показатели полученных материалов.

Влияние цеолитовой пасты на структуру и свойства резин на основе СКПО и фторполимеров. Вкратце хочется упомянуть еще об одном способе воздействия на структуру резин на основе смесей полимеров. Это применение специальных добавок, улучшающих межфазное взаимодействие на границе раздела полимерных фаз, так называемых компатибилизаторов [10, 12, 27]. В представляемой работе рассмотрено влияние специально синтезированной пасты на основе природных цеолитов и пластификатора (например, дибутилфталат, дибутоксизетиладипинат). Данная добавка была опробована в смесях СКПО/ПТФЭ и СКПО/УПТФЭ, она увеличивает межфазное взаимодействие, способствует некоторому перераспределению фторсодержащего компонента между поверхностью и объемом материала, что позволяет регулировать фазовую морфологию резин и уровень основных характеристик. Для примера на рис. 8 приведены фазовая морфология резин и свойства резин на основе СКПО и ПТФЭ, содержащих и не содержащих пасту на основе цеолитов и пластификатора дибутилфталата, в зависимости от соотношения полимерных компонентов в смеси. Свойства резин существенно варьируются в зависимости от состава композиций.

Заключение

Таким образом, полученные нами результаты подтвердили на практике правильность сделанных ранее предположений об принципиальных подходах для разработки эластомерных материалов с высоким уровнем морозо-, масло- и износостойкости (см. рис. 1). Богатый арсенал рецептурно-технологических методов воздействия на полимерные материалы позволяет в широких пределах варьировать структуру и свойства получаемых материалов. В данной статье были продемонстрированы возможности лишь некоторых способов воздействия на эластомерные материалы на основе смесей разных по своей природе полимеров на примере композиций

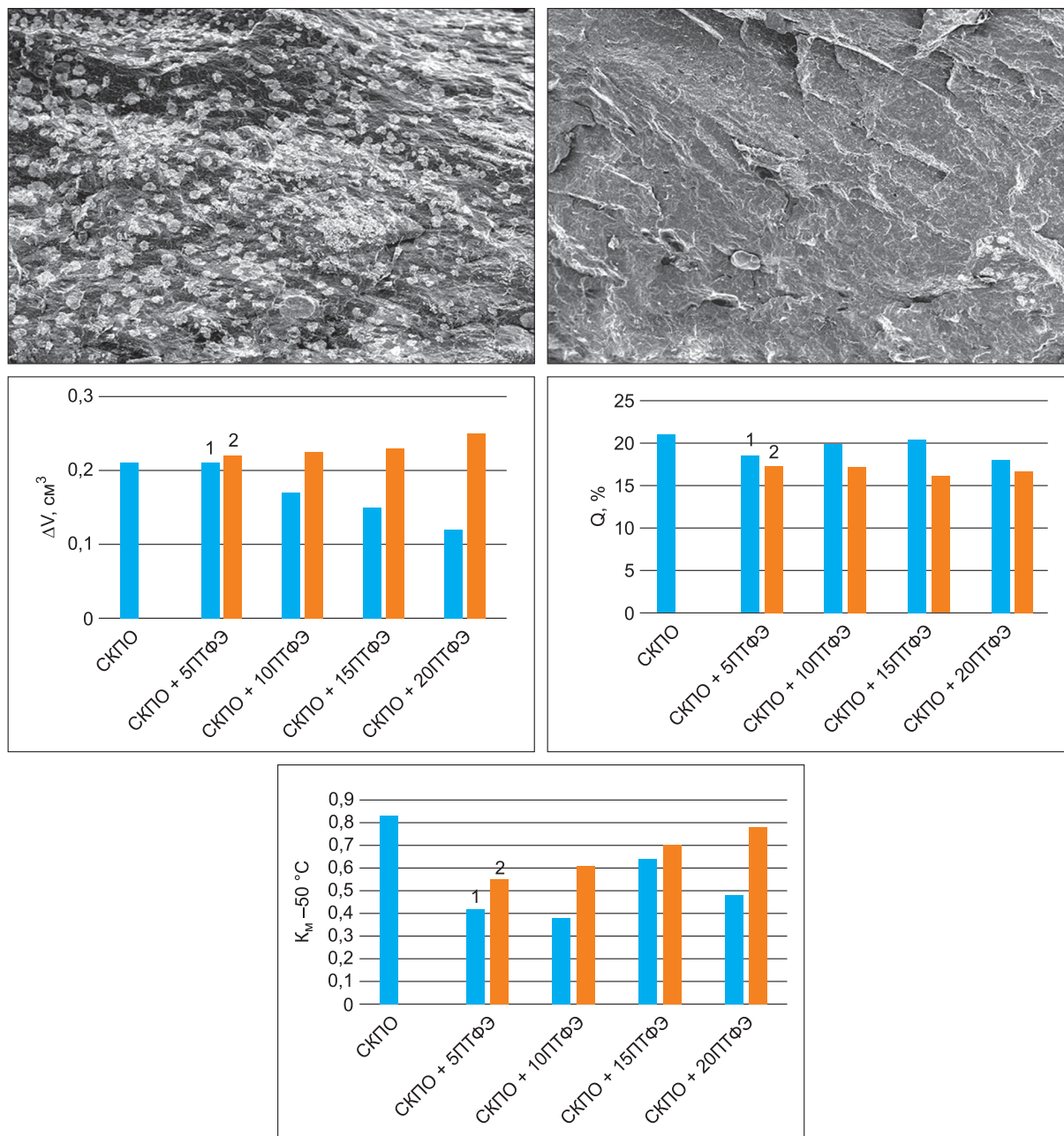


Рис. 8. Электронные микрофотографии и свойства резин на основе СКПО и ПТФЭ, содержащих и не содержащих пасту на основе цеолитов и пластификатора дибутилфталата, в зависимости от соотношения полимерных компонентов

Fig. 8. SEM images and properties of rubbers based on SKPO and PTFE with and without a paste based on zeolites and dibutylphthalate plasticizer depending on the ratio of polymer components

пропиленоксидного каучука и фторсодержащих термопластов (ПТФЭ, УПТФЭ). Было показано влияние размера частиц дисперсной фазы, содержания полимерных компонентов на структуру и свойства резин «альтернативного» характера, среди которых низкотемпературные характеристики и сопротивление изнашиванию или агрессивным средам. В данном исследовании была показана

важность увеличения межфазного взаимодействия на границе каучук/фторполимер для создания оптимальной фазовой морфологии резин. Для этого путем совместной механохимической активации в центробежной мельнице-активаторе планетарного типа на основе природных цеолитов и пластификатора была получена паста, позволяющая направленно изменять структу-

ру композиций и соотношение между «поверхностными» и «объемными» свойствами материалов.

Все разработанные резины предназначены для производства РТИ в исполнении ХЛ (для холодного климата), которые могут надежно эксплуатироваться в экстремальных климатических условиях Арктики. На разработанные материалы получены российские и американские патенты (Патенты РФ № 2493183, № 2502759, США US 8,841,370 B1). Некоторые из них были подвергнуты натурной экспозиции в нефти в климатических условиях Республики Саха (Якутия) [19], они продемонстрировали высокий уровень сохранения свойств в течение 2 лет проведения климатических испытаний. Все разработанные материалы готовы к внедрению в промышленность.

Резины, содержащие УПТФЭ, представляются нам наиболее перспективными для применения с точки зрения оптимизации их стоимости и соотношения цена/качество. Введение малых добавок (0,5–2 мас.ч.) УПТФЭ позволяет достичь того же результата, что и при введении 20 мас.ч. более крупнодисперсного политетрафторэтилена для достижения высокой износостойкости и маслостойкости при сохранении исходного уровня морозостойкости. Использование таких резин предпочтительнее для производства неподвижных уплотнений. При работе в тяжелых абразивных условиях, для производства уплотнений подвижных соединений лучше использовать резины, содержащие 50 мас.ч. УПТФЭ.

Список литературы

1. Черский И.Н., Попов С.Н., Гольдштрах И.З. Проектирование и расчет морозостойких подвижных уплотнений. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние РАН, 1992. 123 с.
2. Mark E.J., Erman B., Eirich F.R. (Eds.) Science and technology of rubber. Elsevier Academic Press: 3rd ed. Burlington: Elsevier, 2005.
3. Большой справочник резинщика /под ред. С.В. Резниченко и Ю.Л. Морозова. Ч. 1, 2. М.: ООО «Издательский центр «Техинформ» Межд. академии информатизации», 2012.
4. Курлянд С.К., Бухина М.Д. Морозостойкость эластомеров. М.: Химия, 1989. 176 с.
5. Петрова Н.Н., Попова А.Ф., Федотова Е.С. Исследование влияния низких температур и углеводородных сред на свойства резин на основе пропиленоксидного и бутадиен-нитрильного каучуков // Каучук и резина. 2002. № 3. С. 6–10.
6. Мухин В.В., Петрова Н.Н. Климатическое старение резин на основе эпихлоргидринового каучука в нефти при низких температурах // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. 2017. № 6(62). С. 59–66. DOI: 10.25587/SVFU.2017.62.8448.
7. Говорова О.А., Вишиницкий А.С., Чубарова Г.В., Морозов Ю.Л. Разработка атмосферостойких резин с улучшенными низкотемпературными и адгезионными свойствами // Каучук и резина. 1999. № 2. С. 18–20.
8. Хвостик Г.М., Васильев В.А., Венцеславская К.К., Исаков Б.А., Кутузов П.И., Баженов Ю.П., Насыров И.Ш., Андреева В.Ю., Морозов Ю.Л., Говорова О.А. Топливостойкие эпихлоргидриновые и пропиленоксидные каучуки для химической и автомобильной промышленности // Тез. докл. перв. всеросс. конф. по каучуку и резине 26–28 февраля 2002 г. М., 2002. С. 135.
9. Петрова Н.Н. Особенности создания резин уплотнительного назначения для эксплуатации в условиях холодного климата // Каучук и резина. 2005. № 6. С. 2–6.
10. Кулезнев В.Н. Смеси полимеров. М.: Химия, 1980. 302 с.
11. Мирошников Ю.П. Закономерности смешения и формирования фазовой структуры в гетерогенных полимерных смесях: Автореф. дис... докт. хим. наук. М., 1996. 45 с.
12. Мэнсон Дж., Сперлинг Л. Полимерные смеси и композиты / Перевод с англ. под ред. Годовского Ю.К. М.: Химия, 1979. 439 с.
13. Ohkubo Y., Shibahara M., Ishihara K., Nagatani A., Honda K., Endo K., Yamamura K. Effect of rubber compounding agent on adhesion strength between rubber and heat-assisted plasma-treated polytetrafluoroethylene (PTFE) // Journal of Adhesion. 2019. No. 95 (3). P. 242–257. DOI:10.1080/00218464.2018.1428095.
14. Dadbin S., Kashcooli Y., Frounchi M. Mechanical and surface properties of e-beam irradiated polytetrafluoroethylene-silicone rubber composites // Polymers and Polymer Composites. 2010. No. 18 (6). P. 329–336. DOI: 10.1177/096739111001800605.
15. Sohail Khan M., Franke R., Lehmann D., Heinrich G. Physical and tribological properties of PTFE micropowder-filled EPDM rubber // Tribology International. 2009. No. 42 (6). P. 890–896. DOI:10.1016/j.triboint.2008.12.014.
16. Franke R., Lehmann D., Kunze K. Tribological behaviour of new chemically bonded PTFE polyamide compounds // Wear, 2007. No. 262 (3-4). P. 242–252. DOI:10.1016/j.wear.2006.05.001.
17. Полоник В.Д., Прокопчук Н.Р., Шашок Ж.С. Технические свойства эластомерных композиций на основе бутадиен-нитрильного каучука, модифицированных политетрафторэтиленом // Труды БГТУ. Химия, технология органических веществ, биотехнология. 2012. № 4. С. 102–105.
18. Petrova N.N., Portnyagina V.V. Rubber compounds based on blends of propylene oxide rubber and polytetrafluoroethylene // International Polymer Science and Technology, 2008. V. 35/ No. 4. P. 47–50.

19. Petrova N.N., Portnyagina V.V. Rubber compounds based on blends of propylene oxide rubber and ultrafine polytetrafluoroethylene // *International Polymer Science and Technology*. 2018. V. 42. I. 8. P. T 29–T 32. DOI:10.1177/0307174X1504200806.
20. Portnyagina V.V., Petrova N.N., Mukhin V.V., Ee Le Shim, Jin-Ho Cho. Preparation and Improved Physical Characteristics of Propylene Oxide Rubber Composites // *Molecules*. 2018. No. 23 (9). P. 2150. DOI: 10.3390/molecules23092150.
21. Khan M.S., Heinrich G. PTFE-Based Rubber Composites for Tribological Applications // Heinrich G. (Ed.) *Advanced Rubber Composites. Advances in Polymer Science*. Vol. 239. Berlin; Heidelberg: Springer, 2010. P. 249–310. DOI: 10.1007/12_2010_98.
22. Hopmann C., Dering J.P., Cöllen G. Property modification of EPDM rubber compounds using PTFE micro powder // *Gummi Fasern Kunststoffe*. No. 10. 2012. P.648–652. DOI:10.1177/0307174X1304000301.
23. Zhao G., Shi L., Fu J., Feng X., Ding P., Zhuo J. Preparation and properties of polytetrafluoroethylene filled ethylene-propylene-diene monomer composites // *J. Appl. Polym. Sci.* 2012. No. 123. P. 3734–3740. DOI:10.1002/app.34406.
24. Park E. Processibility and mechanical properties of micronized polytetrafluoroethylene reinforced silicone rubber composites // *J. Appl. Polym. Sci.* 2008. No. 107. P. 372–381. DOI: 10.1002/app.27065.
25. Полоник В.Д., Прокопчук Н.Р., Шашок Ж.С. Свойства эластомерных композиций с фторсодержащей добавкой // *Труды БГТУ. Химия и технология органических веществ, материалов и изделий*. 2013. № 4. С. 141–144.
26. Cao C., Liu L., Li Q., Chen P., Qian Q., Chen Q. Recycling and application of wasted polytetrafluoroethylene via high-energy ball milling technology for nitrile rubber composites preparation // *Polym Eng Sci*. No. 56. 2016. P. 643–649. DOI:10.1002/pen.24290.
27. Пол Д. Межфазные добавки, способствующие совместимости в смесях полимеров // *Полимерные смеси*; под ред. Пола Д. и Ньюмена С., пер. с англ. М.: Мир, 1981. Т. 2. С. 39–70.
28. Peng H. Synthesis and Application of Fluorine-Containing Polymers with Low Surface Energy // *Polymer Reviews*. No. 59 (4). 2019. P. 739–757. DOI: 10.1080/15583724.2019.1636390.
29. Khan M.S., Franke R., Lehmann D., Heinrich G. Physical and tribological properties of PTFE micropowder-filled EPDM rubber // *Tribology International*. No. 42 (6). 2009. P. 890–896. DOI: 10.1016/j.triboint.2008.12.014.
30. Dobkowski Z., Zielecka M. Thermal analysis of the poly(siloxane)-poly(tetrafluoroethylene) coating system // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. No. 68 (1). 2002. P. 147–158.
31. Охлопкова А.А., Адрианова О.А., Попов С.Н. Модификация полимеров ультрадисперсными полимерами. Якутск: ЯФ Изд-ва СО РАН. 2003. 224 с.
32. Park E. Processibility and mechanical properties of micronized polytetrafluoroethylene reinforced silicone rubber composites // *J. Appl. Polym. Sci.* No. 107. 2008. P. 372–381. DOI:10.1002/app.27065.
33. Кирюхин Д.П., Ким И.П., Бузник В.М. Радиационно-химические методы создания защитных покрытий и композитных материалов с использованием фторомономеров. Химия высоких энергий // *Радиационная химия*. 2008/ Т. 42, No. 5. С. 393–400.
34. Бузник В.М., Фомин В.М., Алхимов А.П. Металлополимерные нанокомпозиты. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2005. 260 с.
35. Ломовский О.И., Политов А.А., Дудина Д.В., Корчагин М.А., Бузник В.М. Механохимические методы получения композитных материалов металлокерамика – политетрафторэтилен // *Химия в интересах устойчивого развития*. 2004. № 12. С. 619–626.
36. Бузник В.М. Новые наноразмерные и микро-размерные объекты на основе политетрафторэтилена // *Российские нанотехнологии*. 2009. Т. 4, № 11–12. С. 35–41.
37. Игнатьева Л.Н., Цветников А.К., Горбенко О.Н., Кайдалова Т.А., Бузник В.М. Спектроскопическое исследование продуктов сублимации ультрадисперсного политетрафторэтилена // *Журнал структурной химии*. 2004. Т. 45, № 5. С. 830–836.
38. Бузник В.М., Куравый В.Г. Морфология и строение микронных и наноразмерных порошков политетрафторэтилена, полученных газовой фазой методом // *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева)*. 2008. Т. III, № 3. С. 131.
39. Morozov A.V., Petrova N.N. Method of evaluating the coefficient of friction of frost-resistant sealing rubbers // *J. Frict. Wear*. 2016. No. 37. P. 124–128. DOI: 10.3103/S1068366616020124.
40. Острер С.Г. Фторполимеры в химической промышленности. П., 2019. 400 с.
41. Челищев Н.Ф., Беренштейн Б.Г., Володин В.Ф. Цеолиты – новый тип минерального сырья. М.: Недра, 1987. 176 с.
42. Портнягина В.В. Разработка уплотнительных резин на основе морозостойких каучуков и ультрадисперсных наполнителей для техники севера: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2010, 24 с.
43. Патент РФ № 2294341, опубл. 27.02.2007.
44. Морозов А.В., Муравьева Т.И., Петрова Н.Н., Портнягина В.В., Аммосова В.Н., Загорский Д.Л. Исследование триботехнических и адгезионных свойств морозостойких резин // *Каучук и резина*. 2015. № 6. С. 24–28.

Поступила в редакцию 04.02.2020
Принята к публикации 24.03.2020

Об авторах

ПЕТРОВА Наталия Николаевна, доктор химических наук, доцент, профессор-заведующий химическим отделением, Институт естественных наук, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Россия, 677000, г. Якутск, ул. Белинского, 58, <https://orcid.org/0000-0001-7699-7511>, e-mail: pnn2002@mail.ru;

ПОРТНЯГИНА Виктория Витальевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Горное дело», Горный институт, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Россия, 677000, г. Якутск, ул. Белинского, 58, <https://orcid.org/0000-0001-9562-7663>; Researcher ID: A-7658-2014, e-mail: vick_i@mail.ru.

Информация для цитирования

Петрова Н.Н., Портнягина В.В. Влияние размера частиц и концентрации фторсодержащего полимера на свойства морозостойких резин на основе пропиленоксидного каучука // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2020, Т. 25, № 1. С. 101–117. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-1-11>

DOI 10.31242/2618-9712-2020-25-1-11

Effect of particle size and concentration of fluorine-containing polymer on the properties of frost-resistant elastomer based on propylene oxide rubber

N.N. Petrova, V.V. Portnyagina

*North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk, Russia
pnn2002@mail.ru*

Abstract. *The article considers problems of operation of elastomers and elastomeric products in cold climates. There are also studies the behavior of elastomeric sealing materials during their operation in extreme climatic conditions and suggestions of the ways of new frost-resistant elastomers development. Based on these ways, elastomeric composites based on mixtures of propylene oxide rubber (SKPO) and fluorine-containing polymers were obtained. SKPO has a unique frost resistance ($T_G = -74^\circ\text{C}$). Following standard methods of rubber technology, polymer composites based on SKPO and polytetrafluoroethylene (PTFE) or ultrafine polytetrafluoroethylene (UPTFE), which differ in the preparation method and degree of dispersion, were studied. These fluoropolymers selected for rubber modification have a low coefficient of friction, resistance in most known liquids, and heat resistance. Using electron microscopy, we studied the structure of elastomeric composites and the features of their phase morphology, depending on the nature of the fluoropolymer used. We revealed the effect of particle size of the dispersed phase and the content of the fluorine-containing component on the phase morphology and properties of elastomeric composites. It was shown that as the content of PTFE (UPTFE) in the mixture increases, the wear and oil resistance of rubbers increases as well, but frost resistance decreases. The addition of UPTFE powder, which has smaller particle sizes, was preferable to obtain elastomeric composites with a high level of low-temperature characteristics and wear and oil resistance. As a result, we obtained frost-resistant elastomeric composites with a balanced set of properties. The developed compositions were patented and recommended for use.*

Key words: elastomeric materials, propylene oxide rubber, polytetrafluoroethylene, ultrafine polytetrafluoroethylene, wear resistance, oil resistance, frost resistance, phase morphology.

Acknowledgements. *This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (Grant No. 19-08-00615). We express special gratitude to the staff of the Institute of Problems of Mechanics named after A. Yu. Ishlinsky » Ph.D., senior scientist Morozov A.V. and m.s. Bukovsky P.O. for help with tribotechnical testing of rubbers.*

References

1. *Cherskiy I.N., Popov S.N., Goldshtrah I.Z.* Proektirovanie i raschet morozostoykih podvizhnyih uplotneniy. Novosibirsk: Nauka. Sib. otd-nie RAN, 1992. 123 p.
2. *Mark E.J., Erman B., Eirich F.R. (Eds.)* Science and technology of rubber. Elsevier Academic Press: 3rd ed. Burlington: Elsevier, 2005.
3. *Bolshoy spravochnik rezinschika / pod red. S.V. Reznichenko i Yu.L. Morozova / Ch. 1, 2. M.: OOO «Izdatelskiy tsentr «Tehinform» Mezhd. akademii informatizatsii», 2012.*
4. *Kurlyand S.K., Buhina M.D.* Morozostoykost elastomerov. M.: Himiya, 1989. 176 p.
5. *Petrova N.N., Popova A.F., Fedotova E.S.* Issledovanie vliyaniya nizkih temperatur i uglevodorodnykh sred na svoystva rezin na osnove propilenoksidnogo i butadien-nitrilnogo kauchukov // *Kauchuk i rezina*. 2002. No. 3. P. 6–10.
6. *Muhin V.V., Petrova N.N.* Klimaticheskoe starenie rezin na osnove epihlorgidrinovogo kauchuka v nefiti pri nizkih temperaturah // *Vestnik Severo-Vostochnogo federalnogo universiteta im. M.K. Ammosova*. 2017. No. 6 (62). P. 59–66. DOI: 10.25587/SVFU.2017.62.8448
7. *Govorova O.A., Vishnitskiy A.S., Chubarova G.V., Morozov Yu.L.* Razrabotka atmosferostoykih rezin s uluchshennymi nizkotemperaturnymi i adgezionnymi svoystvami // *Kauchuk i rezina*. 1999. No. 2. P. 18–20.
8. *Hvostik G.M., Vasilev V.A., Ventseslavskaya K.K., Isakov B.A., Kutuzov P.I., Bazhenov Yu.P., Nasyrov I. Sh., Andreeva V.Yu., Morozov Yu.L., Govorova O.A.* Toplivoostoykie epihlorgidrinovye i propilenoksidnye kauchuki dlya himicheskoy i avtomobilnoy promyshlennosti. // *Tez. dokl. perv. vseross. konf. po kauchuku i rezine 26–28 fevralya 2002 g. M., 2002*. P. 135.
9. *Petrova N.N.* Osobennosti sozdaniya rezin uplotnitelnogo naznacheniya dlya ekspluatatsii v usloviyakh holdnogo klimata // *Kauchuk i rezina*. 2005. No. 6. P. 2–6.
10. *Kuleznev V.N.* Smesi polimerov. M.: Himiya, 1980. 302 p.
11. *Miroshnikov Yu.P.* Zakonomernosti smesheniya i formirovaniya fazovoy struktury v geterogennykh polimernykh smesyah: Avtoref. dis... dokt. him. nauk. M., 1996. 45 p.
12. *Menson Dzh., Sperling L.* Polimernye smesi i kompozity / Perevod s angl. pod red. Godovskogo Yu.K. M.: Himiya, 1979. 439 p.
13. *Ohkubo Y., Shibahara M., Ishihara K., Nagatani A., Honda K., Endo K., Yamamura K.* Effect of rubber compounding agent on adhesion strength between rubber and heat-assisted plasma-treated polytetrafluoroethylene (PTFE) // *Journal of Adhesion*. 2019. No. 95 (3). P. 242–257. DOI:10.1080/00218464.2018.1428095.
14. *Dadbin S., Kashcooli Y., Frounchi M.* Mechanical and surface properties of e-beam irradiated polytetrafluoroethylene-silicone rubber composites // *Polymers and Polymer Composites*. 2010. No. 18 (6). P. 329–336. DOI: 10.1177/096739111001800605.
15. *Sohail Khan M., Franke R., Lehmann D., Heinrich G.* Physical and tribological properties of PTFE micropowder-filled EPDM rubber // *Tribology International*. 2009. No. 42 (6). P. 890–896. DOI:10.1016/j.triboint.2008.12.014.
16. *Franke R., Lehmann D., Kunze K.* Tribological behaviour of new chemically bonded PTFE polyamide compounds // *Wear*, 2007. No. 262 (3–4). P. 242–252. DOI:10.1016/j.wear.2006.05.001.
17. *Polonik V.D., Prokopchuk N.R., Shashok Zh.S.* Tehnicheskie svoystva elastomernykh kompozitsiy na osnove butadien-nitrilnogo kauchuka, modifitsirovannykh politetrafluoretilenom // *Trudy BGTU. Himiya, tekhnologiya organicheskikh veshchestv, biotekhnologiya*, 2012. No. 4. P. 102–105.
18. *Petrova N.N., Portnyagina V.V.* Rubber compounds based on blends of propylene oxide rubber and polytetrafluoroethylene // *International Polymer Science and Technology*, 2008. V. 35/ No. 4. P. 47–50.
19. *Petrova N.N., Portnyagina V.V.* Rubber compounds based on blends of propylene oxide rubber and ultrafine polytetrafluoroethylene // *International Polymer Science and Technology*. 2018. V. 42. I. 8. P. T 29–T 32. DOI:10.1177/0307174X1504200806.
20. *Portnyagina V.V., Petrova N.N., Mukhin V.V., Ee Le Shim, Jin-Ho Cho.* Preparation and Improved Physical Characteristics of Propylene Oxide Rubber Composites // *Molecules*. 2018. No. 23 (9). P. 2150. DOI: 10.3390/molecules23092150.
21. *Khan M.S., Heinrich G.* PTFE-Based Rubber Composites for Tribological Applications // *Heinrich G. (Ed.) Advanced Rubber Composites. Advances in Polymer Science*. Vol. 239. Berlin; Heidelberg: Springer, 2010. P. 249–310. DOI: 10.1007/12_2010_98.
22. *Hopmann C., Dering J.P., Cöllen G.* Property modification of EPDM rubber compounds using PTFE micro powder // *Gummi Fasern Kunststoffe*. No. 10. 2012. P.648–652. DOI:10.1177/0307174X1304000301.
23. *Zhao G., Shi L., Fu J., Feng X., Ding P., Zhuo J.* Preparation and properties of polytetrafluoroethylene filled ethylene-propylene-diene monomer composites // *J. Appl. Polym. Sci.* 2012. No. 123. P. 3734–3740. DOI:10.1002/app.34406.
24. *Park E.* Processibility and mechanical properties of micronized polytetrafluoroethylene reinforced silicone rubber composites // *J. Appl. Polym. Sci.* 2008. No. 107. P. 372–381. DOI: 10.1002/app.27065.
25. *Polonik V.D., Prokopchuk N.R., Shashok Zh.S.* Svoystva elastomernykh kompozitsiy s ftorsoderzhashchey dobavkoy // *Trudy BGTU. Khimiya i tekhnologiya organicheskikh veshchestv, materialov i izdeliy*, 2013. No. 4. P. 141–144.
26. *Cao C., Liu L., Li Q., Chen P., Qian Q., Chen Q.* Recycling and application of wasted polytetrafluoroethylene via high-energy ball milling technology for nitrile rubber composites preparation // *Polym Eng Sci*. No. 56. 2016. P. 643–649. DOI:10.1002/pen.24290.

27. Pol D. Mezhfaznye dobavki, sposobstvuyushchie sovместimosti v smesyah polimerov // Polimernye smesi; pod red. Pola D. i N'yumena S., per. s angl. M.: Mir, 1981. V. 2. P. 39–70.
28. Peng H. Synthesis and Application of Fluorine-Containing Polymers with Low Surface Energy // Polymer Reviews. No. 59 (4). 2019. P. 739–757. DOI: 10.1080/15583724.2019.1636390.
29. Khan M.S., Franke R., Lehmann D., Heinrich G. Physical and tribological properties of PTFE micropowder-filled EPDM rubber // Tribology International. No. 42 (6). 2009. P. 890–896. DOI: 10.1016/j.triboint.2008.12.014.
30. Dobkowski Z., Zielecka M. Thermal analysis of the poly(siloxane)-poly(tetrafluoroethylene) coating system // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. No. 68 (1). 2002. P. 147–158.
31. Ohlopkova A.A., Adrianova O.A., Popov S.N. Modifikatsiya polimerov ul'tradispersnymi polimerami. Yakutsk: YAF Izd-va SO RAN, 2003. 224 p.
32. Park E. Processibility and mechanical properties of micronized polytetrafluoroethylene reinforced silicone rubber composites // J. Appl. Polym. Sci. No. 107. 2008. P. 372–381. DOI:10.1002/app.27065.
33. Kiryuhin D.P., Kim I.P., Buznik V.M. Radiacionno-himicheskie metody sozdaniya zashchitnyh pokrytij i kompozitnyh materialov s ispol'zovaniem ftormonomerov. Himiya vysokih energij // Radiacionnaya himiya. 2008. V. 42, No. 5. P. 393–400.
34. Buznik V.M., Fomin V.M., Alhimov A.P. Metalopolimernye nanokompozity. Novosibirsk: Izdatel'stvo SO RAN, 2005. 260 p.
35. Lomovskij O.I., Politov A.A., Dudina D.V., Korchagin M.A., Buznik V.M. Mekhanohimicheskie metody polucheniya kompozitnyh materialov metallkeramika – politetraforetilen // Himiya v interesah ustojchivogo razvitiya. 2004. No. 12. P. 619–626.
36. Buznik V.M. Novye nanorazmernye i mikrorazmernye ob'ekty na osnove politetraforetilena // Rossijskie nanotekhnologii. 2009. V. 4, No. 11–12. P. 35–41.
37. Ignat'eva L.N., Cvetnikov A.K., Gorbenko O.N., Kajdalova T.A., Buznik V.M. Spektroskopicheskoe issledovanie produktov sublimacii ul'tradispersnogo politetraforetilena // Zhurnal strukturnoj himii. 2004. V. 45. No. 5. P. 830–836.
38. Buznik V.M., Kuryavij V.G. Morfologiya i stroenie mikronnyh i nanorazmernykh poroshkov politetraforetilena, poluchennykh gazofaznym metodom // Ros. him. zh. (Zh. Ros. him. ob-va im. D.I. Mendeleeva). 2008. V. III. No. 3. P. 131.
39. Morozov A.V., Petrova N.N. Method of evaluating the coefficient of friction of frost-resistant sealing rubbers // J. Frict. Wear. 2016. No. 37. P. 124–128. DOI: 10.3103/S1068366616020124.
40. Ostrer S.G. Ftoropolimery v himicheskoy promyshlennosti. P., 2019. 400 p.
41. Chelishchev N.F., Berenshtejn B.G., Volodin V.F. Ceolity – novyj tip mineral'nogo syr'ya. M.: Nedra, 1987. 176 p.
42. Portnyagina V.V. Razrabotka uplotnitel'nykh rezin na osnove morozostojkikh kauchukov i ul'tradispersnykh napolnitelej dlya tekhniki severa: Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk. M., 2010, 24 p.
43. Patent RF No. 2294341, opubl. 27.02.2007.
44. Morozov A.V., Murav'eva T.I., Petrova N.N., Portnyagina V.V., Ammosova V.N., Zagorskij D.L. Issledovanie tribotekhnicheskikh i adgezionnykh svoystv morozostojkikh rezin // Kauchuk i rezina. 2015. No. 6. P. 24–28.

About the authors

PETROVA Nataliya Nikolaevna, doctor of chemistry, associate professor, professor, head of the chemical department, Institute of Natural Sciences, North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, 58 Belinsky st., Yakutsk, 677000, Russia, <https://orcid.org/0000-0001-7699-7511>; e-mail: pnn2002@mail.ru;

PORTNYAGINA Victoria Vitalievna, candidate of technical sciences, associate professor, Mining Institute, North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, 58 Belinsky st., Yakutsk, 677000, Russia, <https://orcid.org/0000-0001-9562-7663>; Researcher ID: A-7658-2014, e-mail: vick_i@mail.ru.

Citation

Petrova N.N., Portnyagina V.V. Effect of particle size and concentration of fluorine-containing polymer on the properties of frost-resistant elastomer based on propylene oxide rubber // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2020, Vol. 25, N 1. P. 101–117. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-1-11>

Фильтровально-сорбционный метод очистки нефтесодержащих сточных вод нетканым сорбентом «Экосорб»

С.Е. Ефимов

Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия
s.e.efimov@gmail.com

Аннотация. В работе приводятся результаты исследования эффективности сорбционной очистки нефтесодержащей сточной воды с использованием в качестве фильтрующей загрузки нетканого сорбирующего материала «Экосорб». Проведенные испытания фильтрующей установки показали, что наибольшая эффективность очистки нефтесодержащей сточной воды в заданном режиме работы достигается при четырех слоях сорбента в фильтре. Наиболее оптимальная плотность укладки сорбента в фильтре соответствовала четырем слоям, или 2,4 см общей толщины. Чрезмерное увеличение количества слоев, а соответственно плотности набивки, приводит к снижению эффективности фильтрации вследствие как перекрытия волокон, так и уменьшения пористости материала. Результаты очистки нефтесодержащей сточной воды при укладке сорбента в четыре слоя показывают, что эффективность очистки составляет 79 и 97 %, а концентрация нефтепродуктов в очищенной воде соответственно 0,17 и 0,25 мг/л. Испытания показали, что «Экосорб» обладает достаточно высокой сорбционной способностью по отношению к нефти и может применяться в качестве эффективной сорбирующей загрузки для фильтров предварительной очистки нефтесодержащих сточных вод..

Ключевые слова: сорбция, фильтрация, нетканый материал, нефть, сточные воды.

Благодарности. Работа выполнена в рамках проекта № АААА-А17-117040700036-4.

Введение

Нефть и нефтепродукты являются одними из наиболее распространенных загрязнителей окружающей среды. Несмотря на совершенствование производств и безотходных технологий, водопотребление в нефтяной промышленности остается достаточно высоким, что неизбежно приводит к образованию нефтесодержащих сточных вод с последующим сбросом в окружающую среду.

Наиболее эффективным методом очистки сточных вод от нефтепродуктов является сорбционный метод очистки [1, 2]. На практике для очистки воды в основном применяются фильтры. В качестве загрузок для фильтров применяются различные природные и искусственные сорбенты. В XX в. для очистки сточных вод, содержащих нефть и нефтепродукты, в основном использовались различные природные материалы либо материалы, произведенные из них. К традиционным видам можно отнести углеродные сорбенты, цеолиты, глины, песок и др. [3–7]. Некоторые нефтесорбенты, такие как активированные угли, достаточно дорогостоящи, хоть и эф-

фективны в очистке, другие не всегда справляются с возложенными на них задачами [8, 9]. Поэтому были продолжены поисковые работы по разработке эффективных и доступных сорбентов. В настоящее время нашли широкое применение в различных областях полимерные материалы [9–13], в том числе нетканые сорбирующие материалы, обладающие высокими техническими и эксплуатационными характеристиками, кроме того, их преимуществом, в отличие от зернистых сорбентов, является простота и технологичность применения, благодаря форме изготовления в виде полотна.

Материалы и методы

Целью данной работы являлось исследование нефтесорбента «Экосорб» (ООО «ЭКОсервис-НЕФТЕГАЗ»), предназначенного для сбора пролитой нефти или нефтепродуктов в качестве фильтрующей загрузки. Сорбент представляет собой нетканый сорбирующий материал, изготовленный в виде полотна из полипропиленовых волокон иглопробивным способом. Данный

материал имеет высокую сорбцию по нефти и нефтепродуктам, многократную регенерируемость путем отжигания. Технические свойства приведены в табл. 1 [14].

Для очистки воды от нефти была изготовлена экспериментальная установка, включающая в себя исходную емкость с очищаемой сточной водой, погружной насос, фильтр, приемник очищенной воды (рис. 1).

Для регулирования параметров фильтрации в конструкции фильтра (рис. 2) предусмотрен вставляющийся в корпус патрон с перфорацией, предназначенный для отвода очищенной

воды. Собственно фильтрующий элемент из «Экосорба» в необходимом количестве наматывается на перфорированный патрон. Таким образом, имеется возможность регулировать количество слоев сорбента при заданной скорости фильтрации.

На рис. 3 показана схема прохождения воды через фильтрующий патрон.

Испытания изначально проводились при количестве перфораций в патроне 50, однако выяснилось, что общее сечение при этом не обеспечивает достаточную производительность фильтра. Поэтому в целях повышения средней линейной

Таблица 1

Свойства сорбента «Экосорб»

Table 1

Properties of “Ecosorb” sorbent

Поверхностная плотность, г/м ² Surface density, g/m ²	300
Толщина, мм Thickness, mm	6
Сорбционная емкость, г/г Sorption capacity, g/g	20 (для легких фракций) (for light fractions) 25 (для тяжелых фракций) (for heavy fractions)
Удерживающая способность, % Holding capacity, %	95
Скорость поглощения нефтепродукта, мин. Oil product absorption rate, min.	3,0 (для легких фракций) (for light fractions) 5,0 (для тяжелых фракций) (for heavy fractions)
Многократность использования Multiple use	До 50 раз Up to 50 times
Водопоглощение, г/г Water absorption, g / g	1,0–1,5
Плавучесть (визуально) Floatability (visually)	Неограниченная Unlimited

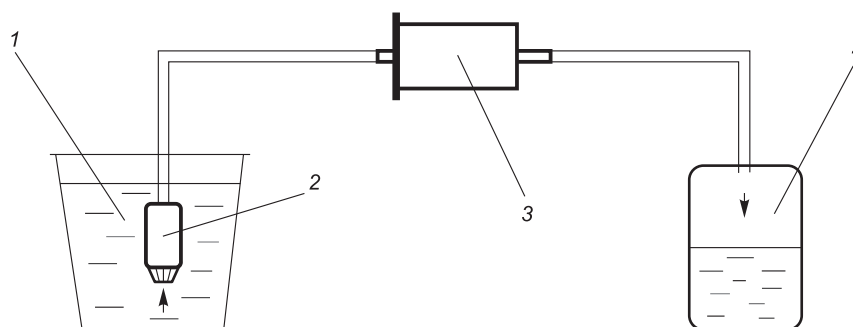


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

1 – емкость с очищаемой водой; 2 – погружной насос; 3 – фильтр; 4 – приемник очищенной воды.

Fig. 1. Scheme of the experimental installation.

1 – tank with purified water; 2 – underwater pump; 3 – filter; 4 – receiver of purified water.

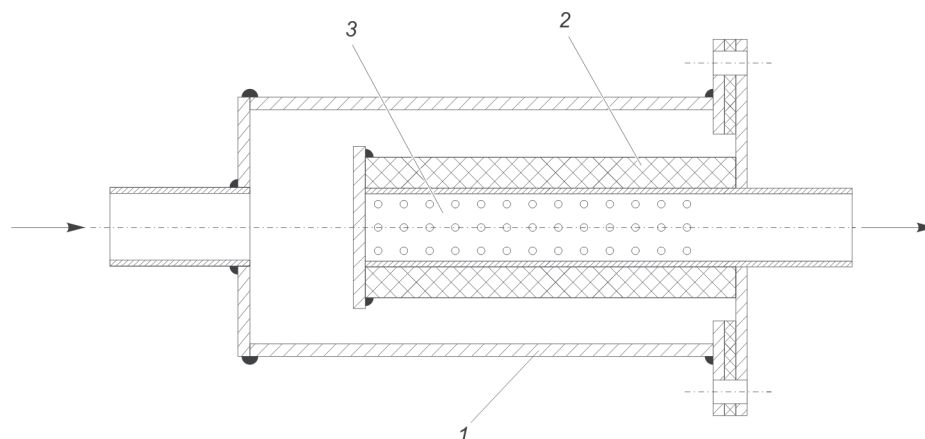


Рис. 2. Экспериментальная модель фильтра для очистки нефтезагрязненных вод.
1 – корпус фильтра; 2 – фильтрующий элемент; 3 – перфорированный патрон.

Fig. 2. Experimental model of filter for cleaning oil-contaminated water.
1 – filter housing; 2 – filter element; 3 – perforated cartridge.

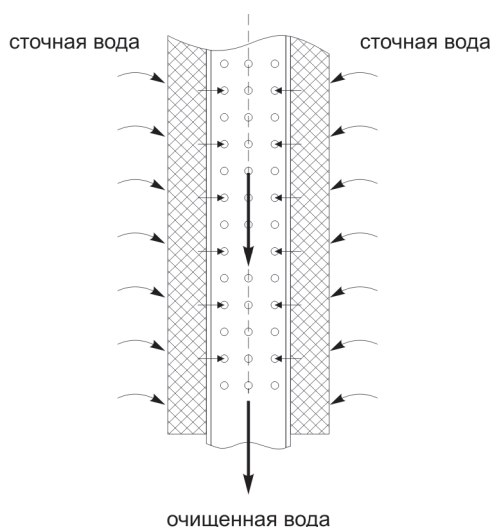


Рис. 3. Схема прохождения воды через фильтрующий патрон.

Fig. 3. Scheme of water passing through the filter cartridge.

скорости фильтрации до 1,0 м/с количество перфораций было увеличено до 100.

При приготовлении модельного раствора сточной воды, несмотря на интенсивное перемешивание в воде товарной нефти, получение однородной эмульсии было затруднено, в связи с чем исходные пробы для определения нефтепродуктов отбирались непосредственно перед входом в фильтр. Концентрация нефти, добавляемой непосредственно в емкость с водой пе-

ред перемешиванием, изменялась в пределах от 9 до 20 мг/л.

Содержание нефтепродуктов в очищаемой воде и фильтрате определялось ИК-спектрометрическим методом [15] с использованием концентратора «ИKN-025».

Результаты и обсуждение

Опытным путем было установлено, что количество слоев сорбента влияет на производительность фильтра незначительно и снижение скорости фильтрации не превышает 10 % от проходящего через фильтр объема воды без сорбента.

Результаты анализов проб фильтрата приведены в табл. 2.

Данные экспериментов показывают, что наибольшая эффективность очистки воды от нефти достигалась при четырех слоях сорбента в фильтре. Наименьшая эффективность – при двух слоях, в данном случае недостаточное количество сорбента приводило к «проскоку» нефти через него. При шести слоях сорбента также наблюдается заметное снижение эффективности очистки. Это может объясняться механизмом поглощения нефтепродуктов волокнистым фильтрующим материалом, в котором система хаотично уложенных неориентированных волокон образует поровое пространство, позволяющее нефти (нефтепродуктам) контактировать с большой поверхностью. В процессе работы фильтрующего материала в результате коалесценции водно-

Результаты очистки воды от нефти «Экосорб»

Table 2

Results of water purification from oil «Ecosorb»

Количество перфораций Number of perforations	Кол-во слоев / толщина, см Number of layers/ thickness, sm	Содержание нефти, мг/л Oil content, mg / l		Эффективность очистки, % Cleaning efficiency, %	
		«Флюорат-02» "Fluorat-02»	«ИКН-025» "ICN-025»	«Флюорат-02» "Fluorat-02»	«ИКН-025» "ICN-025»
50	Исходная Source	–	2,8	–	66
	4 / 2,4	–	0,95		
	Исходная Source	1,47	1,73	64	99
	4 / 2,4	0,53	0,01		
100	Исходная Source	0,90	0,40	58	27
	2 / 1,2	0,38	0,29		
	Исходная Source	2,68	9,52	71	97
	4 / 2,4	0,77	0,25		
	Исходная Source	1,72	0,81	90	79
	4 / 2,4	0,17	0,17		
	Исходная Source	2,19	2,013	45	81
	6 / 3,6	1,20	0,38		
	Исходная Source	1,69	0,46	59	50
	6 / 3,6	0,70	0,23		

нефтяной эмульсии происходит закупорка ячеек порового пространства фильтровального материала каплями нефти, что приводит к уменьшению доли свободного сечения и вследствие этого к повышению гидравлического сопротивления фильтра и снижению скорости фильтрации эмульсии, что ухудшает технико-экономические характеристики фильтрующего элемента [16]. В статье [17] также приводятся данные о том, что при производстве нетканого материала при увеличении плотности прокалывания уменьшаются его пористость и сорбционная емкость.

Заключение

Наиболее оптимальная плотность укладки сорбента в фильтре соответствовала четырем слоям, или 2,4 см общей толщины. Чрезмерное увели-

чение количества слоев, а соответственно плотности набивки в корпусе фильтра, приводит к снижению эффективности фильтрации вследствие как перекрытия волокон, так и уменьшения его пористости.

Результаты очистки нефтесодержащей сточной воды показывают, что эффективность очистки составляет 79 и 97 %, а концентрация нефтепродуктов в очищенной воде соответственно 0,17 и 0,25 мг/л (ПДК для питьевых водоемов – 0,1 мг/л, для рыбохозяйственных – 0,05 мг/л).

Таким образом, результаты проведенных испытаний показали, что сорбент «Экосорб» обладает достаточно высокой сорбционной способностью по отношению к нефти и может применяться в качестве эффективной сорбирующей загрузки

для фильтров предварительной очистки нефтесодержащих сточных вод.

Литература

1. Фазуллин Д.Д., Маврин Г.В., Шайхиев И.Г. Физико-химические свойства сорбентов для очистки вододмульсионных сточных вод // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18, № 6. С. 259.
2. Привалова Н.М. и др. Исследование методов очистки вод от загрязнений нефтью и нефтепродуктами // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского аграрного университета. 2015. № 113. С. 307–308.
3. Кузубова Л.И., Морозов С.В. Очистка нефтесодержащих сточных вод: Аналит. обзор / СО РАН. ГПНТБ, НИОХ. Новосибирск, 1992. С. 25–26.
4. Еремина А.О. и др. Предотвращение загрязнения водоемов нефтесодержащими сточными водами // Успехи современного естествознания. М.: Академия Естествознания. 2004. № 4. С. 142–143.
5. Сироткина Е.Е., Новоселова Л.Ю. Материалы для адсорбционной очистки воды от нефти и нефтепродуктов // Химия в интересах устойчивого развития 2005. № 13. С. 359–377.
6. Фоменко А.И., Соколов Л.И. Сорбционная очистка сточных вод от нефтепродуктов // Экология и промышленность России. 2015. Т. 19, № 5. С. 8–12.
7. Жмырко Т.Г., Новикова Т.К. Очистка нефтесодержащих вод сорбентами // Эксплуатация морского транспорта. 2015. Вып. 2 (75). С. 92.
8. Собгайда Н.А., Ольшанская Л.Н., Макарова Ю.А. Фильтры из отходов для очистки сточных вод // Экология производства. 2012. № 3. С. 68.
9. Коледенкова Ю.А., Беренгартен М.Г. Нетканые материалы в технологии фильтрации нефтесодержащих стоков // Сборник статей по материалам II международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы в науке и практике», 10 октября 2017 г. Уфа: ООО Дендра. С. 84–91.
10. Матвеев Ю.Н. Нетканые текстильные материалы для очистки сточных вод от нефтепродуктов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2009. № 2С (315). С. 58–61.
11. Петров Ю.П., Котюков А.Б., Щербинина Т.А., Зехов С.В. Использование углеродных волокнистых сорбентов (УВС) и волокнистых ионообменных нетканых материалов (ВИОН) в конструкциях фильтров для очистки воды // Вестник Пермского университета. Геология. 2012. Вып. 1 (14). С. 66–67.
12. Дедов А.В., Назаров В.Г. Волокнистый сорбент на основе нетканого иглопробивного материала, пропитанного парафином // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2016. Т. 52, № 1. С. 113–116.
13. Байбурдов Т.А., Шиловская А.Б. Полимерные сорбенты для сбора нефтепродуктов с поверхности водоемов: обзор русскоязычной литературы за 2000–2017 г.г. (часть 3) // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2018. Т. 18. Вып. 3. С. 285–298.
14. Есенкова Н.П., Михалькова А.И., Бачерникова С.Г. Нетканые сорбенты для сбора разливов нефтепродуктов и экспресс-метод определения их сорбционной емкости // НефтьГазПромышленность. 2004. № 3. [URL: <http://oilgasindustry.ru/?id=3804>].
15. ФР.1.31.2007.03234 МВИ 01.02.117. Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в питьевых, природных и сточных водах ИК-спектрометрическим методом с использованием концентратомера «ИКН-025».
16. Бордунов В.В., Бордунов С.В., Леоненко В.В. Очистка воды от нефти и нефтепродуктов // Экология и промышленность России. 2005. № 8. С. 9–10.
17. Дедов А.В., Назаров В.Г. Влияние структуры нетканых иглопробивных материалов на их сорбционную емкость // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2017. Т. 53. № 4. С. 436–437.

Поступила в редакцию 20.01.2020

Принята к публикации 05.03.2020

Об авторе

ЕФИМОВ Сергей Егорович, младший научный сотрудник, Институт проблем нефти и газа СО РАН, Россия, 677980, Якутск, улица Петровского, 2,
ORCID ID 0000-0003-2234-603X, s.e.efimov@gmail.com.

Информация для цитирования

Ефимов С.Е. Фильтровально-сорбционный метод очистки нефтесодержащих сточных вод нетканым сорбентом «Экосорб» // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2020, Т. 25, № 1. С. 118–124. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-1-12>

Filter-sorption method for treatment of oil-containing wastewater with non-woven sorbent «Ecosorb»

S.E. Efimov

Institute of Oil and Gas Problems of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Russia, Yakutsk)
s.e.efimov@gmail.com

Abstract. The paper presents the results of the study of the efficiency of sorption treatment of oily wastewater using nonwoven sorbing material «Ecosorb» as a filter load. The tests of the filter unit showed that the highest purification efficiency of oily wastewater in a given operating mode is achieved with four layers of sorbent in the filter. The most optimal density of the sorbent in the filter corresponded to four layers or 2.4 cm in total thickness. With an excessive increase in the number of layers, and accordingly the density of the packing, it leads to a decrease in the filtration efficiency due to both the overlap of the fibers and the decrease in its porosity. The results of cleaning oil-containing waste water when placing the sorbent in four layers show that the cleaning efficiency is 79 and 97 %, and the concentration of petroleum products in the treated water is 0.17 and 0.25 mg/l, respectively. The tests have shown that «Ecosorb» has a sufficiently high sorption capacity in relation to oil and can be used as a effective sorbing load for filters for pre-treatment of oil-containing wastewater.

Key words: sorption, filtration, nonwoven material, oil, wastewater.

Acknowledgements. The research was carried out within the framework of project No. AAAAA 17-117040700036-4.

References

1. Fazullin D.D., Mavrin G.V., Shaykhiyev I.G. Fiziko-khimicheskiye svoystva sorbentov dlya ochistki vodoemul'sionnykh stochnykh vod. Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. 2015. Vol. 18, No. 6. P. 259.
2. Privalova N.M. i dr. Issledovaniye metodov ochistki vod ot zagryazneniy nef'tyu i nefteproduktami. Politematicheskiy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo agrarnogo universiteta. 2015. No. 113. P. 307–308.
3. Kuzubova L.I., Morozov S.V. Ochistka neftesoderzhashchikh stochnykh vod: Analit. obzor / SO RAN. GPNTB, NIOKH. Novosibirsk, 1992. P. 25–26.
4. Yermolina A.O. i dr. Predotvrashcheniye zagryazneniya vodoyemov neftesoderzhashchimi stochnymi vodami. Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya. M.: Akademiya Yestestvoznaniya. No. 4. 2004. P. 142–143.
5. Sirotkina Ye.Ye., Novoselova L.Yu. Materialy dlya adsorbtsionnoy ochistki vody ot nef'ti i nefteproduktov. Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya. 2005. No. 13. P. 359–377.
6. Fomenko A.I., Sokolov L.I. Sorbtsionnaya ochistka stochnykh vod ot nefteproduktov // Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2015. Vol. 19, No. 5. P. 8–12.
7. Zhmyrko T.G., Novikova T.K. Ochistka neftesoderzhashchikh vod sorbentami // Eksploatatsiya morskogo transporta. 2015. Iss. 2 (75). P. 92.
8. Sobgayda N.A., Ol'shanskaya L.N., Makarova Yu.A. Fil'try iz otkhodov dlya ochistki stochnykh vod // Ekologiya proizvodstva. 2012. No. 3. P. 68.
9. Koledenkova Yu.A., Berengarten M.G. Netkanyye materialy v tekhnologii fil'tratsii neftesoderzhashchikh stokov // Sbornik statey po materialam II mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Aktual'nyye voprosy v nauke i praktike», 10 oktyabrya 2017 g. Ufa: OOO Dendra. P. 84–91.
10. Matveyev Yu.N. Netkanyye tekstil'nyye materialy dlya ochistki stochnykh vod ot nefteproduktov // Izv. vyzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. 2009. No. 2S (315). P. 58–61.
11. Petrov Yu.P., Kotyukov A.B., Shcherbinina T.A., Zekhov S.V. Ispol'zovaniye uglevodnykh voloknistykh sorbentov (UVS) i voloknistykh ionoobmennyykh netkanykh materialov (VION) v konstruktivnykh fil'trov dlya ochistki vody // Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya. 2012. Iss. 1 (14). P. 66–67.
12. Dedov A.V., Nazarov V.G. Voloknistyy sorbent na osnove netkanogo igloprobivnogo materiala, propitanogo parafinom // Fizikokhimiya poverkhnosti i zashchita materialov. 2016. Vol. 52, No. 1. P. 113–116.
13. Bayburdov T.A., Shipovskaya A.B. Polimernyye sorbenty dlya sbora nefteproduktov s poverkhnosti vodoyemov: obzor russkoyazychnoy literatury za 2000–2017 g.g. (chast' 3) // Izv. Sarat. un-ta. Nov. ser. Ser. Khimiya. Biologiya. Ekologiya. 2018. Vol. 18, vyp. 3. P. 285–298.
14. Yesenkova N.P., Mikhalkova A.I., Bachernikova S.G. Netkanyye sorbenty dlya sbora razlivov nefteproduktov i ekspress-metod opredeleniya ikh sorbtsion-

noy yemkosti // Neft'GazPromyshlennost'. 2004. No. 3. [URL: <http://oilgasindustry.ru/?id=3804>].

15.FR.1.31.2007.03234 MVI 01.02.117. Metodika vypolneniya izmereniy massovoy kontsentratsii nefteproduktov v pitijevykh, prirodnykh i stochnykh vodakh IK-spectrometricheskimi metodami s ispolzovaniem kontsentratomera IKN-025

16. Bordunov V.V., Bordunov S.V., Leonenko V.V. Ochistka vody ot nefti i nefteproduktov // Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2005. No. 8. P. 9–10.

17. Dedov A.V., Nazarov V.G. Vliyaniye struktury netkanykh igloprobivnykh materialov na ikh sorbtsionnuyu yemkost'. Fizikokhimiya poverkhnosti i zashchita materialov. 2017. Vol. 53. No. 4. P. 436–437.

About the author

EFIMOV Sergey Egorovich, junior researcher, Institute of Oil and Gas Problems of SB RAS, Yakutsk, 677980, 2 Petrovskogo str., Russia, ORCID ID 0000-0003-2234-603X, s.e.efimov@gmail.com.

Citation

Efimov S.E. Filter-sorption method for treatment of oil-containing wastewater with non-woven sorbent «Ecosorb» // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2020, Vol. 25, N 1. P. 118–124. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-1-12>

ПАМЯТЬ

Имаев Валерий Сулейманович
(11.10.1952 – 21.03.2020)



21 марта 2020 г. на 68 году жизни скончался известный ученый, один из ведущих российских специалистов в области сейсмотектоники, современной геодинамики и оценки сейсмической опасности территории Сибири и Дальнего Востока, доктор геолого-минералогических наук, действительный член Академии наук Республики Саха (Якутия), профессор Валерий Сулейманович Имаев.

В.С. Имаев родился 11 октября 1952 года на станции Просвет Курганской области. В 1975 году после окончания МГУ им. М.В. Ломоносова был направлен по распределению в Институт геологии Якутского филиала СО АН СССР, где прошел путь от старшего лаборанта до ведущего научного сотрудника. С 1995 по 1998 г. – сотрудник Президиума Академии наук Республики Саха (Якутия), с 1999 г. – профессор геологоразведочного факультета Якутского государственного университета им. М.К. Аммосова. В 2002–2015 гг. главный научный сотрудник лаборатории геодинамики и региональной геологии Института геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, в 2002–2020 гг. – заведующий лабораторией сейсмогеологии, главный научный сотрудник лаборатории инженерной сейсмологии и сейсмогеологии Института земной коры СО РАН.

В 1983 г. в Институте геологии и геофизики СО АН СССР (Новосибирск) защитил канди-

датскую диссертацию на тему «Мезозойско-кайнозойская тектоника, поля напряжений и сейсмичность Южной Якутии», в 1994 г. там же — докторскую диссертацию на тему «Активные разломы и сейсмоструктура Северо-Востока Азии». Область интересов — анализ тектонических обстановок зон возникновения сильных землетрясений Восточной Сибири, проведение специальных полевых сейсмогеологических исследований высокосейсмических областей Сибири и Дальнего Востока, а также Северной Монголии; сейсмогеология Прибайкалья, Якутии, Дальнего Востока и прилегающих районов Северо-Восточной Азии, включая Китай и Америку, использование геолого-структурных методов выявления зон активных разломов, реконструкция полей тектонических напряжений, выявление следов современных и палеоземлетрясений, используемых для построения геодинамических моделей и последующего детального сейсмического районирования территории Российской Федерации.

Большой опыт полевых и камеральных работ, широкая эрудиция позволили ему решить целый ряд задач по оценке сейсмической опасности важных народно-хозяйственных объектов в РФ. Им обоснована степень сейсмической опасности Южно-Якутского территориально-промышленного комплекса, установлена высокая степень риска строительства крупных объектов энергетики Республики Якутия, проведено районирование и изучение сейсмической опасности трассы нефтепровода Восточная Сибирь – Тихий океан (ВСТО). По результатам его исследований было принято решение о приостановке строительства объектов атомной энергетики за Полярным кругом. Созданная по его инициативе и при его непосредственном участии «Карта сейсмоструктоники Восточной Сибири» была признана одним из главных научных достижений РАН в 2016 г.

Имаев В.С. был руководителем и исполнителем международных проектов с университетом штата Мичиган (США), с геологическим институтом (BGR) г. Ганновер (Германия), института Астрономии и Геофизики (RCAG) г. Улан-Батор (Монголия).

ПАМЯТЬ

Имаев В.С. – профессор-совместитель Технического института (филиала) Северо-Восточного федерального государственного университета им. М.К. Аммосова. Им подготовлены 3 кандидата и 3 доктора наук, он автор и соавтор 12 монографий и более чем 300 печатных работ.

Несомненным признанием научных достижений В.С. Имаева среди российской научной общественности является назначение его руководителем и ответственным редактором издаваемой карты сейсмического районирования РФ по разделу территории Восточной Сибири, являющейся частью единой карты сейсмического районирования России (ОСР-97 и ОСР-2015). Эти карты приняты в качестве норма-

тивного документа для всех российских пользователей.

Имаев В.С. был экспертом РФФИ, членом редакций журналов “Вопросы инженерной сейсмологии”, г. Москва, и “Геодинамика и тектонофизика”, г. Иркутск, член Объединенного ученого совета по наукам о Земле при АН Республики Саха (Якутия), диссертационного совета при Институте земной коры СО РАН.

В 1996 г. Имаев В.С. был избран в действительные члены Академии наук Республики Саха (Якутия). Лауреат Государственной премии Российской Федерации в области науки и техники и Государственной премии Республики Саха (Якутия) им. Г.И. Чиряева в области науки и техники

*А.В. Прокопьев,
Зав. лаб. геодинамики
и региональной геологии
ИГАБМ СО РАН;
О.В. Королева,
ученый секретарь
ИГАБМ СО РАН*

Указатель материалов, опубликованных в журнале «Природные ресурсы Арктики и Субарктики», Т. 24, 2019 г.

№ 1

Науки о Земле

<i>Гриненко В.С., Баранов В.В., Блоджетт Р.Б., Горячева А.А.</i> ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ, ПАЛЕОБИОГЕОГРАФИЯ, ГЕОДИНАМИКА ПАЛЕОБАССЕЙНОВ ЗЕМЛИ В ПОЗДНЕМ ТРИАСЕ И СТРАТИГРАФИЯ ТЕРМИНАЛЬНОГО ТРИАСА БОРЕАЛЬНОЙ НАДОБЛАСТИ	5
<i>Киргуев А.А., Константинов К.М., Васильева А.Е.</i> ПЕТРОМАГНИТНАЯ ЛЕГЕНДА БАЗИТОВ ВОСТОЧНОГО БОРТА ТУНГУССКОЙ СИНЕКЛИЗЫ	18
<i>Гоголева С.С., Копылова А.Г.</i> ПЕТРОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БАЗИТОВ ТЕНКЕЛЯХСКОЙ ПЛОЩАДИ.....	33
<i>Шкодзинский В.С.</i> ПРИРОДА РАННЕДОКЕМБРИЙСКИХ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ И ИХ ОРУДЕНЕНИЯ ПО ДАННЫМ О ГОРЯЧЕЙ ГЕТЕРОГЕННОЙ АККРЕЦИИ ЗЕМЛИ.....	43
<i>Чжан Р.В.</i> СОВРЕМЕННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ О РАБОТЕ ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН СРЕДНЕГО И НИЗКОГО НАПОРОВ В КРИОЛИТОЗОНЕ В УСЛОВИЯХ ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА.....	52

Общая биология

<i>Габышева Л.П., Кузнецова Л.В.</i> ЛЕСНАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ ВЕРХНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ АМГИ (ОТ УСТЬЯ Р. ХАТЫРХАЙ ДО АМГИНСКОГО ХРЕБТА)	67
<i>Краснова А.Н., Ефремов А.Н., Польшина Т.Н.</i> О АНОМАЛИЯХ В СОЦВЕТИИ РОДА РОГОЗ <i>ТУРНА</i> L. (<i>ТУРНАСЕАЕ</i>)	77
<i>Филиппов Н.В., Десяткин Р.В.</i> НЕОБРАТИМЫЕ ТРАНСФОРМАЦИИ МОРФОГЕНЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОКУЛЬТУРЕННЫХ ПАЛЕВЫХ ПОЧВ КРИОЛИТОЗОНЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ НАЧАЛЬНЫХ СТАДИЙ АЛАСООБРАЗОВАНИЯ.....	82
<i>Кузнецова Л.И., Чевычелов А.П.</i> МОНИТОРИНГ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД В ЗОНЕ ХОЗЯЙСТВЕННОГО ОСВОЕНИЯ АМУРО-ЯКУТСКОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ МАГИСТРАЛИ	92
<i>Хлебный Е.С., Кершенгольц Б.М., Березкина М.М.</i> ЖИРНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ ПОДКОЖНОГО ЖИРА НЕРПЫ КОЛЬЧАТОЙ (<i>PHOSA HISPIDA</i>) И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ.....	103
<i>Кан М.У., Шашурин М.М., Журавская А.Н.</i> ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ И ТОКСИЧНОСТИ ЭКСТРАКТОВ ДИКОРАСТУЩИХ РАСТЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ....	109

Металлургия и материаловедение

<i>Петров В.Н., Лепов В.В.</i> ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РОСТА ХРУПКОЙ ТРЕЩИНЫ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА СТАТИЧЕСКИ НАГРУЖЕННЫЙ ОБРАЗЕЦ С НАДРЕЗОМ	116
--	-----

Федоров М.В., Васильева М.И., Винокуров Г.Г. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВЫХ ДОБАВОК ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ РАБОЧИХ ЭЛЕМЕНТОВ БУРОВОЙ ТЕХНИКИ СЕВЕРА	123
--	-----

Память

Исаев А.П., Кардашевская В.Е., Кривошапкин К.К. ПАМЯТИ ПЕТРА АЛЕКСЕЕВИЧА ТИМОФЕЕВА.....	131
---	-----

№ 2

Науки о Земле

Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М. ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИХ СТРУКТУР ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ЗОНЫ ЧЕРСКОГО (СЕВЕРОВОСТОК РОССИИ).....	5
Костин А.В. РУДНЫЕ БРЕКЧИИ – КЛЮЧ К ПОНИМАНИЮ ГЕНЕЗИСА МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕРЕБРА И ЗОЛОТА ЗАПАДНОГО ВЕРХОЯНЬЯ	21
Волкова Л.С., Макаров В.Н. ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ В РАЙОНАХ ПАДЕНИЯ ОТДЕЛЯЮЩИХСЯ ЧАСТЕЙ РАКЕТОНОСИТЕЛЯ «СОЮЗ-2» НА ТЕРРИТОРИИ ЯКУТИИ	38
Нерадовский Л.Г. СТАТИСТИКА УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МЕРЗЛЫХ РЫХЛЫХ ОТЛОЖЕНИЙ И ОСАДОЧНЫХ ПОРОД ДОЛИНЫ РЕКИ ЛЕНА «ГУЙМААДА»	49
Матвеев А.И., Винокуров В.Р. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ В СТУПЕНЧАТОЙ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ МЕЛЬНИЦЕ	56
Батугина Н.С., Гаврилов В.Л., Ткач С.М. ПРИНЦИПЫ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРИ ПОСТАВКАХ УГЛЯ В ТРУДНОДОСТУПНЫЕ РАЙОНЫ СЕВЕРОВОСТОКА РОССИИ	64

Общая биология

Коробкова Т.С. РЕАЛИЗАЦИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ СМОРОДИНЫ ЧЕРНОЙ В УСЛОВИЯХ КРИОЛИТОЗОНЫ	74
Андросова Д.Н. ТИПЫ ПРОРАСТАНИЯ СЕМЯН РАСТЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ.....	83
Дягилев Г.Т., Чернявский В.Ф., Егоров И.Я., Софронова О.Н., Никифоров О.И. ЭПИЗООТОЛОГО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СИБИРСКОЙ ЯЗВЫ В АРКТИЧЕСКОЙ И ВОСТОЧНОЙ ЗОНАХ ЯКУТИИ	95
Горлачева Е.П., Афонин А.В., Горлачев В.П. РЫБЫ ВОДОЕМОВ СЕВЕРНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ	106

Металлургия и материаловедение

Стручков Н.Ф., Винокуров Г.Г. ФОРМИРОВАНИЕ МАКРОСТРУКТУРЫ И ПОРИСТОСТИ ИЗНОСОСТОЙКИХ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ.....	117
Данилова С.Н., Абакунова Е.В., Слепцова С.А., Иванов А.Н., Чо Д.Х. ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СВМПЭ, НАПОЛНЕННЫЕ МОДИФИЦИРОВАННЫМ МОНТМОРИЛЛОНИТОМ	126

Науки о Земле

Макошин В.И., Кутыгин Р.В. КОРРЕЛЯЦИЯ АССЕЛЬСКО-САКМАРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВЕРНОГО И ЗАПАДНОГО ВЕРХОЯНЬЯ ПО БРАХИОПОДАМ	5
Колосов П.Н. МИКРООРГАНИЗМЫ НА ЧЕШУЕ КИСТЕПЕРОЙ РЫБЫ КАРБОНА МЕСТОНАХОЖДЕНИЯ «ЭМЯКСИН-ХАЯТА» (ЯКУТИЯ, Р. ВИЛЮЙ).....	23
Плотников В.В., Протопопов А.В., Климовский А.И., Йоханес В.Д.П. ОПИСАНИЕ КОСТНЫХ ОСТАТКОВ ШЕРСТИСТОГО НОСОРОГА COELODONTA ANTIQUITATIS BLUM., 1799 ИЗ НОВОГО МЕСТОНАХОЖДЕНИЯ МАМОНТОВОЙ ФАУНЫ НА Р. ОГОРОХА (БАССЕЙН Р. ИНДИГИРКА, АБЫЙСКИЙ РАЙОН, ЯКУТИЯ)	30
Шапошников Г.И., Галанин А.А., Лыткин В.М., Павлова М.Р. АБСОЛЮТНЫЕ ДАТИРОВКИ РАДИОУГЛЕРОДНОЙ ЛАБОРАТОРИИ ИМЗ СО РАН С 2015 ПО 2017 Г	39
Томишин М.Д., Салихов Р.Ф., Матушкин А.И., Маковчук И.В., Копылова А.Г., Васильева А.Е. САМОРОДНОЕ ЖЕЛЕЗО В ДОЛЕРИТАХ АЙХАЛЬСКОГО СИЛЛА (ПЕРВАЯ НАХОДКА В ЯКУТИИ)	50
Трунилина В.А., Роев С.П. МЕЛОВОЙ ВУЛКАНИЗМ ХАРА-СИССКОГО ПОЛЯ (ВЕРХОЯНО-КОЛЫМСКАЯ ОРОГЕННАЯ ОБЛАСТЬ)	64
Шепелёв В.В., Железняк М.Н., Павлова Н.А. О СПЕЦИФИЧЕСКИХ МЕРЗЛОТНО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ РАЙОНА ТРУБКИ «МИР»	80

Общая биология

Николин Е.Г., Кириллин Е.В., Охлопков И.М. ПРОДУКТИВНОСТЬ ЛИШАЙНИКОВЫХ СООБЩЕСТВ О. ЗАВЬЯЛОВА (МАГАДАНСКАЯ ОБЛАСТЬ).....	88
Порядина Л.Н., Конорева Л.А., Журбенко М.П., Чесноков С.В., Яцына А.П. ИНТЕРЕСНЫЕ НАХОДКИ ЛИШАЙНИКОВ ИЗ ОЙМЯКОНСКОГО РАЙОНА РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)....	100
Иванова Е.И., Исакова В.Г. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МХОВ ПО ТИПАМ МЕСТООБИТАНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕЖИМА УВЛАЖНЕНИЯ В РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВАХ ВОСТОЧНОЙ ЯКУТИИ.....	112
Исаев А.П., Борисов Б.З., Никифорова Е.Н. БИОКЛИМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АРЕАЛА СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (PINUS SYLVESTRIS L.) В ЯКУТИИ	121
Кершенгольц Б.М., Журавская А.Н., Владимиров Л.Н. ВЛИЯНИЕ ВНУТРЕННЕГО ЖИРА МОЛОДНЯКА ЯКУТСКОЙ ЛОШАДИ НА РАДИОРЕЗИСТЕНТНОСТЬ ЛАБОРАТОРНЫХ МЫШЕЙ ПРИ ОДНОКРАТНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	134

Науки о Земле

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.....	7
Павлушин А.Д., Степеничиков Д.Г. ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ИСКАЖЕННОЙ ФОРМЫ ДОДЕКАЭДРИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛОВ АЛМАЗА ИЗ РОССЫПЕЙ ЯКУТСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ	25

УКАЗАТЕЛЬ

<i>Герасимов Б.Б., Желонкин Р.Ю., Земнухов А.Л.</i> ТИПОМОРФИЗМ МЕЛКОГО РОССЫПНОГО ЗОЛОТА И ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ КОРЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ АНАБАРСКОГО РОССЫПНОГО РАЙОНА (СЕВЕРО-ВОСТОК СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ).....	37
<i>Васильев Д.А., Прокопьев А.В., Худoley А.К., Ершова В.Б., Казакова Г.Г., Ветров Е.В.</i> ТЕРМОХРОНОЛОГИЯ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ВЕРХОЯНСКОГО СКЛАДЧАТО-НАДВИГОВОГО ПОЯСА ПО ДАННЫМ ТРЕКОВОГО ДАТИРОВАНИЯ АПАТИТА	49
<i>Третьяков Ф.Ф.</i> ТЕРРЕЙНЫ ВЕРХОЯНСКОГО СКЛАДЧАТО-НАДВИГОВОГО ПОЯСА (ВОСТОЧНАЯ ЯКУТИЯ).....	67

Общая биология

<i>Протопопов А.В., Троева Е.И., Протопопова В.В.</i> РЕКОНСТРУКЦИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ГРАДИЕНТОВ ПОЗДНЕГО ПЛЕЙСТОЦЕНА ЯКУТИИ НА ОСНОВЕ ПАЛЕОБОТАНИЧЕСКИХ ДАННЫХ.....	79
<i>Сосина Н.К.</i> НЕКОТОРЫЕ БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СИНСКОЙ ПОПУЛЯЦИИ REDOWSKIA SORNIIFOLIA CHAM. ET SCHLESCHT. (ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЯКУТИЯ).....	86
<i>Ефимова А.П., Исаев А.П.</i> РЕКРЕАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ГОРЫ КИСИЛЯХ ЯНСКОГО ПЛОСКОГОРЬЯ (СЕВЕРО-ВОСТОЧНАЯ ЯКУТИЯ).....	95
<i>Софронов Р.Р.</i> О КОРМОВЫХ РЕСУРСАХ ПАСТБИЩ ЛЕСНОГО БИЗОНА (BISON BISON ATNAVASCAR RHOADS, 1987) В УСЛОВИЯХ ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ ДОЛИНЫ ТЫМПЫНАЙ (ГОРНЫЙ УЛУС, ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЯКУТИЯ).....	109
<i>Чикидов И.И., Борисов Б.З.</i> МИНИМАЛЬНЫЕ ВЫДЕЛЫ ЛЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПРИ КАРТОГРАФИРОВАНИИ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЯКУТИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ	117
<i>Воронов И.В., Филиппова Г.В., Дарханова В.Г., Строева Н.С., Федоров И.А., Прокопьев И.А.</i> АНТИРАДИКАЛЬНАЯ И АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭКСТРАКТОВ ТРЕХ ВИДОВ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ И РЯСКИ МАЛОЙ.....	127
<i>Бурнашева А.П.</i> ЧЕШУЕКРЫЛЫЕ (INSECTA, LEPIDOPTERA), РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ В ТРЕТЬЕ ИЗДАНИЕ КРАСНОЙ КНИГИ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)	136

Металлургия и материаловедение

<i>Старостин Н.П., Аммосова О.А.</i> РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО ПРОЦЕССА ПРИ ЭЛЕКТРОМУФТОВОЙ СВАРКЕ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ...	143
<i>Герасимов А.И., Ботвин Г.В., Данзанова Е.В.</i> ВЛИЯНИЕ НИЗКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НА НАДМОЛЕКУЛЯРНУЮ СТРУКТУРУ МАТЕРИАЛА СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ТРУБ.....	152
<i>Максимова Е.М.</i> ВЛИЯНИЕ НИЗКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НА СТРУКТУРУ ЗОНЫ ТЕРМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ НИЗКОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ.....	161
<i>Петухова Е.С., Федоров А.Л.</i> КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, СОДЕРЖАЩИХ РАЗЛИЧНЫЕ СТАБИЛИЗИРУЮЩИЕ ДОБАВКИ	169

Index of articles published in «Arctic and Subarctic Natural Resources» journal, Vol. 24, 2019

No. 1

Earth sciences

<i>Grinenko V.S., Baranov V.V., Blodgett R.B., Goryacheva A.A.</i> PALEOBASINS OF EARTH IN THE LATE TRIASSIC AND STRATIGRAPHY OF THE TERMINAL TRIASSIC OF THE BOREAL REALM.....	5
<i>Kirguez A.A., Konstantinov K.M., Vasilyeva A.E.</i> BASITE PETROMAGNETIC LEGEND OF THE TUNGUS SYNECLISE EASTERN BOARD.....	18
<i>Gogoleva S.S., Kopylova A.G.</i> PETROLOGICAL AND GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE BASITES OF THE TENKELYAKH AREA.....	33
<i>Shkodzinskiy V.S.</i> GENESIS OF EARLY PRECAMBRIAN COMPLEXES AND OF THEIRS METALLOGENY ACCORDING TO DATA OF HOT HETEROGENEOUS ACCRETION OF THE EARTH....	43
<i>Zhang R.V.</i> CURRENT UNDERSTANDING OF THE PERFORMANCE OF MEDIUM AND SMALL EMBANKMENT DAMS ON PERMAFROST IN A WARMING CLIMATE	52

General biology

<i>Gabyшева L.P., Kuznetsova L.V.</i> FOREST VEGETATION OF HEADWATERS OF THE AMGA RIVER (FROM THE MOUTH TO RIVER HATYRKHAY'S TO THE AMGA RIDGE)	67
<i>Krasnova A.N., Efremov A.N., Pol'china T.N.</i> ABOUT THE ANOMALIES IN THE INFLORESCENCE OF THE GENUS CATTAIL TYPHA L. (TYPHACEAE)	77
<i>Filippov N.V., Desyatkin R.V.</i> IRREVERSIBLE TRANSFORMATIONS OF THE MORPHOGENETIC PARAMETERS CULTIVATED PALE SOILS OF THE CRYOLITHOZONE UNDER THE INFLUENCE OF THE INITIAL STAGES OF ALAS FORMATION.....	82
<i>Kuznetsova L.I., Chevychelov A.P.</i> CHEMICAL COMPOSITION MONITORING OF SURFACE WATERS IN THE DEVELOPMENT ZONE OF THE AMUR-YAKUTSK MAINLINE.....	92
<i>Khlebnyy E.S., Kershengolts B.M., Berezkina M.M.</i> THE FATTY ACID COMPOSITION OF SUBCUTANEOUS RINGED SEAL FAT (PHOCA HISPIDA) AND THE PROSPECTS FOR ITS USE.	103
<i>Kan M.U., Shashurin M.M., Zhuravskaya A.N.</i> EVALUATION OF BIOLOGICAL ACTIVITY AND TOXICITY OF WILD PLANTS EXTRACTS IN CENTRAL YAKUTIA.....	109

Materials science

<i>Petrov V.N., Lepov V.V.</i> PHYSICAL MODELING OF BRITTLE CRACK GROWTH FOR DYNAMIC IMPACT ON ONE-EDGE TENSION SPECIMEN.....	116
<i>Fedorov M.V., Vasilyeva M.I., Vinokurov G.G.</i> THE USE OF ULTRADISPERSED POWDER ADDITIVES TO OBTAIN HARD-ALLOY WORKING ELEMENTS OF THE DRILLING EQUIPMENT OF THE NORTH.....	123

Memory

IN MEMORY OF PETR ALEKSEEVICH TIMOFEEV	131
--	-----

No. 2**Earth sciences**

<i>Imaev V.S., Imaeva L.P., Koz'min B.M.</i> GEODYNAMIC FEATURES OF SEISMOTECTONIC STRUCTURES IN CENTRAL PART OF THE CHERSKY ZONE (NORTH-EAST OF RUSSIA) ..	5
<i>Kostin A.V.</i> ORE BRECCIAS AS A KEY TO UNDERSTANDING THE GENESIS OF THE SILVER AND GOLD DEPOSITS IN WESTERN VERKHOYANYE	21
<i>Volkova L.S., Makarov V.N.</i> ECOLOGICAL MONITORING IN THE REGIONS WHERE THE SEPARATING PARTS OF THE SOYUZ-2 ROCKET CARRIER FALL AT THE TERRITORY OF YAKUTIA	38
<i>Neradovskii L.G.</i> STATISTICS OF THE RESISTIVITY OF FROZEN LOOSE SEDIMENTS AND SEDIMENTARY ROCKS IN THE TUYMAADA VALLEY OF THE LENA RIVER	49
<i>Matveev A.I., Vinokurov V.R.</i> EXPERIMENTAL STUDIES ON THE INTENSIFICATION OF GRINDING PROCESSES IN A STEP CENTRIFUGAL MILL	56
<i>Batugina N.S., Gavrilov V.L., Tkach S.M.</i> PRINCIPLES OF RESOURCE-SAVING MANAGEMENT OF QUALITY FOR COAL SUPPLY TO THE HARD-TO-REACH REGIONS OF THE NORTH-EAST OF RUSSIA	64

General biology

<i>Korobkova T.S.</i> REALIZATION OF THE POTENTIAL PRODUCTIVITY OF BLACK CURRANTS UNDER THE CONDITIONS OF CRYOLITHOZONE	74
<i>Androsova D.N.</i> TYPES OF SEED GERMINATION FOR THE PLANTS OF CENTRAL YAKUTIA	83
<i>Dyagilev G.T., Chernyavsky V.F., Egorov I.Ya., Sofronova O.N., Nikiforov O.I.</i> EPIZOOTOLOGICAL AND EPIDEMIOLOGICAL MONITORING OF THE ANTHRAX IN THE ARCTIC AND EASTERN ZONES OF YAKUTIA	95
<i>Gorlacheva E.P., Afonin A.V., Gorlachev V.P.</i> FISHES IN THE RESERVOIRS OF NORTHERN TRANSBAIKALIA	106

Materials science

<i>Struchkov N.F., Vinokurov G.G.</i> FORMATION OF THE MACROSTRUCTURE AND POROSITY OF THE WEARPROOF MODIFIED POWDER COATINGS	117
<i>Danilova S. N., Abakunova E. V., Sleptsova S. A., Ivanov A. N., Jin-Ho Cho.</i> POLYMERIC COMPOSITE MATERIALS BASED ON UHMWPE FILLED WITH MODIFIED OF MONTMORILLONITE	126

No. 3**Earth sciences**

<i>Makoshin V.I., Kutugin R.V.</i> CORRELATION OF THE ASSELIAN-SAKMARIAN DEPOSITS OF THE NORTHERN AND WESTERN VERKHOYANSK REGIONS BY BRACHIOPODS	5
<i>Kolosov P.N.</i> ORE BRECCIAS AS A KEY TO UNDERSTANDING THE GENESIS OF THE SILVER AND GOLD DEPOSITS IN WESTERN VERKHOYANYE	23

<i>Plotnikov V. V., Protopopov A. V., Klimovskiy A. I., Johannes van der Plicht.</i> DESCRIPTION OF BONE RESIDUES OF WOOLLY RHINOCEROS COELODONTA ANTIQUITATIS BLUM., 1799, FROM THE NEW LOCATION OF MAMMOTH FAUNA ON THE R. OGOROKHA (BASIN OF THE INDIGIRKA RIVER, ABYISKII DISTRICT, YAKUTIA).....	30
<i>Shaposhnikov G. I., Galanin A. A., Lytkin V. M., Pavlova M. R.</i> ABSOLUTE DATES OF THE IMZ SB RAS RADIOCARBON LABORATORY: SINCE 2015 TO 2017	39
<i>Tomshin M. D., Salikhov R. F., Matushkin A. I., Makovchuk I. V., Kopylova A. G., Vasileva A. E.</i> NATIVE IRON IN THE DOLERITES OF THE AIKHAL SILL (THE FIRST DISCOVERY IN YAKUTIA).....	50
<i>Trunilina V. A., Roev S. P.</i> CRETACEOUS VOLCANISM OF THE KHARA-SISS FIELD (VERKHOYANSK-KOLYMA OROGENIC AREA)	64
<i>Shepelev V. V., Zhelezniak M. N., Pavlova N. A.</i> THE PERMAFROST HYDROGEOLOGY IN THE MIR DIAMOND PIPE AREA.....	80

General biology

<i>Nikolin E. G., Kirillin E. V., Okhlopkov I. M.</i> THE PRODUCTIVITY OF LICHEN COMMUNITIES OF THE ZAVYALOV ISLAND (MAGADAN REGION)	88
<i>Poryadina L. N., Konoreva L. A., Zhurbenko M. P., Chesnokov S. V., Yatsyna A. P.</i> INTERESTING FINDINGS OF LICHENS FROM OYMYAKON DISTRICT OF THE REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA).....	100
<i>Ivanova E. I., Isakova V. G.</i> THE DISTRIBUTION OF MOSSES IN HABITAT TYPES DEPENDING FROM MOISTURE IN THE VEGETATION COMMUNITIES OF THE EASTERN YAKUTIA.....	112
<i>Isaev A. P., Borisov B. Z., Nikiforova E. N.</i> BIOCLIMATIC MODELING OF THE DISTRIBUTION OF SCOTCH PINE (PINUS SYLVESTRIS L.) IN YAKUTIA.....	121
<i>Kershengolts B. M., Zhuravskaya A. N., Vladimirov L. N.</i> EFFECT OF THE INTERNAL FAT OF YOUNG YAKUT HORSE ON THE RADIO RESISTANCE OF LABORATORY MICE UNDER SINGLE X-RAY IMPACT	134

No. 4

Earth sciences

<i>Okrugin A. V., Tolstov A. V., Sleptsov A. P., Baranov L. N.</i> PETROCHEMICAL FEATURES OF THE ASSOCIATION OF ULTRABASIC ALKALI ROCKS AND CARBONATITES OF THE TOMTOR MASSIF AND INTERPRETATION OF POSSIBLE TRENDS OF THEIR EVOLUTION.	7
<i>Pavlushin A. D., Stepenschikov D. G.</i> THE FIRST RESULTS OF STUDIES OF THE DISTORTED SHAPE OF DODECAHEDRAL DIAMOND CRYSTALS FROM PLACERS OF THE YAKUTIAN DIAMOND-BEARING PROVINCE	25
<i>Gerasimov B. B., Zhelonkin R. Yu., Zemnukhov A. L.</i> TYPOMORPHISM OF FINE PLACER GOLD AND POTENTIAL PRIMARY SOURCES OF THE ANABAR MINERAL SUBPROVINCE (NORTH-EASTERN SIBERIAN PLATFORM).....	37
<i>Vasiliev D. A., Prokopiev A. V., Khudoley A. K., Ershova V. B., Kazakova G. G., Vetrov E. V.</i> THERMOCHRONOLOGY OF THE NORTHERN PART OF THE VERKHUYANSK FOLD-AND-THRUST BELT ACCORDING TO APATITE FISSION-TRACK AGE	49
<i>Tretyakov F. F.</i> TERRANES OF THE VERKHUYANSK FOLD-AND-THRUST BELT, EAST YAKUTIA	67

General biology

<i>Protopopov A.V., Troeva E.I., Protopopova V.V.</i> RECONSTRUCTION OF CLIMATIC GRADIENTS OF THE LATE PLEISTOCENE OF YAKUTIA BASED ON PALEOBOTANICAL DATA...	79
<i>Sosina N.K.</i> SOME BIOLOGICAL AND ECOLOGICAL FEATURES OF POPULATION OF THE REDOWSKIA SOPHIIFOLIA CHAM. ET SCHLECHT. ON BASIN OF THE SINAYA RIVER (CENTRAL YAKUTIA).....	86
<i>Efimova A.P., Isaev A.P.</i> RECREATIONAL POTENTIAL OF MOUNT KISILYAKH OF THE YANSKY PLATEAU (NORTHEAST YAKUTIA)	95
<i>Sofronov R.R.</i> ABOUT THE FORAGE RESOURCES OF PASTURES OF THE WOOD BISON (BISON BISON ATHABASCAE RHODAS, 1987) IN THE TAIGA ZONE OF THE TYMPYNAI VALLEY (GORNYY DISTRICT, CENTRAL YAKUTIA).....	109
<i>Chikidov I. I., Borisov B.Z.</i> MINIMUM FOREST VEGETATION WHEN MAPPING SOUTHWEST YAKUTIA USING SATELLITE IMAGERY	117
<i>Voronov I., Filippova G., Darkhanova V., Stroeveva N., Fedorov I., Prokopen I.</i> ANTIRADICAL AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF THE EXTRACTS PHLOJODICARPUS SIBIRICUS STEPH. EX SPRENG. (APIACEAE), RHODIOLA ROSEA L., RHODIOLA BOREALIS BORISS. (CRASSULACEAE) AND LEMNA MINOR L. (LEMNACEAE S.F. GRAY).....	127
<i>Burnasheva A.P.</i> LEPIDOPTERA (INSECTA, LEPIDOPTERA), RECOMMENDED FOR INCLUDING IN THE NEW EDITION OF THE RED DATA BOOK OF REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA).....	136

Materials science

<i>Starostin N.P., Ammosova O.A.</i> THERMAL PROCESS CONTROL DURING ELECTROFUSION WELDING OF POLYETHYLENE PIPES AT LOW TEMPERATURES	143
<i>Gerasimov A.I., Botvin G.V., Danzanova E.V.</i> INFLUENCE OF LOW TEMPERATURE ON THE SUBMICROSCOPIC STRUCTURE OF WELDED JOINT OF POLYPROPYLENE PIPES.....	152
<i>Maksimova E.M.</i> FORMATION STUDY OF WELD STRUCTURE OF CONSTRUCTIONAL LOW-ALLOY STEEL DURING WELDING UNDER THE CONDITIONS OF LOW CLIMATE TEMPERATURES.....	161
<i>Petukhova E.S., Fedorov A.L.</i> CLIMATIC TESTS OF POLYETHYLENE BASED COMPOSITE MATERIALS CONTAINING VARIOUS TYPES OF STABILIZERS	169

Научный журнал
Природные ресурсы Арктики и Субарктики

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 заключение. 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 с расширением jpg, tif.

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.

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.

Редактор *Н.А. Лившиц*
Корректурa *Н.В. Счастнева*
Компьютерная верстка *И.В. Мелехов*
Обложка *А.А. Николашкиной*

Дата выхода в свет 31.04.2020. Формат 60×84 1/8. Печать цифровая
Усл. п.л. 15,9. Тираж 100 экз. Заказ № 28. Цена свободная.

Адрес редакции:

677007, г. Якутск, пр. Ленина, 33, тел. 8(4112) 39-06-64, nras.ysn.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>