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

ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ АРКТИКИ И СУБАРКТИКИ

(до 2018 г. «Наука и образование»)

Научный журнал

2021, Том 26, № 1

Основан в 1996 г.
Выходит 4 раза в год

Учредители:
Академия наук Республики Саха (Якутия),
Якутский научный центр СО РАН,
Северо-Восточный федеральный
университет им. М.К. Аммосова,
Министерство образования и науки
Республики Саха (Якутия)

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

Главный редактор
В.В. Филиппов
Член-корреспондент РАН

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

Ответственный секретарь
З.А. Корнилова

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

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

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

© Академия наук РС (Я), 2021
© Якутский научный центр СО РАН, 2021
© Северо-Восточный федеральный университет
им. М.К. Аммосова, 2021
© Министерство образования и науки РС (Я), 2021

ARCTIC AND SUBARCTIC NATURAL RESOURCES

(until 2018 «Nauka i Obrazovanie»)

Scientific journal

2021, Vol. 26, 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. Sci (Phys.-Math.)

Executive Editor
Z.A. Kornilova

Editorial Office Address:
33 Lenina pr., Yakutsk, 677000, Russia
nras2018@mail.ru

http://nras.asrsya.ru
The certificate of registration of PI No. TU14-00503
of February 15, 2018, issued by the Catalogue 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 Catalogue – ПР046
Enlisted in the Catalogue of Leading Scientific Journals
of the Higher Attestation Commission, RF (22.12.2020)
Included in the Russian Science Citation Index database (RSCI)

© Academy of Sciences of RS (Ya), 2021
© Yakut Scientific Center of SB RAS, 2021
© M.K. Ammosov North-Eastern
Federal University, 2021
© Ministry of Education and Science of RS (Ya), 2021

Редакционный совет:

Филиппов В.В. – *чл.-корр. РАН, АН РС (Я), проф. 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, Магадан, Россия*
Григорьев М.Н. – *д.г.н., ИМЗ СО РАН, Якутск, Россия*
Железняк М.Н. – *д.г.-м.н., ИМЗ СО РАН, Якутск, Россия*
Колодезников И.И. – *д.г.-м.н., проф., АН РС (Я), Якутск, Россия*
Кондратьев С.А. – д.т.н., ИГД СО РАН, Новосибирск, Россия
Кутыгин Р.В. – *к.г.-м.н., ИГАБМ СО РАН, Якутск, Россия*
Матвеев А.И. – *д.т.н., ИГДС СО РАН, Якутск, Россия*
Похиленко Н.П. – *акад. РАН, ИГМ СО РАН, Новосибирск, Россия*
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), Якутск, Россия*
Фридовский В.Ю. – *д.г.-м.н., проф., ИГАБМ СО РАН, Якутск, Россия*
Шепелев В.В. – *д.г.-м.н., проф., ИМЗ СО РАН, Якутск, Россия*
Хуббертен 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, Екатеринбург, Россия*

Общая биология

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

Материаловедение

Аннин Б.Д. – *акад. РАН, ИГиЛ СО РАН, Новосибирск, Россия*
Григорьев Ю.М. – *д.ф.-м.н., СВФУ, Якутск, Россия*
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, Якутск, Россия*
Морозов Н.Ф. – *акад. РАН, СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия*
Охлопкова А.А. – *д.т.н., проф., СВФУ, Якутск, Россия*
Салахов М.Х. – *д.ф.-м.н., проф., К(П)ФУ, Казань, Россия*

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.), M.K Ammosov NEFU;* M.Yu. Prisyazhny – *Dr. Sci. (Geogr.), 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, Magadan, Russia*
M.N. Grigoriev – *Dr. Sci. (Geogr.), Melnikov Permafrost Inst. SB RAS, Yakutsk, Russia*
M.N. Zhelezniak – *Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk, Russia*
I.I. Kolodeznikov – *Dr. Sci. (Geology-Mineralogy), prof., AS RS(Ya), Yakutsk, Russia*
S.A. Kondratiev – *Dr. Sci. (Eng.), Chinakal Institute of Mining SB RAS, Novosibirsk, Russia*
R.V. Kutygin – *Cand. Sci. (Geol.-Mineral.), Diamond and Precious Metal Geology Inst. SB RAS, Yakutsk, Russia*
A.I. Matveev – *Dr. Sci. (Tech.), Chersky Mining Institute of the North SB RAS, Yakutsk, Russia*
N.P. Pokhilenko – *Acad. RAS, V.S. Sobolev Inst. of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia*
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 – *PhD. Sci. (Geol.-Mineral.), Research Geological Prospecting Enterprise (NIGP) of PJSC «ALROSA», Yakutsk, Russia*
V.Yu. Fridovsky – *Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Diamond and Precious Metal Geology Inst. SB RAS, Yakutsk, Russia*
V.V. Shepelev – *Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Melnikov Permafrost Inst. SB RAS, Yakutsk, Russia*
H.-V. Hubberten – *PhD., Prof., Alfred Wegener Inst. for Polar and Marine Research, Potsdam Research Unit, Germany*
V.L. Yakovlev – *Corr. Member RAS, Inst. of Mining UB RAS, Yekaterinburg, Russia*

General Biology

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

Materials Science

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

СОДЕРЖАНИЕ

Колонка главного редактора 7

Науки о Земле

Общая и региональная геология, петрология и вулканология

Шкодзинский В.С. Происхождение и генетические типы карбонатитов 8

Копылова А.Г. Распределение редких элементов на разных этапах эволюции рифейских и фанерозойских толеит-базальтовых расплавов на востоке Сибирской платформы 17

Колосов П.Н., Рожин С.С., Олёнова К.С. Природа онколитов неопротерозоя Уринского поднятия (юг Сибирской платформы) 32

Боескоров Г.Г. Размеры тела шерстистого мамонта *Mammuthus primigenius* (Blumenbach) второй половины позднего плейстоцена севера Восточной Сибири 38

Рожин И.И., Калачева Л.П., Иванова И.К. Исследование гидратообразования для повышения надежности добычи и транспорта природного газа в условиях криолитозоны 49

Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение

Баишев Н.Е., Шепелёв В.В., Гагарин Л.А. О закономерностях распространения наледей на федеральной автодороге А-360 «Лена» по данным мультиспектральных космических снимков 60

Геомеханика

Хосоев Д.В., Матвеев А.И. К вопросу разупрочнения вскрышных пород Эльгинского угольного месторождения путем использования поверхностно-активных веществ 70

Общая биология

Экология

Чевычелов А.П., Алексеев А.А., Кузнецова Л.И. Использование показателя магнитной восприимчивости почв для оценки экологического состояния почвогрунтов г. Якутска 78

Бурнашева А.П., Винокуров Н.Н., Евдокарова Т.Г., Попов А.А. О новой вспышке массового размножения сибирского шелкопряда (*Dendrolimus suberans sibiricus* Tschetv.) в Центральной Якутии 93

Андросова Д.Н., Данилова Н.С. Влияние температуры на прорастание семян травянистых растений Центральной Якутии 107

Яковлева М.Л., Сидоров М.М., Данилов В.А., Шадрина Е.Г. Численность и распределение по территории безнадзорных собак в разных типах городской среды (на примере г. Якутск) 116

Биологические ресурсы

Николаева О.А., Афанасьева Е.А. Новое местонахождение *Hemerocallis Minor* Mill. (Hemerocallidaceae) на территории Якутии 130

Кан М.У., Шашурин М.М., Журавская А.Н. Биологическая и токсикологическая активность водно-спиртовых экстрактов из ряда хвойных растений Якутии 136

Металлургия и материаловедение

Материаловедение

Кычкин А.К., Стручков Н.Ф., Винокуров Г.Г. Формирование пористости базальтопластиковых композиционных материалов при климатических испытаниях в условиях Севера 145

Указатель материалов, опубликованных в журнале «Природные ресурсы Арктики и Субарктики» в 2020 г. 155

CONTENTS

Editorial 7

Earth sciences

General and regional geology, petrology and volcanology

Shkodzinskiy V.S. Origin and genetic types of carbonatites 8

Kopylova A.G. Distribution of rare elements at different evolutionary stages of Riphean and Phanerozoic tholeiite-basalt melts in the eastern part of the Siberian platform 17

Kolosov P.N., Rozhin S.S., Olyenova K.S. Nature of the Neoproterozoic oncolites of the Urinsk uplift (the southern part of the Siberian Platform) 32

Boeskorov G.G. Body sizes of the woolly mammoth *Mammuthus primigenius* (Blumenbach) of the second half of the Late Pleistocene in the north of Eastern Siberia 38

Rozhin I.I., Kalacheva L.P., Ivanova I.K. Hydrate formation studies to improve the reliability of the natural gas production and transport under cryolitozone conditions 49

Engineering geology, permafrost and soil science

Baishev N.E., Shepelev V.V., Gagarin L.A. Patterns of naleds distribution along the Lena Highway according to multispectral satellite images 60

Geomechanics

Khosoev D.V., Matveev A.I. Improving the efficiency of development of overburden rocks and coals of the Elgin Deposit of Yakutia by softening them using surfactants 70

General biology

Ecology

Chevychelov A.P., Alekseev A.A., Kuznetsova L.I. The use of the magnetic susceptibility index of soils for the assessment of the ecological state of the soils in Yakutsk 78

Burnasheva A.P., Vinokurov N.N., Evdokarova T.G., Popov A.A. About a new outbreak of the Siberian moth (*Dendrolimus suberans sibiricus* Tschetv.) in Central Yakutia 93

Androsova D.N., Danilova N.S. Influence of temperature on germination of seeds of herbaceous plants in Central Yakutia 107

Yakovleva M.L., Sidorov M.M., Danilov D.A., Shadrina E.G. Abundance and spatial distribution of stray dogs in different types of urban environment (by the example of Yakutsk) 116

Biological resources

Kan M.U., Shashurin M.M., Zhuravskaya A.N. Biological and toxicological activity of aqueous-alcoholic extracts from a number of conifers of Yakutia 136

Nikolaeva O.A., Afanasieva E.A. The new location *Hemerocallis Minor* Mill. in the territory of Yakutia 130

Metallurgy and materials science

Materials science

Kychkin A.K., Struchkov N.F., Vinokurov G.G. Formation of the porosity of basalt-plastic composite materials during climate tests under the conditions of the North 145

Index of arcticles, published in «Arctic and Subarctic Natural Resources» journal in 2020..... 155

Уважаемые читатели журнала «Природные ресурсы Арктики и Субарктики – Arctic and Subarctic Natural Resources»!



Наступивший 2021 год является юбилейным 25-м годом издания журнала. За эти годы изменились название журнала (до 2018 г. – Наука и образование), основные направления научных специальностей публикаций. Неизменными остаются задачи издания по популяризации и продвижению результатов научных исследований в российское и международное информационное пространство, способствующее развитию научной сферы, внедрению научных результатов практику. За последние годы вырос авторитет журнала, создана солидная редакционная коллегия, выдерживаются требования к публикуемым материалам в соответствии с международными стандартами. В 2020 г. журнал включен в базу данных Russian Science Citation Index (RSCI) в числе лучших российских журналов из РИНЦ на платформе Web of Science, а также в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК Минобрнауки РФ по 11 специальностям.

В соответствии со «Стратегией развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года», утвержденной Указом Президента Российской Федерации 26 октября 2020 года № 645, сегодня главной целью государственной политики Российской Федерации в Арктике в сфере науки и технологий является обеспечение достаточного уровня фундаментальных и прикладных научных исследований по накоплению знаний и созданию современных научных и геоинформационных основ управления арктическими территориями, включая разработку средств для решения задач обороны и безопасности, а также надежного функционирования систем жизнеобеспечения и производственной деятельности в природноклиматических условиях Арктики.

Основными мерами по реализации государственной политики в области научных исследований и научного обеспечения деятельности в Арктической зоне Российской Федерации являются следующие:

– обоснование тенденций долгосрочных перспектив и основных направлений развития различных видов деятельности в Арктике;

– наращивание минерально-сырьевой базы в Арктике и Субарктике с учетом требований устойчивости экосистем;

– изучение опасных и кризисных природных явлений, разработка и внедрение современных технологий в условиях криолитозоны;

– прогноз и оценка последствий глобальных климатических изменений, происходящих в Арктической зоне Российской Федерации под влиянием естественных и антропогенных факторов, обеспечение безопасности, надежности гражданских и промышленных объектов, объектов инфраструктуры;

– проведение исследований в области истории, культуры и экономики региона, сохранения этнокультурного потенциала коренных народов Севера, а также правового регулирования деятельности в Арктике;

– изучение влияния на здоровье населения вредных факторов окружающей среды, выработка требований по охране здоровья населения и полярников, обоснование комплекса мероприятий, направленных на оздоровление среды обитания населения и профилактику заболеваний.

Журнал «Природные ресурсы Арктики и Субарктики» способствует ознакомлению широкого круга читателей с новыми исключительно актуальными знаниями в области общей и региональной геологии, петрологии, инженерной геологии, мерзлотоведения и грунтоведения, экологии, биологических ресурсов и материаловедения.

Вместе с тем мы ставим амбициозные задачи по расширению круга читателей, привлечению в журнал потенциала ученых ведущих научных учреждений и университетов России и зарубежья, занимающихся проблемами освоения арктических регионов. Дальнейшее повышение уровня, качества публикуемых статей обеспечит вхождение журнала в первостепенные базы данных мировой науки.

Уверен, что авторы статей охватят широкий спектр проблем, наметят перспективы на будущее, разработают пути решения и внесут необходимые рекомендации, которые будут направлены в органы законодательной и исполнительной власти для совершенствования законодательства и государственного регулирования в сфере устойчивого развития Арктики.

Желаю вам крепкого здоровья, дальнейших творческих успехов и достижения поставленных целей!

Главный редактор,
Президент Академии наук
Республики Саха (Якутия)
В.В. Филиппов

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Общая и региональная геология, петрология и вулканология

УДК 552.33
DOI 10.31242/2618-9712-2021-26-1-1

Происхождение и генетические типы карбонатитов

В.С. Шкодзинский

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

Аннотация. *Уникально высокая рудоносность карбонатитов определяет необходимость выяснения их происхождения. До настоящего времени эта проблема не имела убедительного решения. Приведенные автором доказательства горячей гетерогенной аккреции Земли позволяют объяснить особенности их образования, согласно которым на ранней стадии эволюции Земли существовал слоистый глобальный магматический океан. Накопление углекислоты при фракционировании пикритового слоя привело к возникновению остаточно-ультраосновных карбонатитов. Глубокое фракционирование и огромный объем этого слоя обусловили высокие концентрации редких и редкоземельных элементов в карбонатитовых остаточных расплавах. Раздвижение продуктов кристаллизации магматического океана растекавшимся веществом нижнемантийных суперплюмов при формировании океанических областей обусловила отсутствие карбонатитов в этих областях и возникновение их преимущественно на древних платформах. Фракционирование основного слоя магматического океана привело к возникновению древних остаточно-основных карбонатитов в пределах массива Селигдар (Алданский щит). Примером остаточно-фрикционных карбонатитов, образовавшихся при расслоении продуктов фрикционного плавления дифференциатов магматического океана, являются карбонатиты Мурунского щелочного массива. В областях кимберлитового магматизма распространены мелкие интрузии остаточно-кимберлитовых карбонатитов.*

Ключевые слова: карбонатиты, магматический океан, магматическое фракционирование.

Введение

Карбонатитсодержащие комплексы являются одними из самых уникальных магматических пород по количеству, богатству и разнообразию содержащегося в них оруденения. С ними связаны крупные месторождения редких и редкоземельных элементов, фосфатов, железа, алюминия и других полезных ископаемых. Для эффективного прогноза, поисков и решения других геологических задач важно иметь правильные представления о генезисе карбонатитсодержащих магматических комплексов. Однако до настоящего времени эта проблема не имела убедительного решения.

Обычно предполагается, что карбонатитовые и другие магмы сформировались в результате отделения выплавок при слабом подплавлении мантийных пород, предварительно обогащенных рассеянными элементами под влиянием просачивания гипотетических флюидных потоков [1–3]. Но самой возможности существования в мантии флюидной фазы и этих потоков противоречат многочисленные экспериментальные данные [4, 5], согласно которым присутствие летучих компонентов при высоком давлении на многие сотни градусов (кривая $П_c + H_2O = Pc$ на рис. 1) снижает температуру плавления мантийных пород. Поэтому в случае присутствия этих потоков верхняя мантия расплавилась бы и континенты утонули бы в ней. Прохождение через мантию поперечных сейсмических волн однозначно указывает на ее преимущественно твердофазное состояние и, следовательно, на отсутствие в ней флюидной фазы. Незначительные количества летучих компонентов в ней находятся в связанном состоянии в минералах. Немаловажно и то обстоятельство, что вследствие очень высоких температур и давления в мантии не мо-

© Шкодзинский В.С., 2021

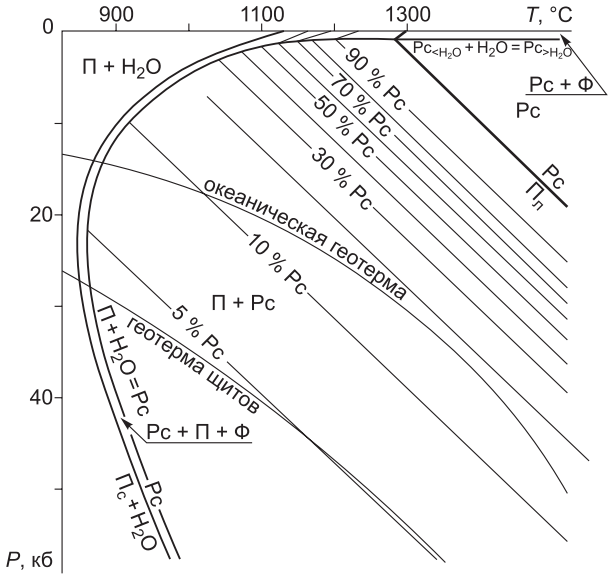


Рис. 1. *P–T*-диаграмма фазового состава перидотитовых магм с 0,5 % H_2O.
$П_с$ – твердые фазы перидотита в условиях солидуса; $П_л$ – ликвидусные твердые фазы перидотита; Pc – расплав; Ф – флюидная фаза [6].

Fig. 1. *P–T* diagram of the phase composition of peridotite magmas with 0.5 % H_2O.
$П_с$ – solidus minerals of peridotite; $П_л$ – liquidus mineral of peridotite; Pc – melt; Ф – fluid [6].

гут существовать открытые трещины и поры, необходимые для движения флюидов.

Происхождение магм и геосфер

В случае обычно предполагаемого образования магм в подплавленных на 0,1–15 % породах [6] вязкость последних должна составлять 10^{20}–10^{22} пуаз [8]. Как показали расчеты [7, 8], при такой вязкости за всю историю Земли (4,6 млрд лет) капля основного расплава радиусом 1 см всплывет в астеносфере всего на миллиметры, что не способно привести к магмообразованию. Это согласуется с отсутствием процессов разделения расплава и твердых фаз в расплавленных менее чем на 35 % перидотитах [9] и с автохтонностью анатектического жильного материала в огромных массивах мигматитов даже при максимальном содержании его в 40 % [8]. Иногда встречающиеся в мигматитах крупные тела гранитов имеют другие состав и изотопный возраст, чем анатектический жильный материал.

Для выяснения генезиса карбонатитовых и других магм необходимо знать происхождение геосфер, в которых они сформировались и размещались. В соответствии с господствующей гипотезой математика О.Ю. Шмидта [10] о холодной гомогенной аккреции обычно предполагается, что Земля образовалась путем одновременного объединения относительно холодных железных и силикатных частиц протопланетного диска под влиянием сил взаимного гравитационного притяжения. В дальнейшем эти частицы в земных недрах разделялись по плотности и сформировали земное ядро, мантию и кору. Эти представления не имеют доказательств и в настоящее время пришли в противоречие с большим количеством данных.

Расчеты показали, что выделение потенциальной энергии при аккреции Земли составляло около 9000 кал/г, что было способно разогреть ее вещество до 34000 °С [11]. О.Ю. Шмидт предполагал, что аккреция Земли происходила в течение более миллиарда лет. За столь большое время ее вещество успевало остывать. Однако, по современным изотопным данным [12], аккреция произошла менее чем за 10 млн лет и, следовательно, была горячей. Это подтверждается существованием трендов магматического фракционирования в мантийных ксенолитах из кимберлитов (рис. 2) и в раннедокембрийских кристаллических комплексах, уменьшением температуры кристаллизации и изотопного возраста их различных пород в полном соответствии с последовательностью образования при фракционировании, проекцией ранних геотермических градиентов в область очень высокой температуры на земной поверхности (до 1000 °С) и многими другими данными [8].

Мантийные породы химически резко неравновесны с металлическим железом [11]. Например, фугитивность кислорода при их образовании была в двадцать тысяч раз выше, чем необходимо для устойчивости металлического железа [13]. Это указывает, что железные и силикатные частицы никогда не были перемешаны в земных недрах. Намагниченность железных частиц в метеоритах [14, 15] и в миллиарды раз большая мощность магнитных сил по сравнению с гравитационными при небольшом размере тел свидетельствуют, что железные частицы в протопланетном диске быстро объединились под влиянием сил взаимного магнитного притяжения значительно раньше, чем силикатные [7]. Значительная сила гравитационного притяжения быстро образовавшегося ядра является причиной интенсивного выпадения на него силикатных частиц и относительной кратковременности аккреции Земли.

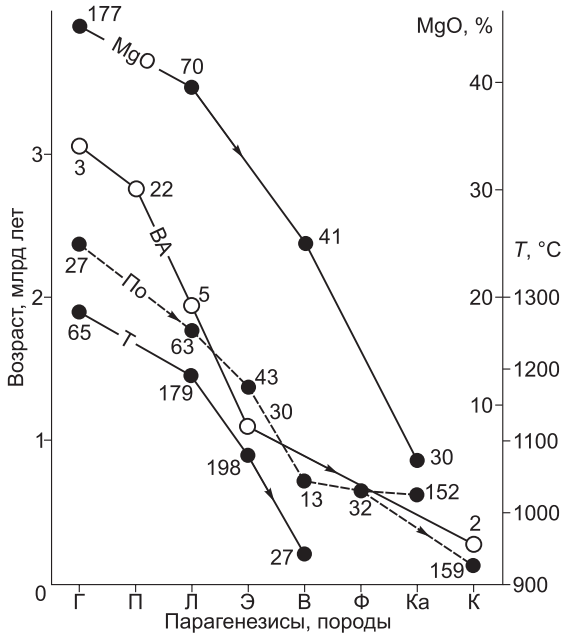


Рис. 2. Средние изотопные возрасты пород из ксенолитов в кимберлитах (линия По) и включений в алмазах (линия ВА), средняя температура образования при 5 ГПа (Т), среднее содержание магния (MgO).
Состав пород и включений в алмазах: Г – гарцбургитовый, П – перидотитовый нерасчлененный, Л – лерцолитовый, Э – эклогитовый, В – верлитовый и вебстеритовый, Ка – карбонатитовый, К – кимберлитовый, Ф – флогопитсодержащие породы. Числа у точек – количество использованных определений [6].

Fig. 2. Average isotope ages of different mantle rocks from xenoliths in kimberlites (line По) and from inclusions in diamonds (line BA), average temperature of origin at 5 GPa (line T) and average MgO content in the rocks (line MgO).
Compositions of inclusions in diamonds and of the rocks in xenoliths: Г – harzburgite, П – peridotite, undifferentiated, Л – lherzolite, Э – eclogite, В – wehrlite and websterite, Ф – phlogopite-bearing rocks, Ка – carbonatite, К – kimberlite. Numerals by points show the number of used determinations. Based on data from [6].

Таким образом, Земля сформировалась в результате горячей гетерогенной аккреции, а ее железное ядро возникло раньше силикатной мантии. При такой последовательности образования убедительно решаются все дискуссионные проблемы глобальной петрологии [8]. Придонная часть возникшего в результате импактного тепловыделения магматического океана постоянно кристаллизовалась и фракционировала под влиянием роста давления возникавших при аккреции его верхних частей. Небольшая глубина раннего магматического океана и пониженная сила гравитационного притяжения на еще небольшой Земле обусловили низкое давление в его придонном слое. Это привело к образованию больших объемов низкобарических кислых и толеитовых остаточных расплавов при его фракционировании и объясняет очень широкое распространение пород данного состава на нашей планете. Возникавшие кумулаты формировали мантию, а кислые расплавы, вследствие низкой плотности, всплывали и после прекращения аккреции образовали раннедокембрийские кристаллические комплексы и кислую кору (рис. 3). Постепенное увеличение температуры и глубины магматического океана по мере аккреции обусловили возникновение основных и ультраосновных слоев в магматическом океане. Импактное плавление падавшего различного по составу вещества протопланетного диска и усреднение его состава в магматическом океане является причиной значительной однородности вещества мантии [14], несмотря на его гетерогенную аккрецию.

На окраине внешней орбиты планет земной группы, в поясе астероидов, вследствие в тысячи раз меньшего количества присутствовавших здесь железных и силикатных частиц, процессы их объединения под влиянием магнитных сил и импактного плавления были слабо проявлены. Это привело к очень небольшому размеру (до сотен километров [15]) формировавшихся здесь планет, к отсутствию при их аккреции магматического океана, к частичному сонахождению железных и силикатных частиц во внешних их частях и объясняет состав и большую неоднородность хондритовых метеоритов, возникших при дроблении этих планет. Присутствующие в этих метеоритах хондры отражают частичное импактное плавление их вещества при аккреции, что подтверждается наличием стекловатых шариков в лунном реголите. Богатство хондритов по сравнению с планетами земной группы летучими компонентами обусловлено удаленностью от Солнца области их аккреции.

Генезис карбонатитов

Вследствие слоистости в магматическом океане, после завершения аккреции, не возникали обширные (от дна до поверхности) конвективные потоки, поэтому он долгое время затвердевал сверху вниз в результате преимущественно кондуктивных теплопотерь. Всплывание остаточных расплавов из его различных слоев привело к эволюции магматизма на древних платформах от кислого и среднего до основного и щелочно-ультраосновного, а затем – кимберли-

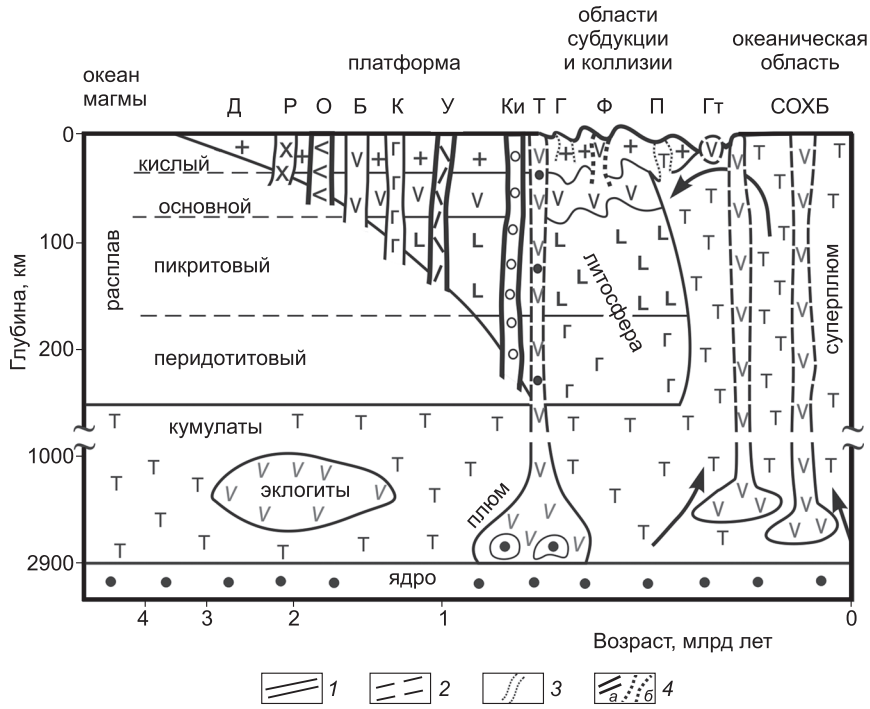


Рис. 3. Схема образования главных геодинамических обстановок и магм в результате кристаллизации глобального магматического океана и мантийной конвекции.
Магмы: Б – базитов; Г – кислых пород; Гт – «горячих точек»; Д – раннедокембрийской кристаллической коры; К – коматиитов; П – базит-гипербазитовых комплексов; Р – рапакиви и других субщелочных пород; СОХБ – базитов срединно-океанических хребтов; Т – траппов, иногда содержащих ксенолиты железа земного ядра. Магмы карбонатитов: Ки – остаточно-кимберлитовых; О – остаточно-основных; У – остаточно-ультраосновных; Ф – остаточно-фрикционных. Генетические типы магм: *1* – магматического океана; *2* – декомпрессионные; *3* – фрикционные; *4* – остаточные карбонатитовые магматического океана (*а*) и фрикционные (*б*).

Fig. 3. Scheme of origin of main geodynamic setting and of magmas as a result of crystallization of global magma ocean and of mantle convection.
Magmas: Б – of basites; Г – of acid rocks; Гт – of "hot points"; Д – of early Precambrian crystalline crust; К – of komatiites; П – basite-ultrabasite complex; Р – of rapakivi and subalkaline rocks; СОХБ – of middle oceanic ridges; Т – of traps sometimes with native iron. Magmas of carbonatites: Ки – of residual-kimberlitic; О – of residual-basic; У – of residual-ultrabasic; Ф – of residual-friction. Genetic types of magmas: *1* – of magma ocean; *2* – of decompression melting; *3* – of friction melting; *4* – of residual carbonatites of magma ocean (*а*) and of fricftion melting (*б*).

тового. Это объясняет природу особенностей состава и последовательность проявления магматизма на древних платформах (см. рис. 3).

При такой эволюции большинство карбонатитов должно было образоваться в результате накопления углекислоты в остаточных расплавах при кристаллизации и фракционировании магматического океана. Углекислота менее растворима в расплавах, чем большинство других летучих компонентов. Поэтому для ее накопления и образования карбонатитовых остаточных расплавов необходимо было повышенное давление, т. е. фракционирование в относительно глубинных условиях. По экспериментальным данным [16], при давлении более 25 кб карбонатитовый расплав становится полностью смесимым с силикатным, следовательно, в магматическом океане на глубине до 100 км возникали чисто карбонатитовые остаточные расплавы, а глубже – силикатно-карбонатитовые. В типичных карбонатитах, как правило, отсутствуют алмазы, поэтому глубина формирования остаточных карбонатитовых расплавов чаще всего была меньше 150 км. В магматическом океане, в интервале глубин от 80 до 150 км, была распространена пикритовая магма (см. рис. 3). Это объясняет чаще всего щелочно-ультраосновной состав карбонатитсодержащих магматических комплексов.

Содержание интенсивно накапливающихся в остаточных расплавах легких редких земель в карбонатитах достигает десяти тысяч хондритовых норм, что свидетельствует о формировании

карбонатитовых расплавов после уменьшения объема исходных пикритовых магм в тысячи раз и объясняет аномально высокие концентрации в карбонатитах большинства рассеянных элементов. Концентрация ниобия, например, в них иногда достигает целых процентов, тогда как в недифференцированных магматических породах она обычно не превышает десятков грамм на тонну. Колоссальный объем родоначального пикритового слоя магматического океана (см. рис. 3) обусловил накопление огромных запасов редких элементов в карбонатитах, поскольку именно существование длительных и глубоких процессов фракционирования глобального магматического океана позволяет объяснить уникальные концентрации и запасы в карбонатитах многих рассеянных элементов.

Вследствие весьма высокого давления при глубинном магматическом фракционировании был широко устойчив и осаждался гранат, который выносил из расплава глинозем, но не выносил щелочи. Это приводило к накоплению последних в остаточных расплавах и объясняет высокую щелочность большинства карбонатитсодержащих комплексов. Эволюция при фракционировании состава магм от ультраосновного к карбонатитовому является причиной многофазности и гомодромной последовательности становления этих комплексов. Их образование при остывании магматического океана является главной причиной снижения температуры кристаллизации от 1200–1300 °С на ранних фазах, и менее 600 °С – в поздних [1].

Отрицательный наклон верхней части линии солидуса при избытке воды ($П_с + H_2O = Рс$) на рис. 1 иллюстрирует, что снижение давления при подъеме магм приводило к процессам их декомпрессионного затвердевания путем остеклования или кристаллизации расплава. Температура при этом могла повышаться вследствие выделения скрытой теплоты кристаллизации. Резкое повышение вязкости затвердевавших магм приводило к невозможности их всплывания по узким трещинам, поэтому затвердевавшие верхние части магматических колонн начинали подниматься в виде относительно изометричных тел. Это объясняет смену дайкообразной формы глубинных частей интрузий на более изометричную – в менее глубинных, что характерно для карбонатитсодержащих комплексов [2, 3].

При дальнейшем подъеме магмы давление законсервированной затвердеванием ее газовой фазы могло превзойти прочность затвердевших магматических и вмещающих пород. Это приводило к их эксплозивной дезинтеграции и было причиной широкого распространения в карбонатитсодержащих комплексах эксплозивных брекчий и диатрем. Такие явления особенно широко распространены в кимберлитовых магмах. Вследствие пониженной растворимости углекислоты в расплаве в богатых ею магмах флюидная фаза начинала выделяться на более глубинных стадиях подъема. Это приводило к наиболее глубинному образованию брекчий и диатрем в карбонатитсодержащих комплексах и объясняет незначительную протяженность эксплозивных диатрем (десятки–сотни метров) в бедных углекислотой лампроитах, игнимбритах и некоторых кимберлитах [2, 3].

Остывание и кристаллизация глобального магматического океана привели к образованию литосферы древних платформ. При ее формировании в мантии существовал обратный геотермический градиент, связанный с увеличением импактного тепловыделения по мере ее аккреции [6]. Поэтому сначала на Земле отсутствовала мантийная конвекция и не возникали океанические геодинамические обстановки. Последние начали формироваться в фанерозое после прогрева мантии изначально очень горячим ядром и установления в ней прямого геотермического градиента. В возникавших океанических областях продукты кристаллизации магматического океана были раздвинуты растекавшимся веществом нижнемантийных суперплюмов (см. рис. 3). Это объясняет размещение карбонатитсодержащих комплексов и кимберлитов в основном на платформах и их отсутствие – в океанических областях.

По мере затвердевания магматического океана возрастала разница между уплотнявшейся остывавшей литосферой и образующимися все менее плотными подстилавшими остаточными расплавами. Это приводило к постепенному всплыванию крупных объемов последних и к образованию куполовидных поднятий в литосфере. При внедрении порции расплавов в земную кору на куполах возникали грабены и авлакогены в результате опускания вещества литосферы на место поднявшихся расплавов. Данные явления, видимо, являются причиной размещения большинства карбонатитсодержащих комплексов в грабенах и авлакогенах на куполовидных поднятиях. Вследствие пониженной мощности литосферы на краях платформ купола, грабены и карбонатитсодержа-

щие комплексы здесь возникали чаще, чем в центре платформ [2, 3].

Всплывающее глубинное вещество вследствие влияния силы Кориолиса по инерции стремится сохранить меньшую линейную скорость вращения вокруг центра Земли, поэтому его горизонтальное смещение обусловливает возникновение западного дрейфа континентов [6]. Неравномерность этого дрейфа приводит к частому возникновению протяженных субмеридиональных сквозьструктурных линиаментов [2] и, видимо, является причиной чаще всего такой же ориентировки грабенов, вмещающих карбонатиты.

Вследствие полной смесимости карбонатитового и силикатного расплавов при давлении более 25 кб кимберлитовые остаточные расплавы формировались на значительно большей глубине, чем карбонатитовые. Это является главной причиной пространственной разобщенности редкометалльных карбонатитов и кимберлитов на древних платформах. Траппы сформировались путем декомпрессионного плавления всплывавших крупных тел основных пород, возникавших при аккреции мантии из затвердевших расплавов магматического океана, которые заполняли импактные углубления на его дне. Они приобрели способность всплывать до земной поверхности после значительного затвердевания магматического океана примерно во время возникновения последних карбонатитовых и кимберлитовых остаточных расплавов. Это объясняет относительную близость времени образования карбонатитов, кимберлитов и траппов [2, 3] на платформах.

Щелочно-ультраосновные карбонатитсодержащие комплексы начали формироваться после затвердевания верхних кислого и основного слоев магматического океана. Это объясняет относительно молодой возраст карбонатитов – в среднем 688 млн лет (см. рис. 2). Большая длительность остывания и затвердевания глубинных слоев магматического океана является причиной большой продолжительности образования щелочно-ультраосновных карбонатитсодержащих комплексов. К примеру, для Томторского массива (север Сибирской платформы) она составляет около 600 млн лет [1]. Затвердевание слоистого магматического океана сверху вниз и зарождение кимберлитовых остаточных расплавов в придонном перидотитовом слое магматического океана объясняет самый молодой возраст кимберлитов – в среднем 236 миллионов лет.

Генетические типы карбонатитов

Наиболее распространены карбонатиты щелочно-ультраосновных комплексов, возникшие при фракционировании ультраосновных магм магматического океана, которые целесообразно назвать *остаточно-ультраосновными.* Очевидно, что карбонатиты могли формироваться и путем фракционирования богатого кальцием основного слоя магматического океана, а также магм, возникших путем фрикционного и декомпрессионного переплавления дифференциатов этого океана [17].

Примером карбонатитов, возникших путем фракционирования основного слоя магматического океана, являются Селигдарские карбонатитовые дайки и штоки, которые распространены в виде субмеридиональной полосы протяженностью около 400 км в центре Алданского щита. О таком происхождении свидетельствует ассоциация их с телами габбро-анортозитов, габбро и диоритов (см. рис. 4), а также очень древний (1900–1400 млн лет) изотопный возраст этих пород [1]. Этот возраст примерно соответствует времени окончания кристаллизации основного слоя магматического океана. Для магматических пород, ассоциирующихся с этими карбонатитами, не характерна высокая щелочность, что связано с относительно небольшой глубиной залегания (около 20–30 км) верхних частей основного слоя. Селигдарские карбонатиты содержат крупные месторождения апатита. Такие карбонатиты целесообразно назвать *остаточно-основными.*

На юго-западе Алданского щита находится крупный ультракалиевый Мурунский массив, связанный с распространенными на этом щите мезозойскими щелочными интрузиями. Он сложен сиенитами, уртитами, ийолитами, граносиенитами, содержит небольшое количество карбонатитов и единственное в мире месторождение уникального сиреневого минерала чароита. Высокая величина отношения Sr^{87}/Sr^{86}, достигающая 0,7120 [1], свидетельствует о формировании магм этого массива в результате фрикционного переплавления под влиянием тектонических деформаций древних щелочных дифференциатов магматического океана в литосфере [17]. Большую эффективность разогрева подтверждает массовый современный вулканизм на спутнике Юпитера Ио. Он подвергается интенсивным приливным деформациям под влиянием гравитационных полей Европы, Ганимеда и Юпитера. Образова-

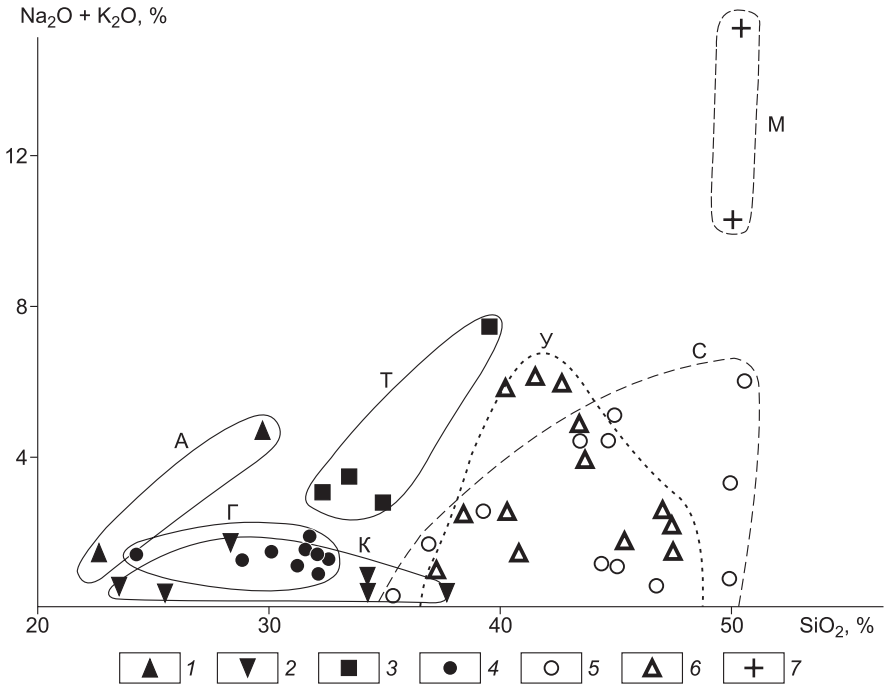


Рис. 4. Содержание щелочей и кремнекислоты в ранних магматических породах карбонатитсодержащих комплексов: А, *1* – Арбарастах; К, *2* – кимберлитов; Т, *3* – Томтор; Г, *4* – Горное озеро; С, *5* – Селигдар; У, *6* – Укудусск; М, *7* – Мурун. Построен про данным [1].

Fig. 4. Contents of Na_2O+K_2O and SiO_2 in early magmatic rocks of carbonatite complex: А, *1* – of Arbarastah; К, *2* – of kimberlites; Т, *3* – of Tomtor; Г, *4* – of Gornoe ozero; С, *5* – of Seligdar; У, *6* – of Ukudussk; М, *7* – of Murun [1].

нием при фракционировании относительно богатых кремнекислотой магм обусловлено присутствие в Мурунском массиве редких кварцсодержащих (62–67 %) карбонатитов торголитов [1]. Карбонатиты этого массива имеют *остаточно-фрикционное* происхождение.

В районах распространения кимберлитов и в кимберлитовых трубках часто встречаются небольшие тела (жилы, дайки) карбонатитов. В отличие от рассмотренных выше карбонатитов они содержат минералы кимберлитов – пироп, хромшпинелиды, алмаз и бедны редкими элементами. В кимберлитовом силле Бенфонтейн (Ю. Африка) описано образование таких карбонатитов в результате фракционирования кимберлитовой магмы [1, 2]. Связанные с кимберлитами карбонатиты являются *остаточно-кимберлитовыми.*

Заключение

Таким образом, полученные доказательства горячей гетерогенной аккреции Земли свидетельствуют о формировании карбонатитов в результате фракционирования глобального магматического океана и продуктов плавления его дифференциатов. Фракционирование происходило в относительно маловязких расплавах, поэтому оно было в миллиарды раз более эффективным, чем обычно предполагаемая дифференциация твердых или слабо подплавленных пород. Выделяются четыре генетических типа карбонатитов – остаточно-ультраосновные, остаточно-основные, остаточно-фрикционные и остаточно-кимберлитовые. Существование этих генетических типов позволяет объяснить многочисленные особенности наиболее распространенных карбонатитсодержащих магматических комплексов и их исключительно высокую рудоносность.

Литература

1. *Энтин А.Р., Зайцев А.И., Лазебник К.А., Ненашев Н.И., Маршинцев В.К., Тян О.А.* Карбонатиты Якутии (вещественный состав и минералогия). Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1991. 240 с.

2. *Фролов А.А., Лапин А.В., Толстов А.В., Зинчук Н.Н., Белов С.В., Бурмистров А.А.* Карбонатиты и кимберлиты (взаимоотношения, минерагения, прогноз). М.: НИА-Природа, 2005. 540 с.

3. *Белов С.В., Лапин А.В., Толстов А.В., Фролов А.А.* Минерагения платформенного магматизма (траппы,

карбонатиты, кимберлиты). Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. 537 с.

4. *Mysen B.O., Boettcher A.L.* Melting of a hydrous mantle. 1. Phase relations of natural peridotite at high pressures and temperatures with controllired activities H_2O, CO_2 and H_2 // J. Petrol. 1975. Vol. 16, No. 3. P. 520–540.

5. *Wyllie P.J., Huang W.L.* Influence of mantle CO_2 in the generation of carbonatites and kimberlites // Nature. 1975. V. 275. P. 297–299.

6. *Грин Д.Х.* Состав базальтовых магм как критерий их возникновения при вулканизме / Ред. Э. Буллард, Дж. Канн, Д. Метьюз // Петрология изверженных и метаморфических пород дна океана. М.: Мир, 1973. С. 242–261.

7. *Шкодзинский В.С.* Петрология литосферы и кимберлитов (модель горячей гетерогенной аккреции Земли. Якутск: Издательский дом СВФУ, 2014. 452 с.

8. *Шкодзинский В.С.* Фазовая эволюция магм и петрогенезис. М.: Наука, 1985. 232 с.

9. *Arndt N.T.* The separation of magmas from partially molten peridotite // Carnegie Inst. Wash. Yearb. 1977. Vol. 76. P. 424–428.

10. *Шмидт О.Ю.* Происхождение Земли и планет. М.: Изд-во. АН СССР, 1962. 132 с.

11. *Рингвуд А.Е.* Происхождение Земли и Луны. М.: Недра, 1982. 294 с.

12. *Рузмайкина Т.В.* Протопланетный диск: от идеи захвата к теории происхождения // Физика Земли. 1991. № 8. С. 5–14.

13. *O'Neil H.S.* Oxygen fugacity and siderophile elements in the Earth's mantle: implications for the origin of the Earth // Meteoritics. 1990. Vol. 25 **(**4). P. 395.

14. *Рингвуд А.Е.* Состав и происхождение Земли. М.: Наука, 1981. 112 с.

15. *Додд Р.Т.* Метеориты – петрология и геохимия. М.: Мир, 1986. 382 с.

16. *Сурков Н.В., Зинчук Н.Н.* Устойчивость глубинных парагенезисов, процессы магмообразования и происхождение кимберлитов // Проблемы алмазной геологии и некоторые пути их решения. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2001. С. 101–128.

17. *Шкодзинский В.С.* Происхождение магм как результат горячей аккреции Земли // Вестник геонаук. 2020. 2(232). С. 6–14.

Поступила в редакцию 17.08.2020
Принята к публикации 24.12.2020

Об авторе

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

Информация для цитирования

Шкодзинский В.С. Происхождение и генетические типы карбонатитов // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2021. Т. 26, № 1. С. 8–16. https://doi.org/10.31242/2618-9712-2021-26-1-1

DOI 10.31242/2618-9712-2020-26-1-1

Origin and genetic types of carbonatites

V.S. Shkodzinskiy

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

Abstract. *The very high ore content of carbonatites determines the relevance of ascertaining the origin of these rocks. However, to date, this problem has not had a convincing solution. The obtained evidence of the hot heterogeneous accretion of the Earth allows us to explain all the features of their formation. With such accretion at the early stage of the Earths evolution, there was a layered global magmatic ocean. The accumulation of carbon dioxide during fractionation of its largest picrite layer led to the appearance of the most common residual ultrabasic carbonatites. Its very deep fractionation and the huge volume of this*

layer caused a substantial accumulation of rare and rare-earth elements in carbonatite residual melts. The expansion of the products of crystallization of the magmatic ocean by the spreading substance of the lower mantle superplumes during the formation of oceanic regions led to the absence of carbonatites in these regions and to their distribution mainly on ancient platforms. Fractionation of the basic layer of the magmatic ocean led to the emergence of the most ancient residual-basic carbonatites that formed the Seligdar apatite deposits on the Aldan shield. An example of residual-frictional carbonatites formed by fractionation of the products of frictional melting of differentiates of the magmatic ocean are the carbonatites of the Mesozoic Murunsky alkaline massif. In the areas of kimberlite magmatism, small intrusions of residual kimberlite carbonatites are widespread.

Key words: carbonatites, magmatic ocean, magmatic fractionation.

References

1. *Entin A.P., Saizev A.I., Lazebnik K.A., Nenashev N.I., Marshinzev V.K., Tjan O.A.* Karbonatity Jakutii (veshchestvennyi sostav i mineralogija). Yakutsk: JaNZ SO RAN, 1991. 241 p.

2. *Frolov A.A., Lapin A.V., Tolstov A.V., Zinchuk N.N., Belov S.V., Burmistrov A.A.* Karbonatity i kimberlity (vzaimootnoshenija, mineragenija i prognoz). M.: NIA-Priroda, 2005. 540 p.

3. *Belov S.V., Lapin A.V., Tolstov A.V., Frolov A.A.* Mineragenija platformennogo magmatizma (trappy, karbonatity, kimberlity). Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2008. 537 p.

4. *Mysen B.O., Boettcher A.L.* Melting of a hydrous mantle. 1. Phase relations of natural peridotite at high pressures and temperatures with controllired activities H_2O, CO_2 and H_2 // J. Petrol. 1975. Vol. 16, No. 3. P. 520–540.

5. *Wyllie P.J., Huang W.L.* Influence of mantle CO_2 in the generation of carbonatites and kimberlites // Nature. 1975. Vol. 275. P. 297–299.

6. *Green D.X.* Sostav basaltovyh magm kak kriterij ih vosniknovenia pri vulkanisme / Red. E. Bullard, D. Kann, D. Metjus // Petrologia isvergennyh i metemorficheskih porod dna okeana. M.: Mir, 1973. P. 242–261.

7. *Shkodzinskiy V.S.* Petrologia litosfery i kimbelitov (model gorjachei geterogennoi akkrezii Zemli). Yakutsk: Izd. SVFU, 2014. 452 p.

8. *Shkodzinskiy V.S.* Fazovaja evoluzija magm i petrogenesis. M.: Nauka, 1985. 232 p.

9. *Arndt N.T.* The separation of magmas from partially molten peridotite // Carnegie Inst. Wash. Yearb. 1977. Vol. 76. P. 424–428.

10. *Smidt O.Ju*. Proishogdenie Semli i planet. M.: Isd-vo AN SSSR, 1962. 132 p.

11. *Ringwood A.E.* Proisyhosdenie Semli i Luny. M.: Nedra, 1982. 294 p.

12. *Ruzmaikina T.V.* Protoplanetnyi disk: ot idei saxvata k teorii proishogdenia // Fisika Semli. 1991. No. 8. P. 5–14.

13. *O'Neil H.S.* Oxygen fugacity and siderophile elements in the Earth's mantle: implications for the origin of the Earth // Meteoritics. 1990. Vol. 25 (4). P. 395.

14. *Ringwood A.E.* Sostav i proisxosdenie Semli. M.: Nauka, 1981. 112 p.

15. *Dodd R.T.* Meteority – petrologiya i geochimiya. M.: Mir, 1986. 382 p.

16. *Surkov N.V., Zinchuk N.N.* Ustoichivoct glubinnyh paragenesisov, prozessy magmoobrasovania, proishogdenie kimberlitov // Problemy almaznoi geologii i nekotorye puti ih reshenia. Voroneg: Izd-vo VGU, 2001. P. 101–128.

17. *Shkodzinskiy V.S.* Proishogdenie magm kak resultat gorjachei akkrezii Zemly // Vestnik Geonauk. 2020. 2 (232). P. 6–14.

About the author

SHKODZINSKIY Vladimir Stepanovich, Dr. Sci. (Geology and Mineralogy), Leading Researcher, Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenina pr., Yakutsk 677980, Russia, https://orcid.org/0000-0001-7749-1264, shkodzinskiy@diamond.ysn.ru

Citation

Shkodzinskiy V.S. Origin and genetic types of carbonatites // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2021. Vol. 26, No. 1. pp. 8–16. (In Russ.) https://doi.org/10.31242/2618-9712-2021-26-1-1

УДК 552.321. (571,56)
DOI 10.31242/2618-9712-2021-26-1-2

Распределение редких элементов на разных этапах эволюции рифейских и фанерозойских толеит-базальтовых расплавов на востоке Сибирской платформы

А.Г. Копылова

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

Аннотация. *Базитовый магматизм в восточной части Сибирской платформы проявлялся неоднократно в течение длительного времени в разных геодинамических обстановках. В позднедокембрийское и среднепалеозойское время он связан с процессами рифтогенеза, а в позднепалеозойское–раннемезозойское – с заложением и развитием трапповых синеклиз. Специфика геодинамического режима магмообразования зафиксирована в вещественном составе пород. В данном сообщении выполнено обобщающее исследование петрогеохимических особенностей производных толеит-базальтовых расплавов, формирующихся в разных геодинамических обстановках. Состав инициальных магм существенно менялся на различных этапах развития магматической системы. На основе многокомпонентного анализа рассмотрено влияние процессов фракционирования базитового расплава на изменение геохимических особенностей пород, происходивших в различных PT-условиях. При внутрикамерной дифференциации расплава в последовательном ряду пород от основных магнезиальных к кислым щелочным происходит активное изменение состава. В образующейся серии пород уменьшается содержание редких элементов, входящих в решетку ранних фемических фаз, и накопление практически всех расплавофильных компонентов. Эволюция расплавов нормальной щелочности происходит с ростом суммы REE, при незначительном их разделении. Особое место занимают интрузивы, прошедшие стадию высокобарического фракционирования в глубинном промежуточном очаге. Следствием такой дифференциации служит появление в разрезе тел своеобразной группы пород – в одном случае монцонит-порфиров, в другом анортозитовых габбро-долеритов. Установлено, что монцоитоидный тип дифференциации идет с накоплением LREE, LILE и элементов циркониевой группы Nb, Ta, Hf и Y. Признаком анортозитовой тенденции дифференциации магматического расплава является обособление анортозитовых габбро-долеритов в разрезе тел, рост содержаний в них алюминия, кальция, стронция.*

Ключевые слова: восточная часть Сибирской платформы, базиты, монцониты, анортозиты, микроэлементный состав.

Благодарности. *Работа выполнена по плану НИР ИГАБМ СО РАН (проект 0381-2019-0003) и при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-45-140043 р_а. Автор выражает благодарность А.В. Округину за высказанные конструктивные замечания, которые были учтены при доработке статьи.*

Введение

Базитовый магматизм в восточной части Сибирской платформы проявлялся неоднократно в течение длительного времени в разных геодинамических обстановках [1–3]. В позднедокембрийское и среднепалеозойское время он связан с процессами рифтогенеза, а в позднепалеозойско-раннемезозойское – с заложением и развитием трапповых синеклиз. В докембрии и среднем палеозое формируются протяженные дайковые пояса. Трапповая формация представлена мощными межпластовыми силловыми интрузиями, занимающими большие площади и в различной степени дифференцированными. Различие геодинамического режима магмообразования зафиксировано в вещественном составе пород разных формаций [4, 5]. В данной работе рассматривается влияние процессов фракционирования на изменение геохимических особенностей исходного состава базитов.

© Копылова А.Г., 2021

Фактический материал и методы исследований

В основу работы положены результаты химических и микроэлементных характеристик разновозрастных базитов восточной части Сибирской платформы из коллекции образцов, собранных сотрудниками лаборатории «Геологический музей» ИГАБМ СО РАН. Определение породообразующих элементов проведено классическим методом силикатного анализа в ОФХМА ИГАБМ СО РАН, редкие элементы анализировались методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) в ИМГРЭ (аналитик Д.З. Журавлев) на приборе Elan 6100 DRC (ELAN 6100 DRC, Software Kit, May 2000, PerkinElmer SCIEX instrument) в стандартном режиме. Калибровку чувствительности прибора по всей шкале масс осуществляли с помощью стандартных растворов, включающих все анализируемые в пробах элементы. В статье использовано 730 определений породообразующих элементов и 80 многокомпонентных анализов микроэлементов как типичных представителей базитов, так и базитов сложных интрузивов. Структурные особенности пород изучались в прозрачных шлифах под поляризационным микроскопом Leica DMLSP.

Петрогеохимические характеристики базитов

В предопределении исходного состава родоначальных магм решающую роль играет геодинамическая обстановка. В табл. 1 приведены средние значения химического и микроэлементного состава базитов, сформировавшихся в разное геологическое время и в разных геодинамических структурах в пределах восточной части Сибирской платформы. Расчет средних проводился с использованием данных по интрузивам без существенных признаков фракционирования сформировавших их расплавов. Производные траппового магматизма пермо-триасового возраста представлены в основном телами толеит-базальтового состава с нормальным уровнем щелочности, с содержанием 1,0–1,7 TiO_2, 0,5–0,7 K_2O, 0,12–0,20 P_2O_5, умеренным содержанием когерентных и расплавофильных элементов. Для производных рифтогенного магматизма докембрия и девона характерны повышенные содержания Ti, P, K и всех несовместимых элементов. Это средние данные и существенные отклонения от них зависят от многих факторов – от глубины зарождения родоначальных магм, степени плавления мантийного субстрата, наличия промежуточных камер, степени дифференциации начального магматического состава [6].

Существенно меняется состав родоначальных магм при процессах фракционно-кристаллизационной дифференциации. Она имеет место на различных этапах существования магматической системы. В достаточно мощных интрузивах траповых синеклиз в ходе внутрикамерной кристаллизации магматического расплава формируется широкий спектр пород от магнезиальных основных до кислых щелочных. При этом происходит наиболее заметное изменение содержаний породообразующих и редких элементов. Пермо-триасовый Нижне-Томбинский интрузив типичный представитель расслоенных траповых массивов [6]. Он входит в состав Нижне-Томбинского траппового комплекса, включающего тела трех разных петрохимических типов, и относится к первому типу [8, 9]. Интрузия дифференцирована от нижних горизонтов троктолитовых габбро-долеритов до линзовидных шлиров габбро-пегматитов, гранофиров и ферро-габбро (рис. 1). Степень расслоенности достаточно высока – коэффициент магнезиальности изменяется от 48 до 33, достигая значений Mg# = 12–17 в кислых разностях (см. табл. 1). Стратифицированный характер интрузии подчеркивается закономерным изменением содержаний редких элементов. В последовательно образующейся серии пород уменьшается содержание микроэлементов, входящих в решетку ранних фаз, например, наиболее активно из расплава уходят Cr и Ni, максимальное содержание которых фиксируется в троктолитовых габрро-долеритах. На средних стадиях идет накопление V и Sc, входящих в решетку клинопироксена. В шлирах высококремнистых щелочных габбро-пегматитов и гранофиров содержание сидерофильных элементов становится минимальным. Максимальные содержания Cu и Zn установлены в ферро-габбро, в которых среди минералов шлиров присутствуют их сульфиды пирит и сфалерит. Для всех несовместимых элементов, кроме Sr, установлены минимальные значения в троктолитовых долеритах и самые максимальные в кислых дифференциатах. Из общего количества стронция в основных магматических породах 95 % связано в плагиоклазах и благодаря своей активности он накапливается в ранних основных плагиоклазах, замещая кальций [10]. Обогащение стронцием ранних плагиоклазов в троктолитовых габбро-

Таблица 1

Химический (мас %) и микроэлементный (г/т) состав базитов

Table 1

Chemical (wt. %) and microelement (g/t) composition of basites

Компонент	Средние составы базитов			Дифференциаты пермо-триасового Нижне-Томбинского интрузива				
	Пермо-триас n = 396	Девон n = 156	Рифей n = 155	Ол-72-13	Ол-75-9	Ол-71-8	Ол-72-19	Ол-72-16
1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO_2	48,57	48,43	48,60	45,79	48,25	58,6	62,48	46,78
TiO_2	1,48	2,78	2,58	1,29	1,46	1,60	1,12	2,13
Al_2O_3	14,62	13,76	12,97	15,31	14,24	12,17	12,33	14,32
Fe_2O_3	3,88	3,95	5,70	4,54	4,83	5,51	6,49	7,89
FeO	9,35	9,94	10,26	10,7	8,08	7,61	5,81	10,11
MnO	0,19	0,19	0,17	0,20	0,19	0,13	0,17	0,27
MgO	7,04	5,84	5,59	8,23	6,86	1,49	0,93	4,71
CaO	10,77	9,63	8,38	11,63	10,67	5,89	3,17	9,82
Na_2O	2,23	2,30	2,62	1,84	2,10	3,45	3,33	2,66
K_2O	0,64	1,30	1,08	0,54	0,50	2,26	3,16	0,87
P_2O_5	0,19	0,36	0,26	0,15	0,16	0,47	0,21	0,27
Mg#	50	44	39	50	48	17	12	33
Rb	14,2	23,9	26,2	14	15,0	29	68	17
Ba	167	247	293	92	167	280	443	128
Th	1,41	2,42	2,41	0,77	2,30	3,9	5,9	1,5
U	0,53	0,72	0,51	0,22	0,51	2,2	2,7	0,80
Nb	7,01	27,1	14,8	3,1	4,35	14	6,3	18
Ta	0,46	1,91	0,94	0,16	0,34	0,88	0,31	1,1
Zr	118	216	186	58	93,4	301	542	135
Hf	2,98	5,36	4,49	1,0	2,67	7,4	3,2	13
Y	29,2	32,3	28,1	21	27,3	53	30	60
Sr	237	376	325	236	251	352	167	214
La	9,92	23,2	21,4	6,4	12,5	23	26	11
Ce	22,4	53,4	49,6	15	28,6	64	67	27
Pr	2,96	7,08	6,37	2,1	1,77	8,3	8,4	3,8
Nd	14,2	30,7	28,3	10	15,6	39	40	17
Sm	3,93	7,09	6,26	2,9	2,92	9,9	9,9	4,7
Eu	1,29	2,15	2,06	1,0	1,18	1,9	2,4	1,5
Gd	4,49	7,06	6,20	3,2	4,49	11	9,6	5,1
Tb	0,77	1,1	0,91	0,57	0,83	1,7	1,7	0,9
Dy	4,93	6,49	5,59	3,5	4,74	11	11	5,7
Ho	1,04	1,32	1,08	0,75	1,06	2,3	2,4	1,2
Er	2,97	3,45	3,09	2,3	3,17	6,6	6,9	3,6
Tm	0,54	0,5	0,40	0,30	0,42	0,93	1,0	0,49
Yb	2,74	3,11	2,56	1,9	2,85	6,0	7,4	3,1
Lu	0,41	0,45	0,35	0,29	0,45	0,89	1,2	0,49

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ni	137	96	98	130	87	19	14	29
Co	50	46	52	51	51,8	16	11	42
Cr	316	138	155	220	205	31	14	9
V	299	317	318	240	340	16	11	340
Cu	176	165	148	144	185	84	37	245
∑ РЗЭ	73	147	134	49,71	86,4	186,1	193,9	84,7
(La/Yb)n	2,6	5,7	6,15	2,37	3,04	2,72	2,54	2,50
Eu/Eu*	0,94	0,92	0,92	1,05	0,99	0,57	0,76	0,92
Nb/Nb*	0,63	1,22	0,75	0,51	0,35	0,55	0,54	0,56
n	39	11	7					

Примечание. Дифференциаты Нижне-Томбинского интрузива: Ол-72-13 – троктолитовый габбро-долерит, Ол-75-9 – оливинсодержащий долерит, Ол-71-8 – габбро-пегматит, Ол-72-19 – гранофир, Ол-72-16 – феррогаббро. $Mg\# = Mg^{2+}\cdot 100/(Mg^{2+} + Fe^{2+}_{общ})$, $Eu/Eu^* = Eu_n/(Sm_n + Gd_n)^{1/2}$; $Nb/Nb^* = 0{,}3618\times Nb/\sqrt{(La\cdot Th)}$; n – количество анализов.

Note. Differentiates of the Nizhne-Tomba intrusion: Ol-72-13 – troktolite gabbro-dolerite, Ол-75-9 – Olivine-containing dolerite, Ol-71-8 – gabbro-pegmatite, Ol-72-19 – granofir, Ol-72-16 – ferro-gabbro. $Mg\# = Mg^2 \times 100/(Mg^{2+} + Fe^{2+}_{sum})$, $Eu/Eu^* = Eu_n/(Sm_n\times Gd_n)$ 1/2; $Nb/Nb^* = 0.3618\times Nb/\sqrt{(La^*Th)}$; n – number of analyses.

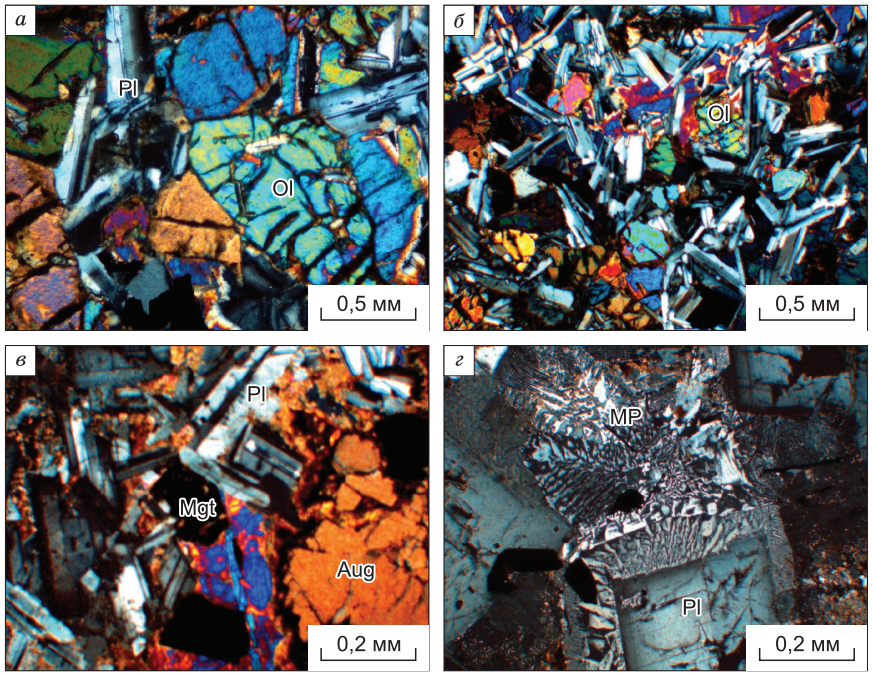


Рис. 1. Структуры пород Нижне-Томбинского дифференцированного интрузива:
а – идиоморфные кристаллы оливина (Ol) в троктолитовом габбро-долерите; *б* – скопление кристаллов оливина в оливинсодержащем габбро-долерите; *в* – кристаллы железистого авгита (Aug), зонального плагиоклаза (Pl) и скелетного магнетита (Mgt) в феррогаббро; *г* – призмы плагиоклаза в микропегматитовом (MP) агрегате в габбро-пегматите.

Fig. 1. Rock structure of the Nizhne-Tomba differentiated intrusion:
а – idiomorphic olivine (Ol) crystal in troctolite gabbro-dolerite; *б* – accumulation of olivine crystals in olivine-bearing gabbro-dolerite; *в* – crystals of ferruginous augite (Aug), zoned plagioclase (Pl) and skeletal magnetite (Mgt) in ferro-gabbro; *г* – plagioclase prisms in micropegmatite (MP) aggregate in gabbro-pegmatite.

долеритах неизбежно приводит при кристаллизационной дифференциации к понижению его содержания в породах шлиров. На спайдер-диаграмме (рис. 2, *а*) фиксируются минимумы Sr и Eu в конечных продуктах дифференциации, что связано со снижающейся концентрацией кальция, а для Eu, возможно, и с окислительными условиями и отставанием Eu^{2+} от других более окисленных REE [11].

Эволюция расплавов нормальной щелочности во внутрикамерных условиях идет с преимущественным накоплением практически всех несовместимых элементов и всей суммы REE, при незначительном их разделении – отношение La/Yb_n изменяется в узких пределах от троктолитовых долеритов до кислых дифференциатов (2,37–2,72), при этом суммарное их значение увеличивается от 49,1 до 193,4. В линзах ферро-габбро в сложении пород участвуют плагиоклаз средней основности (An_{50-45}), ферроавгит (Fs_{39-45}), достаточно велика доля рудных минералов. Благодаря значительной доли рудных минералов ферро-габбро отличаются от обычных долеритов высоким содержанием железа (17,20 % FeO), титана (2,13 % TiO_2), относительно повышенными значениями высокозарядных элементов – Ti, Zr, Hf, Nb, V, геохимическая история которых в базитах связана с окиснорудными минералами и отчасти с клинопироксеном. Стронциевый минимум в ферро-габбро проявлен существенно слабее, чем в шлирах габбро-пегматитов, а европиевый практически не обозначен. На мультиэлементной диаграмме (см. рис. 2, *а*) для всех дифференциатов Нижне-Томбинского интрузива четко фиксируется Ta–Nb-минимум, который типичен для траппов Сибирской платформы.

Девонская Нюрбинская дайка – пример проявления как внутрикамерной, так и докамерной дифференциации базитового расплава [12, 13]. Субщелочные офитовые породы краевых зон дайки сменяются кварцевыми габбро-долеритами, а центральная ее часть выполнена монцонит-порфирами второй фазы внедрения (рис. 3). Низкие значения Mg# = 36, пониженные содержания Ni, Co, Cr и повышенные щелочей в породах краевых зон свидетельствуют о значительной степени дифференцированности расплава, поступившего в камеру (табл. 2). В гипоабиссальных условиях происходило дальнейшее фракционирование его с образованием пород, все более обогащенных кремнием и калием [14]. Резкое увеличение кремнекислотности и содержания калия при переходе от кварцевых габбро-долеритов к монцонит-порфирам невозможно объяснить только процессами внутрикамерной дифференциации. Это связано с процессом метамагматического преобразования субщелочного базальтового расплава при его задержке в промежуточном очаге (15–20 км от палеоповерхности, при давлении 5–8 кбар), который был обозначен как монцоитоидный тип дифференциации базальтового расплава [15, 16].

Повторное пульсационное раскрытие магмопроводника обусловило разрыв сплошности уже частично раскристаллизованной дайки. Монцоитоидный расплав в виде второй фазы внедрился в ее центральную часть, образуя четкие контакты с кварцевыми габбро-долеритами, что однозначно свидетельствует о двухактном поступлении расплава в камеру интрузива. Монцонит-порфиры – это пористые породы с обилием миндалин. В их сложении участвуют андезин, калиевый полевой шпат, апатит, ильменит, амфибол-хлористый агрегат, роговая обманка, сфен, циркон. В монцонит-порфирах установлены максимальные содержания K_2O (до 5,6 %), Rb, Ba, Th, U, а также REE ($\sum$ = 619), отношение $(La/Yb)_n$ увеличивается до значений 10,6 (см. табл. 2). Характерной геохимической особенностью щелочных базитов является высокое содержание элементов циркониевой группы – Zr, Y, Yb, Ta и Nb (см. рис. 2, *б*). Эти элементы концентрируются в ильмените, но наиболее активно – в акцессорных апатите, цирконе, сфене. Содержание последних минералов больше всего в кварцевых габбро-долеритах и монцонит-порфирах, поэтому и доли этих элементов в них максимальные. Обогащенность монцонит-порфиров радиоактивными Th и U обусловлена их способностью накапливаться в остаточных расплавах и концентрироваться в поздних акцессорных минералах. В монцонитах торий и уран охотно входят в минералы титана и циркона. По сравнению с остальными дифференциатами дайки монцонит-порфиры имеют относительно пониженные содержания Sr и максимальную отрицательную аномалию европия (Eu/Eu* = 0,65), что, скорее всего, определяется низкой кальциевостью плагиоклаза и появлением щелочных полевых шпатов в монцонит-порфирах. Европиевый минимум также отражает высокую степень фракционирования расплава на стадии его кристаллизации. Изначально низкие значения концентраций сидерофильных эле-

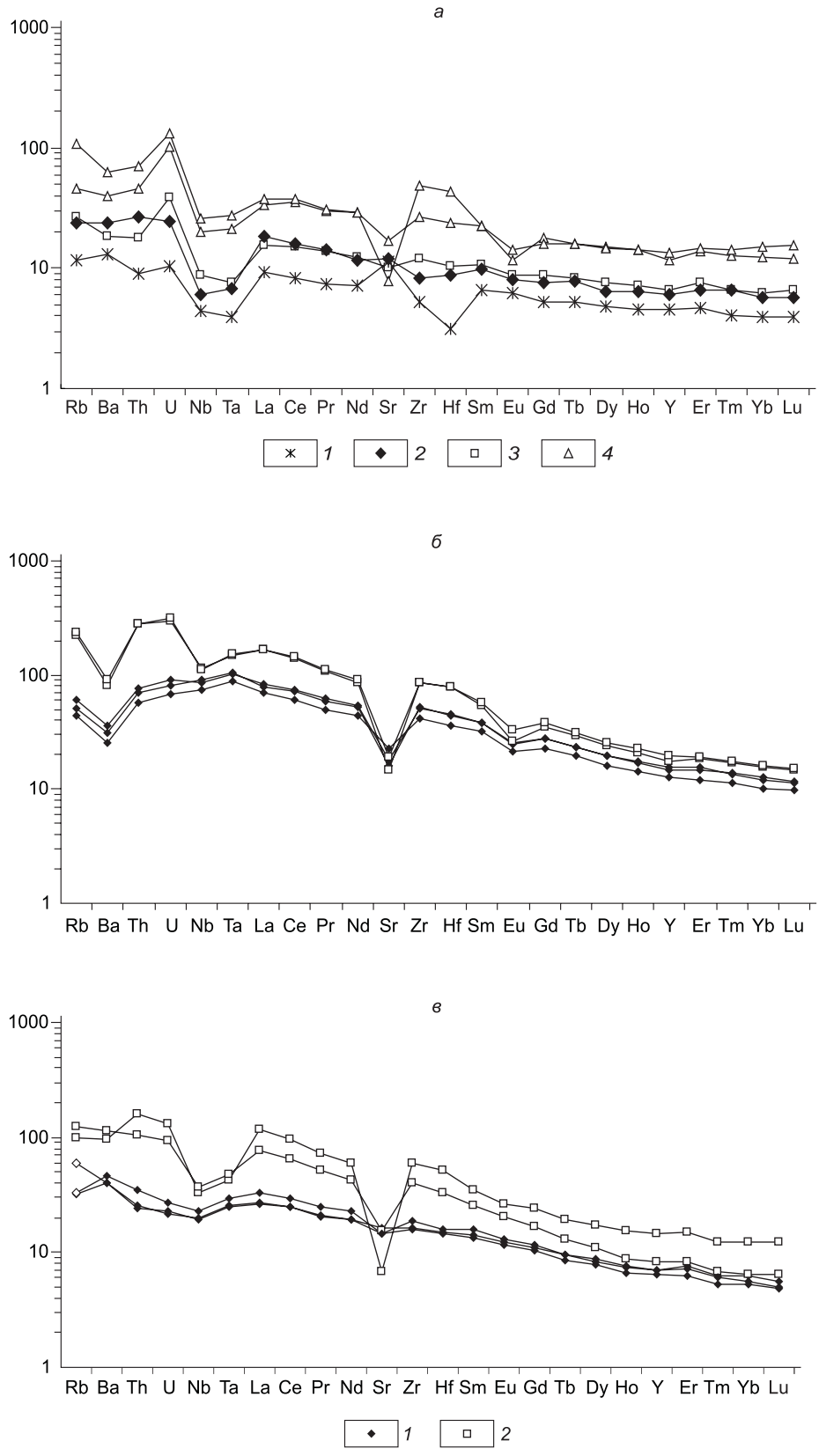


Рис. 2. (начало)

Fig. 2. (beginning)

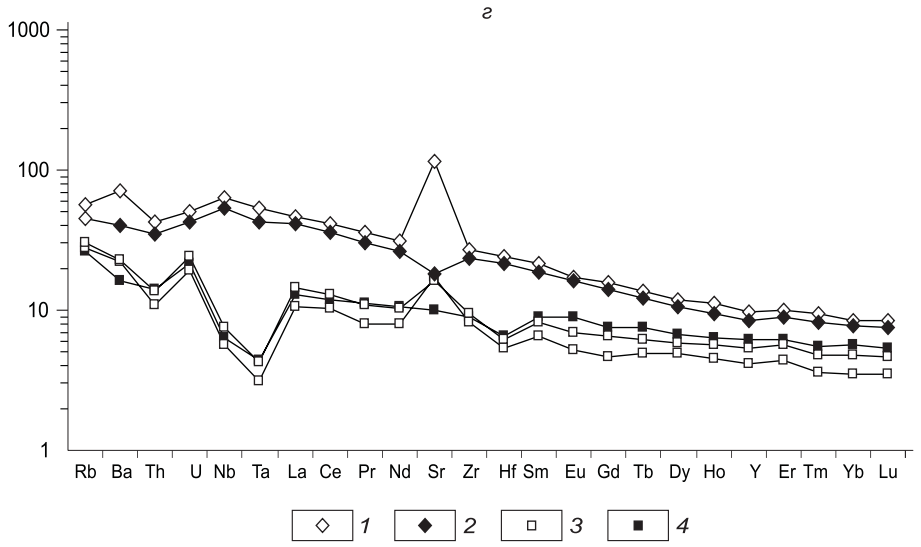


Рис. 2. (окончание) Распределение редких элементов в базитах восточной части Сибирской платформ. Нормировано по примитивной мантии [22].
а – пермо-триасовый Нижне-Томбинский дифференцированный интрузив (*1* – троктолитовые долериты, *2* – оливиновые габбро-долериты, *3* – ферро-габбро, *4* – габбро-пегматиты); *б*, *в* – интрузивы с монцоитоидным типом дифференциации: среднепалеозойские базиты – Нюрбинская дайка (*б*), докембрийские базиты – Кенгединские дайки (*в*) (*1* – долериты, *2* – монцонит-порфиры); *г* – интрузивы с анортозитовым типом дифференциации (*1* – анортозитовые габбро-долериты, *2* – оливинсодержащие долериты среднепалеозойского Усть-Ханньинского интрузива, *3* – анортозитовые габбро-долериты, *4* – оливинсодержащие долериты пермо-триасового Биллэхского интрузива).

Fig. 2. (ending) Distribution of rare elements in basic rocks of the eastern part of the Siberian platform. *Normalized to the primitive mantle* [22].
а – Permian-Triassic Nizhne-Tomba differentiated intrusion (*1* – troctolite dolerites, *2* – olivine gabbro-dolerites, *3* – ferro-gabbros, *4* – gabbro-pegmatites); *б*, *в* – intrusions with monzonitoid-type differentiation: Middle Paleozoic basites – Nyurba dyke (*б*), Precambrian basites – Kengede dykes (*в*) (*1* – dolerites, *2* – monzonite-porphyries); *г* – intrusions with anorthosite-type differentiation: Middle Paleozoic basites – Ust-Khanniya intrusion (*1* – anorthosite gabbro-dolerites, *2* – olivine-bearing dolerites; Permian-Triassic traps – Billekh intrusion, *3* – anorthosite gabbro-dolerites, *4* – olivine-bearing dolerites).

ментов Ni, Co, Cr в щелочных базитах дайки в ходе внутрикамерной дифференциации продолжают снижаться, достигая минимума в кварцевых габбро-долеритах и монцонит-порфирах.

На Анабарском массиве широко развиты протяженные дайковые пояса докембрийских (рифейских) базитов [17], среди которых распространены сложные дайки, представленные дифференциатами толеит-базальтового и, реже, субщелочного состава с признаками монцоитоидного типа дифференциации [18]. Основная часть разреза многократных даек выполнена кварцевыми габбро-долеритами, а центральная – монцонит-порфирами. Наличие четких контактов между габброидами и монцонитами однозначно свидетельствует о неоднократном поступлении магмы [15]. Докембрийские дайки отличаются от рифтогенных интрузивов девона более низкими содержаниями калия, фосфора и в сумме щелочей в монцонит-порфирах основная роль принадлежит натрию (см. табл. 2). Но характер распределения большинства редких элементов остается таким же, как и для среднепалеозойских базитов. Об этом свидетельствует идентичность их спайдер-диаграмм (см. рис. 2 *б*, *в*). Исключение составляет наличие Ta-Nb-минимума (Nb/Nb* = 0,26 и 0,44) в монцонитах докембрийских даек. Характерна разная степень разделения РЗЭ – в типичных долеритах отношение $(La/Yb)_n$ = 4,32–5,97, а в монцонитах оно возрастает почти вдвое до 9,78–11,82.

В глубинных условиях реализуется анортозитовый тип дифференциации расплава [19]. Неотъемлемым признаком такой эволюции расплава служат обособления анортозитовых габбро-долеритов в разрезе тел. Подобные интрузивы встречены как среди пермо-триасовых траповых тел (Биллэхский интрузив), так и среди среднепалеозойских даек (Усть-Ханньинский интрузив). В составе таких тел установлены минералы, не совместимые с условиями внутрикамерной дифференциации толеитового расплава на гипабиссальном уровне – анортит-битовнит, хри-

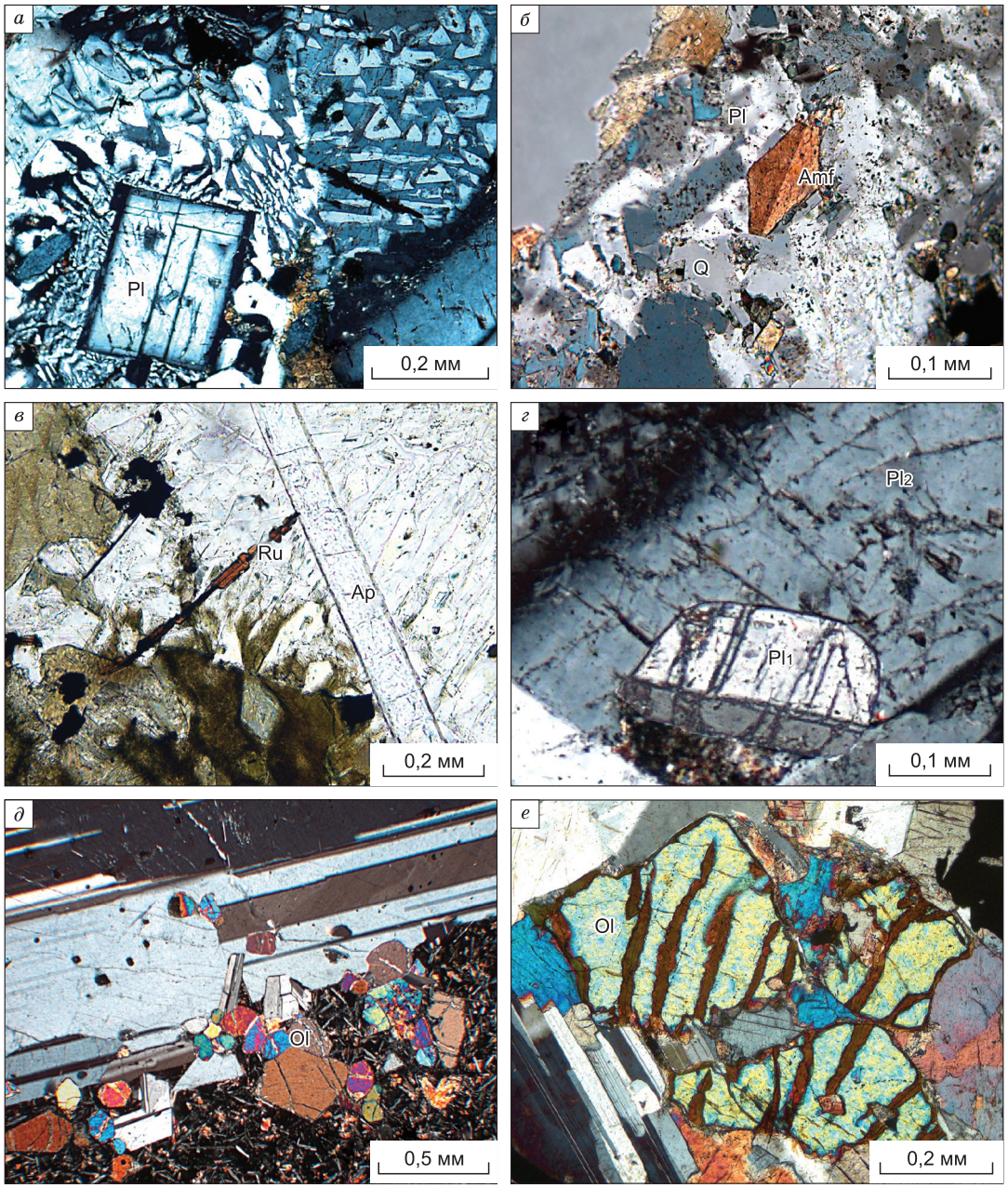


Рис. 3. Структуры пород дифференцированных даек:
а–в – Нюрбинская дайка с монцоитоидным типом дифференциации (*а* – кварцевый габбро-долерит. Микрографическое срастание (МР) кварца с полевым шпатом, *б* – монцонит-порфир. Кристалл сдвойникованной роговой обманки (Amf) в кварц (Q)-полевошпатовом (Pl) агрегате, *в* – монцонит-порфир. Кристалл апатита (Ap) и кристалл рутила (Ru) в кварц-полевошпатовом агрегате; *г–е* – Усть-Ханньинская дайка с анортозитовым типом дифференциации (*г* – оплавленное зерно плагиоклаза I – An_{86} (Pl_1) в серицитизированной порфировой таблице битовнита An_{79} (Pl_2), *д* – Скопление ксеноморфных кристаллов гиалосидерита (Ol_2), *е* – замещение оливина (Ol) боулингитом по трещинам).

Fig. 3. Rock structure of differentiated dykes.
а–в – the Nyurba dyke with monzonitoid-type differentiation (*а* – quartz gabbro-dolerite. Micro-graphic fusion (MP) of quartz and feldspar, *б* – monzonit-porfir. Twinned hornblende (Amf) crystal in quartz-feldspar aggregate, *в* – monzonit-porfir. Apatite and rutile crystals in quartz (Q)-feldspar (Pl) aggregate), *г–е* – Ust-Khanninskaya dyke with anorthosite-type differentiation (*г* – melted plagioclaseI An_{89} (Pl_1) grain in sericitized porphyry table of An_{78} table bitovnite (Pl_2), *д* – accumulation of xenomorphic hyalosiderite (Ol_2) crystals, *е* – olivine (Ol) replacement witch bowling).

Таблица 2

Химический (мас %) и микроэлементный (г/т) состав базитов сложных даек

Table 2

Chemical (wt.%) and trace element (g/t) composition basites of complex dike

Компоненты	Нюрбинская дайка (скв. 24/87 – глубина, м)					Кенгединский дайковый пояс				
	510	579,5	827	708,3	724	АБ-43-1	АБ-43-3	АБ-44-1	АБ-43-2	600/6
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO_2	46,87	49,55	50,4	54,1	54,54	48,34	48,96	48,51	64,61	55,38
TiO_2	4,21	3,1	3,17	2,32	2,52	2,62	2,46	2,67	0,9	2,39
Al_2O_3	13,74	14,69	12,99	12,28	12,26	13,01	13,48	12,43	13,15	15,11
Fe_2O_3	3,7	4,44	2,72	3,00	3,00	5,88	5,53	5,69	4,63	3,25
FeO	11,22	8,78	11,68	9,24	9,51	9,85	10,06	10,87	3,62	7,9
MnO	0,14	0,15	0,19	0,1	0,15	0,15	0,14	0,23	0,07	0,17
MgO	4,62	3,88	3,54	4,43	3,32	5,95	4,92	5,9	1,81	3,19
CaO	8,11	7,62	7,4	3,02	3,23	8,56	7,85	8,72	1,05	3,79
Na_2O	2,86	3,22	3,05	1,95	2,82	2,61	2,76	2,48	4,49	3,63
K_2O	1,78	1,86	1,21	5,58	5,06	0,94	1,34	0,97	3,27	2,83
P_2O_5	0,67	0,72	0,69	0,67	0,72	0,25	0,22	0,31	0,28	0,53
Mg#	36	35	31	40	33	41	37	40	29	34
Rb	27,6	38,07	32,74	34,36	148	20,5	37,4	21,0	63,1	78,3
Ba	178	252	221	320	629	277	280	323	682	802
Th	4,92	6,46	5,96	23,51	24,02	2,15	2,04	2,93	13,7	8,93
U	1,43	1,89	1,68	6,25	6,61	0,45	0,49	0,57	2,77	1,94
Nb	52,4	61,38	64,29	81,94	80,09	14,2	13,7	16,2	23,8	26,1
Ta	3,58	4,17	4,32	6,06	6,22	1,05	1,02	1,20	1,77	1,94
Zr	467	577	589	971	965	179	182	210	670	445
Hf	11,04	13,92	13,73	23,97	24,05	4,44	4,60	4,93	16,1	10,2
Y	58,01	66,9	70,71	80,37	88,71	29,4	32,0	31,90	65,50	37,70
Sr	474	384	340	313	402	311	340	307	144	328
La	47,74	56,42	54,05	114,5	112,9	18,6	18,3	22,8	81,7	52,7
Ce	108	133	127	252	254	44,6	43,8	52,8	172	116
Pr	13,77	17,41	16,17	29,6	30,42	5,71	5,75	6,92	19,9	14,1
Nd	58,92	73,46	71,9	116	123	26,0	26,0	30,9	80,0	57,2
Sm	14,07	16,71	16,86	24,09	25,12	5,96	6,23	7,07	15,6	11,5
Eu	3,58	4,18	4,28	4,4	5,61	1,97	2,09	2,20	4,47	3,44
Gd	13,63	16,43	16,64	20,6	22,55	6,17	6,52	6,89	14,6	10,1
Tb	2,12	2,5	2,53	3,18	3,38	0,928	1,02	1,02	2,11	1,40
Dy	11,7	14,34	14,47	17,65	18,71	5,81	6,41	6,16	12,7	8,03
Ho	2,35	2,81	2,88	3,45	3,67	1,09	1,25	1,23	2,54	1,45
Er	5,84	7,12	7,43	8,84	9,1	2,99	3,68	3,47	7,14	3,98
Tm	0,84	1,02	1,01	1,26	1,3	0,39	0,46	0,45	0,91	0,51
Yb	4,96	6,24	5,96	7,73	7,91	2,64	3,04	2,74	5,99	3,20
Lu	0,72	0,87	0,85	1,08	1,11	0,36	0,41	0,37	0,90	0,47
Ni	59,8	12,5	28,3	27,6	23,9	87,4	74,0	84,7	16,3	23,5
Co	39,62	30,6	36,49	29,18	25,82	56	53	53	15	25
Cr	33,07	8,7	33,6	62,35	15,62	114	78,5	131	23,2	104

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
V	352	215	279	165	148	426	375	400	53,0	127
Zn	106	131	199	56,86	136	83,6	135	93,6	96,0	119
Cu	318	235	285	97,35	180	186	179	176	58,7	111
Pb	2,26	4,33	6,95	1,07	3,03	3,97	2,47	2,92	4,79	24,7
∑ РЗЭ	288	353	342	604	619	123	125	145	420	284
(La/Yb)n	6,90	6,49	6,51	10,63	10,24	5,05	4,32	5,97	9,78	11,82
Eu/Eu*	0,78	0,76	0,77	0,59	0,71	0,98	1,00	0,95	0,89	0,95
Nb/Nb*	1,24	1,16	1,30	0,57	0,56	0,81	0,81	0,72	0,26	0,44

Примечание. 510 – краевые офитовые долериты, 579,1 и 827 – кварцевые габбро-долериты, 708,3 и 724 – монцонит-порфиры; АБ-43-1, АБ-43-3, АБ-44-1 – долериты; АБ-43-2, 600/6 – монцонит-порфиры.

Note. 510 – marginal ophitic dolerites, 579,1 and 827 – quartz gabbro-dolerites, 708,3 and 724 – monzonite-porphyry; AB-43-1, AB-43-3, AB-44-1 – dolerites; AB-43-2, 600/6 – monzonite-porphyry.

золит, хромшпинелид, муассанит, гранат, дистен, самородные и интерметаллические соединения [20]. Формирование подобных тел происходило в обстановке глубинного промежуточного очага при закрытии магмопроницаемых зон [19]. Расплав начал эволюционировать на глубине 35–40 км от палеоповерхности при давлении не менее 10 кбар, и как показали результаты гомогенизации расплавных включений в битовните, при температуре 1450–1300 °С [21]. В таких условиях первыми из силикатов кристаллизуются форстерит-хризолитовый оливин и плагиоклаз анортит-битовнитового состава. Это отразилось в некотором повышении кальциевости и глиноземистости, а также соответствующем этому понижении железистости и магнезиальности анортозитовых пород относительно вмещающих их оливиновых габбро-долеритов (табл. 3). В геохимическом отношении наблюдается снижение концентраций Ni, Co, Cr и Zn. Характерной геохимической чертой анортозитовых габбро-долеритов, в отличие от вмещающих их оливиновых долеритов, в особенности в Усть-Ханньинском интрузиве, являются высокие содержания Sr и Ba (см. рис. 2, *г*) в обогащенных раннемагматическим плагиоклазом породах. Отмечается устойчивое повышение халькофильных элементов Pb и Cu. Анортозиты среднего палеозоя сохраняют основные черты, свойственные этой возрастной группе – повышенные содержания K, Ti, P. В них наряду с основным плагиоклазом, присутствуют и более кислые его разновидности внутрикамерного этапа, а также акцессорные минералы – апатит, биотит, роговая обманка, которые являются концентраторами многих несовместимых элементов. Подобно вышерассмотренным примерам пермо-триасовых траппов Нижне-Томбинского интрузива и среднепалеозойских базитов Нюрбинской дайки, среднепалеозойские долериты Усть-Ханньинской дайки с признаками анортозитовой дифференциации в отличие от пермо-триасового Биллэхского силла с анортозитовыми долеритами также несколько более обогащены всеми несовместимыми элементами (см. рис. 2, *г*).

Заключение

Рассмотрено поведение примесных элементов на разных этапах эволюции толеит-базальтовых расплавов. Основную роль в вещественном составе магматических расплавов играет геодинамическая обстановка. Она определяет исходный уровень концентраций породообразующих и примесных элементов. Большое влияние на состав расплава, из которого кристаллизуются магматические породы, играют *PT*-условия выплавок, глубина зарождения, состав мантийного субстрата. Существенно меняется состав родоначальных магм при процессах фракционно-кристаллизационной дифференциации. Она имеет место на различных этапах существовании магматической системы, но в любых условиях идет в сторону образования все более кислых и щелочных пород. В геохимическом плане эволюция толеит-базальтового расплава *in situ* приводит к классическому снижению концентраций сидерофильных элементов и обогащению остаточных расплавов литофильными. При этом происходит также рост содержаний HFSE и всей суммы REE, при незначительном разделении последних. В глубинных камерах более активно происходит нако-

Таблица 3

Химический (мас %) и микроэлементный (г/т) состав анортозитовых габбро-долеритов

Table 3

Chemical (wt. %) and trace element (g/t) composition of anorthosite gabbro-dolerites

Интрузив	Биллэхский						Усть-Ханньинский	
Компоненты	Т-21-2а	Т-21-2д	Т-21-1а	Т-20-1в	Т-20-1з	Т-20-1л	ЛН-1	ЛН-8
1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO_2	49,29	47,87	48,18	48,44	48,08	49,89	46,98	46,15
TiO_2	0,94	1,03	1,55	1,61	1,61	1,46	2,64	3,38
Al_2O_3	17,95	20,42	15,23	14,72	15,02	14,38	12,97	11,54
Fe_2O_3	3,53	4,13	3,57	3,58	2,8	3,68	6,87	4,89
FeO	6,79	5,01	9,50	10,72	11,08	9,64	6,5	12,43
MnO	0,12	0,15	0,20	0,16	0,21	0,1	0,08	0,25
MgO	5,35	4,47	7,35	5,83	6,63	5,81	5,94	7,12
CaO	11,52	11,32	10,51	10,85	10,3	10,39	9,92	8,90
Na_2O	2,56	2,94	2,11	2,45	2,46	2,50	2,23	2,10
K_2O	0,71	0,56	0,81	0,52	0,53	0,63	2,77	1,14
P_2O_5	0,16	0,14	0,21	0,32	0,16	0,28	0,75	0,38
Mg#	49	48	51	43	46	44	45	43
Rb	19	19	19	9,76	11	12	35,7	24,6
Ba	156	158	115	183	171	189	491	296
Th	0,93	1,2	1,2	2,39	2,41	2,67	3,58	3,05
U	0,40	0,50	0,45	0,47	0,46	0,47	1,07	0,96
Nb	4,1	5,3	4,5	5,5	5,1	5,3	38,4	31,9
Ta	0,13	0,18	0,18	0,39	0,43	0,43	2,62	2,24
Zr	93	105	99	81	77	83,4	304	268
Hf	1,7	1,9	2,0	2,2	2,1	2,2	7,42	6,69
Y	19	24	28	26,8	26,7	28	43,79	39,73
Sr	261	310	214	216	222	224	2409	429
La	7,2	9,9	8,9	9,12	8,98	9,43	31,93	28,7
Ce	18	23	21	22,1	21,5	22,7	74,52	66,31
Pr	2,2	3,0	3,1	3,0	2,9	3,1	9,85	8,74
Nd	11	14	14	13,9	13,9	14,4	42,4	38,24
Sm	2,9	3,6	4,0	4,06	4,03	4,24	9,63	8,84
Eu	0,88	1,2	1,5	1,49	1,33	1,44	2,86	2,37
Gd	2,8	3,8	4,5	4,9	4,54	4,95	9,51	8,85
Tb	0,53	0,67	0,82	0,80	0,81	0,87	1,46	1,39
Dy	3,6	4,4	5,0	5,29	5,26	5,47	8,73	8,22
Ho	0,74	0,92	1,0	1,11	1,11	1,16	1,83	1,65
Er	2,1	2,7	3,0	3,13	3,07	3,26	4,74	4,45
Tm	0,27	0,35	0,41	0,46	0,47	0,48	0,7	0,63
Yb	1,7	2,3	2,8	2,87	2,87	3,09	4,19	3,95
Lu	0,26	0,34	0,40	0,43	0,43	0,46	0,63	0,57
Ni	63	45	141	117	120	115	49	107
Co	30	27	53	50	47	46	36	53
Cr	227	178	342	275	244	227	184	378

Окончание таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
V	179	262	291	302	302	309	315	297
Sc	21	26	37	36	40	45	31	30
Zn	88	67,4	131	132	126	118	84	130
Cu	214	219	153	137	159	139	240	212
Pb	34,7	12,9	5,0	5,2	4,8	4,8	15,9	5,1
∑ РЗЭ	54,37	70,24	70,85	72,69	71,24	75,09	203	183
(La/Yb)n	2,96	3,03	2,29	2,28	2,24	2,19	5,47	5,21
Eu/Eu*	0,95	0,94	1,09	1,02	0,95	0,96	0,90	0,81
Nb/Nb*	0,57	0,57	0,50	0,43	0,39	0,38	1,30	1,23

Примечание. Т-21-2а и Т-21-2д – анортозитовые габбро-долериты, Т-21-1а, Т-20-1в, Т-20-1з, Т-20-1л – оливиновые габбро-долериты пермо-триасового Биллэхского интрузива; ЛН-1– анортозитовые габбро-долериты, ЛН-8 – оливиновые габбро-долериты среднепалеозойского Усть-Ханньинского интрузива.

Note. Т-21-2а and Т-21-2д – anorthosite gabbro-dolerites, Т-21-1а Т-20-1д, Т-20-1з – olivine gabbro-dolerites; ЛН-1-anorthosite gabbro-dolerites, ЛН-8 – olivine gabbro-dolerites.

пление легких редких земель цериевой группы, что приводит к существенному разделению REE, высокие отношения $(La/Yb)_n$ характерны для пород повышенной щелочности монцоитоидного ряда. Ярким показателем процессов дифференциации служит распределение стронция. На ранней внутрикамерной или докамерной стадии эволюции расплава, без активного роста щелочей, всегда содержание элемента возрастает, а в конечных породах фиксируются минимальные значения элемента. Часто в высокощелочных породах подобно стронцию ведет себя Eu^{2+}.

Литература

1. *Гайдук В.В.* Вилюйская среднепалеозойская рифтовая система. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1988. 122 с.

2. *Олейников Б.В., Шпунт Б.Р., Томшин М.Д.* Геодинамические обстановки проявлений базитового магматизма на Сибирской платформе в неогее // Магматические формации в геологической истории и структуре земли. Свердловск, 1989. С. 86–109.

3. *Прокопьев А.В., Парфенов Л.Н., Томшин М.Д, Колодезников И.И.* Чехол Сибирской платформы и смежных складчато-надвиговых поясов // Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). М.: МАИК «Наука/ Интерпериодика», 2001. С. 113–155.

4. *Томшин М.Д., Копылова А.Г.* Фанерозойские базиты восточной части Сибирской платформы // Наука и образование. 2015. С. 23–28.

5. *Tomshin M.D., Kopylova A.G., Vasileva A.E., Gogoleva S.S.* Geochemistry of Phanerozoic basites from the eastern part of the Siberian platform // 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConferences. Albena, Bulgaria, 2018. Vol. I. P. 135–142. DOI:10.5593/SGEM2018/1.1/S01.018

6. *Антипин В.С., Макрыгина В.А.* Геохимия эндогенных процессов. Иркутск: Изд-во Ирк. гос. ун-та, 2008. 363 с.

7. *Виленский А.М.* Петрология интрузивных траппов севера Сибирской платформы. М.: Наука, 1967. 272 с.

8. *Томшин М.Д., Копылова А.Г., Салихов Р.Ф.* Нижне-Томбинский трапповый комплекс (северо-восток Тунгусской синеклизы) // Отечественная геология. 2016. № 5. С. 52–62.

9. *Tomshin M.D., Kopylova A.G., Vasilyeva A.E., Zaitsev A.I.* Geochemical and isotope characteristics of intrusive traps in the eastern Siberian Platform // 14th GeoConferences on Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining. Conference Proceedings. Albena, Bulgaria, 2014. Vol. I. P. 113–120.

10. *Макрыгина В.А.* Геохимия отдельных элементов. Новосибирск. Академическое издательство «ГЕО», 2011. 191 с.

11. *Интерпретация* геохимических данных под ред. Е.В. Склярова. М.: Интермет инжиниринг, 2001. 287 с.

12. *Томшин М.Д., Копылова А.Г., Константинов К.М., Гоголева С.С.* Базиты Вилюйского палеорифта. Геохимия и последовательность становления // Геология и геофизика, 2018. Т. 59, № 10. С.1503–1518. DOI: 10.15372/ GiG20181002

13. *Томшин М.Д., Похиленко Н.П., Тарских Е.В.* Морфология кимберлитовой трубки Нюрбинская и ее взаимоотношение с долеритовой дайкой // Докл. РАН. 2017. Т. 477, № 5. С. 600–605. DOI: 7868/SO869565217350201.

14. *Kopylova A.G., Tomshin M.D., Gogoleva S.S., Vasileva A.E.* Geochemical particularities of basites from ancient paleorifts of the Siberian platform // Paper for

19th International Multidisciplinary Scientific GeoConferences SGEM. Albena, Bulgaria, 2019. Vol. 19. P. 203–210. DOI:10.5593/SGEM /2019/1.1/SO1.025

15. *Томшин М.Д., Олейников Б.В., Королева О.В.* Монцонитоидная тенденция глубинной эволюции толеит-базальтовой серии расплавов на Сибирской платформе // Петролого-геохимические черты глубинной эволюции вещества кимберлитовой и базитовой магматических систем. Якутск, 1985. С. 164–188.

16. *Королева О.В.* Особенности состава и генезис ассоциаций основных и щелочно-кремнекислых магматитов Сибирской и Индостанской платформ // Траппы Сибири и Декана. Черты сходства и различия. Новосибирск: Наука, 1991.

17. *Мащак М.С., Олейников Б.В., Копылова А.Г.* Базиты Анабарского массива // Петрология и геохимия позднепалеозойских интрузивных базитов Сибирской платформы. Новосибирск: Наука, 1983. С. 7–64.

18. *Королева О.В., Округин А.В., Рихванов Л.Л.* Сложные дайки Анабарского массива – индикаторы рифтогенных процессов // Геология и тектоника платформ и орогенных областей Северо-Востока Азии. Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 1999. Т. II. С. 80–84.

19. *Олейников Б.В., Томшин М.Д.* Глубинная дифференциация магмы платформенных базитов // Докл. АН СССР. 1976. Т. 231, № 1. С.177–180

20. *Олейников Б.В., Округин А.В.* Акцессорные минералы довнутрикамерного этапа эволюции вещества базитов Сибирской платформы // Петролого-геохимические черты глубинной эволюции вещества кимберлитовой и базитовой магматических систем. Якутск, 1985. С. 89–129.

21. *Олейников Б.В., Панков В.Ю.* Расплавные включения и минералы-узники в продуктах протокристаллизации базальтового расплава // Петролого-геохимические черты глубинной эволюции вещества кимберлитовой и базитовой магматических систем. Якутск, 1985. С. 130–163.

22. *Sun S.S., McDonough W.F*. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes.// Magmatism in the ocean basins. Geol. Soc. Spec. Public. 1989. Vol. 42. P. 313–345.

Поступила в редакцию 22.12.2020
Принята к публикации 04.02.2021

Об авторе

КОПЫЛОВА Альбина Георгиевна, научный сотрудник, Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 39, Россия,
https://orcid.org/0000-0001-6577-9615, Kopylova@diamond.ysn.ru

Информация для цитирования

Копылова А.Г. Распределение редких элементов на разных этапах эволюции рифейских и фанерозойских толеит-базальтовых расплавов на востоке Сибирской платформы // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2021. Т. 26, № 1. С. 17–31. https://doi.org/10.31242/2618-9712-2021-26-1-2

DOI 10.31242/2618-9712-2020-26-1-2

Distribution of rare elements at different evolutionary stages of Riphean and Phanerozoic tholeiite-basalt melts in the eastern part of the Siberian platform

A.G. Kopylova

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

Abstract. *Basite magmatism has been manifested repeatedly for a long time in various geodynamic structures within the eastern part of the Siberian platform. In the Late Precambrian and Middle Paleozoic, it was related to rifting processes, and in the Late Paleozoic-Early Mesozoic – to the initiation and development of trap syneclises. Differences of the geodynamic regime of magma formation are displayed in the material composition of rocks. This article presents a generalizing study of the petro-geochemical features*

of the tholeiitic basaltic melts formed in different geodynamic settings. The composition of initial magmas changes significantly at different stages of the development of magmatic system. Using multicomponent analysis, we reviewed the influence of fractionation processes of the basal melt, which occurred under various PT conditions, on its chemical composition. A significant change of the composition occurs during the intra-chamber differentiation of the melt in a sequence of rock strata varied from the basic magnesian to felsic alkaline rocks. In the resulting series of rocks, the content of rare elements included in the lattice of the early femic phases decreases, as well as the accumulation of almost all incompatible elements. The evolution of melts of normal alkalinity occurs with an increase in REE content and their insignificant separation. Intrusions that have undergone the stage of high-pressure fractionation in the deep transitional chamber are of particular importance. As a result of such differentiation, a peculiar group of rocks is formed in the cross section of bodies, such as monzonite-porphyries in one case and anorthosite gabbro-dolerites in the other. It is established that the monzoitoid type of differentiation is characterized by accumulation of LREE, LITE and the elements of zirconium group Nb, Ta, Hf and Y. Isolation of anorthosite gabbro-dolerites in the cross-section of bodies, as well as an increase in the content of aluminum, calcium, and strontium in them, is an indication of the anorthositic tendency of magmatic melt differentiation.

Key words: eastern part of the Siberian platform, basites, monzonites, anorthosites, trace element composition.

Acknowledgements. *The study was carried out according to the plan of research and development work of the Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS (Project 0381-2019-0003) and was financially supported by the RFBR under Project No. 18-45-140043 p_a. Author expresses gratitude to A.V. Okrugin for his constructive comments to this article.*

References

1. *Gaiduk V.V.* Vilyuiskaya srednepaleozoiskaya riftovaya sistema. Yakutsk: YaF SO AN SSSR, 1988. 122 p.

2. *Oleinikov B.V., Shpunt B.R., Tomshin M.D.* Geodinamicheskie obstanovki proyavlenii bazitovogo magmatizma na Sibirskoi platforme v neogee // Magmaticheskie formatsii v geologicheskoi istorii i strukture zemli. Sverdlovsk, 1989. P. 86–109

3. *Prokopev A.V., Parfenov L.N., Tomshin M.D., Kolodeznikov I.I.* Chekhol Sibirskoi platformy i smezhnykh skladchato-nadvigovykh poyasov // Tektonika, geodinamika i metallogeniya territorii Respubliki Sakha (Yakutiya). M.: MAIK «Nauka/ Interperiodika», 2001. P. 113–155.

4. *Tomshin M.D., Kopylova A.G.* Fanerozoiskie bazity vostochnoi chasti Sibirskoi platformy // Nauka i obrazovanie. 2015, No. 4. P. 23–28.

5. *Tomshin M.D., Kopylova A.G., Vasileva A.E., Gogoleva S.S.* Geochemistry of Phanerozoic basites from the eastern part of the Siberian platform // 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConferences. Albena, Bulgaria, 2018. Vol. I. P. 135–142. DOI:10.5593/SGEM2018/1.1/S01.018

6. *Antipin V.S., Makrygina V.A.* Geokhimiia endogennykh protsessov. Irkutsk: Izd-vo Irk. gos. un-ta, 2008. 363 p.

7. *Vilenskii A.M.* Petrologiia intruzivnykh trappov severa Sibirskoi platformy. M.: Nauka, 1967. 272 p.

8. *Tomshin M.D., Kopylova A.G., Salikhov R.F.* Nizhne-Tombinskii trappovyi kompleks (severo-vostok Tungusskoi sineklizy) // Otechestvennaia geologiia. 2016. No. 5. P. 52–62.

9. *Tomshin M.D., Kopylova A.G., Vasilyeva A.E., Zaitsev A.I.* Geochemical and isotope characteristics of intrusive traps in the eastern Siberian Platform // 14th GeoConferences on Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining. Conference Proceedings. Albena, Bulgaria, 2014. Vol. I. P. 113–120.

10. *Makrygina V.A.* Geokhimiya otdelnykh elementov. Novosibirsk: Akademicheskoe izdatelstvo «GEO», 2011. 191 p.

11. *Interpretatsiya* geokhimicheskikh dannykh. Pod red. E.V. Sklyarova. M.: Intermet inzhiniring, 2001. 287 p.

12. *Tomshin M.D., Kopylova A.G. Konstantinov K.M., Gogoleva S.S.* Bazity Vilyuiskogo paleorifta. Geokhimiya i posledovatelnost stanovleniya // Geologiya i geofizika, 2018. Vol. 59, No. 10. P. 1503–1518. DOI: 10.15372/GiG20181002

13. *Tomshin M.D., Pokhilenko N.P., Tarskikh E.V.* Morfologiya kimberlitovoi trubki Nyurbinskaya i ee vzaimootnoshenie s doleritovoi daikoi // Dokl. RAN. 2017. Vol. 477, No. 5. P. 600–605.

14. *Kopylova A.G., Tomshin M.D., Gogoleva S.S., Vasileva A.E.* Geochemical particularities of basites from ancient paleorifts of the Siberian platform // Paper for 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConferences SGEM. Albena, Bulgaria, 2019. Vol. 19. P. 203–210. DOI:10.5593/SGEM /2019/1.1/SO1.025

15. *Tomshin M.D., Oleinikov B.V., Koroleva O.V.* Montsonitoidnaya tendentsiya glubinnoi evolyutsii toleit-bazaltovoi serii rasplavov na Sibirskoi platforme // Petrologo-geokhimicheskie cherty glubinnoi evolyutsii veshchestva kimberlitovoi i bazitovoi magmaticheskikh sistem. Yakutsk, 1985. P. 164–188.

16. *Koroleva O.V.* Osobennosti sostava i genezis assotsiatsii osnovnykh i shchelochno-kremnekislykh mag-

matitov Sibirskoi i Indostanskoi platform // Trappy Sibiri i Dekana. Cherty skhodstva i razlichiya. Novosibirsk: Nauka, 1991.

17. *Mashchak M.S., Oleinikov B.V., Kopylova A.G.* Bazity Anabarskogo massiva // Petrologiya i geokhimiya pozdnepaleozoiskikh intruzivnykh bazitov Sibirskoi platformy. Novosibirsk: Nauka, 1983. P.7–64.

18. *Koroleva O.V., Okrugin A.V., Rikhvanov L.L.* Slozhnye daiki Anabarskogo massiva – indikatory riftogennykh protsessov. // Geologiia i tektonika platform i orogennykh oblastei Severo-Vostoka Azii. Yakutsk: Izdvo IaNTs SO RAN, 1999. Vol. II. P. 80–84.

19. *Oleinikov B.V., Tomshin M.D.* Glubinnaia differentsiatsiia magmy platformennykh bazitov // DAN SSSR. 1976. Vol. 231, No. 1. P. 177–180.

20. *Oleinikov B.V., Okrugin A.V.* Aktsessornye mineraly dovnutrikamernogo etapa evoliutsii veshchestva bazitov Sibirskoi platformy // Petrologo-geokhimicheskie cherty glubinnoi evoliutsii veshchestva kimberlitovoi i bazitovoi magmaticheskikh sistem. Yakutsk, 1985. P. 89–129.

21. *Oleinikov B.V., Pankov V.Iu*. Rasplavnye vkliucheniia i mineraly-uzniki v produktakh protokristallizatsii bazaltovogo rasplava // Petrologo-geokhimicheskie cherty glubinnoi evoliutsii veshchestva kimberlitovoi i bazitovoi magmaticheskikh sistem. Yakutsk, 1985. P. 130–163.

22. *Sun S.S., McDonough W.F*. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // Magmatism in the ocean basins. Geol. Soc. Spec. Public. 1989. Vol. 42. P. 313–345.

About the author

KOPYLOVA Albina Georgievna, Researcher, Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenina pr., Yakutsk 677980, Russia,
Kopylova@diamond.ysn.ru

Citation

Kopylova A.G. Distribution of rare elements at different evolutionary stages of Riphean and Phanerozoic tholeiite-basalt melts in the eastern part of the Siberian platform // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2021. Vol. 26, No. 1. pp. 17–31. (In Russ.) https://doi.org/10.31242/2618-9712-2021-26-1-2

ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ АРКТИКИ И СУБАРКТИКИ, 2021, Т. 26, № 1

УДК 552.54+561.232:551.72(571.56)
DOI 10.31242/2618-9712-2021-26-1-3

Природа онколитов неопротерозоя Уринского поднятия (юг Сибирской платформы)

П.Н. Колосов[1,*], С.С. Рожин[2], К.С. Олёнова[2]

[1]*Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, Якутск*
[2]*Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск*
p_kolosov@diamond.ysn.ru

Аннотация. *В отложениях неопротерозоя (рифея и венда) востока Сибирской платформы онколиты (микрофитолиты) распространены широко. Их природа оставалась недостаточно обоснованной фактическим материалом. В осадочных карбонатных породах неопротерозоя Уринского поднятия онколиты также широко распространены, и они оказались пригодными для выяснения их природы. Многие из них, например названные «osagia tenuilamellata», похожи на оолиты и другие карбонатные зерна хемогенного происхождения, от которых их нередко трудно отличить без детальных исследований природы. В онколитах неопротерозоя Уринского поднятия обнаружены шаровидные и нитевидные несомненные микроорганизмы, которые предположительно являются фотосинтезирующими железобактериями, цианобактериями и водорослями. Они представлены обызвествленными клетками, колониями и нитевидными формами и впервые указывают на органогенно-седиментационную природу онколитов неопротерозоя, а не хемогенную, как принято в некоторых публикациях. Полученные результаты могут быть использованы при выяснении фациальных условий осадконакопления, с которыми в разрезе неопротерозоя Предпатомского прогиба связано прогнозирование потенциальных карбонатных коллекторов нефти и газа.*

Ключевые слова: онколиты, микроорганизмы, микрослои, карбонатные породы, неопротерозой, Уринское поднятие, Сибирская платформа.

Благодарности. *Исследования выполнены по государственному заданию ИГАБМ СО РАН и при финансовой поддержке Северо-Восточного федерального университета им.М.К. Аммосова.*

Введение

Неприкрепленные концентрически-слоистые карбонатные зерна, образование которых происходит при участии микроорганизмов, Пиа (Pia) [1] обозначил термином “oncolithi” (онколиты). Природа онколитов (микрофитолитов) неопротерозоя Уринского поднятия недостаточно обоснована фактическим материалом. Поэтому целью настоящей статьи является выяснение данного вопроса. На Сибирской платформе широко распространен карбонатный тип разреза неопротерозоя, что связано с расцветом известковистых цианобактерий и водорослей, осаждающих карбонаты в стадию седиментации [2–4]. Во многих свитах он содержит онколиты. Некоторые из них трудно отличимы от оолитов [5]. Е.А. Рейтлингер [6], З.А. Журавлева [7] и другие исследователи некоторые формы (например, «osagia tenuilamellata»), не приводя доказательств участия в их образовании микроорганизмов, приняли за онколиты группы “osagia”. Термин «осагия» ввел У. Твенхофел (Twenhofel) [8]: возникшие при участии микроорганизмов округлые желваки различных размеров с концентрической слоистостью.

Материал и методы исследования

Разрез неопротерозоя Уринского поднятия по р. Лена, на участке между д. Джерба и с. Мача – один из опорных в регионе, единственный наиболее полный, хорошо обнаженный и легкодоступный на юго-западе Якутии – крупном нефтегазоносном районе. Многие свиты в нем представлены известняками и доломитами, содержат, особенно каланчевская и ченчинская свиты, онколиты, пригодные для выяснения их природы (рис. 1).

Для выяснения природы неопротерозойских карбонатных онколитов Уринского поднятия авторами исследованы образцы (более 370), собранные в разные годы во время полевых экспедиций П.Н. Колосова. В Институте геологии алмаза и благородных металлов СО РАН из них

© Колосов П.Н., Рожин С.С., Олёнова К.С., 2021

было изготовлено более 400 прозрачных шлифов и 53 аншлифа. Поиск, изучение и фотографирование онколитов и микроорганизмов произведены: в проходящем свете при помощи микроскопа Axioskop 4 при увеличениях 5, 10, 20 и 50 раз; стереоскопического микроскопа Olympus SZX 12, при увеличениях от 10 до 90 раз с фотографированием на цифровую фотокамеру Olympus C 5060 с матрицей 5.1 мегапикселей при комбинированном освещении; аншлифы и прозрачные шлифы без покровного стекла напылялись золотом и изучались при помощи сканирующего электронного микроскопа Jeol JSM – 6480LV в режиме высокого вакуума, ускоряющее напряжение 10 кВ, размер диафрагмы – 2, сигнал SEI, рабочее расстояние – 10 мм.

Результаты исследования

В Уринской зоне Предпатомского прогиба в каланчевской свите неопротерозоя наряду со сгустково-пузырчатыми формами микрофитолитов обильны шаровидные онколиты с концентрической слоистостью и гладкой или редко-бугристой поверхностью. В верхней, преимущественно доломитовой части свиты они значительны по размерам (до 5–7 см в сечении). В других районах развития каланчевской свиты не наблюдается массового распространения подобных онколитов. Можно предположить, что в районе современного Уринского поднятия каланчевские отложения образовались в условиях значительной подвижности воды, явившейся причиной возникновения крупных концентрически-слоистых онколитов. Онколиты каланчевской свиты, в отличие от таковых в ченчинской свите, в слоях известняков и известковистых доломитов чаще несортированные, разного размера, наблюдаются в одном образце. Это свидетельство, по-видимому, того, что такие слои образовались в гидродинамически активной среде осадконакопления, где происходило смешивание онколитов, образовавшихся в разных условиях.

В никольской свите имеются оолиты с хорошо выраженной периферической зоной и радиально-лучистой структурой, без доказательства принятые за микрофитолиты и названные [5, 6] соответственно «radiosus» (рис. 2, *а*) и «asterosphaeroides» (рис. 2, *б*).

Фация онколитовых известняков присутствует во всех частях ченчинской свиты. Мощность пачек онколитовых серых известняков – до 10–20 м. В разрезах они переслаиваются со строматолитовыми известняками. Эти геологические тела иногда имеют линзовидную форму. По простиранию отмечены переходы онколитовых известняков в песчанистые косослоистые известняки. Онколиты ченчинской свиты Уринского поднятия преимущественно имеют диаметр 0,3–0,5 мм. Отличительной их особенностью является то, что они местами подвергнуты сильным вторичным изменениям. Нередко встречаются шаровидные или овальные карбонатные образования, центральная часть которых перекристаллизована, состоит из кристаллов размерами первых десяти миллиметров.

В ченчинской свите наряду с пластовыми строматолитами онколиты участвуют в формировании органогенных образований. В этих образованиях, сложенных известняками, помимо онколитов серого цвета, слабо выделяющихся во вмещающей породе, встречаются слои, представленные онколитами красноцветными, известковисто-железистыми. Они образовались при участии предположительно фотосинтезирующих

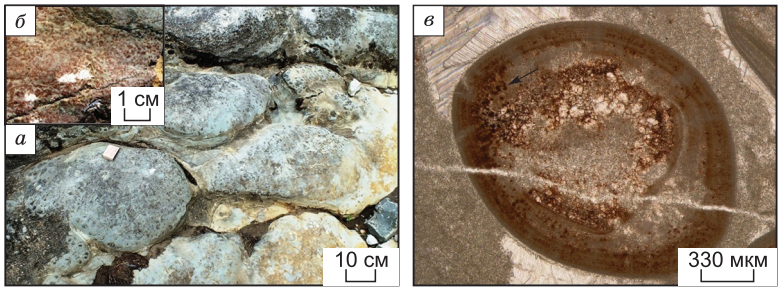


Рис. 1. Органогенные образования и онколиты ченчинской свиты:
а, *б* – органогенные образования, содержащие онколиты; *в* – онколит, содержащий железобактерии (указаны стрелкой).

Fig. 1. Organogenic formations and oncoliths of the Chenchinskaya suite:
а, *б* – organogenic formations containing oncoliths; *в* – oncolith containing iron bacteria (indicated by an arrow).

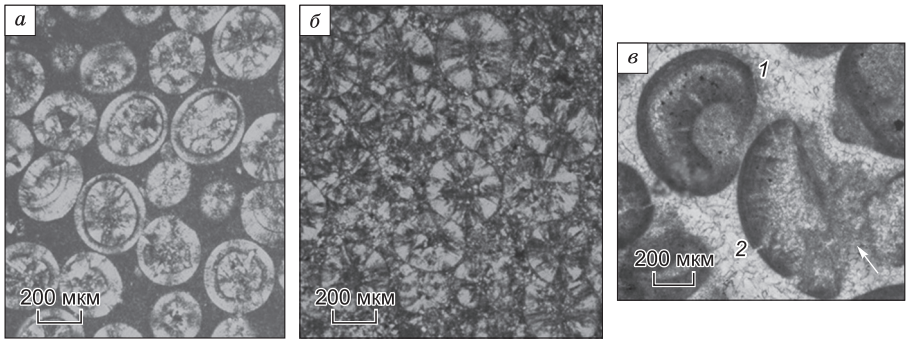


Рис. 2. Оолиты и онколиты:
а, *б* – оолиты никольской свиты; *в* – онколиты ченчинской свиты (*1* – на поверхности микрозернистого карбоната росли, вытягиваясь вверх, микроорганизмы, *2* – стрелкой указаны шаровидной формы микроорганизмы).

Fig. 2. Oolites and oncoliths: *а*, *б* – oolites of the Nikolskaya suite; *в* – oncoliths of the Chenchinskaya suite (*1* – microorganisms formed on the surface of microgranular carbonate, *2* – the arrow indicates the spherical microorganisms).

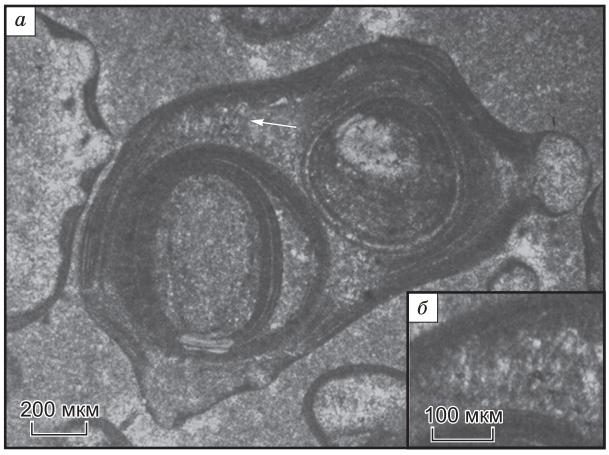


Рис. 3. Онколиты ченчинской свиты:
а – два онколита объединены в один крупный синтетический онколит. Стрелкой указаны нитевидные микроорганизмы, *б* – они же при большем увеличении.

Fig. 3. Oncoliths of the Chenchinskaya suite:
а – two oncoliths are combined into one large synthetic oncolith (the arrow indicates filamentous microorganisms); *б* – filamentous microorganisms.

железобактерий или цианобактерий. Известно, что некоторые цианобактерии способны концентрировать железо в слизи, окружающей клетки (см. рис. 1, *в*).

Онколиты ченчинской свиты образовывались и изменялись по-разному (рис. 2, 3). На это указывают факты, иллюстрируемые далее рисунками. *Факт 1-й* (см. рис. 2, *в*, *1*): на плотной поверхности росли, вытягиваясь вверх, микроорганизмы, сформировалось мохнатое по внешнему виду образование. После на него поселились микрослоями другие микроорганизмы. В результате онколит стал крупнее и был сорван с места движением воды. Внутренняя часть онколита и поверхность вытянутых вверх микроорганизмов подверглись изменениям, превратились в микрозернистый карбонат. *Факт 2-й* (см. рис. 2, *в*, *2*): онколит первоначально сформировался как маленького размера строматолит. После в результате движения воды (волны в мелководье) был оторван (DS – detached structures по М. Шульжевски (Szullzewski) [9]), наклонен, и его подошва стала местом поселения шаровидных микроорганизмов. *Факт 3-й* (см. рис. 3, *а*): два онколита объединены в один крупный синтетический онколит.

Они образовались предположительно разными микроорганизмами: левая форма – весьма тонкими нитевидными, а правая – клетками или колониями по размерам крупнее, создавшими микрослои, прилегающие друг к другу не столь плотно, как у онколита слева. Здесь же показываем (см. рис. 3, *б*) нитчатой формы микроорганизмы, которые участвовали в образовании онколита, расположенного на снимке слева. Они росли и вне онколита. Предположительно из них состоят микрослои, охватывающие оба онколита.

В ченчинской свите присутствуют онколиты, внешне похожие на оолиты. Изучение на СЭМ внутреннего строения темных, радиально расположенных образований одного из таких онколитов (рис. 4, *а*) показало, что эти образования – органогенного происхождения: округлой формы клетки микроорганизмов расположены по-разному, в том числе в ряд, поднимающийся вверх (рис. 4, *б*).

Онколиты – органогенно-седиментационные, преимущественно округлой или овальной формы образования; на минеральные хемогенные зерна или на оолиты селятся микроорганизмы (цианобактерии и/или водоросли, возможно, низшие водные грибы), создавая сравнительно расплывчатые, волнистые наружные концентрические микрослои (концентры). В неизмененных онколитах эти микрослои обычно более расплывчатые по сравнению с таковыми у оолитов. Итак, нами обнаружены остатки жизни в онколитах каланчевской и ченчинской свит (рис. 1, *в*, 2, *в*, 3, *б*, 4). Они комковатые в виде клеток или колоний, а также в форме нитевидных, разветвленных микрофоссилий = микроорганизмов. Обнаружение в онколитах неопротерозоя систематически идентифицируемых остатков жизни, не относящихся к бактериям, указывает, что не следует однозначно предполагать формирование онколитов только при участии особых бактериальных сообществ, имевших облик плавающих в толще воды шаров, оболочка которых представляла собой мат.

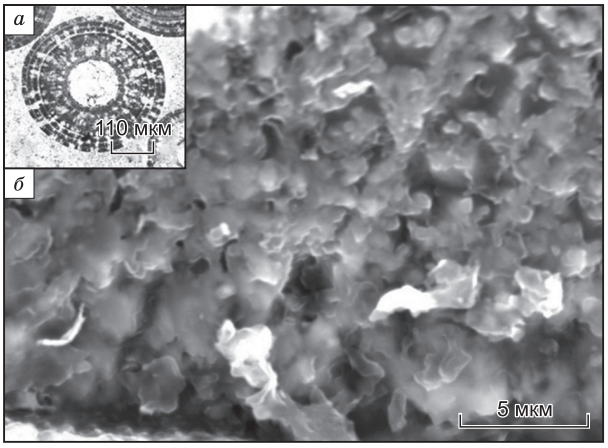


Рис. 4. Онколит в ченчинской свите:
а – общий вид; *б* – комковатой формы клетки и колонии микроорганизмов. В центре снимка они расположены в ряд, поднимающийся вверх. Снимок *б* сделан на СЭМ.

Fig. 4. Oncolith in the Chenchinskaya suite: *а* – general view; *б* – lumpy cells and colonies of microorganisms. In the center of the picture, they are arranged in a row that goes up. Image *б* was taken with SEM.

Заключение

Онколиты неопротерозоя Уринского поднятия сложены чередующимися темными и светлыми концентрическими наслоениями различной толщины. Темные наслоения образованы в результате биохимического осаждения пелитоморфного карбоната, что связано с жизнедеятельностью микроорганизмов. На это указывают наши находки обызвествленных остатков микроорганизмов в онколитах, а также отсутствие в слойках терригенных примесей некарбонатных минералов. Зерна кварца нередко присутствуют в ядрах онколитов. Если раньше лишь предполагали органогенное происхождение онколитов неопротерозоя, то по материалам Уринского поднятия на основе выявления в них остатков микроорганизмов, представленных обызвествленными клетками, колониями и нитевидными формами, впервые наиболее полно обоснована органогенно-седиментационная природа онколитов. Имеются онколиты, морфологически похожие на оолиты и пизолиты, от которых принципиально отличаются тем, что они сформировались при участии микроорганизмов.

Изложенные в статье результаты имеют большое практическое значение, так как с фациями онколитовых (микрофитолитовых) карбонатных пород связаны коллекторы нефти и газа. Например, постседиментационные преобразования этих пород в сторону Березовского прогиба и Вилючанско-Ыгыаттинской структурно-фациальной зоны усиливаются, что повышает их коллекторские свойства [10].

Литература

1. *Pia J.* Die Erhaltung der fossilen Pflanzen. I Abt. Thallophyta // Hirmer M. Handbuch der Paläobotanik. 1. München, Berlin, 1927. 136 p.

2. *Колосов П.Н.* Органические остатки верхнего докембрия юга Якутии // Стратиграфия и палеонтология протерозоя и кембрия востока Сибирской платформы. Якутск: Кн. изд-во, 1970. С. 57–70 и палеонтол. табл. I–V.

3. *Колосов П.Н.* Древние нефтегазоносные толщи юго-востока Сибирской платформы. Новосибирск: Наука, 1977. 89 с.

4. *Колосов П.Н.* Верхнедокембрийские палеоальгологические остатки Сибирской платформы. М.: Наука, 1982. 96 с.

5. *Маслов В.П.* Принципы номенклатуры и систематики строматолитов // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1955. № 4. С. 105-112.

6. *Рейтлингер Е.А.* Атлас микроскопических органических остатков и проблематика древних толщ Сибири. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 61 с.

7. *Журавлева З.*А. Онколиты и катаграфии рифея и нижнего кембрия Сибири и их стратиграфическое значение (Труды ГИН АН СССР, вып. 114). М.: Наука, 1964. 75 с.

8. *Twenhofel W.H.* Pre-Cambrian and Carboniferous algal deposits // Amer. J. Sci. 1919. Vol. 48, No. 4. P. 339–345.

9. *Szullzewski M.* Klassyficacja onkolitow // Roczn. Polskie-go towarz, Geol. 1966. Vol. 36, No. 3. P. 325–326.

10. *Колосов П.Н.* Органогенные породы и потенциальные коллекторы нефти и газа в неопротерозоя Предпатомского прогиба // Отечественная геология. 2011. № 5. С. 43–49.

Поступила в редакцию 02.09.2020
Принята к публикации 28.10.2020

Об авторах

КОЛОСОВ Петр Николаевич, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 39, Россия, http://orcid.org/0000-0002-8690-9308, p_kolosov@diamond.ysn.ru;

РОЖИН Степан Степанович, кандидат геолого-минералогических наук, доцент СВФУ им. М.К. Аммосова, 677000, Якутск, ул. Курашова, 19, Россия,
http://orcid.org/0000-0002-4290-3078 e-mail: roshin-stepan@rambler.ru

ОЛЁНОВА Кира Сергеевна, студентка, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, 677000, Якутск, ул. Курашова, 19, Россия.

Информация для цитирования

Колосов П.Н., Рожин С.С., Олёнова К.С. Природа онколитов неопротерозоя Уринского поднятия (юг Сибирской платформы) // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2021. Т. 26, № 1. С. 32–37. https://doi.org/10.31242/2618-9712-2021-26-1-3

DOI 10.31242/2618-9712-2020-26-1-3

Nature of the Neoproterozoic oncolites of the Urinsk Uplift (the southern part of the Siberian Platform)

P.N. Kolosov[1,*], S.S. Rozhin[2], K.S. Olyenova[2]

[1]Diamond and Precious Metal Geology Institute, SB RAS, Yakutsk, Russia
[2]M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia
**p_kolosov@diamond.ysn.ru*

Abstract. *Oncolites are widely distributed in the Neoproterozoic (Riphean and Vendian) deposits of Eastern Siberia. Their nature remained insufficiently substantiated by the factual material. Oncolites are also widely distributed in the Neoproterozoic sedimentary carbonate rocks of the Urinsk Uplift; they have been proved suitable for the identification of their nature. Many of these rocks (such as osagia tenuilamellata) are similar to oolites and other carbonate grains of chemogenic origin and are often difficult to distinguish without detailed studies of their nature. In the Neoproterozoic oncolites of the Urinsk Uplift, spherical and filamentous unquestionable microorganisms were found, which are presumably photosynthesizing iron bacteria, cyanobacteria and algae. They are represented by calcified cells, colonies and filamentous forms, and provide the first indication of the organogenic-sedimentary nature of the Neoproterozoic oncolites, rather than chemogenic, as accepted in some publications. The results obtained can be used to clarify the environmental conditions of sedimentation, which are associated with the prediction of potential carbonate reservoirs of oil and gas in the Neoproterozoic section of the Predpatomsk depression.*

Key words: oncolites, microorganisms, microlayers, carbonate rocks, Neoproterozoic, Urinsk Uplift, Siberian Platform.

Acknowledgements. *The research was carried out within the State Assignment for DPMGI SB RAS and with the financial support from M.K. Ammosov North-Eastern Federal University.*

References

1. *Pia J.* Die Erhaltung der fossilen Pflanzen. I Abt. Thallophyta // Hirmer M. Handbuch der Paläobotanik. 1. München, Berlin, 1927. 136 p.

2. *Kolosov P.N.* Organicheskie ostatki verhnego dokembriya yuga YAkutii // Stratigrafiya i paleontologiya proterozoya i kembriya vostoka Sibirskoj platformy. Yakutsk: Kn. izd-vo, 1970. P. 57–70 i paleontol. tabl. I–V.

3. *Kolosov P.N.* Drevnie neftegazonosnye tolshchi yugo-vostoka Sibirskoj platformy. Novosibirsk: Nauka, 1977. 89 p.

4. *Kolosov P.N.* Verhnedokembrijskie paleoal'gologicheskie ostatki Sibirskoj platformy. M.: Nauka, 1982. 96 p.

5. *Maslov V.P.* Principy nomenklatury i sistematiki stroma-tolitov // Izves. AN CSSP. Ser. geol. 1955. No. 4. P. 105–112.

6. *Rejtlinger E.A.* Atlas mikroskopicheskih organicheskih ostatkov i problematika drevnih tolshch Sibiri. M.: Izd-vo AN SSSR, 1959. 61 p.

7. *Zhuravleva Z.A.* Onkolity i katagrafii rifeya i nizhnego kembriya Sibiri i ih stratigraficheskoe znachenie (Trudy GIN AN SSSR, vyp. 114). M.: Nauka, 1964. 75 p.

8. *Twenhofel W.H.* Pre-Cambrian and Carboniferous algal deposits // Amer. J. Sci. 1919. Vol. 48, No. 4. P. 339–345.

9. *Szullzewski M.* Klassyficacja onkolitow // Roczn. Polskie-go towarz, Geol. 1966. Vol. 36, No. 3. P. 325–326.

10. *Kolosov P.N.* Organogennye porody i potencial'nye kollektory nefti i gaza v neoproterozoya Predpatomskogo progiba // Otechestvennaya geologiya. 2011. No. 5. P. 43–49.

About the authors

KOLOSOV Petr Nikolaevich, Dr. Sci. (Geology and Mineralogy), head of laboratory, Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenina pr., Yakutsk 677000, Russia,
http://orcid.org/0000-0002-8690-9308, p_kolosov@diamond.ysn.ru.

ROZHIN Stepan Stepanovich, Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), associate professor, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 19 Kurashova st., Yakutsk 677000, Russia,
http://orcid.org/0000-0002-4290-3078, e-mail: roshin-stepan@rambler.ru

OLYENEVA Kira Sergeevna, student, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 19 Kurashova st., Yakutsk 677000, Russia

Citation

Kolosov P.N., Rozhin S.S., Olyenova K.S. Nature of the Neoproterozoic oncolites of the Urinsk uplift (the southern part of the Siberian Platform) // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2021. Vol. 26, No. 1. pp. 32–37. (In Russ.) https://doi.org/10.31242/2618-9712-2021-26-1-3

УДК 562/569:566/569
DOI 10.31242/2618-9712-2021-26-1-4

Размеры тела шерстистого мамонта *Mammuthus primigenius* (Blumenbach) второй половины позднего плейстоцена севера Восточной Сибири

Г.Г. Боескоров

Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, Якутск, Россия
gboeskorov@mail.ru

Аннотация. *Проанализированы сведения о размерах тела шерстистого мамонта Mammuthus primigenius (Blumenbach) второй половины позднего плейстоцена севера Восточной Сибири (Якутия, п-ов Таймыр, западная Чукотка). Статья основана на оригинальных данных автора, принимавшего участие в исследовании морфологических особенностей замороженных останков мумий и скелетов мамонтов, найденных на территории Якутии за последние 30 лет: Чурапчинский, Максунуохский, Юкагирский мамонты; часть скелета мамонта с р. Зимовье (остров Большой Ляховский). Отдельно измерен скелет Тирехтяхского мамонта. Кроме того, проанализированы литературные данные по размерам тела шерстистого мамонта второй половины позднего плейстоцена Восточной Сибири и других регионов. Предыдущими исследователями отмечалось, что высота в холке взрослых самцов M. primigenius с территории Якутии и Таймыра близка таковой самцов азиатского (индийского) слона Elephas maximus L. Отсюда был сделан вывод, что и общие размеры тела у шерстистого мамонта схожи с таковыми азиатского слона. В данной статье, основанной на более обширном материале, показано, что хотя шерстистый мамонт действительно был очень схож по высоте в холке с современным E. maximus, в то же время тело у него было в среднем длиннее, голова больше, т. е. пропорции тела у этих видов были разными. По-видимому, особенности пропорций тела шерстистого мамонта способствовали его лучшему выживанию в условиях ледникового периода.*

Ключевые слова: шерстистый мамонт, *Mammuthus primigenius*, поздний плейстоцен, размеры тела, Восточная Сибирь..

Благодарности. *Работа выполнена в рамках проекта № 0381-2019-0002 по госзаданию ИГАБМ СО РАН.*

Введение

За последние десятилетия в результате изучения новых находок и применения современных методов исследования получен фактический материал, позволяющий более обоснованно судить о приспособлениях шерстистого мамонта к условиям существования в арктической и субарктической «тундростепи» позднего плейстоцена. *Mummuthus primigenius* обладал комплексом специфических анатомо-морфологических (густая длинная трехъярусная шерсть, маленькие уши, короткий хвост, жировой «горб», «капюшонное» расширение на хоботе, широкие подошвы ног) [1–5] и физиологических (пониженная чувствительность к холоду, своеобразный липидный обмен) [6] идиоадаптаций, обеспечивавших широкое распространение данного вида в Северной Голарктике в течение длительного времени. Таким образом, шерстистый мамонт был высокоспециализированным видом мамонтового биома.

Опираясь на экогеографическое правило Бергмана, можно предположить, что мамонты, обитавшие в условиях холодного климата северных широт, были крупнее современных слонов. Так считали некоторые специалисты по хоботным [7]. Это справедливо в отношении гигантского трогонтериевого мамонта *Mammuthus trogontherii* (Pohlig, 1889), жившего в раннем и среднем плейстоцене, высота в холке у которого достигала 4 [8] и даже 4,5 м [9, 10]. Более поздний шерстистый мамонт, существовавший во второй половине среднего плейстоцена и в позднем плейстоцене, не имел столь крупных размеров. Ранее уже отмечалось, что высота в холке взрослых самцов *M. primigenius* с территории Якутии и Таймыра варьирует от 250 до 308 см [1, 5] и приближается к таковой

© Боескоров Г.Г., 2021

самцов азиатского (индийского) слона *Elephas maximus* L., 1758: 250–320 см [11]. Высота в холке самцов африканского саваннового слона *Loxodonta africana* (Blum., 1797) намного больше, 310 – 442 см [7]. Африканский лесной слон *Loxodonta cyclotis* (Matschie, 1900) наименьший по размерам – высота в холке взрослых самцов этого вида составляет 240–300 см [12]. Однако данные по размерам тела мамонтов в указанных выше работах были основаны на весьма ограниченном материале, измерении трех скелетов мамонтов – Адамса, Березовского и Таймырского.

К настоящему времени найдены и исследованы новые остатки скелетов и замороженных мумий шерстистого мамонта, измерения которых позволяют более обоснованно охарактеризовать общие размеры тела шерстистого мамонта второй половины позднего плейстоцена севера Восточной Сибири.

Материал и методы исследования

Нами (или при нашем участии) изучены морфологические особенности останков мамонтов, найденных на территории Якутии за последние 30 лет: Чурапчинский [13]; Максунуохский [14, 15], Юкагирский [16] мамонты; часть скелета мамонта с мягкими тканями, найденная в 1994 г. в устье р. Зимовье (о. Бол. Ляховский). Отдельно измерен скелет Тирехтяхского мамонта, кратко описанный П.А. Лазаревым [15], представленный в экспозиции Якутского объединенного музея истории и культуры народов Севера им. Ем. Ярославского.

Кроме того, нами проанализированы доступные литературные данные по размерам шерстистого мамонта второй половины позднего плейстоцена Восточной Сибири.

При исследовании трупов мамонтов использованы классические зоологические и палеонтологические методы измерения крупных млекопитающих.

Для сравнения нами изучен ряд размерных особенностей азиатского слона на домашних особях в Таиланде (2012 и 2013 гг.; $n = 10$) и на музейных чучелах, выставленных в Зоологическом музее (г. Санкт-Петербург) и в Музее естественной истории г. Пекин, Китай ($n = 2$).

Исследованные скелеты и мумифицированные остатки трупов мамонтов датированы радиоуглеродным методом в различных геохронологических лабораториях России и Зарубежья.

Результаты и обсуждение

Совокупные данные по размерам скелетов (или их частей) взрослых самцов шерстистого мамонта с территории Восточной Сибири (Якутия, п-ов Таймыр, западная Чукотка) представлены в табл. 1 и 2. Взрослые (старше 30 лет) самцы *M. primigenius*, измеренные с достаточной точностью, имели высоту в холке 260–320 см (M = 284,5 см; $n = 8$). Дополняют эти данные остатки скелетов, на которых реконструирована высота в холке: примерно от 270 до 300 см ($n = 7$). Эти значения соответствуют пределам изменчивости высоты в холке азиатского слона, указанным Дж. Шошани и Дж. Айзенбергом [11] – 250–320 см и сходны с нашими измерениями *E. maximus* – 261–314 см (M = 295,0 см; $n = 7$). Р. Лайдеккер [17] приводил сведения об азиатских слонах высотой в холке 335, 343 и 366 см, однако, это редкие исключения, рекордные размеры для вида. Остатков скелетов и частей трупов самок мамонтов найдено гораздо меньше, чем самцов. По имеющимся данным [18–21] можно констатировать, что высота в холке у самок шерстистого мамонта с территории севера Восточной Сибири составляла от 216 до 240 см, в среднем 226,0 см ($n = 5$). Это также очень сходно с высотой в холке взрослых самок *E. maximus* (в среднем 224 см) [11].

Шерстистый мамонт с территории современной Европы второй половины позднего плейстоцена (вюрм) был выше ростом. Высота в холке скелетов взрослых самцов из этого региона составляет: 290–295 см, Козлово, Пермская область, Россия [22]; 340 см, Климэуць, Молдова [23]; 320 см, Борна [24], Ален [25], Польх [26]. 349 см [27], Зигсдорф, все – Германия [27].

Общая длина тела (скелетов) взрослых самцов шерстистого мамонта, измеренная по прямой линии от рострума до основания хвоста, составляет 350–414 см (M = 381,0 см; $n = 7$). Аналогичных измерений современных слонов в научной литературе нами не найдено, поэтому мы использовали для сравнения оригинальные измерения длины тела взрослых самцов азиатского слона, которые составили от 313 до 388 см (M = 337,1 см; n = 7). Таким образом, хотя по высоте в холке шерстистый мамонт был сходен с азиатским слоном, длина тела у него была больше. Для уточнения этих различий нами вычислен индекс длины тела у мамонтов и слонов: L (длина тела (скелета) по прямой линии от ро-

Таблица 1

Размеры скелетов и бивней взрослых самцов шерстистого мамонта из Восточной Сибири каргинского интерстадиала позднего плейстоцена

Table 1

Sizes of skeletons and tusks in adult males of woolly mammoth from Eastern Siberia, Karginian interstadial, Late Pleistocene

Название скелета мамонта; место находки; геологический возраст; источник The name of the mammoth skeleton; place of discovery; geological age; a source	Радиоуглеродный возраст Radiocarbon age	Индивидуальный возраст Individual age	Высота в холке, см Height of the skeleton at withers, in cm	Длина скелета по прямой линии от рострума до основания хвоста, см Length of the skeleton in a straight line from the rostrum to the base of the tail, cm	Длина бивня по большой (наружной) кривизне, см The length of the tusk along the large (outer) curvature, in cm	Диаметр бивня у выхода из альвеолы, см The diameter of the tusk at the exit of the alveoli, in cm
Хатангский мамонт; р. Большая Рассоха, п-ов Таймыр Khatanga Mammoth; Bolshaya Rassokha R., Taimyr Peninsula [1]	45000±200, >53170 лет назад	Старый, 55–60 лет	Не менее 300	–	По–видимому, 300–350	18 – 20
Березовский мамонт; р. Березовка, приток р. Колыма, Якутия Berezovka Mammoth; Berezovka R., a tributary of the Kolyma R., Yakutia [1, 5]	31750±2500, 44000±3500 л.н.	Старый, около 50 лет	265	385	Около 160	12.2
Мамонт с р. Зимовье, о. Бол. Ляховский, часть скелета, 1995 г. Наши данные Mammoth from the Zimovye R., Bolshoi Lyakhovsky Island, Yakutia, part of the skeleton, 1995. Our data	42700±1300 л.н. (ГИН-8813)	Взрослый	Около 300	–	–	–
Шандринский мамонт. Shandrinsky mammoth [1, 15]	41170 л.н.	Старый, около 60 лет	Около 300	Около 400	–	18
Тирехтяхский мамонт; бассейн р. Индигирка Tirekhtyakh Mammoth; basin of the Indigirka R., Yakutia [15, 33]	32200; 44540±1870 л.н.	Взрослый	278	350	Около 300	16

Мамонт Кутоманова; р. Моховая, п-ов Таймыр Kutomanov's Mammoth; Mokhovaya R., Taimyr Peninsula [22]	36950±4300; 35800±2700	Взрослый, 40–50 лет	~290	–	–	19
Максунуохский мамонт; р. Максунуоха, Якутия Maksunuokha Mammoth; Maksunuokha R., Yakutia [14]	>38500 лет назад (ГИН-12720)	Вероятно, взрослый	Около 270–280	–	–	–
Энмынвеемский мамонт; западная Чукотка Enmynweem Mammoth; western Chukotka [34]	32850±900 л.н.	Вероятно, взрослый	Около 300	–	–	–
Мамонт Адамса; дельта р. Лена, Якутия; Adams's Mammoth; the Lena R. delta, Yakutia [1, 5]	30588±1200; 31500±2000 л.н.	Очень старый, 65–70 лет	320	414	323	15.5
Чурапчинский мамонт; Лено-Алданское междуречье, Якутия; Churapcha Mammoth; Lena-Aldan interfluve, Yakutia [13]	Из отложений каргинского времени	Молодой взрослый, 30–40 лет	285	365	197	13
Ляховский мамонт; о. Большой Ляховский, Якутия Lyakhovsky mammoth; Bolshoy Lyakhovsky Island, Yakutia [35]	Из отложений каргинского времени	Молодой взрослый, 25–30 лет	256	321	251	13

Таблица 2

Размеры скелетов и бивней взрослых самцов шерстистого мамонта из Восточной Сибири сартанского оледенения позднего плейстоцена

Table 2

Sizes of skeletons and tusks in adult males of woolly mammoth from Eastern Siberia, Sartanian glaciation, Late Pleistocene

Название скелета мамонта; место находки; геологический возраст; источник. The name of the mammoth skeleton; place of discovery; geological age; a source	Радиоуглеродный возраст Radiocarbon age	Индивидуальный возраст Individual age	Высота в холке, см Height of the skeleton at withers, in cm	Длина скелета по прямой линии от рострума до основания хвоста, см Length of the skeleton in a straight line from the rostrum to the base of the tail, cm	Длина бивня по большой (наружной) кривизне, см The length of the tusk along the large (outer) curvature, in cm	Диаметр бивня у выхода из альвеолы, см The diameter of the tusk at the exit of the alveoli, in cm
Хандыгский мамонт Khandyga Mammoth [36]	Конец каргинского–начало сартанского времени	Молодой взрослый, 25–30 лет	Не менее 320	–	–	–
Мамонт «Рыболовный крючок»; верховья р. Таймыра, п-ов Таймыр Fishhook Mammoth; upper Taimyra R., Taimyr Peninsula [37]	20620±70 л.н.	Очень старый, >50 лет	Около 260	–	Вероятно, не более 300	14
Мамонт Жаркова; р. Боль. Балахня, п-ов Таймыр Jarkov's Mammoth; Bolshaya Balakhnya R., Taimyr Peninsula [38]	19920±130; 20390±160 л.н.	Старый, ок. 50 лет	?	–	298	13,5–14,6
Юкагирский мамонт; р. Максунуоха, Якутия Yukagir Mammoth; Maksunuokha R., Yakutia [16]	Около 18500 л. н.	Старый, ок. 50 лет	Около 272–283	–	316,4	13
Мегинский мамонт; р. Суола, Якутия Megin Mammoth; Suola R., Yakutia [39]	14410±70 л.н.	Старый, ок. 50 лет	304–308	380	334	18,5
Аллаиховский мамонт; р. Аччыгый Аллаиха, Якутия Allaikhovsky Mammoth; Achchygyi Allaikha R., Yakutia [40]	12500–12600 л.н.	Взрослый	287	370	–	–
Таймырский мамонт; р. Мамонтовая, п-ов Таймыр Taimyr Mammoth; Mamontovaya R., Taimyr Peninsula [1, 5]	11450±250 л.н.	Старый, около 50 лет	260	403	255	–

струма до основания хвоста)×100/H (высота в холке). У мамонтов индекс длины тела = 64,5–81,05 (M = 75,25; *n* = 7), а у азиатского слона этот индекс гораздо больше: 107,27–125,16 (M = 114,48; *n* = 7). Кроме того, у *M. primigenius* голова имеет относительно более крупные размеры, чем у слонов, что, очевидно, обусловлено развитием крупных бивней. Длина головы мамонта от рострума до затылка составляет приблизительно 50 % от высоты в холке, а у африканского слона – около 40 % [1]. Академик В.В. Заленский [28; с. 40] на основании изучения скелетов и останков разных мамонтов писал: «Мамонты были хоботные млекопитающие, имевшие более неуклюжее тело, чем слоны (вышина их по отношению к длине тела была меньше, чем у слонов), голову большую, чем у слонов (голова была длиннее ½ туловища)…». Таким образом, очевидно, что пропорции тела у мамонтов и слонов были разными. Н.К. Верещагин и А.Н. Тихонов [1] отмечали, что по индексам формата и быстроаллюрности мамонты были более мобильны, чем современные слоны. Однако эти авторы не приводили сравнительных данных по индексам слонов. Очевидно, что вопросы морфофункциональных и локомоторных особенностей мамонтов остаются до сих пор практически не изученными.

У сельскохозяйственных животных отмечены типы грубой и плотной конституции, характерные для лошадей-тяжеловозов, рабочего и мясного крупного рогатого скота. Животные этой конституции характеризуются массивным костяком, плотной и объемистой мускулатурой, большой головой, удлиненным туловищем. Они не способны к быстрому бегу, зато отличаются большой силой, выносливостью и неприхотливостью [29, 30]. Вероятно, телосложение шерстистого мамонта, сходное с таковым животных грубой и плотной конституции, определяло способность мамонтов к длительным передвижениям, затрудненным особенностями условий ледникового периода: необходимостью преодоления заболоченных участков, топких грязевых потоков (так называемая «няша»), временных водотоков в летний период и обширных заснеженных пространств зимой.

Шерстистый мамонт, очевидно, не был исключительно массивным. Дж. Шошани и Д. Моль вычислили, что Юкагирский мамонт (взрослый самец), имея высоту в холке около 280 см, весил 4000–5000 кг [16]. По вычислениям А. Ларраменди [10] *M. primigenius* с севера Сибири при росте от 266 до 309 см могли весить от 3900 до 5700 кг. Эти показатели близки к минимальному весу взрослых самцов современных слонов: индийский – 5000–5500 кг [11]; африканский саванновый – 4700–6000 кг [31] или 4000–7000 [11]. Самцы африканского лесного слона намного легче, их вес составляет от 2000 до 4000 кг [12].

Ранее высказывалось предположение, что мамонты, обитавшие во время сартанского оледенения, были мельче, чем мамонты более теплого, каргинского времени, что связывали с суровым климатом и худшими кормовыми условиями сартанского времени [32]. Тем не менее, собранные нами материалы свидетельствуют о другом, что, по крайней мере на территории севера Восточной Сибири, взрослые самцы шерстистого мамонта были сходной высоты в холке и длины тела как во время сартанского оледенения (H = 260–320 см; L = 370–403 см) (см. табл. 2), так и в каргинское время (H = 265–320 см; L = 350–414 см) (см. табл. 1). По-видимому, это свидетельствует о высокой приспособленности мамонта к условиям ледникового периода, причем более криоаридные условия сартанского оледенения, очевидно, не действовали на этого северного слона угнетающе.

Следует также еще раз обратить внимание на различия в размерах и форме бивней у современных слонов и шерстистого мамонта. Бивни у современных слонов полого изогнуты, заостренные концы направлены вперед, что позволяет использовать их как оружие при защите и нападении, как орудие для подрывания и валки деревьев при питании свежей листвой из кроны, при рытье земли в поисках воды и минеральном питании, при маркировке территории [7, 11]. Мамонты отличаются от слонов в среднем более крупными размерами и изогнутостью бивней [1, 5]. Как видно из таблиц 1 и 2, для взрослых и старых самцов шерстистого мамонта были характерны бивни длиной 250 – 350 см и весом 50–75 кг. Ранее отмечалось, что самый длинный бивень самца *M. primigenius* имел длину по внешней (самой длинной) кривизне 380 см и весил 86 кг [1]. Однако к настоящему времени отмечены и гораздо более длинные и тяжелые бивни шерстистого мамонта: до 430 см длиной и до 125 кг весом [41]. Для сравнения, пара чрезвычайно больших бивней африканского саваннового слона *L. africana* длиной 319 и 311 см и соответствующим весом 97 и 102 кг экспонируется в Британском музее в Лондоне. Рекордная длина

бивня *L. africana* составляет 345 см, а рекордный единичный вес – 117 кг [42]. У азиатского слона бивни гораздо меньше по размерам, причем у самок они обычно отсутствуют. У взрослых самцов *E. maximus* бивни обычно достигают длины 1,5–1,6 м и веса 20–25 кг [43]. В редких случаях у этого вида бивни могут достигать длины 244 см [17] и даже 302 см [11], а веса – 39–45 кг [11, 17].

У взрослых самцов мамонтов концы бивней сходятся на близкое расстояние или даже перекрещиваются, в связи с чем отмечалось, что многие функции бивней слонов были недоступны для мамонтов [1, 5]. Е. Пфиценмайер (Pfizenmayer, 1939), по [5]) предположил, что мамонты использовали свои спиралевидно изогнутые бивни для раскапывания травы из-под снега. Эту идею поддерживали и впоследствии. Доказательством последнего рассматривалась часто обнаруживаемая «стертая зона» на бивнях мамонта [5]. Однако, по нашим наблюдениям, округлым предметом (каковым является бивень мамонта) разгребать снег совершенно не эффективно. По данным Н.К. Верещагина, стачивание бивней у мамонтов начиналось еще в младенческом возрасте, когда они не могли достать до горизонтальной поверхности грунта коротенькими бивнями. Предполагается, что молодые мамонты использовали свои маленькие бивни для обдирания коры деревьев и «зона стирания», разработанная в юношеском возрасте, перемещалась в процессе роста бивня на его спинковую поверхность и так консервировалась [1, 44]. По-видимому, боковые поверхности бивней у мамонтов стачивались также в течение жизни при соприкосновении с различными предметами, а не при целенаправленном «разгребании снега». Бивни не были бесполезными для взрослых мамонтов. По аналогии со слонами считается, что они были турнирным оружием для самцов, демонстрационным органом в социальном поведении, оружием защиты и нападения, которым нельзя было наносить колющие удары, но можно было использовать для сотрясающих ударов. Возможно, мамонты во время пастьбы и отдыха опирались бивнями о землю, перенося на них вес своей головы – этим также может объясняться наличие стертости на бивнях [8].

Заключение

Морфологические исследования замороженных мумий и скелетов мамонтов, найденных на территории севера Восточной Сибири (Таймыр, Якутия и западная Чукотка), позволяют констатировать, что шерстистый мамонт из этого региона был очень схож с современным азиатским слоном *E. maximus* по высоте в холке и по массе, в то же время, тело у него было в среднем длиннее, голова и бивни больше, т. е. пропорции тела у этих видов были разными. По-видимому, особенности пропорций тела шерстистого мамонта способствовали его лучшему выживанию в условиях ледникового периода.

На территории севера Восточной Сибири размеры мамонтов практически не менялись на протяжении каргинского интерстадиала и сартанского оледенения. Очевидно, это свидетельствует о высокой приспособленности мамонта к условиям ледникового периода, в результате чего более суровые условия сартанского оледенения не действовали на этого северного слона угнетающе.

Список литературы

1. *Верещагин Н.К., Тихонов А.Н.* Экстерьер мамонта. Якутск: Изд-во ИМ СО АН СССР, 1990. 40 с.

2. *Плотников В.В., Мащенко Е.Н., Павлов И.С., Протопопов А.В., Боескоров Г.Г., Петрова Е.А.* Новые данные о морфологии хобота шерстистого мамонта, *Mammuthus primigenius* (Blumenbach) // Палеонтол. журнал, 2015. № 2. С. 87–98.

3. *Чернова О.Ф., Кириллова И.В., Боескоров Г.Г., Шидловский Ф.К.* Идентификация волос шерстистого мамонта *Mammuthus primigenius* и шерстистого носорога *Coelodonta antiquitatis* методом сканирующей электронной микроскопии // Докл. РАН. Общая биология, 2015. Т. 463, № 3. С. 368–373.

4. *Boeskorov G.G., Maschenko E.N., Plotnikov V.V., Shchelchkova M.V., Protopopov A.V., Solomonov N.G.* Adaptation of the woolly mammoth *Mammuthus primigenius* (Blumenbach, 1799) to habitat conditions in the glacial period // Contemporary problems of Ecology. 2016. Vol. 9, No. 5. P. 544–553.

5. *Garutt V.E.* Das Mammut *Mammuthus primigenius* (Blumenbach). Wittenberg Lutherstadt: Zeimsen Verlag, 1964. 140 p.

6. *Lynch V.J., Bedoya-Reina O.C., Ratan A., Sulak M., Drautz-Moses D.I., Perry G.H., Miller W., Schuster S.C.* Elephantid genomes reveal the molecular bases of woolly mammoth adaptations to the arctic // Cell Reports. 2015. No. 12. P. 217–228.

7. *Sikes S.K.* The natural history of the African elephant. London: Weidenfeld and Nicolson, 1971. 397 p.

8. *Lister A., Bahn P.* Mammoths – Giants of the Ice Age. London: Frances Lincoln Press, 2007. 192 p.

9. *Косинцев П.А., Бобковская Н.Е., Бородин А.В., Зиновьев Е.В., Некрасов А.И., Трофимова С.С.* Трогонтериевый слон Нижнего Иртыша. Екатеринбург: Волот, 2004. 260 с.

10. *Larramendi A.* Shoulder height, body mass and shape of proboscideans // Acta Palaeontologica Polonica, 2016. Vol. 61 (3). P. 537–574. doi:10.4202/app.00136.2014.

11. *Shoshani J., Eisenberg J. F. Elephas maximus* // Mammalian Species, 1982. No. 182. P. 1–8.

12. *Grubb P., Groves C. P., Dudley J. P., Shoshani J.* Living African elephants belong to two species: *Loxodonta africana* (Blumenbach, 1797) and *Loxodonta cyclotis* (Matschie, 1900) // Elephant. 2000. Vol. 2(4). P. 1–4. doi: 10.22237/elephant/1521732169

13. *Лазарев П.А., Боескоров Г.Г., Томская А.И., Гарутт Н.В., Васильев Е.М., Каспаров А.К., Родионов Г.Н.* Млекопитающие антропогена Якутии. Якутск: Изд-во Якутского научного центра СО РАН, 1998. 158 с.

14. *Боескоров Г.Г., Протопопов А.В., Бакулина Н.Т., Лазарев П.А.* Условия существования Максунуохского мамонта // Наука и образование. 2006. № 2. С. 56–61.

15. *Лазарев П.А.* Крупные млекопитающие антропогена Якутии. Новосибирск: Наука, 2008. 160 с.

16. *Боескоров Г.Г., Тихонов А.Н., Сузуки Н.* (ред.). Юкагирский мамонт. СПб.: Изд-во СПб ун-та, 2007. 252 с.

17. *Lydekker R.* The Royal Natural History. Vol. 2. London: Frederick Warne and Co, 1894. 529 p.

18. *Боескоров Г.Г., Черкашина А.П., Белолюбский И.Н., Зайцев А.И.* Особенности морфологии и палеоэкологии Чекуровского мамонта // Отечественная геология. 2009. № 5. С. 84–90.

19. *Grigoriev S.E., Fisher D.C., Obada T., Shirley E.A., Rountrey A.N. et al*. A woolly mammoth (*Mammuthus primigenius*) carcass from Maly Lyakhovsky Island (New Siberian Islands, Russian Federation)// Quaternary International. 2017. Vol. 445. P. 80–103.

20. *Kirillova I.V., Shidlovskiy F.K., Titov V.V.* Kastykhtakh mammoth from Taimyr (Russia) // Quaternary International. 2012. Vol. 276–277. P. 269–277.

21. *Maschenko E., Boeskorov G., Beloliubskii I., Tomshin M., van der Plicht J., Kowalczyk R.* New find of the woolly mammoth (*Mammuthus primigenius*) female skeleton from Kotelny Island, New Siberian Archipelago, Eastern Siberia, Russia // VII International Conference of Mammoths and their relatives. 17–23 September 2017, National Museum of Natural Sciences, Taichung, Taiwan.Abstract book. P. 57–58. http://www.mammothtw2017.org/

22. *Аверьянов А.О.* Описание остатков мамонтов из Камского Устья // Волжская фауна плейстоценовых млекопитающих в геолого-минералогическом музее Казанского университета / Ред. И.С. Муравьев, М.Г. Солодухо. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1992. С. 56–65.

23. *Давид А.И., Мащенко Е.Н., Калмыков Н.П., Обадэ Т.Ф.* Морфология *Mammuthus primigenius* (Blumenbach, 1799) стоянки Климэуць II (Среднее Приднестровье) и плейстоцена Европы // Геоэкол. и биоэкол. проблемы сев. Причерноморья: Мат-лы 3 Междунар. науч.-практ. конф., 22–23 окт. 2009 г., Тирасполь / Отв. ред. С.И. Филипенко, В.Г. Фоменко, В.Ф. Хлебников и др. Тирасполь: Изд-во Приднестр. гос. ун-та им. Т.Г. Шевченко, 2009. С. 47–439.

24. *Felix J.* Das Mammut von Borna // Veröffentl. städt. Museum Völkerkde. 1912. Bd. 4. P. 1–52.

25. *Siegfried P.* Das Mammut von Ahlen *Mammontheus primigenius* (Blumenb.) // Paläontologische Zeitschrift. 1959. Bd. 33, H. 3. P. 172–184.

26. *Koenigswald W.* Das Mammut von Polch bei Mayen (Eifel) // Eiszeitalter und Gegenwart. 1989. Bd. 39. P. 87–97.

27. *Ziegler R.* Das Mammut (*Mammuthus primigenius* Blumenbach) von Siegsdorf bei Traunstein (Bayern) und seine Begleitfauna // Münchner Geowissenschaftliche Abhandlungen Reihe A. 1994. Bd. 26. P. 49–80.

28. *Заленский В.В.* Видовые зоологические признаки мамонта // Научные результаты экспедиции, снаряженной Имп. АН для раскопок мамонта, найденного на р. Березовке в 1901 г. СПб., 1909. Т. 2. С. 36–42.

29. *Кулешов П.Н.* Выбор по экстерьеру лошадей, скота, овец и свиней. М.: Сельхозгиз, 1937. 202 с.

30. *Лискун Е.Ф.* Экстерьер сельскохозяйственных животных. М.: Гос. изд-во сельскохозяйственной литературы, 1949. 311 с.

31. *Laursen L., Bekoff M. Loxodonta africana* // Mammalian Species. 1978. No. 92. P. 1–8.

32. *Шер А.В.* Млекопитающие и стратиграфия плейстоцена крайнего северо-востока СССР и Северной Америки. М.: Наука, 1971. 297 с.

33. *Боескоров Г.Г.* Каталог остеологической коллекции Якутского государственного объединенного музея истории и культуры народов Севера им. Ем. Ярославского. Якутск: Дани Алмас, 2010. 72 с.

34. *Ложкин А.В.* Возраст и условия обитания энмынвеемской популяции мамонтов на Чукотке // Труды ЗИН АН СССР. 1989. Т. 198. С. 119–125.

35. *Тихонов А.Н.* Мамонт, *Mammuthus primigenius* (Elephantidae, Proboscidae) с острова Большой Ляховский, Восточная Сибирь // Труды ЗИН РАН. 1996. Т. 270. С. 167–185.

36. *Плотников В.В., Боескоров Г.Г., Бакулина Н.Т., Протопопов А.В., Климовский А.И.* Находка части скелета мамонта в окрестностях Хандыги // Наука и образование. 2012. № 1. С. 90–95.

37. *Mol D., Tikhonov A.N., MacPhee R.D.E., Flemming C., Buigues B. et al.* The Fishhook Mammoth: rediscovery of a woolly mammoth carcass by the CERPOLEX/Mammuthus team, Taimyr Peninsula, Siberia // Cavaretta, G., Gioia, P., Vussi, M., Palombo, M.R. (Eds.), The World of Elephants. Proceedings of the 1st International Congress. Consiglio Nazionale delle Ricerche. Rome, 2001. P. 310–313.

38. *Mol D., Coppens Y., Tikhonov A.N., Agenbroad L.D., MacPhee R.D.E. et al.* The Jarkov Mammoth:

20,000-year-old carcass of a Siberian woolly mammoth *Mammuthus primigenius* (Blumenbach, 1799) // Cavaretta G., Gioia P., Vussi M., Palombo M.R. (Eds.). The World of Elephants. Proceedings of the 1st International Congress. Consiglio Nazionale delle Ricerche. Rome, 2001. P. 305–309.

39. *Maschenko E.N., Potapova O., Protopopov A.V., Heintzman P.D., Kapp J.D., Cahil J.A., Shapiro B., van der Plicht J., Pavlov I., Kolesov S.* A discovery of a new skeleton of the Mammoth (*Mammuthus* sp.) from the Sartan deposits in Eastern Siberia, Russia // Journal of Vertebrate Paleontology, Program and Abstracts. 2016. P. 184.

40. *Гарутт В.Е.* Отряд Proboscidae (Хоботные) // Волжская фауна плейстоценовых млекопитающих в геолого-минералогическом музее Казанского университета / Редакторы И.С. Муравьев, М.Г. Солодухо. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1992. С. 31–54.

41. *Boeskorov G.G., Tikhonov A.N., Shchelchkova M.V., Ballard J.P., Mol D.* Big tuskers: maximum sizes of tusks in woolly mammoths – *Mammuthus primigenius* (Blumenbach) – from East Siberia // Quaternary International. 2020. Vol. 537. P. 88–96. doi: 10.1016/j.quaint.2019.12.023

42. *Best G.A.* Rowland Ward's records of big game. 13th ed. (Africa). London: Rowland Ward publications Ltd., 1969. 438 p.

43. *Walker E., Warnick F., Lange K., Uible H., Hamlet S., Davies M., Wright P.* Mammals of the World. 2nd edition. John Hopkins Press, Baltimore, 1968. 1500 pp.

44. *Верещагин Н.К.* Берелехское «кладбище» мамонтов // Труды ЗИН АН СССР. 1977. Т. 72. С. 5–50.

Поступила в редакцию 02.09.2020
Принята к публикации 16.11.2021

Об авторе

БОЕСКОРОВ Геннадий Гаврилович, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, 677890, Якутск, пр. Ленина, 39, Россия, Author ID (РИНЦ): 177055. ORCID: 0000-0002-2360-7740. Scopus ID: 6602163346, gboeskorov@mail.ru

Информация для цитирования

Боескоров Г.Г. Размеры тела шерстистого мамонта *Mammuthus primigenius* (Blumenbach) второй половины позднего плейстоцена севера Восточной Сибири// Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2021. Т. 26, № 1. С. 38–48. https://doi.org/10.31242/2618-9712-2021-26-1-4

DOI 10.31242/2618-9712-2020-26-1-4

Body sizes of the woolly mammoth *Mammuthus primigenius* (Blumenbach) of the second half of the Late Pleistocene in the north of Eastern Siberia

G.G. Boeskorov

Diamond and Precious Metals Geology Institute, SB RAS, Yakutsk, Russia
gboeskorov@mail.ru

Abstract. *The data on the body sizes of the woolly mammoth Mammuthus primigenius (Blumenbach) of the second half of Late Pleistocene in the north of Eastern Siberia (Yakutia, Taimyr Peninsula, western Chukotka) are analyzed. The data presented in the article are based on the original data of the author who took part in the study of the morphological features of frozen remains of mummies and skeletons of mammoths found on the territory of Yakutia over the past 30 years: Churapchinsky, Maksunuokhsky, Yukagirsky mammoths; part of the skeleton of a mammoth from the Zimovye River (Bolshoy Lyakhovsky Island). The skeleton of the Tirekhtyakh mammoth was measured separately. In addition, the literature data on the body size of the woolly mammoth of the second half of Late Pleistocene in Eastern Siberia and other regions were analyzed. Previous researchers noted that the height at the withers of adult males of M. primigenius from the territory of Yakutia and the Taimyr Peninsula is close to that of the male Asian (Indian) elephant Elephas maximus L. It was concluded from this fact that the overall body size of the woolly mammoth was*

similar to that of the Asian elephant. It is demonstrated in this article on the basis of more representative material that, although the woolly mammoth was indeed very similar in height at the withers to modern E. maximus, at the same time, its body was on average longer, the head was larger, i.e. body proportions of these species were different. Apparently, the peculiarities of the proportions of the body of the woolly mammoth contributed to its better survival under the conditions of the Ice Age.

Key words: woolly mammoth, *Mammuthus primigenius*, Late Pleistocene, body size, Eastern Siberia.

Acknowledgements. *The work was carried out within the framework of Project No. 0381-2019-0002 under the State Assignment to the Diamond and Precious Metals Geology Institute SB RAS.*

References

1. *Vereshhagin N.K., Tihonov A.N.* Jekster'er mamonta. Jakutsk: Izd-vo IM SO AN SSSR, 1990. 40 p.

2. *Plotnikov V.V., Mashhenko E.N., Pavlov I.S., Protopopov A.V., Boeskorov G.G., Petrova E.A.* Novye dannye o morfologii hobota sherstistogo mamonta, Mammuthus primigenius (Blumenbach) // Paleontol. zhurnal. 2015. No. 2. P. 87–98.

3. *Chernova O.F., Kirillova I.V., Boeskorov G.G., Shidlovskij F.K.* Identifikacija volos sherstistogo mamonta *Mammuthus primigenius* i sherstistogo nosoroga Coelodonta antiquitatis metodom skanirujushhej jelektronnoj mikroskopii // Dokl. RAN. Obshhaja biologija. 2015. Vol. 463, No. 3. P. 368–373.

4. *Boeskorov G.G., Maschenko E.N., Plotnikov V.V., Shchelchkova M.V., Protopopov A.V., Solomonov N.G.* Adaptation of the woolly mammoth *Mammuthus primigenius* (Blumenbach, 1799) to habitat conditions in the glacial period // Contemporary problems of Ecology. 2016. Vol. 9, No. 5. P. 544–553.

5. *Garutt V.E.* Das Mammut *Mammuthus primigenius* (Blumenbach). Wittenberg Lutherstadt: Zeimsen Verlag, 1964. 140 p.

6. *Lynch V.J., Bedoya-Reina O.C., Ratan A., Sulak M., Drautz-Moses D.I., Perry G.H., Miller W., Schuster S.C.* Elephantid genomes reveal the molecular bases of woolly mammoth adaptations to the arctic // Cell Reports. 2015. No. 12. P. 217–228.

7. *Sikes S.K.* The natural history of the African elephant. London: Weidenfeld and Nicolson, 1971. 397 p.

8. *Lister A., Bahn P.* Mammoths – Giants of the Ice Age. London: Frances Lincoln Press, 2007. 192 p.

9. *Kosincev P.A., Bobkovskaja N.E., Borodin A.V., Zinov'ev E.V., Nekrasov A.I., Trofimova S.S.* Trogonterievyj slon Nizhnego Irtysha. Ekaterinburg: Volot, 2004. 260 p.

10. *Larramendi A.* Shoulder height, body mass and shape of proboscideans // Acta Palaeontologica Polonica, 2016. Vol. 61 (3). P. 537–574. doi:10.4202/app.00136.2014.

11. *Shoshani J., Eisenberg J. F. Elephas maximus* // Mammalian Species, 1982. No. 182. P. 1–8.

12. *Grubb P., Groves C. P., Dudley J. P., Shoshani J.* Living African elephants belong to two species: *Loxodonta africana* (Blumenbach, 1797) and *Loxodonta cyclotis* (Matschie, 1900) // Elephant. 2000. Vol. 2(4). P. 1–4. doi: 10.22237/elephant/1521732169

13. *Lazarev P.A., Boeskorov G.G., Tomskaja A.I., Garutt N.V., Vasil'ev E.M., Kasparov A.K., Rodionov G.N.* Mlekopitajushhie antropogena Jakutii. Jakutsk: Izd-vo Jakutskogo nauchnogo centra SO RAN, 1998. 158 p.

14. *Boeskorov G.G., Protopopov A.V., Bakulina N.T., Lazarev P.A.* Uslovija sushhestvovanija Maksunuohskogo mamonta // Nauka i obrazovanie. 2006. No. 2. P. 56–61.

15. *Lazarev P.A.* Krupnye mlekopitajushhie antropogena Jakutii. Novosibirsk: Nauka, 2008. 160 p.

16. *Boeskorov G.G., Tihonov A.N., Suzuki N.* (red.). Jukagirskij mamont / SPb.: Izd-vo S.-Peterburgskogo universiteta, 2007. 252 p.

17. *Lydekker R.* The Royal Natural History. Vol. 2. London: Frederick Warne and Co, 1894. 529 p.

18. *Boeskorov G.G., Cherkashina A.P., Beloljubskij I.N., Zajcev A.I.* Osobennosti morfologii i paleojekologii Chekurovskogo mamonta // Otechestvennaja geologija. 2009. No. 5. P. 84–90.

19. *Grigoriev S.E., Fisher D.C., Obada T., Shirley E.A., Rountrey A.N. et al*. A woolly mammoth (*Mammuthus primigenius*) carcass from Maly Lyakhovsky Island (New Siberian Islands, Russian Federation)// Quaternary International. 2017. Vol. 445. P. 80–103.

20. *Kirillova I.V., Shidlovskiy F.K., Titov V.V.* Kastykhtakh mammoth from Taimyr (Russia) // Quaternary International. 2012. Vol. 276–277. P. 269–277.

21. *Maschenko E., Boeskorov G., Beloliubskii I., Tomshin M., van der Plicht J., Kowalczyk R.* New find of the woolly mammoth (*Mammuthus primigenius*) female skeleton from Kotelny Island, New Siberian Archipelago, Eastern Siberia, Russia // VII International Conference of Mammoths and their relatives. 17–23 September 2017, National Museum of Natural Sciences, Taichung, Taiwan.Abstract book. P. 57–58. http://www.mammothtw2017.org/

22. *Aver'janov A.O.* Opisanie ostatkov mamontov iz Kamskogo Ust'ja // Volzhskaja fauna plejstocenovyh mlekopitajushhih v geologo-mineralogicheskom muzee Kazanskogo universiteta. Red. I.S. Murav'ev, M.G. Soloduho. Kazan': Izd-vo Kazanskogo universiteta, 1992. P. 56–65.

23. *David A.I., Mashhenko E.N., Kalmykov N.P., Obadje T.F.* Morfologija Mammuthus primigenius (Blumenbach, 1799) stojanki Klimjeuc' II (Srednee Pridnestrov'e) i plejstocena Evropy // Geojekol. i biojekol. problemy sev. Prichernomor'ja: Mat-ly 3 Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 22–23 okt. 2009 g., Tiraspol'. Otv. red. S.I. Fili-

penko, V.G. Fomenko, V.F. Hlebnikov i dr. Tiraspol': izd-vo Pridnestr. gos. un-ta im. T.G. Shevchenko, 2009. P. 47–439.

24. *Felix J.* Das Mammut von Borna // Veröffentl. städt. Museum Völkerkde. 1912. Bd. 4. P. 1–52.

25. *Siegfried P.* Das Mammut von Ahlen *Mammontheus primigenius* (Blumenb.) // Paläontologische Zeitschrift. 1959. Bd. 33, H. 3. P. 172–184.

26. *Koenigswald W.* Das Mammut von Polch bei Mayen (Eifel) // Eiszeitalter und Gegenwart. 1989. Bd. 39. P. 87–97.

27. *Ziegler R.* Das Mammut (*Mammuthus primigenius* Blumenbach) von Siegsdorf bei Traunstein (Bayern) und seine Begleitfauna // Münchner Geowissenschaftliche Abhandlungen Reihe A. 1994. Bd. 26. P. 49–80.

28. *Zalenskij V.V.* Vidovye zoologicheskie priznaki mamonta // Nauchnye rezul'taty jekspedicii, snarjazhennoj Imp. AN dlja raskopok mamonta, najdennogo na r. Berezovke v 1901 g. SPb., 1909. Vol. 2. P. 36–42.

29. *Kuleshov P.N.* Vybor po jekster'eru loshadej, skota, ovec i svinej. M.: Sel'hozgiz, 1937. 202 p.

30. *Liskun E.F.* Jekster'er sel'skohozjajstvennyh zhivotnyh. M.: Gos. izd-vo sel'skohozjajstvennoj literatury, 1949. 311 p.

31. *Laursen L., Bekoff M. Loxodonta africana* // Mammalian Species. 1978. No. 92. P. 1–8.

32. *Sher A.V.* Mlekopitajushhie i stratigrafija plejstocena krajnego severo-vostoka SSSR i Severnoj Ameriki. M.: Nauka, 1971. 297 p.

33. *Boeskorov G.G.* Katalog osteologicheskoj kollekcii Jakutskogo gosudarstvennogo ob'edinennogo muzeja istorii i kul'tury narodov Severa im. Em. Jaroslavskogo. Jakutsk: Dani Almas, 2010. 72 p.

34. *Lozhkin A.V.* Vozrast i uslovija obitanija jenmynveemskoj populjacii mamontov na Chukotke // Trudy ZIN AN SSSR. 1989. Vol. 198. P. 119–125.

35. *Tihonov A.N.* Mamont, *Mammuthus primigenius* (Elephantidae, Proboscidae) s ostrova Bol'shoj Ljahovskij, Vostochnaja Sibir' // Trudy ZIN RAN. 1996. Vol. 270. P. 167–185.

36. *Plotnikov V.V., Boeskorov G.G., Bakulina N.T., Protopopov A.V., Klimovskij A.I.* Nahodka chasti skeleta mamonta v okrestnostjah Handygi // Nauka i obrazovanie. 2012. No. 1. P. 90–95.

37. *Mol D., Tikhonov A.N., MacPhee R.D.E., Flemming C., Buigues B. et al.* The Fishhook Mammoth: rediscovery of a woolly mammoth carcass by the CERPOLEX/Mammuthus team, Taimyr Peninsula, Siberia // Cavaretta, G., Gioia, P., Vussi, M., Palombo, M.R. (Eds.), The World of Elephants. Proceedings of the 1st International Congress. Consiglio Nazionale delle Ricerche. Rome, 2001. P. 310–313.

38. *Mol D., Coppens Y., Tikhonov A.N., Agenbroad L.D., MacPhee R.D.E. et al.* The Jarkov Mammoth: 20,000-year-old carcass of a Siberian woolly mammoth *Mammuthus primigenius* (Blumenbach, 1799) // Cavaretta G., Gioia P., Vussi M., Palombo M.R. (Eds.). The World of Elephants. Proceedings of the 1st International Congress. Consiglio Nazionale delle Ricerche. Rome, 2001. P. 305–309.

39. *Maschenko E.N., Potapova O., Protopopov A.V., Heintzman P.D., Kapp J.D., Cahil J.A., Shapiro B., van der Plicht J., Pavlov I., Kolesov S.* A discovery of a new skeleton of the Mammoth (*Mammuthus* sp.) from the Sartan deposits in Eastern Siberia, Russia // Journal of Vertebrate Paleontology, Program and Abstracts. 2016. P. 184.

40. *Garutt V.E.* Otrjad Proboscidae (Hobotnye) // Volzhskaja fauna plejstocenovyh mlekopitajushhih v geologo-mineralogicheskom muzee Kazanskogo universiteta / Redaktory I.S. Murav'ev, M.G. Soloduho. Kazan': Izd-vo Kazanskogo un-ta, 1992. P. 31–54.

41. *Boeskorov G.G., Tikhonov A.N., Shchelchkova M.V., Ballard J.P., Mol D.* Big tuskers: maximum sizes of tusks in woolly mammoths – *Mammuthus primigenius* (Blumenbach) – from East Siberia // Quaternary International. 2020. Vol. 537. P. 88–96. doi: 10.1016/j.quaint.2019.12.023

42. *Best G.A.* Rowland Ward's records of big game. 13th ed. (Africa). London: Rowland Ward publications Ltd., 1969. 438 p.

43. *Walker E., Warnick F., Lange K., Uible H., Hamlet S., Davies M., Wright P.* Mammals of the World. 2nd edition. John Hopkins Press, Baltimore, 1968. 1500 p.

44. *Vereshhagin N.K.* Berelehskoe «kladbishhe» mamontov // Trudy ZIN AN SSSR. Vol. 72. 1977. P. 5–50.

About the author

BOESKOROV Gennady Gavrilovich, Dr. Sci. (Biology), chief researcher, Diamond and Precious Metals Geology Institute SB RAS, 39 Lenina pr., Yakutsk 677890, Russia,
Author ID (RSCI): 177055. ORCID: 0000-0002-2360-7740. Scopus ID: 6602163346, gboeskorov@mail.ru

Citation

Boeskorov G.G. Body sizes of the woolly mammoth *Mammuthus primigenius* (Blumenbach) of the second half of the Late Pleistocene in the north of Eastern Siberia// Arctic and Subarctic Natural Resources. 2021. Vol. 26, No. 1. pp. 38–48. (In Russ.) https://doi.org/10.31242/2618-9712-2021-26-1-4

УДК 622.279.72:622.691.4
DOI 10.31242/2618-9712-2021-26-1-5

Исследование гидратообразования для повышения надежности добычи и транспорта природного газа в условиях криолитозоны

И.И. Рожин*, Л.П. Калачева, И.К. Иванова

Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия
**i_rozhin@mail.ru*

Аннотация. *Представлены результаты оценки возможности гидратообразования в призабойной зоне газовых скважин и моделирования течения газа в скважинах с учетом возможного образования гидратов. Полученные результаты особенно актуальны для регионов, где добыча газа осложняется наличием многолетней мерзлоты, т. е. низкими пластовыми температурами. Из-за неизбежного охлаждения газа при его добыче возможно образование газовых гидратов как в призабойной зоне, так и в стволе скважин. Достоверный прогноз образования гидратов в призабойной зоне возможен только в рамках неизотермической модели фильтрации реального газа. В математической модели гидратообразования в трубах учет зависимости коэффициентов конвективного теплообмена и гидравлического сопротивления от изменяющейся во времени площади проходного сечения трубы приводит к увеличению длительности полной закупорки ее гидратами. Изучено влияние минерализации различных генетических типов пластовых вод на процессы образования гидратов природных газов в объеме и в пористой среде. Установлено концентрирование углеводородов C_2–C_4 в гидратной фазе, приводящее к повышению коэффициента жирности и теплотворной способности исходного газа. Определены термодинамические условия гидратообразования в дисперсных породах с учетом минерализации пластовых вод.*

Ключевые слова: газовый гидрат, природный газ, пластовая вода, коэффициент жирности и теплотворная способность газа, добыча и транспорт газа, математическое моделирование, лабораторный эксперимент.

Благодарности. *Работа выполнена в рамках госзаказа Министерства науки и высшего образования РФ № АААА-А21-121011490056-4.*

Введение

Возможность существования газовых гидратов в природных условиях с образованием газогидратных залежей первым предсказал профессор И.Н. Стрижов (1946 г.), а с начала 1960-х годов академики А.А. Трофимук и Н.В. Черский с коллегами начали активное изучение геологических аспектов скоплений газовых гидратов как на суше, так и в акваториях. Первый природный газогидрат держала в руках специалист ВНИИгаза А.Г. Ефремова (1972 г.), и уже в начале 1970-х годов в этом институте были заложены основы методов распознавания гидратосодержащих пород по данным комплексного скважинного каротажа [1]. Во ВНИИгазе и МГУ им. М.В. Ломоносова в 1980-е годы был идентифицирован новый тип рассеянных газогидратов в зоне многолетнемерзлых пород, так называемые реликтовые гидраты, находящиеся вне современной зоны стабильности газовых гидратов и сохраняющиеся вмороженными в многолетнемерзлые породы в метастабильном термодинамическом состоянии [2–4]. Установлено, что стабильность «законсервировавшихся» гидратов зависит от температуры окружающей среды, возможности сублимации влаги с поверхности, наличия светового, механического и химического воздействий. Реликтовые (неразложившиеся) газовые гидраты встречаются в криолитозоне на небольших глубинах – от 20 до 200 м.

В настоящее время природные газовые гидраты обнаружены в придонных осадках океанов и морей, в недрах материков и островов [5, 6]. Сопоставление термодинамических характеристик осадочного чехла земной коры с равновесными условиями гидратообразования показывает, что около 25 % территории суши и 75 % акватории Мирового океана соответствует условиям нако-

© Рожин И.И., Калачева Л.П., Иванова И.К., 2021

пления и сохранения газа в гидратном состоянии. При этом глубина зон гидратообразования может достигать 1500 м и более на материке и 300–700 м в природных осадках океана, что позволяет считать газогидратные скопления потенциальным источником углеводородного сырья [7–11].

Природные газовые гидраты рассматриваются как серьезное осложняющее обстоятельство, приводящее к технологическим трудностям при бурении и эксплуатации скважин на нефть и газ, при сооружении плавучих платформ и т. п. В связи с тем что основные центры газодобывающей промышленности страны за последние годы переместились в районы Крайнего Севера, характеризующиеся сложными природно-климатическими условиями и, в первую очередь, наличием толщи многолетнемерзлых пород, эта проблема приобретает еще большую актуальность. Практика разработки месторождений природного газа в этих условиях показала, что понижение температуры газосодержащих пород за счет дросселирования при отборе газа и конденсации влаги создают предпосылки для образования гидратов в призабойной зоне газовых скважин. Отложение гидратов приводит к резкому росту фильтрационного сопротивления, падению забойного давления и дебита скважин. Образование гидратов возможно и в стволе газовых скважин, особенно простаивающих длительное время или при их консервации [12].

Образование гидратов в призабойной зоне приводит к снижению продуктивности скважин, а их образование в стволе может привести к полному прекращению подачи газа. Такие аварийные ситуации могут иметь самые тяжелые последствия. В настоящее время единственным средством борьбы с этим нежелательным явлением является закачка в скважины метанола или других ингибиторов гидратообразования. Эта мера малоэффективна, так как метанол выносится из скважин вместе с добываемым газом, и она существенно повышает себестоимость добычи и транспорта газа. Следовательно, актуальна задача выбора таких режимов отбора газа, при которых эти аварийные ситуации можно исключить или снизить их влияние на надежность газоснабжения.

Разработка методов добычи природного газа из газогидратных месторождений и конкретные проблемы газопромысловой практики в северных регионах требуют проведения экспериментальных исследований по определению равновесных условий гидратообразования в дисперсных породах. Образование гидратов в дисперсных породах, насыщенных водой и газом, имеет свои особенности из-за взаимодействия воды, содержащейся в порах, с частицами породы. Поэтому к числу возможных факторов, влияющих на термодинамические (равновесные) условия гидратообразования, помимо состава газа и минерализации поровой воды, следует отнести и такие свойства самой породы, как ее минералогический состав, дисперсность и влагосодержание.

К 70-м гг. XX в. были известны случаи образования гидратов природного газа в призабойной зоне при вскрытии пластов, их отложение на стенках скважин и газопроводов – при добыче и транспортировке газа в северных районах. Ускоренное развитие добычи газа в этих районах поставило на повестку дня создание теоретических основ образования и разложения газовых гидратов в системах добычи и транспорта газа. Для решения этой задачи в 1970 г. в Институт физико-технических проблем Севера СО АН СССР (г. Якутск) академиком Николаем Васильевичем Черским был приглашен Эдуард Антонович Бондарев, один из создателей современного раздела подземной гидравлики – неизотермической фильтрации газа.

Под руководством д.т.н. Э.А. Бондарева основано и уже более 40 лет успешно развивается научное направление – механика гидратообразования в системах добычи и транспорта газа. Здесь на основе принципов механики многофазных сред созданы математическая модель многофазной неизотермической фильтрации с учетом образования (диссоциации) гидратов при добыче газа и модель образования гидратов при течении газа в трубопроводах [13–17]. Первая из этих моделей позволила предсказать ряд новых эффектов в динамике гидратообразования в продуктивных пластах, а также решить важную практическую задачу об эффективности теплового воздействия на призабойную зону газоносных пластов. С помощью второй модели дана количественная оценка особенностей динамики роста гидратного слоя в скважинах и магистральных газопроводах, и выявлены те технологические параметры процесса, надлежащий выбор которых дает возможность либо полностью исключить образование гидратов, либо свести к минимуму его отрицательные последствия для систем добычи и транспорта газа. Разработки Э.А. Бондарева нашли широкое практическое применение при решении задач повышения опе-

ративности управления режимом работы эксплуатационных скважин за счет своевременного воздействия на призабойную зону либо ингибиторами гидратообразования, либо забойными нагревателями, что позволило повысить надежность систем газоснабжения в целом.

Далее приведем некоторые результаты Института проблем нефти и газа СО РАН, полученные под руководством Э.А. Бондарева.

Оценка возможности гидратообразования в призабойной зоне газовых скважин

Впервые теоретическое исследование процесса образования и диссоциации гидратов при фильтрации газа было выполнено в статье [18]. Предложенная математическая модель основывалась на допущении о первоначально полном насыщении пористой среды гидратом и о его разложении при тепловом воздействии на фронте фазового перехода. В [19] было получено приближенное решение задачи о диссоциации гидрата, находящегося в равновесии с газом. При этом считалось, что образующаяся вода остается неподвижной. Это предположение накладывает ограничение на величину начальной гидратонасыщенности, определяемое предельной водонасыщенностью, при которой относительная проницаемость водной фазы равна нулю. Кроме этого ограничения, в [20] считалось, что процесс диссоциации происходит в изотермических условиях, что противоречит физике явления (понижение давления при отборе газа неизбежно должно вести к уменьшению температуры).

В [21] было показано, что если изначально пористая среда содержит газовый гидрат, сосуществующий в состоянии термодинамического равновесия с газом и водой, то использование предположения о наличии фронта диссоциации гидрата приводит к противоречию с физикой процесса: в зоне существования гидрата температура оказывается выше, чем температура его диссоциации. Непротиворечивое решение получается, если предположить, что процесс фазового перехода происходит в протяженной области. Аналогичный результат получен и для случая, когда в начальный момент пласт насыщен газом и гидратом.

В [22, 23] предложен следующий подход к прогнозу возможного образования гидратов при отборе газа: из решения задачи неизотермической фильтрации реального газа определяются поля давления и температуры в газоносном пласте, которые затем сравниваются с равновесными условиями образования гидратов в призабойной зоне скважины.

С использованием этого подхода оценена возможность образования гидратов в призабойной зоне пласта для Мессояхского месторождения Красноярского края [23]. В вычислительном эксперименте установлено, что для газовых месторождений с небольшой глубиной залегания продуктивных горизонтов (порядка 1000 м) при интенсивном отборе температура газа будет выше равновесной температуры гидратообразования всюду за исключением узкой зоны вблизи скважины в начальный период. В то же время, при меньшей депрессии на пласт температура газа всюду ниже равновесной температуры образования гидратов. Такой результат объясняется тем, что в данных условиях снижение равновесной температуры гидратообразования за счет понижения давления более существенно, чем охлаждение газа за счет дросселирования из-за сравнительно небольшого перепада давления.

Аналогичные расчеты проводились для природного газа Средне-Вилюйского месторождения Республики Саха (Якутия), которое отличается от Мессояхского гораздо большей глубиной залегания газоносного пласта и, соответственно, гораздо большими значениями пластовых давления и температуры. Получены такие же основные результаты [23]: изменения температуры происходят в узкой зоне вблизи скважины; при более интенсивном отборе давление изменяется во всех точках пласта, а при менее интенсивном – только вблизи скважины; влияние поля температур на поле давления и на прогнозирование суммарного отбора газа незначительно. Оценка возможности образования гидратов в призабойной зоне скважины на этом месторождении показала, что температура газа даже при интенсивном его отборе всегда выше равновесной температуры гидратообразования. Этот результат полностью соответствует многолетней истории разработки Средне-Вилюйского месторождения.

Пластовые условия Отраднинского месторождения РС (Я) соответствуют условиям гидратообразования в призабойной зоне, несмотря на незначительное падение температуры при отборе газа. Получено, что температура газа даже при интенсивном отборе всегда ниже равновесной температуры гидратообразования, т. е. без ввода ингибиторов в призабойной зоне всегда

будут образовываться гидраты. Следовательно, для глубоких скважин опасность гидратообразования определяется пластовой температурой и соленостью пластовых вод, т. е. геологическими характеристиками региона.

Моделирование течения газа в скважинах с учетом возможного образования гидратов

Анализ факторов, определяющих надежность подачи газа потребителям, расположенным в зоне многолетней мерзлоты, показал, что первое слабое звено технологической цепочки – сама скважина и примыкающая к ней призабойная зона газоносного пласта. Именно здесь происходит интенсивное охлаждение газа за счет дросселирования при снижении давления и за счет теплообмена с окружающими скважину многолетнемерзлыми горными породами. Так как многие месторождения имеют достаточно высокие пластовые давления, то при этом возникает опасность образования газовых гидратов непосредственно в стволах скважин, что может привести либо к снижению их пропускной способности, либо к их полной закупорке.

Рассмотрена сопряженная задача теплообмена между реальным газом в скважине и окружающей средой (горными породами), которая сводится к решению дифференциальных уравнений, описывающих неизотермическое течение газа в скважине, и уравнений распространения тепла в горных породах с соответствующими условиями сопряжения. Для описания образования (диссоциации) и отложения гидратов в скважинах используется квазистационарная математическая модель [15, 24], в которой движение реального газа в трубах описывается в рамках трубной гидравлики, а динамика образования гидрата – в рамках обобщенной задачи Стефана, в которой температура фазового перехода газ–гидрат существенно зависит от давления в потоке газа. В модифицированной математической модели [25, 26] учитывается зависимость коэффициента теплопередачи от газа к внутренней стенке трубы от изменяющейся со временем площади проходного сечения.

Расчеты выполнялись при значениях параметров, соответствующих Средне-Вилюйскому и Отраднинскому месторождениям, которые имеют существенно различные составы природного газа, а также пластовые и геотермические условия при примерно равной глубине продуктивного горизонта [25, 26]. На начальном этапе вычислялся оптимальный массовый расход газа, соответствующий минимуму тепловых потерь в отсутствие гидратного слоя. Возможности выбора оптимального дебита газа, при котором теплопотери за счет дросселирования и за счет теплообмена с мерзлыми горными породами в основном зависят от глубины скважины и значений пластовых температур и давлений и в меньшей степени – от конструкции скважин. Установлено, что для неглубоких скважин оптимальный режим отбора может отсутствовать. Если при этом месторождение залегает под мощной толщей многолетней мерзлоты, то гидратообразование может иметь место по всему стволу скважины. Для Средне-Вилюйского месторождения оптимальный расход оказался равным 9 кг/с, а для Отраднинского такой расход примерно соответствует предельно свободному дебиту скважины и поэтому расчеты проводились при массовом расходе 2.86 кг/с.

Рисунок 1 иллюстрирует изменения безразмерной площади проходного сечения скважины для двух значений массового расхода, когда в начальный момент скважина свободна от гидратов, то есть безразмерная площадь проходного сечения $S(0) = 1$. Видно, что при сопряженной постановке время образования гидратных пробок существенно возрастает в отличие от случая (поверхности *2*), когда температура окружающих горных пород считается неизменной (поверхности *1*). С увеличением массового расхода возрастает длительность процесса полной закупорки скважины гидратами: для оптимального расхода она составляет примерно 423 ч при сопряженной и 251 ч при несопряженной постановке, а для меньшего расхода – 13 ч и 9 ч соответственно. Таким образом, использование упрощенных математических моделей кратно сокращает время полной закупорки скважины.

Из рис. 2 следует, что образование гидратов происходит по всему стволу скважины, но наиболее интенсивно этот процесс идет в его верхней части, примерно соответствующей мощности многолетней мерзлоты (680 м). Полная закупорка устьевой части скважины при указанном рабочем дебите, т. е. при расходе 2,86 кг/с происходит приблизительно за 4,5 ч и за 9,8 ч при расходе 1 кг/с. При этом на забое за те же 9,8 ч будет перекрыто 25 % проходного сечения. Физически такое различие в динамике объясняется тем, что при меньшем расходе газ не успевает существенно охладиться, а вклад эффекта дросселиро-

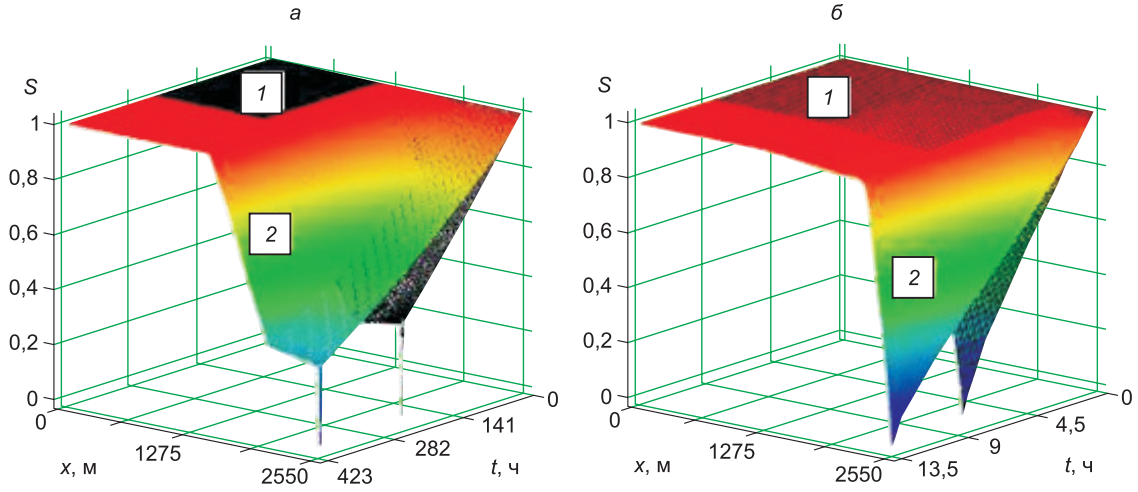


Рис. 1. Изменение площади проходного сечения скважины Средне-Вилюйского месторождения по глубине и во времени при $S(0) = 1$:
а – массовый расход – 9 кг/с; *б* – массовый расход – 2 кг/с; *1* – несопряженная постановка, *2* – сопряженная постановка.

Fig. 1. Change of the cross section area of the Sredne-Vilyuyskoye field well by depth and time at $S(0) = 1$:
a – mass flow – 9 kg/s; *б* – mass flow – 2 kg/s; *1* – non-conjugated statement, *2* – conjugated statement.

вания при сравнительно небольшом перепаде давления также невелик. Поверхности для несопряженной и сопряженной постановок задачи здесь практически сливаются, и потому эти обозначения не нанесены.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что образование гидратов в стволе скважин – сложный процесс, достоверный прогноз которого, т. е. обеспечение надежности добычи газа возможно только при комплексном рассмотрении таких факторов, как дебит газа и его состав, глубина скважины, пластовые и геотермические условия и состояние скважины перед пуском. В то же время анализ результатов показал, что образование гидратов в скважинах, даже при низких пластовых температурах и мощном слое многолетней мерзлоты, занимает достаточно большой промежуток времени, позволяющий оперативно предотвратить возникновение аварийных ситуаций в системах газоснабжения.

Для более обоснованной оценки влияния гидратообразования на технологические параметры магистральных газопроводов в северных регионах России ранее разработанная математическая модель неизотермического течения реального газа и образования гидратов [24–26] при тепловом взаимодействии с мерзлыми грунтами обобщена на случай зависимости коэффициента гидравлического сопротивления ψ как от площади проходного сечения, так и от массового расхода газа. В работе [27] рассмотрен случай, кога в газопровод подается влажный газ и наряду с другими параметрами (давление и температура газа, динамика оттаивания грунта) определяется динамика гидратообразования и расчеты проводятся до тех пор, пока давление на выходе не становится ниже нормативного. Показано, что модель, в которой коэффициент гидравлического сопротивления считается постоянным, приво-

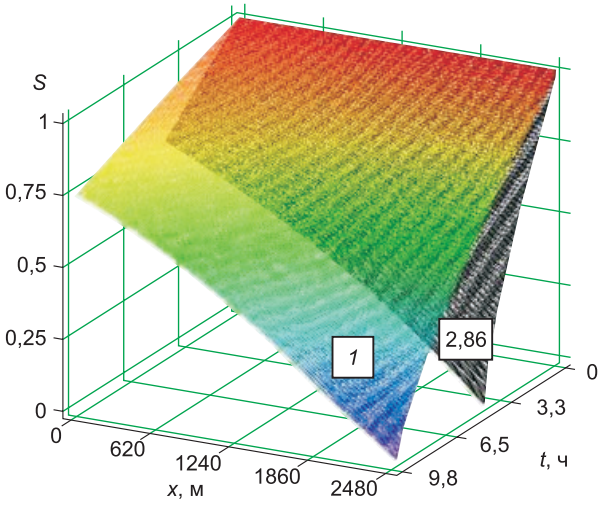


Рис. 2. Динамика безразмерной площади проходного сечения скважины Отраднинского месторождения по глубине. Цифры на поверхностях соответствуют массовому расходу в кг/с.

Fig. 2. Dynamics of the dimensionless cross section area of the Otradninskoye field well in depth. The numbers on the surfaces correspond to the mass flow in kg/s

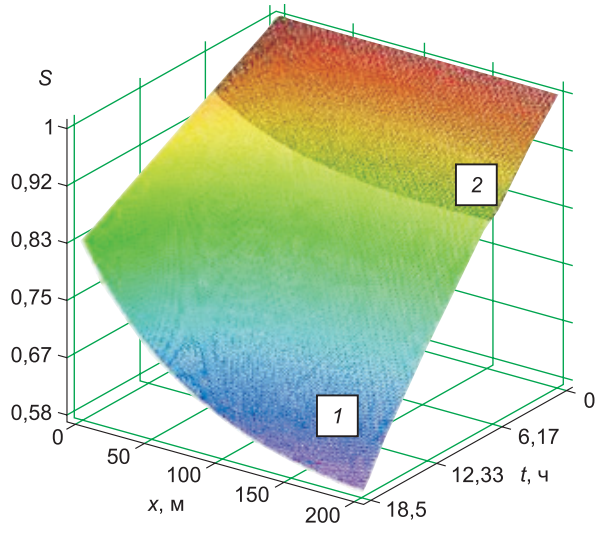


Рис. 3. Изменение безразмерной площади проходного сечения по длине газопровода без теплоизоляции и во времени:
1 – при ψ, определяемом по формуле ВНИИгаза, вошедшей в отраслевой стандарт ОАО «Газпром»; *2* – при ψ = 0,02.

Fig. 3. Changes of the dimensionless cross section area along the length of the gas pipeline without thermal insulation and in time:
1 – at ψ, determined by the VNIIgaz formula included in the industry standard of OAO «Gazprom»; *2* – at ψ = 0,02.

дит к существенному занижению допустимого времени работы газопровода (рис. 3). Следовательно, при математическом моделировании образования гидратов в системах транспорта природного газа необходимо обязательно учитывать взаимосвязь процессов теплообмена и гидродинамического взаимодействия газа со стенками трубопровода.

Экспериментальное исследование процесса гидратообразования природных газов месторождений Якутии

В последние годы экспериментально исследованы процессы образования и разложения гидратов природного газа в модельных растворах, имитирующих пластовые воды месторождений Якутии. Эти нефтяные и газовые залежи расположены в пределах Лено-Тунгусской и Лено-Вилюйской нефтегазоносных провинций (НГП). Месторождения Лено-Тунгусской НГП характеризуются аномально низкими пластовыми температурами и давлениями (10 °С и 16 МПа) [28], а их пластовые воды относятся к хлоридно-кальциевому типу, а по виду преобладающего катиона либо к кальциевой, либо к натриевой подгруппе вод [29]. Минерализация пластовых вод может достигать 400 г/л и выше. Для месторождений Лено-Вилюйской НГП аномальное высокое пластовое давление составляет 36,3 МПа, температуры достигают +66 °С [28]. Минерализация пластовых вод составляет от 40 до 180 г/л [29], могут встречаться воды хлоридно-кальциевого (подгруппы кальциевая и натриевая) и гидрокарбонатно-натриевого (подгруппа натриевая) типов.

Для получения гидратов природных газов месторождений Якутии были использованы растворы хлоридов натрия и кальция, а также гидрокарбоната натрия, концентрации которых соответствовали минерализации пластовых вод [30–32].

Анализ состава газов в полученных гидратах показал, что при их образовании в минерализованных растворах, как и в случае других газовых систем [33], происходит перераспределение компонентов исходной газовой смеси. Смешанные гидраты, полученные в растворах солей, обогащены углеводородами C_2–C_4. Состав газа в гидратах зависит от состава модельной пластовой воды. Исходный природный газ (ПГ) по классификации Высоцкого [34] относится к сухим, так как коэффициент жирности равен 7,07 % (см. таблицу). По коэффициенту жирности (отношению суммы гомологов метана к содержанию метана) различают сухие (0,3–8 %); полужирные (8–20 %); жирные (20–30 %) и высокожирные газы (>30 %). Жирные и высокожирные газы являются ценным сырьем для нефтегазохимической промышленности.

При гидратообразовании природный газ превращается в жирный и высокожирный газы. При переходе от натриевого типа воды к кальциевому происходит увеличение содержания алканов C_2–C_4. Минерализация растворов приводит к концентрированию в клатратной фазе углеводородов C_2–C_4, к увеличению коэффициента жирности и теплотворной способности газа.

В лаборатории техногенных газовых гидратов изучение процессов гидратообразования в пористых средах было начато в 80-х годах прошлого столетия. Полученные экспериментальные данные были обобщены в монографии [35]. В настоящее время ведутся исследования, направленные на изучение образования гидратов природного газа во влажных засоленных дисперсных средах. Фазовые переходы изучены на специально собранной установке дифференциально-термического анализа (ДТА). Отличительной особенностью этой ДТА-установки является ме-

Коэффициенты жирности природного газа Средневилюйского ГКМ и газов в гидратах

Fat coefficients of the Sredne-Vilyuyskoye GCF natural gas and gases in hydrates

	ПГ NG	Газ в гидратах, полученных в разных жидких фазах Gas in hydrates obtained in different liquid phases									
		H_2O	Минерализация растворов, г/л Mineralization of solution, g/l								
			NaCl			$CaCl_2$			$NaHCO_3$			
			51.48	106.47	168.48	52.17	107.67	175.38	2.5	5.0	9.9	19.6
C_{2+}/CH_4	7,07	26.26	29.95	41.45	43.83	40.51	56.37	49.02	19.2	17.4	18.5	18.2

нее сложное строение измерительной ячейки по сравнению с ее аналогами, описанными в работах [35, 36]. Эксперименты показали, что процесс гидратообразования зависит от генетического типа и концентрации растворов, соответствующих составу пластовых вод месторождений Якутии. Выявлено, что процесс гидратообразования в дисперсных породах связан с определенной степенью переохлаждения системы, необходимой для зарождения центров кристаллизации. При этом степень переохлаждения зависит от гранулометрического состава грунтов и модельных растворов. С увеличением дисперсности песков при одинаковой влажности и засоленности степень переохлаждения при гидратообразовании уменьшается. Увеличение температур переохлаждения и гидратообразования в зависимости от типа вод в пористой среде с высокой дисперсностью происходит в следующей последовательности: хлоридно-натриевый < хлоридно-кальциевый < гидрокарбонатно-натриевый < вода. При уменьшении дисперсности температуры переохлаждения и гидратообразования снижаются в ряду: раствор гидрокарбоната натрия > вода > раствор хлорида кальция > раствор хлорида натрия.

Определены равновесные условия образования гидратов природного газа в поровом пространстве в зависимости от дисперсности и засоленности пористой среды. Процесс гидратообразования в высокодисперсном песке протекает при более высоких температурах. В зависимости от генетического типа модельной пластовой воды повышение равновесных температур происходит в следующей последовательности: хлоридно-натриевый < хлоридно-кальциевый < вода < гидрокарбонатно-натриевый. С увеличением концентрации модельных растворов равновесные температуры гидратообразования уменьшаются.

Заключение

Методами математического моделирования проведена оценка влияния характеристик газовых месторождений и параметров скважин на опасность возникновения аварийных ситуаций в системах добычи газа (в призабойной зоне и в самих скважинах), расположенных в зоне многолетней мерзлоты.

Наибольшее влияние на опасность и динамику образования гидратных пробок в скважинах оказывают режим отбора, пластовые условия и геокриологическая характеристика мерзлых пород. Для адекватной оценки этих факторов следует использовать математическую модель, в которой учитывается сопряженный теплообмен газа с окружающими породами и тепловое и динамическое взаимодействие газа с гидратным слоем в трубопроводе.

Проведенные экспериментальные исследования гидратообразования природных газов в модельных пластовых водах различных генетических типов показали концентрирование углеводородов C_2–C_4 в твердой фазе, что приводит к повышению коэффициента жирности и теплотворной способности исходного газа. Максимальными коэффициентами жирности обладают газы, гидраты которых получены в водах хлоридно-кальциевого типа. Возможность использования природных и пластовых вод в качестве гидратообразующей среды позволяет создать основы газогидратного метода утилизации попутного нефтяного газа непосредственно на месторождениях.

Изучение влияния солей на условия образования гидратов природного газа в поровом пространстве в зависимости от генетического типа модельных пластовых вод показало максимальное смещение равновесных условий в область высоких температур в водах гидрокарбонатно-

натриевого типа. Полученные термодинамические условия гидратообразования с учетом состава природного газа, минерализации пластовой воды и минералогического состава пород могут быть использованы для выявления возможности гидратообразования в продуктивных горизонтах.

Литература

1. *Истомин В.А., Квон В.Г.* Предупреждение и ликвидация газовых гидратов в системах добычи газа. М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2004. 506 с.

2. *Ершов Э.Д., Лебеденка Ю.П., Чувилин Е.М., Истомин В.А., Якушев В.С.* Особенности существования газовых гидратов в криолитозоне // Докл. РАН. 1991. Т. 321, № 4. С. 788–791.

3. *Якушев В.С., Перлова Е.В., Махонина Н.А., Чувилин Е.М., Козлова Е.В.* Газовые гидраты в отложениях материков и островов // Российский химический журнал. 2003. № 3. С. 80–90.

4. *Якушев В.С.* Природный газ и газовые гидраты в криолитозоне. М.: ВНИИГАЗ, 2009. 192 с.

5. *Макогон Ю.Ф.* Газовые гидраты, предупреждение их образования и использование. М.: Недра, 1985. 232 с.

6. *Klauda J.B., Sandler S.I.* Global distribution of methane hydrate in ocean sediment // Energy and Fuels. 2005. Vol. 19. No. 2. P. 459–470.

7. *Buffett B.A.* Clathrate hydrates // Annu. Rev. Earth Planet Sci. 2000. Vol. 28. P. 477–507.

8. *Kvenvolden K.A.* Potential effects of gas hydrate on human welfare // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1999. Vol. 96. P. 3420–3426.

9. *Соловьев В.А.* Природные газовые гидраты как потенциальное полезное ископаемое // Российский химический журнал. 2003. Т. 47, № 3. С. 59–69.

10. *Milkov A.V.* Global estimates of hydrate-bound gas in marine sediments: how much is really out there? // Earth-Sci. Rev. 2004. Vol. 66. P. 183–197.

11. *Kvenvolden K.A.* Gas hydrates – geological perspective and global change // Rev. Geophys. 1993. Vol. 31. P. 173–187.

12. *Дегтярев Б.В., Бухгалтер Э.Б.* Борьба с гидратами при эксплуатации газовых скважин в северных районах. М.: Недра, 1976. 198 с.

13. *Бондарев Э.А., Бабе Г.Д., Гройсман А.Г., Каниболотский М.А.* Механика образования гидратов в газовых потоках. Новосибирск: Наука, 1976. 160 с.

14. *Васильев О.Ф., Бондарев Э.А., Воеводин А.Ф., Каниболотский М.А.* Неизотермическое течение газа в трубах. Новосибирск: Наука, 1978. 130 с.

15. *Бондарев Э.А., Васильев В.И., Воеводин А.Ф., Павлов Н.Н., Шадрина А.П.* Термогидродинамика систем добычи и транспорта газа. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1988. 252 с.

16. *Бондарев Э.А., Воеводин А.Ф., Никифоровская В.С.* Методы идентификации математических моделей гидравлики. Якутск: Издательский дом СВФУ, 2014. 188 с.

17. *Бондарев Э.А., Воеводин А.Ф.* Решение задач трубной гидравлики в системах добычи и транспорта природного газа. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2017. 209 с.

18. *Черский Н.В., Бондарев Э.А.* О тепловом методе разработки газогидратных залежей // Докл. АН СССР. 1972. Т. 203, № 3. С. 550–552.

19. *Веригин Н.Н., Хабибуллин И.Л., Халиков Г.А.* Линейная задача о разложении гидратов газа в пористой среде // Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа. 1980. № 1. С. 174–177.

20. *Бондарев Э.А., Максимов А.М., Цыпкин Г.Г.* К математическому моделированию диссоциации газовых гидратов // Докл. АН СССР. 1989. Т. 308, № 3. С. 575–578.

21. *Bondarev E.A., Kapitonova T.A., Maksimov A.M., Tzypkin G.G.* Mathematical simulation of hydrate formation and dissociation in the systems of natural gas production and transportation // AMSE Periodical. Modeling, Simulation and Control. 1990. Vol. 21, No. 1. P. 53–63.

22. *Bondarev E.A., Rozhin I.I., Argunova K.K.* Influence of nonisothermal effects on gas production in northern regions // Numerical Analysis and Applications. 2011. Vol. 4, Iss. 1. P. 12–20. DOI: 10.1134/S1995423911010022.

23. *Bondarev E.A., Rozhin I.I., Argunova K.K.* Simulation of gas production in the northern regions: the role of thermodynamics // Mathematical Sciences. 2012. Vol. 6, Iss. 17. 28 p. DOI: 10.1186/2251-7456-6-17.

24. *Argunova K.K., Bondarev E.A., Rozhin I.I.* Mathematical models of hydrate formation in gas wells // Earth's Cryosphere. 2011. Vol. 15, Iss. 2. P. 65–69.

25. *Bondarev E.A., Rozhin I.I., Argunova K.K.* Modeling the formation of hydrates in gas wells in their thermal interaction with rocks // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2014. Vol. 87, No. 4. P. 900–907. DOI: 10.1007/s10891-014-1087-0.

26. *Bondarev E.A., Rozhin I.I., Argunova K.K.* Features of mathematical modeling of natural gas production and transport systems in the Russia's arctic zone // Journal of Mining Institute. 2017. Vol. 228. P. 705–716. DOI: 10.25515/PMI.2017.6.705.

27. *Bondarev E.A., Rozhin I.I., Argunova K.K.* Generalized mathematical model of hydrate formation in gas pipelines // Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. 2019. Vol. 60, No. 3. P. 503–509. DOI: 10.1134/S002189441903012X.

28. *Сафронов А.Ф., Сафронов Т.А.* Геолого-экономические аспекты развития нефтегазового комплекса Республики Саха (Якутия). Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2008. 184 с.

29. *Воды* нефтяных и газовых месторождений СССР: справочник / под ред. Л.М. Зорькина. М.: Недра, 1989. 382 с.

30. *Kalaceva L.P., Rojin I.I., Fyodorova A.F.* The study of the stratum water mineralization influence on the hydrate formation process of the natural gas from the East Siberian platform fields // SOCAR Proceedings. 2017. No. 2. P. 56–61. DOI: 10.5510/OGP20170200315.

31. *Kalacheva L.P., Rozhin I.I., Portnyagin A.S.* Study of hydrates formation in mineralized solutions and kinetic regularity of their decomposition // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. Vol. 193. 012026. 6 p. DOI: 10.1088/1755-1315/193/1/012026.

32. *Kalacheva L.P., Portnyagin A.S.* The influence of electrolytes composition on the dissociation rate of natural gas hydrates obtained in model stratum waters // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 272, 2. Section one. 6 p. DOI: 10.1088/1755-1315/272/2/022174.

33. *Нестехиометрические* соединения: монография / Под ред. Л. Манделькорна. М.: Химия, 1971. 608 с.

34. *Пирогов С.Ю., Акулов Л.А., Ведерников М.В., Кириллов Н.Г., Наумчик И.В., Соколова И.В., Софьин А.П.* Природный газ. Метан: справочник. СПб.: НПО «Профессионал», 2006. 848 с.

35. *Гройсман А.Г.* Теплофизические свойства газовых гидратов. Новосибирск: Наука, 1985. 94 с.

36. *Филиппов Д.Д., Шишкин А.С., Малышев А.В., Большев К.Н.* Модернизация установки дифференциального термического анализа, разработанной для исследования равновесных условий гидратообразования // Наука и образование. 2006. №1(41). С. 41–44.

Поступила в редакцию 12.10.2020
Принята к публикации 17.12.2020

Об авторах

РОЖИН Игорь Иванович, доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник, Институт проблем нефти и газа СО РАН, 677980, Якутск, ул. Октябрьская, 1, Россия, http://orcid.org/0000-0002-9998-6425, Researcher ID F-1008-2014, rozhin@ipng.ysn.ru, i_rozhin@mail.ru;

КАЛАЧЕВА Людмила Петровна, кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник, Институт проблем нефти и газа СО РАН, 677980, Якутск, ул. Октябрьская, 1, Россия, http://orcid.org/0000-0002-6346-0456, Researcher ID I-8374-2018 lpko@mail.ru;

ИВАНОВА Изабелла Карловна, кандидат химических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Институт проблем нефти и газа СО РАН, 677980, Якутск, ул. Октябрьская, 1, Россия, http://orcid.org/0000-0002-4839-1384, Researcher ID K-7120-2017 iva_izabella@yandex.ru.

Информация для цитирования

Рожин И.И., Калачева Л.П., Иванова И.К. Исследование гидратообразования для повышения надежности добычи и транспорта природного газа в условиях криолитозоны // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2021. Т. 26, № 1. С. 49–59. https://doi.org/10.31242/2618-9712-2021-26-1-5

DOI 10.31242/2618-9712-2020-26-1-5

Hydrate formation studies to improve the reliability of natural gas production and transport under the conditions of cryolithozone

I.I. Rozhin*, L.P. Kalacheva, I.K. Ivanova

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

Abstract. *The results of assessing the possibility of hydrate formation in the bottomhole zone of gas wells and modeling of gas flow in wells taking into account the possible hydrate formation are presented. The obtained results are especially relevant for regions where gas production is complicated by the pres-*

ence of permafrost, i.e. by low reservoir temperatures. Due to inevitable gas cooling during its production, the formation of gas hydrates is possible both in bottomhole zones and in wellbores. A reliable forecast of hydrate formation in the bottomhole zone is possible only within the framework of a non-isothermal model of real gas filtration. In the mathematical model of hydrate formation in pipes, account of the dependence of convective heat transfer coefficients and hydraulic resistance on the pipe flow area varying with time leads to an increase in the duration of complete blockage with hydrates. The influence of mineralization of various genetic types of stratum waters on the formation of natural gas hydrates in the volume and in a porous medium was studied. It was established that C_2–C_4 hydrocarbons get concentrated in the hydrate phase, which leads to an increase in the fat coefficient and the calorific value of initial gas. The thermodynamic conditions of hydrate formation in dispersed rocks are determined taking into account the salinity of stratum waters.

Key words: gas hydrate, natural gas, stratum water, fat coefficient and calorific value of gas, gas production and transportation, mathematical modeling, laboratory experiment.

Acknowledgements. *The work was carried out under the State Assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation No. AAAA-A21-121011490056-4.*

References

1. *Istomin V.A., Kvon V.G.* Preduprezhdenie i likvidaciya gazovyh gidratov v sistemah dobychi gaza. M.: OOO «IRC Gazprom», 2004. 506 p.

2. *Ershov E.D., Lebedenka Yu.P., Chuvilin E.M., Istomin V.A., Yakushev V.S.* Osobennosti sushchestvovaniya gazovyh gidratov v kriolitozone // Dokl. RAN. 1991. Vol. 321, No. 4. P. 788–791.

3. *Yakushev V.S., Perlova E.V., Mahonina N.A., Chuvilin E.M., Kozlova E.V.* Gazovye gidraty v otlozheniyah materikov i ostrovov // Rossijskij himicheskij zhurnal. 2003. No. 3. P. 80–90.

4. *Yakushev V.S.* Prirodnyj gaz i gazovye gidraty v kriolitozone. M: VNIIGAZ, 2009. 192 p.

5. *Makogon Yu.F.* Gazovye gidraty, preduprezhdenie ih obrazovaniya i ispol'zovanie. M.: Nedra, 1985. 232 p.

6. *Klauda J.B., Sandler S.I.* Global distribution of methane hydrate in ocean sediment // Energy and Fuels. 2005. Vol. 19. No. 2. P. 459–470.

7. *Buffett B.A.* Clathrate hydrates // Annu. Rev. Earth Planet Sci. 2000. Vol. 28. P. 477–507.

8. *Kvenvolden K.A.* Potential effects of gas hydrate on human welfare // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1999. Vol. 96. P. 3420–3426.

9. *Solov'ev V.A.* Prirodnye gazovye gidraty kak potencial'noe poleznoe iskopaemoe // Rossijskij himicheskij zhurnal. 2003. Vol. 47, No. 3. P. 59–69.

10. *Milkov A.V.* Global estimates of hydrate-bound gas in marine sediments: how much is really out there? // Earth-Sci. Rev. 2004. Vol. 66. P. 183–197.

11. *Kvenvolden K.A.* Gas hydrates – geological perspective and global change // Rev. Geophys. 1993. Vol. 31. P. 173–187.

12. *Degtyarev B.V., Buhgalter E.B.* Bor'ba s gidratami pri ekspluatacii gazovyh skvazhin v severnyh rajonah. M.: Nedra, 1976. 198 p.

13. *Bondarev E.A., Babe G.D., Grojsman A.G., Kanibolotskij M.A.* Mekhanika obrazovaniya gidratov v gazovyh potokah. Novosibirsk: Nauka, 1976. 160 p.

14. *Vasil'ev O.F., Bondarev E.A., Voevodin A.F., Kanibolotskij M.A.* Neizotermicheskoe techenie gaza v trubah. Novosibirsk: Nauka, 1978. 130 p.

15. *Bondarev E.A., Vasil'ev V.I., Voevodin A.F., Pavlov N.N., Shadrina A.P.* Termogidrodinamika sistem dobychi i transporta gaza. Novosibirsk: Nauka, Sib. otd-nie, 1988. 252 p.

16. *Bondarev E.A., Voevodin A.F., Nikiforovskaya V.S.* Metody identifikacii matematicheskih modelej gidravliki. Yakutsk: Izdatel'skij dom SVFU, 2014. 188 p.

17. *Bondarev E.A., Voevodin A.F.* Reshenie zadach trubnoj gidravliki v sistemah dobychi i transporta prirodnogo gaza. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2017. 209 p.

18. *Cherskij N.V., Bondarev E.A.* O teplovom metode razrabotki gazogidratnyh zalezhej // Doklady AN SSSR. 1972. Vol. 203, No. 3. P. 550–552.

19. *Verigin N.N., Habibullin I.L., Halikov G.A.* Linejnaya zadacha o razlozhenii gidratov gaza v poristoj srede // Izvestiya AN SSSR. Mekhanika zhidkosti i gaza. 1980. No. 1. P. 174–177.

20. *Bondarev E.A., Maksimov A.M., Cypkin G.G.* K matematicheskomu modelirovaniyu dissociacii gazovyh gidratov // Doklady AN SSSR. 1989. Vol. 308, No. 3. P. 575–578.

21. *Bondarev E.A., Kapitonova T.A., Maksimov A.M., Tzypkin G.G.* Mathematical simulation of hydrate formation and dissociation in the systems of natural gas production and transportation // AMSE Periodical. Modeling, Simulation and Control. 1990. Vol. 21, No. 1. P. 53–63.

22. *Bondarev E.A., Rozhin I.I., Argunova K.K.* Influence of nonisothermal effects on gas production in northern regions // Numerical Analysis and Applications. 2011. Vol. 4, Iss. 1. P. 12–20. DOI: 10.1134/S1995423911010022.

23. *Bondarev E.A., Rozhin I.I., Argunova K.K.* Simulation of gas production in the northern regions: the role of thermodynamics // Mathematical Sciences. 2012. Vol. 6, Iss. 17. 28 p. DOI: 10.1186/2251-7456-6-17.

24. *Argunova K.K., Bondarev E.A., Rozhin I.I.* Mathematical models of hydrate formation in gas wells // Earth's Cryosphere. 2011. Vol. 15, Iss. 2. P. 65–69.

25. *Bondarev E.A., Rozhin I.I., Argunova K.K.* Modeling the formation of hydrates in gas wells in their thermal interaction with rocks // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2014. Vol. 87, No. 4. P. 900–907. DOI: 10.1007/s10891-014-1087-0.

26. *Bondarev E.A., Rozhin I.I., Argunova K.K.* Features of mathematical modeling of natural gas production and transport systems in the Russia's arctic zone // Journal of Mining Institute. 2017. Vol. 228. P. 705–716. DOI: 10.25515/PMI.2017.6.705.

27. *Bondarev E.A., Rozhin I.I., Argunova K.K.* Generalized mathematical model of hydrate formation in gas pipelines // Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. 2019. Vol. 60, No. 3. P. 503–509. DOI: 10.1134/S002189441903012X.

28. *Safronov A.F., Safronov T.A.* Geologo-ekonomicheskie aspekty razvitiya neftegazovogo kompleksa Respubliki Saha (YAkutiya). YAkutsk: Izd-vo YANC SO RAN, 2008. 184 p.

29. *Vody* neftyanyh i gazovyh mestorozhdenij SSSR: spravochnik / pod red. L.M. Zor'kina. M.: Nedra, 1989. 382 p.

30. *Kalaceva L.P., Rojin I.I., Fyodorova A.F.* The study of the stratum water mineralization influence on the hydrate formation process of the natural gas from the East Siberian platform fields // SOCAR Proceedings. 2017. No. 2. P. 56–61. DOI: 10.5510/OGP20170200315.

31. *Kalacheva L.P., Rozhin I.I., Portnyagin A.S.* Study of hydrates formation in mineralized solutions and kinetic regularity of their decomposition // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. Vol. 193. 012026. 6 p. DOI: 10.1088/1755-1315/193/1/012026.

32. *Kalacheva L.P., Portnyagin A.S.* The influence of electrolytes composition on the dissociation rate of natural gas hydrates obtained in model stratum waters // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 272, 2. Section one. 6 p. DOI: 10.1088/1755-1315/272/2/022174.

33. *Nestekhiometricheskie* soedineniya: monografiya / Pod red. L. Mandel'korna. M.: Himiya, 1971. 608 p.

34. *Pirogov S.YU., Akulov L.A., Vedernikov M.V., Kirillov N.G., Naumchik I.V., Sokolova I.V., Sof'in A.P.* Prirodnyj gaz. Metan: spravochnik. SPb.: NPO «Professional», 2006. 848 p.

35. *Grojsman A.G.* Teplofizicheskie svojstva gazovyh gidratov. Novosibirsk: Nauka, 1985. 94 p.

36. *Filippov D.D., SHishkin A.S., Malyshev A.V., Bol'shev K.N.* Modernizaciya ustanovki differencial'nogo termicheskogo analiza, razrabotannoj dlya issledovaniya ravnovesnyh uslovij gidratoobrazovaniya // Nauka i obrazovanie. 2006. No. 1(41). P. 41–44.

About the authors

ROZHIN Igor Ivanovich, Dr. Sci. (Engineering), assistant professor, chief researcher, Institute of Oil and Gas Problems SB RAS, 1 Oktyabrskaya st., Yakutsk 677980, Russia,
http://orcid.org/0000-0002-9998-6425, Researcher ID F-1008-2014, rozhin@ipng.ysn.ru, i_rozhin@mail.ru;

KALACHEVA Liudmila Petrovna, Cand. Sci (Chemistry), leading researcher, Institute of Oil and Gas Problems SB RAS, 1 Oktyabrskaya st., Yakutsk 677980, Russia,
http://orcid.org/0000-0002-6346-0456, Researcher ID I-8374-2018, lpko@mail.ru;

IVANOVA Izabella Karlovna, Cand. Sci (Chemistry), assistant professor, leading researcher, Institute of Oil and Gas Problems SB RAS, 1 Oktyabrskaya st., Yakutsk 677980, Russia,
http://orcid.org/0000-0002-4839-1384, Researcher ID K-7120-2017, iva_izabella@yandex.ru.

Citation

Rozhin I.I., Kalacheva L.P., Ivanova I.K. Hydrate formation studies to improve the reliability of the natural gas production and transport under cryolitozone conditions // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2021. Vol. 26, No. 1. pp. 49–59. (In Russ.) https://doi.org/10.31242/2618-9712-2021-26-1-5

Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение

УДК 552.321.(571.56)
DOI 10.31242/2618-9712-2021-26-1-6

О закономерностях распространения наледей на федеральной автодороге А-360 «Лена» по данным мультиспектральных космических снимков

Н.Е. Баишев*, В.В. Шепёлев, Л.А. Гагарин

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск, Россия
**nyurgunbaishev@mail.ru*

Аннотация. *В области распространения многолетнемерзлых пород и глубокого сезонного промерзания техногенное воздействие неизбежно трансформирует природные условия. В частности, техногенное воздействие на криолитозону приводит к нарушению стока поверхностных и подземных вод, в результате чего формируются наледи на тех участках, где их раньше не было, а также изменяются морфометрические параметры, режимы формирования и стаивания существующих природных наледей. Трасса ФАД «Лена» протягивается от пос. Невер до г. Якутск и составляет 1157 км. В рамках проведенных исследований рассматривался лишь наледеопасный участок автодороги на отрезке от Невера до Томмота. В качестве основного метода исследований применялось дистанционное зондирование Земли. Использовались мультиспектральные космические снимки Sentinel-2 с атмосферной корректировкой. Обработка данных космической фотосъемки проводилась полуавтоматическим способом в ГИС-программе QGIS 3.16. Идентификация наледей на космоснимке осуществлялась с помощью нормализованного разностного снегового индекса NDSI (Normalised Difference Snow Index). На исследуемом участке автодороги, протяженность которого составляет 712 км, в настоящее время формируется 107 наледей. Большинство притрассовых наледей по площади относятся к III (1000–10000 м^2) и IV (10000–100000 м^2) категориям. Наибольшее их количество формируется в интервале абсолютных высот 500–900 м. В геологическом отношении большинство наледей приурочены к четвертичным и протерозойским отложениям, а также к интрузивным породам мелового возраста. Установлено, что суммарная площадь наледей, формируемых на автодороге «Лена» на участке от Невера до Томмота, в 2018–2019 гг. повысилась почти в 6 раз по сравнению с данными 1927–1928 гг.*

Ключевые слова: наледь, индекс NDSI, Sentinel-2, федеральная автодорога А-360 «Лена».

Благодарности. *Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ, проект № 20-55-71005 – гидрология, криолитозона и устойчивость в восточном секторе российской Арктики и Субарктики, проект № 20-05-00670А – надмерзлотные субаэральные талики в сплошной криолитозоне Центральной Якутии.*

Введение

На территориях с многолетнемерзлыми породами и глубоким сезонным промерзанием Аляски, Канады, Китая и России широко распространены наледи. Изучение этого опасного криогенного явления имеет большое значение с научной и практической точек зрения [1–6]. Особого внимания, безусловно заслуживают наледи, образуемые в результате техногенного воздействия.

При инженерном освоении территорий неизбежно нарушаются природные условия и формируются уникальные природно-техногенные системы. В этих системах взаимодействие природных процессов и явлений с инженерными объектами имеет весьма сложный характер. В частности, техногенное воздействие на криолитозону приводит к нарушению стока поверхностных и подземных вод, в результате чего могут формироваться наледи на тех участках, где раньше их не было, а также трансформироваться морфометрические параметры, режимы формирования и стаивания существующих природных наледей.

Взаимосвязь наледей и инженерных сооружений рассматривались в ряде работ В.Р. Алексее-

© Баишев Н.Е., Шепёлев В.В., Гагарин Л.А., 2021

ва [3], С.М. Большакова [7], Н.А. Вельминой [8], В.А. Дементьева [9], Л.Д. Ивановой [10], А.П. Казакова [11], В.Г. Кондратьева [12], А.И. Кузьминых [13], А.Н. Курчатовой [14], Г.А. Низовкина [15], В.Г. Петрова [16], Е.А. Румянцева [17], Н.Ф. Савко [18], А.А. Цвид [19], А.М. Чекотилло [20], Е.В. Шушакова [21] и др.

Общеизвестно что, наледи негативно воздействуют на мостовые переходы и водопропускные устройства дорожных магистралей, особенно большой протяженности, к числу которых относится федеральная автодорога А-360 «Лена» (ФАД «Лена»).

Впервые на Амуро-Якутской автодорожной магистрали (старое название ФАД «Лена») от Невера до Томмота в зиму 1927–1928 гг. наледи обследовал Валерьян Гаврилович Петров [16]. Им было установлено, что 5 из 122 исследованных наледей не оказывали негативного влияния на магистраль. Из негативно воздействующих наледей 61 сформировались в долинах рек, 21 – на равнинных участках и 35 – в горах. Наледями было деформировано 10 мостовых переходов, два из них были полностью разрушены [16]. В.Г. Петровым были применены противоналедные устройства, теоретически разработанные М.И. Сумгиным [20]. Спустя более 30 лет наледи на ФАД «Лена» от Невера до Чульмана в зиму 1959–1960 гг. обследовали В.Р. Алексеев и В.А. Усов [22]. Ими было выявлено 64 наледи. Все они негативно воздействовали на автодорогу и мостовые переходы [22].

Анализ материалов, полученных В.Г. Петровым [16], В.Р. Алексеевым и В.А. Усовым [22] показал, что за относительно небольшой период (с 1927 по 1960 г.) трансформировались отдельные участки прохождения автомагистрали, а также климатические, мерзлотные и гидрогеологические условия. В связи с этим изменились морфометрические параметры и возросло количество наледей на ФАД «Лена» от Невера до Чульмана.

Основной целью настоящей работы является установление закономерностей изменений количества и площадей наледей на ФАД «Лена» от Невера до Томмота за период с 1927 по 2019 г. (за 92 года).

Объект и методика исследований

Объектом исследований является относительная узкая полоса трассы ФАД «Лена» от Невера до Томмота, протяженность которой составляет 712 км (рис. 1). Данный участок трассы характе-

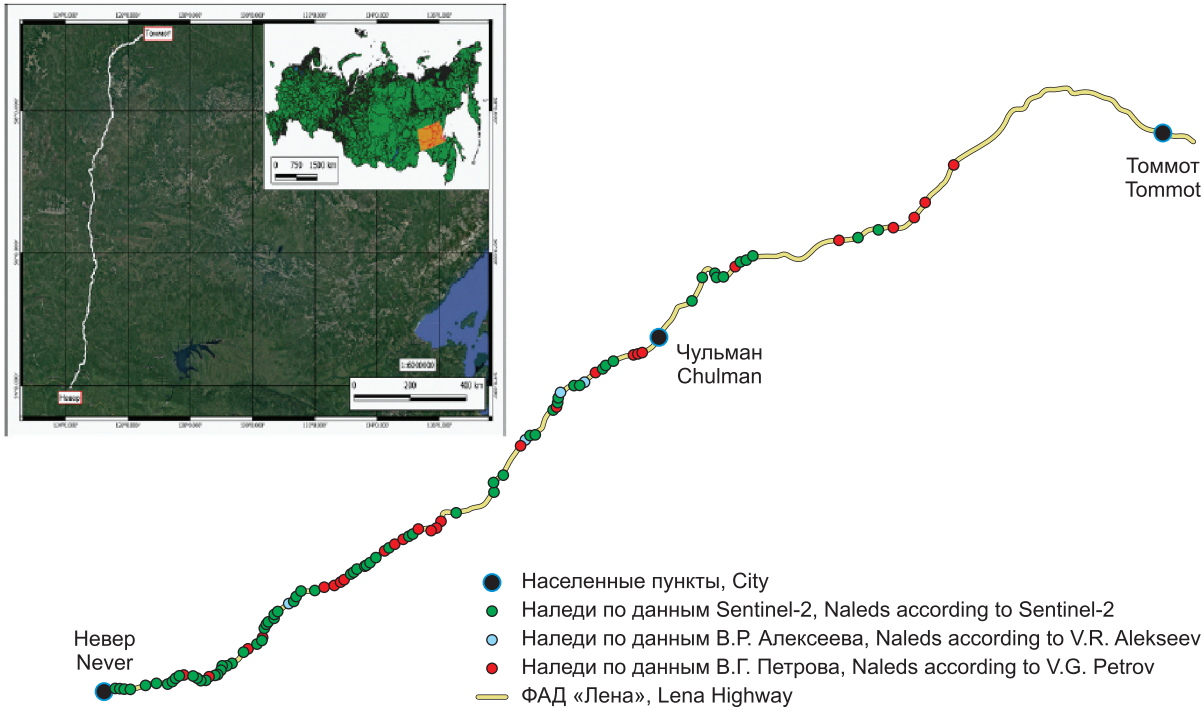


Рис. 1. Район исследования наледей на участке ФАД «Лена» Невер–Томмот.

Fig. 1. Study area of naleds in the range of the Lena highway from the Never village to Tommot.

ризуется развитием прерывистой и островной криолитозоны. В гидрогеологическом отношении автодорога частично пересекает Монголо-Охотскую гидрогеологическую складчатую область, Восточно-Сибирскую складчатую область и Восточно-Сибирскую артезианскую область. Рассматриваемая территория относится к наледным районам Восточной Сибири. По имеющимся сведениям, относительно узкая полоса ФАД «Лена» подразделяется на наледный и малоналедный районы [16, 22]. Основная часть наледей формируются в русловых и пойменных частях водотоков.

В качестве основного метода исследований выбран метод дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Для этого использовались 127 космических снимков спутника Sentinel-2 Европейского комического агентства. Критериями выбора снимков являлись: 1) высокое пространственное разрешение (до 10 м на пиксель); 2) наборы снимков с атмосферной корректировкой L2A; 3) снимки с покрытием облаками не более 20 %; 4) дата съемки с 24 апреля по 18 мая 2018 и 2019 гг. Последний критерий был выбран для выяснения максимальных размеров наледей и для наиболее точной идентификации наледи в период схода снежного покрова на космоснимке. Определение размеров и распространения наледей в естественных условиях с помощью данных космических снимков подробно приведены в работах [23, 24].

Обработка данных космической фотосъемки проводилась полуавтоматическим способом в ГИС-программе QGIS 3.16. Идентификация наледей на космоснимках осуществлялась с помощью нормализованного разностного снегового индекса (Normalised Difference Snow Index – далее NDSI). Для его расчета использовались зеленый (BAND 3 с длиной волны 560 нм) и коротковолновый инфракрасный (BAND 11 с длиной волны 1610 нм) спектры снимка:

$$NDSI = (BAND\ 3 - BAND\ 11)/(BAND\ 3 + BAND\ 11). \quad (1)$$

В результате расчета NDSI был получен картографический слой, отражающий границы снежного и наледного покровов и имеющий значения от –1 до 1. Для отделения наледного льда от окружающего ландшафта использовалось пороговое значение индекса, равное в среднем –0.01. Это пороговое значение определялось методом подбора для каждого космоснимка, так как на его величину сильно влияли атмосферные явления, искажающие отображение на снимке в зеленой части спектра (BAND 3), которое потом использовалось в расчете индекса NDSI. В результате были получены полигоны с цифровыми значениями (digital number – далее DN), соответствующими 1 (с границами наледей) и 0 (остальные полигоны). Пример их отображения показана на рис. 2. После определения границ наледей производился расчет их площадей. Для этого использовалась функция «калькулятор полей» в таблице атрибутов векторного слоя в программе QGIS 3.16.

После получения данных о пространственном распределении наледей, примыкающих к ФАД «Лена», проводились их систематизация, классификация и многофакторный анализ. Эти исследования проведены в программах QGIS 3.16 и MS Excel. Дополнительно был получен ряд данных о рельефе региона на основе радарной топографи-

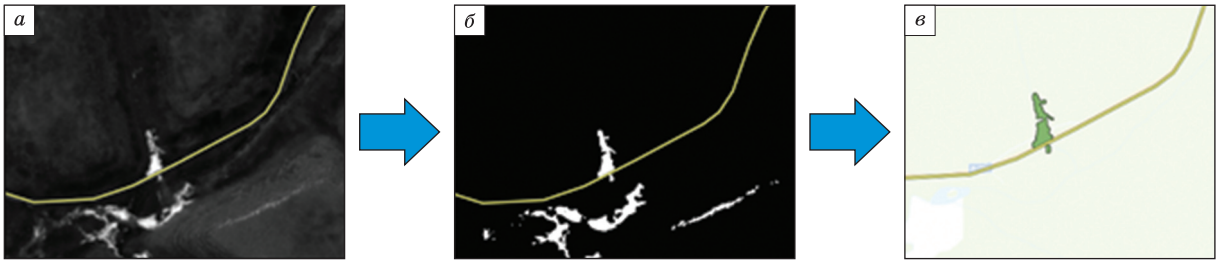


Рис. 2. Краткая визуализация алгоритма при вычислении границ наледей:
а – слой индекса NDSI; *б* – слой NDSI после фильтрации пороговым значением DN = –0.01; *в* – итоговый векторный слой с границей наледи. Желтой линией на изображениях показана ФАД «Лена».

Fig. 2. Algorithm of naled boundaries calculation:
а – NDSI layer; *б* – NDSI layer after filtration by threshold value of DN = –0.01; *в* – resulting vector layer with a naled boundary. The Lena Highway shown by the yellow line.

ческой съемки (Shuttle Radar Topography Mission – далее SRTM) [25], набор государственных геологических карт масштаба 1:200 000 из фонда ВСЕГЕИ [26], а также выявленные наледи были наложены на карту мерзлотно-гидрогеологического районирования Восточной Сибири [27].

Наледи, имеющие малые размеры, не учитывались и не исследовались по следующим причинам: 1) из-за малых размеров они в основном разрушались одновременно со сходом снежного покрова; 2) если оставалась какая-то часть наледей с площадью менее 100 м^2, то их границы невозможно было точно выделить, поскольку мультиспектральные космоснимки Sentinel-2 имеют недостаточное для этого пространственное разрешение; 3) если вдоль дорожного полотна ФАД «Лена» наледи или их останцы имели небольшую площадь, то их трудно отличить от скопления снега как с помощью индекса NDSI, так и в видимом поле RGB.

На первом этапе анализа была выполнена классификация всех наледей по их площадям, согласно критериям, используемым в работе В.Г. Петрова [16]. На втором этапе была оценена приуроченность наледей к абсолютным отметкам рельефа. На третьем этапе сопоставили пространственное распределение наледей с литологическим составом, возрастом горных пород и положением тектонических нарушений. На последнем этапе места формирования выявленных наледей, примыкающих к ФАД «Лена», были наложены на гидрогеологические структуры 2-го порядка.

Результаты и обсуждение

Всего на исследуемом участке было выявлено 107 наледей. Из них 97 относятся к русловым наледям, а 10 – к пойменным и террасовым. В зиму 1927–1928 гг. В.Г. Петровым на этом же участке было обследовано и нанесено на план 117 наледей, из которых 64 – русловые, и 53 – пойменные и террасовые.

Исходя из площадной категоризации наледей В.Г. Петрова (табл. 1), было оценено распределение различных категорий наледей на ФАД «Лена» от Невера до Томмота по их площадям (рис. 3).

Наибольшее количество наледей относятся к III и IV категориям. Наледи I и VI категорий на автодороге не формируются. Отсутствие наледей I категории и малое количество II категории, вероятно, связано с тем, что русловые наледи в мае 2018 и 2019 гг. могли полностью разрушиться за счет термоэрозионного воздействия речных

Таблица 1

Классификация наледей по площади (по В.Г. Петрову [16])

Table 1

Naled classification based on its area (according to V.G. Petrov [16])

Категория Category	Наименование Denomination	Площадь, м^2 Area, m^2
I	Очень малые Very small	<100
II	Малые Small	100–1000
III	Средние Medium	1 000–10 000
IV	Большие Large	10 000–100 000
V	Очень большие Very large	100 000–1 000 000
VI	Гигантские Giant	>1 000 000

вод [28], а также с ограничением используемого метода их идентификации. Они, как правило, связаны с разгрузкой подземных вод деятельного слоя, которые имеют ограниченный период развития, определяемый величиной их запасов [29, 30]. Гигантские наледи не были идентифицированы на ФАД «Лена». Они в основном развиты в зоне сплошной криолитозоны на Северо-Востоке России [31]. Наледи III, IV и V категорий формируются в основном за счет выхода на поверхность подрусловых подземных вод [29, 30]. С ними связаны основные проблемы при строительстве и эксплуатации линейных инженерных сооружений.

Анализ данных В.Г. Петрова и наши результаты дешифрирования мультиспектральных снимков Sentinel-2 показали, что во многих случаях природные наледи значительно расширяются у автодороги, т. е. ФАД «Лена» в подобных местах выполняет роль мерзлотного пояса или криогенного барража. Следовательно, техногенный фактор изменяет морфометрические параметры природных наледей.

На основе данных SRTM было выявлено высотное распределение наледей на ФАД «Лена» от Невера до Томмота (рис. 4). Наледи на исследуемом участке федеральной автодороги формируются в интервале от 400 до 1200 м. При этом максимальное их количество приурочено к отметкам 500–600 м, а минимальное – 1000–

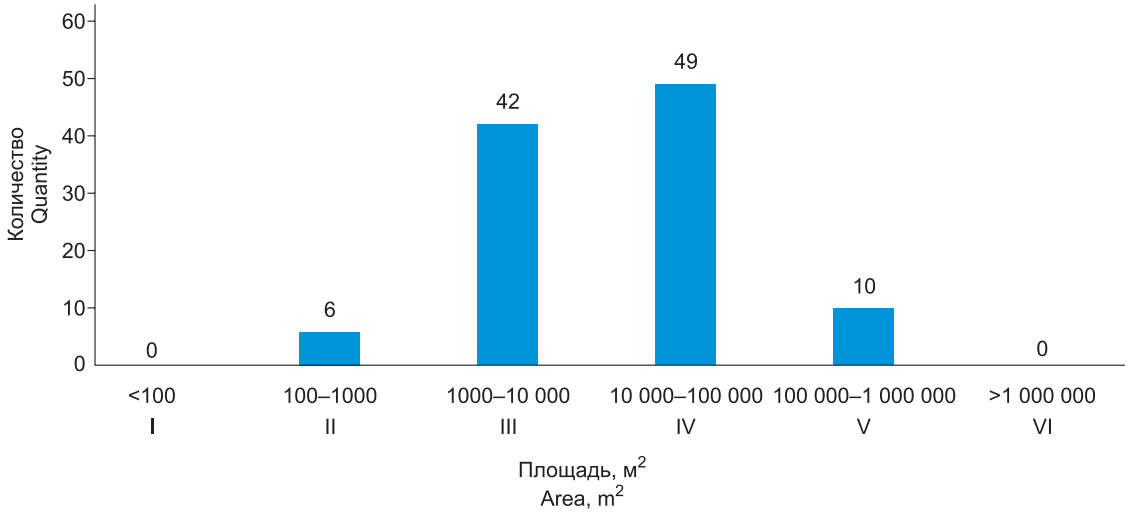


Рис. 3. Распределение наледей по площади на ФАД «Лена» на отрезке Невер–Томмот

Fig. 3. Plot of naled distribution over the area at the Lena Highway from the Never Village to Tommot

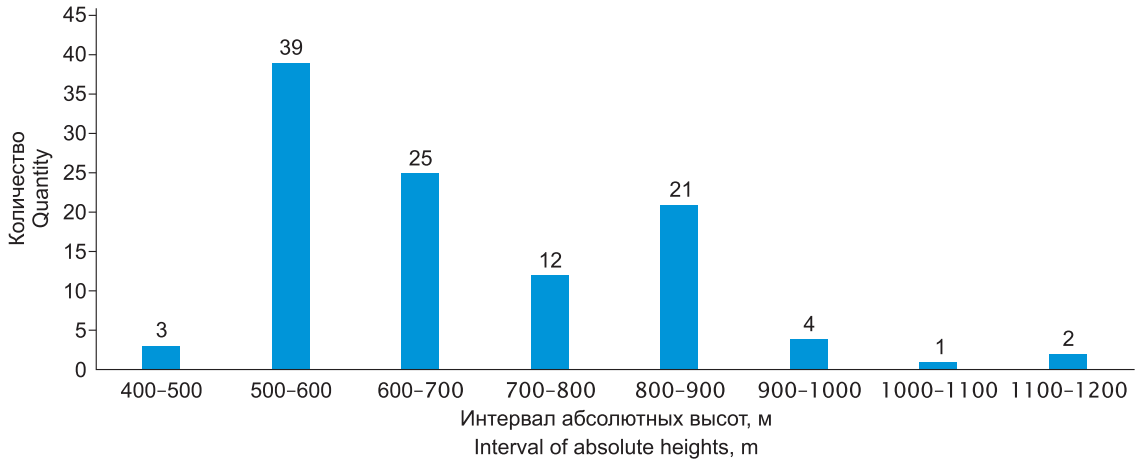


Рис. 4. Высотное распределение мест формирования наледей на ФАД «Лена» от Невера до Томмота.

Fig. 4. Plot of elevation distribution of naled sites along the Lena Highway from the Never Village to Tommot.

1200 м. Основное же их количество формируются в пределах 500–900 абс. м (рис. 4).

В геологическом отношении большая часть наледей образуется в местах распространения четвертичных, юрских и протерозойских отложений, а также интрузивных пород мелового возраста. Максимальное их количество формируется в четвертичных отложениях, а минимальное – в меловых и девонских породах (рис. 5).

В гидрогеологическом отношении федеральная автодорога проходит по гидрогеологическим районам 2-го порядка таким, как Тугурино-Джагдинский гидрогеологический массив (ГГМ), Витимо-Олекминский ГГМ, Становой ГГМ, Сутамо-Суннангинский ГГМ, Чульманский адартезианский бассейн (АдАБ), Алдано-Тимтонский ГГМ, Лено-Амгинский артезианский бассейн (АБ) [27]. За прошедшие более 90 лет эксплуатации ФАД «Лена» количество притрассовых наледей в гидрогеологических структурах существенно не изменилось, разве что наиболее заметно уменьшилось количество притрассовых наледей в Становом ГГМ (рис. 6).

Сравнительный анализ суммарных площадей и протяженности наледей вдоль ФАД «Лена» показал, что суммарная их площадь в зиму 1927–1928 гг. составляла 661543 м^2, а в зимы 2018 и 2019 годов – 3938245 м^2, т. е. увеличилась в 5,95 раза. Протяженность же наледей вдоль автодороги уменьшилась в 2018 и 2019 гг. в 1,04 раза



Рис. 5. Приуроченность наледей к разновозрастным геологическим отложениям на ФАД «Лена» на участке Невер–Томмот.
Q – четвертичные; K – меловые; J – юрские; D – девонские; S – силурийские; Pt – протерозойские и A – архейские отложения; интрузивные породы: yK – меловые, yJ – юрские, yPz – палеозойские, yPt – протерозойские и yA – архейские.

Fig. 5. Plot of naled location in comparison to geological deposits along the Lena Highway from the Never Village to Tommot (Deposits: Q – Quaternary; K – Cretaceous; J – Jurassic; D – Devonian; S – Silurian; Pt – Proterozoic and A – Archean; Intrusive rocks: yK – Cretaceous, yJ – Jurassic, yPz – Paleozoic, yPt – Proterozoic and yA – Archean).

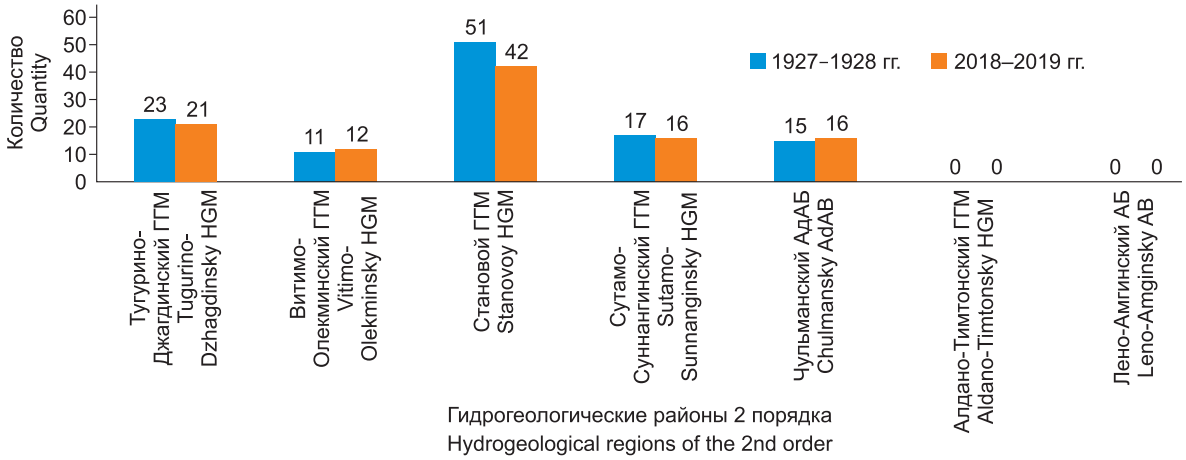


Рис. 6. Приуроченность притрассовых наледей к гидрогеологическим районам 2-го порядка на ФАД «Лена» от Невера до Томмота.

Fig. 6. Plot of naled confinement to the hydrogeological regions of the second order along the Lena Highway from the Never Village to Tommot.

по сравнению с данными В.Г. Петрова [16]. Значительное увеличение суммарной площади наледей на ФАД «Лена», отмеченное в последние годы, отражает более существенную трансформацию мерзлотных ландшафтов и мерзлотно-гидрогеологических условий дорожными насыпями, высота и ширина которых неуклонно повышаются при реконструкциях данной автомагистрали.

Заключение

Исследования наледей, проведенные в 2018–2019 гг. на федеральной автодороге «Лена», позволяют сделать следующие основные выводы.

1. Использование космоснимков для изучения закономерностей распространения наледей как на ненарушенных, так и на техногенно-нарушенных территориях криолитозоны является весьма эффективным и информативным методом.

2. На исследуемом участке ФАД «Лена» протяженность которого составляет 712 км, ежегодно формируется 107 наледей, наибольшее количество которых образуется в местах пересечения трассой русловых участков рек и ручьев.

3. Большинство притрассовых наледей относятся к категориям средних по площади (F_n = 1000–10000 м^2) и больших (F_n = 10000–100000 м^2).

4. Наибольшее количество наледей формируется в интервале абсолютных высот 500–900 м.

5. После строительства автодороги существующие природные наледи значительно увеличили свою площадь, что указывает на несовершенство водопропускных устройств, применяемых при сооружении дорожных насыпей.

6. На исследуемом участке автодороги за почти 90 лет ее эксплуатации появились 33 новых участков образования наледей, которые в той или иной степени деформируют дорожное полотно, ставят под угрозу разрушения водопропускные устройства и мостовые переходы.

7. Суммарная площадь наледей, формируемых на ФАД «Лена» от Невера до Томмота, в 2018–2019 гг. повысилась почти в 6 раз по сравнению с данными 1927–1928 гг.

Литература

1. *Алексеев В.Р.* Подземные льды и гидротермическое движение грунтов на наледных участках речных долин // Лед и Снег. 2015. № 1 (55). С. 69–88. https://doi.org/10.15356/2076-6734-2015-1-69-88

2. *Алексеев В.Р.* Многолетняя изменчивость родниковых наледей-тарынов // Лед и Снег. 2016. № 1 (56). С. 73–92. https://doi.org/10.15356/2076-6734-2016-1-73-92

3. *Алексеев В.Р.* Проблемы инженерного освоения наледных участков речных долин // Криосфера Земли. 2017. Т. 21, № 6. С. 65–75. https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2017-6(65-75)

4. *Шепелёв В.В.* О преимуществах бассейнового подхода при изучении закономерностей распространения наледей // Лед и Снег. 2016. № 3 (56). С. 381–386. https://doi.org/10.15356/2076-6734-2016-3-381-386

5. *Crites H., Kokelj S.V., Lacelle D.* Icings and groundwater conditions in permafrost catchments of northwestern Canada. // Sci Rep 10. 2020. № 3283. P. 1–11. https://doi.org/10.1038/s41598-020-60322-w

6. *Ensom T., Makarieva O., Morse P., Kane D., Alekseev V., Marsh P.* The distribution and dynamics of aufeis in permafrost regions // Permafrost and Periglacial Processes. 2020. Vol. 31, No. 3. P. 383–395. https://doi.org/10.1002/ppp.2051

7. *Большаков С.М.* Принципы и методы противоналедных мероприятий // Наледи Сибири и Дальнего Востока: Сб. науч. тр. Новосибирск: Наука, Сиб. отдние СО АН СССР, 1981. С. 192–198.

8. *Вельмина Н.А.* Каптаж подземных вод в условиях вечной мерзлоты (Восточного Забайкалья и Приамурья). М.: Изд-во АН СССР, 1952. 126 с.

9. *Дементьев В.А., Дементьев О.В.* Новые методы защиты искусственных сооружений от наледей // Криолитозона и подземные воды Сибири. Якутск: Изд-во Ин-та мерзлотоведения СО РАН, 1996. с. 62–69.

10. *Иванова Л.Д., Самсонова В.В.* Формирование техногенных наледей на линейных сооружениях в пределах Приленского плато // Сергеевские чтения. Эколого-экономический баланс природопользования в горнопромышленных регионах: сборник научных трудов (по материалам годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (2–4 апреля 2019 г.). М., 2019. С. 423–427.

11. *Казаков А.П.* Исследование наледей на автомобильных дорогах Сибири и Дальнего Востока // Записки Забайкальского филиала географического общество СССР. 1976. Вып. 101. С. 124–151.

12. *Кондратьев В.Г.* Концепция системы мониторинга опасных наледных процессов на территории Читинской области. Чита: Изд-во Забтранс, 2000. 112 с.

13. *Кузьминых А.И., Меркулов Д.М.* Условия формирования наледей у искусственных сооружений и земляного полотна Забайкальской железной дороги // Записки Забайкальского филиала географического общества СССР, вып. 92. Краткие тезисы докладов к предстоящей второй научно-производственной конференции по строительству на мерзлых грунтах, часть 2 (проблемы наледеобразования). Чита, 1973. С. 143–145.

14. *Курчатова А.Н.* Влияние техногенных наледей на засоление литогенной основы городских ландшафтов Якутска // Криолитозона и подземные воды Сибири. Якутск: Изд-во Ин-та мерзлотоведения СО РАН, 1996. С. 95–105.

15. *Низовкин Г.А.* Борьба с наледями на железных дорогах // Труды ВНИИЖДТ. М.: 1954. 108 с.

16. *Петров В.Г.* Наледи на Амурско-Якутской магистрали, с альбомом планов наледей. Ленинград: Изд-во АН СССР и НИАДИ НКИС СССР, 1930. 177 с.

17. *Румянцев Е.А.* Сфера и эффективность применения различных типов противоналедных мероприятий на железных дорогах // Наледи Сибири и Дальнего Востока: Сб. науч. тр. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1981. С. 198–205.

18. *Савко Н.Ф.* Влияние инженерных сооружений на процессы наледеобразования // Записки Забайкальского филиала географического общества СССР, вып. 92. Краткие тезисы докладов к предстоящей второй научно-производственной конференции по строительству на мерзлых грунтах, часть 2 (проблемы наледеобразования). Чита, 1973. С. 133–135.

19. *Цвид А.А.* Наледи в Приморском крае и борьба с ними. Магадан: Маг. кн. изд-во, 1957. 83 с.

20. *Чекотилло А. М., Цвид А. А., Макаров В. Н.* Наледи на территории СССР и борьба с ними. Благовещенск: Амурское книжное издательство, 1960. – 207 с.

21. *Шушаков Е.В.* Наледи и борьба с ними. В помощь строителям БАМ. М.: Транспорт, 1979. 64 с.

22. *Алексеев В.Р., Усов В.А.* Влияние наледей на инженерные сооружения Амуро-Якутской магистрали // Материалы по мерзлотоведению Сибири и Дальнего Востока. Иркутск; М.: Изд-во Ин-та земной коры СО АН СССР, 1964. С. 93–97.

23. *Макарьева О.М., Шихов А.Н., Осташов А.А., Нестерова Н.В.* Наледи бассейна р. Индигирка по современным снимкам Landsat и историческим данным // Лед и Снег. 2019. № 2 (59). С. 201–212. https://doi.org/10.15356/2076-6734-2019-2-388

24. *Gagarin L., Wu Q., Melnikov A., Volgusheva N., Tananaev N., Jin H., Zhang Z., Zhizhin V.* Morphometric Analysis of Groundwater Icings: Intercomparison of Estimation Techniques // Remote Sensing. 2020. Vol. 12 (4), P. 692. https://doi.org/10.3390/rs12040692

25. http://srtm.csi.cgiar.org

26. http://webmapget.vsegei.ru

27. *Карта* мерзлотно-гидрогеологического районирования Восточной Сибири. Масштаб 1:2 500 000 / Ред. П.И. Мельников. Якутск: Изд-во Ин-та мерзлотоведения СО АН СССР, 1980. 4 л.

28. *Соколов Б.Л.* Наледи и речной сток. Л.: Гидрометеоиздат, 1975. 190 с.

29. *Вельмина Н.А., Узембло В.В.* Гидрогеология центральной части Южной Якутии. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1959. 179 с.

30. *Оспенников Е.Н., Труш Н.И., Чижов А.Б., Чижова Н.И.* Экзогенные геологические процессы и явления (Южная Якутия). М.: Изд-во МГУ, 1980. 228 с.

31. *Толстихин О.Н.* Наледи и подземные воды Северо-Востока СССР. Новосибирск: Наука, Сиб. отдние, 1974. 163 с.

Поступила в редакцию 23.12.2020
Принята к публикации 19.02.2021

Об авторах

БАИШЕВ Нюргун Егорович, аспирант, ведущий инженер, Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, 677010, Якутск ул. Мерзлотная, 36, Россия,
http://orcid.org/0000-0001-7135-3899, Researcher ID: AAF-6965-2021, nyurgunbaishev@mail.ru;

ШЕПЕЛЁВ Виктор Васильевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор, академик Академии наук Республики Саха (Якутия), главный научный сотрудник, Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, 677010, Якутск ул. Мерзлотная, 36, Россия,
https://orcid.org/0000-0003-3434-6969, vshepelev@mpi.ysn.ru;

ГАГАРИН Леонид Александрович, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, 677010, Якутск ул. Мерзлотная, 36, Россия,
http://orcid.org/0000-0002-5354-084X, Researcher ID: J-4238-2018,
gagarinla@gmail.com.

Информация для цитирования

Баишев Н.Е., Шепелёв В.В., Гагарин Л.А. О закономерностях распространения наледей на федеральной автодороге А-360 «Лена» по данным мультиспектральных космических снимков // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2021. Т. 26, № 1. С. 60–69. https://doi.org/10.31242/2618-9712-2021-26-1-6

DOI 10.31242/2618-9712-2020-26-1-6

Patterns of naleds distribution along the Lena Highway according to multispectral satellite images

N.E. Baishev*, V.V. Shepelev, L.A. Gagarin

Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk, Russia
**nyurgunbaishev@mail.ru*

Abstract. *Technogenic impacts inevitably transform natural conditions in the areas of permafrost distribution and deep seasonal freezing. In particular, technogenic impact on cryolithozone leads to changes in*

surface runoff and groundwater discharge. As a result, icing appears on the roads in the sites where it was not observed previously. Morphometric parameters, the regimes of formation and thawing of the existing natural icings are also transformed. The Lena Highway stretches over 1157 km from the village of Never to Yakutsk. Only an icing-prone region of the highway from Never to Tommot was considered within the framework of this study. Remote sensing was applied as the main method of investigation. Multispectral satellite images Sentinel-2 with atmospheric correction were used. Satellite imageries were processed with a semi-automatic algorithm using QGIS 3.16 software. Icings were identified in satellite images with the help of the Normalised Difference Snow Index (NDSI). Totally, 107 icings were detected to be forming within 712 km of the road. On the basis of icing areas, the majority of roadside icings are related to the III (1000–10000 m^2) and IV (10000–100000 m^2) categories. The major amounts of the icings are formed within the altitude range 500-900 m. In the geological respect, the majority of icings are confined to the Quaternary and Proterozoic deposits, as well as to Cretaceous intrusive rocks. It was established that the total area of icings formed on the Lena Highway on the region from Never to Tommot increased almost by a factor of 6 during the years 2018–2019 in comparison with the data related to the years 1927–1928.

Key words: icing, NDSI, Sentinel-2, the Lena Highway.

Acknowledgements. *This work was carried out with partial financial support from the Russian Foundation for Basic Research under Projects No. 20-55-71005 – Hydrology, permafrost and stability in the eastern sector of the Russian Arctic and Subarctic and No. 20-05-00670A –Suprapermafrost subaerial taliks in the continuous permafrost zone of Central Yakutia.*

References

1. *Alekseev V.R.* Ground ice and hydrothermal ground motions on aufeis plots of river valleys // Ice and Snow. 2015. No. 1 (55). P. 69–88. https://doi.org/10.15356/2076-6734-2015-1-69-88

2. *Alekseev V.R.* Long-term variability of the spring taryn-aufeises // Ice and Snow. 2016. No. 1 (56). P. 73–92. https://doi.org/10.15356/2076-6734-2016-1-73-92

3. *Alekseev V.R.* Aufeis areas in river valleys: engineering development problems // Kriosfera Zemli. 2017. Vol. XXI, No. 6. P. 65–75 https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2017-6(65-75)

4. *Shepelev V.V.* Advantages of the basin approach for investigations of aufeises (naleds) // Ice and Snow. 2016. No. 3 (56). P. 381–386 https://doi.org/10.15356/2076-6734-2016-3-381-386

5. *Crites H., Kokelj S.V., Lacelle D.* Icings and groundwater conditions in permafrost catchments of northwestern Canada // Sci Rep 10. 2020. № 3283. P. 1–11. https://doi.org/10.1038/s41598-020-60322-w

6. *Ensom T., Makarieva O., Morse P., Kane D., Alekseev V., Marsh P.* The distribution and dynamics of aufeis in permafrost regions // Permafrost and Periglacial Processes. 2020. Vol. 31, No. 3. P. 383–395. https://doi.org/10.1002/ppp.2051

7. *Bolshakov S.M.* Principles and methods of anti-ice measures // Naledi of Siberia and the Far East: Sat. scientific. tr. Novosibirsk: Publishing house of Science of the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences, 1981. P. 192–198.

8. *Velmina N.A.* Capture of groundwater in permafrost conditions (Eastern Transbaikalia and Priamurye). Moscow: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1952. 126 p.

9. *Dementyev V.A., Dementyev O.V.* New methods of protecting artificial structures from icing // Cryolithozone and underground waters of Siberia. Yakutsk: Publishing House of the of Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 1996. P. 62–69.

10. *Ivanova L.D., Samsonova V.V.* Formation of technogenic ice on linear structures within the Prilensk plateau // Sergeevskie chteniya. Ecological and economic balance of nature management in mining regions: a collection of scientific papers (based on the materials of the annual session of the Scientific Council of the Russian Academy of Sciences on the problems of geoecology, engineering geology and hydrogeology (April 2-4, 2019). M., 2119. P. 423–427.

11. *Kazakov A.P.* Research of icing on the highways of Siberia and the Far East // Notes of the Trans-Baikal branch of the USSR Geographical Society. 1976. No. 101. P. 124–151.

12. *Kondratyev V.G.* The concept of a monitoring system for dangerous ice processes in the Chita region. Chita: Publishing house Zabtrans, 2000. 112 p.

13. *Kuzminykh A.I., Merkulov D.M.* Conditions for the formation of icings near artificial structures and subgrade of the Trans-Baikal Railway // Notes of the Trans-Baikal Branch of the USSR Geographical Society, vol. 92. Brief abstracts of reports for the upcoming second scientific and industrial conference on construction on frozen soils, part 2 (problems of ice formation), Chita: 1973. P. 143–145.

14. *Kurchatova A.N.* Influence of technogenic icings on the salinization of the lithogenic base of the urban landscapes of Yakutsk // Cryolithozone and underground waters of Siberia. Yakutsk: Publishing house of the Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 1996. P. 95–105.

15. *Nizovkin G.A.* Anti-icing on the railways. VNIIZHDT Proceedings. Moscow, 1954. 108 p.

16. *Petrov V.G.* Ice on the Amur-Yakutsk highway, with an album of ice plans. Leningrad: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR and NIADI NKIS USSR, 1930. 177 p.

17. *Rumyantsev E.A.* Scope and efficiency of application of various types of anti-ice measures on railways // Naledi of Siberia and the Far East: Sat. scientific. tr. Novosibirsk: Publishing house of Science of the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences, 1981. P. 198–205.

18. *Savko N.F.* The influence of engineering structures on the processes of ice formation // Notes of the Trans-Baikal branch of the USSR Geographical Society, vol. 92. Brief abstracts of reports for the upcoming second scientific and industrial conference on construction on frozen soils, part 2 (problems of ice formation), Chita, 1973. P. 133–135.

19. *Tsvid A.A.* Naledi in the Primorsky Territory and the fight against them. Magadan: Magadan Book Publishing House, 1957. 83 p.

20. *Chekotillo A. M., Tsvid A. A., Makarov V. N.* Naledi on the territory of the USSR and the fight against them. Blagoveshchensk: Amur Book Publishing House, 1960. 207 p.

21. *Shushakov E.V.* Beating and fighting them. To help builders BAM. Moscow: Transport, 1979. 64 p.

22. *Alekseev V.R., Usov V.A.* Influence of icing on the engineering structures of the Amur-Yakutsk highway // Materials on permafrost studies in Siberia and the Far East. Irkutsk-Moscow: Publishing house of the Institute of the Earth's crust, Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences, 1964. P. 93–97.

23. *Makarieva O.M., Shikhov A.N., Ostashov A.A., Nesterova N.V.* Icings of the Indigirka river basin according to the recent Landsat satellite images and historical data // Ice and Snow. 2019. No. 2 (59). P. 201–212. https://doi.org/10.15356/2076-6734-2019-2-388

24. *Gagarin L., Wu Q., Melnikov A., Volgusheva N., Tananaev N., Jin H., Zhang Z., Zhizhin V.* Morphometric analysis of groundwater icings: intercomparison of estimation techniques // Remote Sensing. 2020. No. 12 (4), P. 692. https://doi.org/10.3390/rs12040692

25. http://srtm.csi.cgiar.org

26. http://webmapget.vsegei.ru

27. *Map* of permafrost-hydrogeological zoning of Eastern Siberia. Scale 1: 2500000 / Ed. P.I. Melnikov. Yakutsk: Publishing house of the Melnikov Permafrost Institute SB AS USSR. 1980. 4 p.

28. *Sokolov B.L.* Overlapping and river runoff. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1975. 190 p.

29. *Velmina H.A., Usemblo V.V.* Hydrogeology of the central part of South Yakutia. Moscow; Leningrad: Publishing house of the Academy of Sciences of the USSR, 1959. 179 p.

30. *Ospennikov E.N., Trush N.I., Chizhov A.B., Chizhova N.I.* Exogenous geological processes and phenomena (South Yakutia). Moscow: Lomonosov Moscow State University Publishing House, 1980. 228 p.

31. *Tolstikhin O.N.* Overlapping and underground waters of the North-East of the USSR. Novosibirsk: Publishing house of Science SO AN SSSR, 1974. 163 p.

About the authors

BAISHEV Nyurgun Yegorovich, graduate student, leading engineer, Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 36 Merzlotnaya st., Yakutsk 677010, Russia,
http://orcid.org/0000-0001-7135-3899, Researcher ID: AAF-6965-2021, nyurgunbaishev@mail.ru;

SHEPELEV Viktor Vasilievich, professor, Dr. Sci. (Geology and Mineralogy), academician of the Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia), chief researcher, Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 36 Merzlotnaya st., Yakutsk 677010, Russia,
https://orcid.org/0000-0003-3434-6969, Researcher ID: AAF-8768-2021, vshepelev@mpi.ysn.ru;

GAGARIN Leonid Aleksandrovich, Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), senior researcher, Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 36 Merzlotnaya st., Yakutsk 677010, Russia,
http://orcid.org/0000-0002-5354-084X, Researcher ID: J-4238-2018, gagarinla@gmail.com.

Citation

Baishev N.E., Shepelev V.V., Gagarin L.A. Patterns of naleds distribution along the Lena Highway according to multispectral satellite images // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2021. Vol. 26, No. 1. pp. 60–69. (In Russ.) https://doi.org/10.31242/2618-9712-2021-26-1-6

Геомеханика

УДК 622.02:622.793
DOI 10.31242/2618-9712-2021-26-1-7

К вопросу разупрочнения вскрышных пород Эльгинского угольного месторождения путем использования поверхностно-активных веществ

Д.В. Хосоев*, А.И. Матвеев**

Институт горного дела севера им. Н.В. Черского СО РАН, Якутск, Россия
**Hosoev70@mail.ru*
***andrei.mati@yandex.ru*

Аннотация. *При безвзрывной разработке месторождения существенной проблемой является рост сопротивления копанию при промерзании пород и углей. С увеличением прочностных свойств горных пород производительность комбайна может резко уменьшиться, особенно при эксплуатации его в зимний период.*

Расчетным путем определена степень влияния физико-механических свойств разных литологических составов горных пород Эльгинского месторождения на производительность комбайна КСМ-2000Р, так при крепости пород на сжатие до 40 МПа (угли и углистые алевролиты) производительность КСМ-2000Р составит 1400 м^3/ч. При увеличении доли крепких компонентов до 40 % (в основном алевролиты) и крепости в горных породах от 40 до 60 МПа ожидаемое уменьшение производительности составит до 1000 м^3/ч, а при содержании доли крепких пород от 60 до 80 МПа до 33 % – 650 м^3/ч.

Предложено использование поверхностно-активного вещества – раствора NaCl для предварительного разупрочнения горных пород. После обработки данных пород ПАВ в условиях отрицательных температур до –20 °С $\sigma_{сж}$ снизилась на 30–50 %, а $\sigma_р$ уменьшилась примерно на 50 % по всем видам и слоям слагающих пород. Отмеченное позволит обеспечить необходимые условия их безвзрывной разработке с применением комбайнов типа КСМ-2000Р.

Ключевые слова: многолетнемерзлые породы, комбайн, прочность пород, производительность, образцы, растворы, песчаники, разупрочнение, безвзрывная технология.

Введение

В настоящее время идет интенсивное освоение одного из крупнейших на Северо-Востоке России Эльгинского угольного месторождения, характеризующегося сложными горно-геологическими и природно-климатическими условиями разработки. Углевмещающая толща месторождения суммарной мощностью около 200 м содержит 22 угольных пласта рабочей мощности. При этом около 75 % запасов месторождения приходится на четыре пласта $У_5$, $У_4$, $Н_{16}$ и $Н_{15}$, имеющих также сложное строение и включающих от 1–2 до 10–12 породных прослоев. По ряду пластов наблюдается расщепление на две или три самостоятельные пачки.

Вскрышные породы представлены двумя типами: рыхлыми четвертичными отложениями и коренными, отнесенными по крепости к породам средней крепости (полускальные).

Главным из факторов, оказывающих преимущественное влияние на эффективность и надежность эксплуатации горнодобычного оборудования, являются прочностные свойства экскавируемых пород, в том числе и в зимний период.

Перспективным в плане селективной разработки сложноструктурных пластов Эльгинского месторождения является применение комбайнов KSM (Виртген, КСМ-2000Р). Данные машины способны разрабатывать массивы горных пород с высокой селекцией тонких слоев без их

© Хосоев Д.В., Матвеев А.И., 2021

буровзрывной или механической подготовки к выемке [1–5].

Материалы

Производительность комбайнов КСМ при безвзрывной разработке во многом определяется конкретными горно-техническими условиями, а именно состоянием массива (трещиноватость, крупность отдельностей, структура), а также прочностью, вязкостью и абразивностью пород, слагающих массив. Так как указанные параметры индивидуальны для каждого участка добычи, производительность может варьироваться.

В табл. 1 показано распределение вскрышных пород и углей Эльгинского месторождения по пределу прочности на сжатие. Наибольшей прочностью обладают песчаники мелкозернистые, песчаники среднезернистые и алевролиты крупноалевролитовые – до 200 МПа. При этом большая часть коренных пород (72 % от общего объема пород по месторождению) имеет предел прочности на сжатие в диапазоне от 20 до 80 МПа.

Таблица 1

Распределение вскрышных пород и углей Эльгинского месторождения по уровню значений предела прочности при сжатии и производительность комбайна КСМ-2000Р

Table 1

Distribution of bedrocks of the Elginskoye field by the level of values of ultimate strength in compression and productivity of the KSM-2000R combine

Литологический тип пород Lithological type of rocks	Распределение горных пород по прочности на сжатие МПа в % и производительность комбайна КСМ-2000Р Distribution of rocks by compressive strength MPa in % and productivity of the combine KSM-2000R									
	до 20	20–40	40–60	60–80	80–100	100–120	120–140	140–160	160–180	180–200
Песчаники к/з Sandstones k /z	–	20,2	26,6	13,3	20,0	6,6	13,3	–	–	–
Песчаники с/з Sandstones s /z	–	12,5	45,2	20,0	11,2	6,2	2,5	–	1,2	1,2
Песчаники м/з Sandstones m /z	–	15,1	38,5	21,3	15,6	4,6	1,0	1,4	1,0	1,5
Переслаивание песчаников и алевролитов Interlacing sandstones and alevrolites	–	6,8	23,9	32,6	15,2	8,6	4,3	6,5	2,1	–
Алевролиты к/а siltstones k/a	4,8	27,9	36,7	8,8	7,3	8,8	2,9	1,4	–	1,4
Алевролиты м/а Siltstones m/a	5,0	9,5	38,0	23,8	19,0	–	4,7	–	–	–
Алевролиты угл. Coal siltstones	16,8	66,6	–	–	–	–	–	–	–	–
Уголь Coal	90,0	10,0	–	–	–	–	–	–	–	–
Производительность КСМ-2000Р, $м^3/ч$ Performance KSM-2000R, m^3/h	1400	1400	1000	650	380	320	250	200	170	140

Примечание. к/з – крупнозернистый, с/з – среднезернистый, м/з – мелкозернистый, к/а – крупноалевролитовый, м/а – мелкоалевролитовый.

Note. k/z – coarse-grained, s/z – medium-grained, m/z – fine-grained, k/a – coarse silt, m/a – fine-silt.

По прочностным свойствам пород Эльгинского месторождения выполнен расчет производительности комбайна КСМ-2000Р: производительность КСМ-2000Р по углю и углистым алевролитам составляет в плотном теле 1400 м^3/ч, при крепости пород на сжатие до 40 МПа (17 % от общего объема пород по месторождению) – 1400 м^3/ч, от 40 до 60 МПа (35 %) – 1000 м^3/ч и от 60 до 80 МПа (20 %) – 650 м^3/ч [6].

Таким образом, с увеличением прочностных свойств горных пород производительность комбайна может резко уменьшаться. Это особенно актуально при эксплуатации горнодобычного оборудования в зимний период.

Повышение производительности горных машин во многом связано с проблемой снижения энергоемкости процессов механического разрушения горных пород. При этом основные сложности с разработкой мерзлых грунтов в зимнее время связаны с самым верхним, деятельным слоем, разупрочнением которого можно обеспечить оптимальные условия для его разработки.

Перспективно разупрочнение с использованием поверхностно-активных веществ (ПАВ), которые позволяют управлять свойствами и состоянием разрабатываемого горного массива. Растворы ПАВ активно проникают в трещины и на контакты минеральных зерен по механизму адсорбции, снижая поверхностную энергию горных пород (эффект Ребиндера). Эффективность действия ПАВ зависит от величины свободной поверхности трещин и межзеренных контактов в горном массиве.

ПАВ широко используются во многих областях промышленности, но в горном деле их применение носит весьма ограниченный характер. Немногочисленные работы в этом направлении (например, применение ПАВ в взрывных работах) не выходят, как правило, за рамки экспериментальных исследований [7–12].

Использование водных растворов ПАВ предполагает, что простота, безопасность, относительная дешевизна и полная экологическая чистота позволяют прогнозировать широкую перспективу их освоения в практике открытой угледобычи.

Даже относительно небольшое присутствие водных растворов в массиве крепких горных пород существенно сокращает износ режущего инструмента. Учитывая стоимость последнего, затраты на опережающую физико-химическую обработку горного массива представляются оправданными.

Методика

Для установления зависимости влияния ПАВ на прочностные свойства мелкозернистых песчаников Эльгинского месторождения и определения предела прочности на одноосное сжатие мы провели эксперименты.

Отбор проб произведен на первоочередном участке отработки Эльгинского месторождения из междупластья почвы пласта H_{16} и кровли пласта H_{15}, горизонта 1065-1072.

Образцы для исследований выпиливались из девяти кусков камня (мелкозернистых песчаников) размерами примерно 200×200×110 мм.

Из каждого куска камня выпиливалось максимально возможное большое количество кубиков с ребром 40 мм. Всего было выпилено 98 кубиков, каждый образец был промаркирован в соответствии с номером камня (рис. 1). № 1 – 7 шт., № 2 – 18 шт., № 3 – 20 шт., № 4 – 8 шт., № 5 – 18 шт., № 6 – 8 шт., № 7 – 10, № 8 – 1 шт., № 9 – 8 шт.

Затем образцы высушиваются в сушильном шкафу в течение 8 ч при температуре 105 °С, после чего снова взвешиваются. Таким образом устанавливается естественное влагосодержание в воздушно-сухом состоянии.

Определение прочности на одноосное сжатие проводилось на гидравлическом прессе Toni NORM – 60 т (рис. 2).

В каждой серии экспериментов использовалось пять–шесть образцов кубической формы



Рис. 1. Маркированные образцы песчаника в соответствии с номером камня.

Fig. 1. Marked sandstone samples in accordance with the stone number.



Рис. 2. Разрушение образца на гидравлическом прессе Toni NORM.

Fig. 2. Destruction of a sample on a Toni NORM hydraulic press.

размером 4×4 см. Исследования проводились при комнатной температуре (+20 °С) и при отрицательных температурах –5, –10 и –20 °С в воздушно сухом состоянии, а также с использованием дистиллированной воды и хлорида натрия различной концентрации (NaCl 5, 10 и 20 %) (рис.3).

Проведенные эксперименты по разупрочнению песчаников Эльгинского месторождения позволили выделить по крепости две группы: первая – менее прочные образцы, изготовленные из камней № 1, 4, 5, 6, 7, 8 и 9, 2 и вторая – прочные образцы, изготовленные из камней № 2 и 3, крепость которых выше по сравнению с другими в 1,5–2 раза. Полученные прочностные данные образцов из второй группы имеют большой разброс, поэтому статистические данные менее достоверны.

Дальнейший анализ проводился по менее прочным образцам из первой группы. В табл. 2 показаны результаты статистической обработки проведенных экспериментов для первой группы образцов.

Как показали результаты статистической обработки, в большинстве случаев экспериментальные данные достоверны.

Обсуждение

Проведенные исследования показывают, что наибольшее снижение средней прочности образцов наблюдается при температуре –10 °С как в воздушно-сухом состоянии, так с использованием дистиллированной воды и хлорида натрия различной концентрации.



Рис. 3. Образцы в морозильной камере при –5 °С.

Fig. 3. Samples in a freezer at –5 °С.

Так при –10 °С наибольшие показатели средней прочности наблюдаются у образцов в воздушно-сухом состоянии – 94,3 МПа, а наименьшие – 47,6 МПа – при использовании 20%-го NaCl (рис. 4).

При понижении температуры с –10 °С до –20 °С наблюдается незначительное повышение прочности образцов: на 15 % без применения ПАВ, на 18 % с H_2O, на 4 % с NaCl 5 %, на 14 % с NaCl 10 % и на 12 % с NaCl 20 %. Это объясняется тем, что при более интенсивном замерзании пород происходит увеличение их прочностных свойств, и воздействие на них ПАВ заметно снижается.

Анализ полученных данных показывает, что образцы в воздушно-сухом состоянии при различных температурах имеют большую прочность, чем при комнатной температуре. Так при –5 °С их прочность растет с 79,6 до 104,7, на 25 %, при –10 °С – до 94,3 %, на 16 % и при –20 °С возрастает до 108,6, на 27 %.

При использовании дистиллированной воды и растворов NaCl различной концентрации прочность образцов по сравнению с прочностью образцов, испытанных при комнатной температуре, минимально снижается на 26 % максимально – на 45 %.

Таким образом, показано, что использование ПАВ позволяет снизить прочность мерзлых пород и тем самым дает основание для полноценного применения технологии безвзрывной разработки с применением комбайнов типа КСМ. При условии разупрочнения пород с прочностью на сжатие от 60 до 80 МПа за счет применения поверхностно активных веществ (ПАВ) производительность КСМ-2000Р может возрасти с 650 $м^3$ /ч до 1100 $м^3$/ч (80 % паспортной).

Таблица 2

Статистическая достоверность результатов по сериям первой группы образцов

Table 2

Statistical reliability of the results for the series of the first group of samples

Статистические оценки Statistical estimates	При комнатной температуре At room temperature				
Среднее значение Mean	79,6				
Стандартное отклонение Standard deviation	16,4				
Коэффициент вариации The coefficient of variation	20,6				
Уровень доверия Trust level	0,9				
Достоверность среднего статистического значения Validity of the statistical mean	1,0				
–5 °C					
	Без ПАВ	H_2O	NaCl-5 %	NaCl-10 %	NaCl-20 %
Среднее значение Mean	104,7	52,4	55,8	45,4	47,3
Стандартное отклонение Standard deviation	11,5	13,0	16,2	5,9	2,0
Коэффициент вариации The coefficient of variation	10,7	24,8	29,0	13,0	4,2
Уровень доверия Trust level	1,0	0,8	0,68	1,0	1,0
Достоверность среднего статистического значения Validity of the statistical mean	Да	Да	Нет	Да	Да
–10 °C					
Среднее значение Mean	94,3	49,5	45,8	44,4	47,6
Стандартное отклонение Standard deviation	9,6	14,6	5,3	4,2	7,2
Коэффициент вариации The coefficient of variation	10,1	29,4	11,5	9,4	15,1
Уровень доверия Trust level	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0
Достоверность среднего статистического значения Validity of the statistical mean	Да	Нет	Да	Да	Да
–20 °C					
Среднее значение Mean	108,6	60,6	47,6	52,6	53,9
Стандартное отклонение Standard deviation	24,2	16,7	5,1	9,2	2,2
Коэффициент вариации The coefficient of variation	22,2	27,5	10,7	17,5	4,1

Окончание таблицы 2

	Без ПАВ	H_2O	NaCl-5 %	NaCl-10 %	NaCl-20 %
Уровень доверия Trust level	0,9	0,7	1,0	1,0	1,0
Достоверность среднего статистического значения Validity of the statistical mean	Да	Нет	Да	Да	Да

Заключение

Экспериментальными исследованиями установлено существенное снижение прочности мерзлых пород при использовании поверхностно-активных веществ. А произведенные расчеты показывают возможность эффективного применения безвзрывной технологии добычи при использовании комбайнов типа КСМ-2000Р на Эльгинском месторождении.

Наиболее перспективным в данных условиях представляется применение комбайнов нового поколения типа VASM, WSM, KSM. Благодаря высоким значениям развиваемых усилий резания эти машины могут успешно разрабатывать породы прочностью на сжатие до 60–80 МПа.

Полученные результаты имеют важное значение для назначения технологических мероприятий по снижению прочности многолетнемерзлых горных пород и повышению эффективности их разработки.

Выводы

1. Установлены экспериментальные зависимости изменения прочности многолетнемерзлых пород при воздействии дистиллированной воды и NaCl различной концентрации в диапазоне отрицательных температур. Определено, что при температуре –10 °С достигается максимальное снижение прочности образцов до 55 %.

2. Образцы в воздушно-сухом состоянии при различных температурах имеют большую прочность, чем прочность, полученная при комнатной температуре. Так при –5 °С она возросла с 79,6 до 104,7 МПа, на 25 %, при –10 °С – до 94,3 МПа, на 16 %, и при –20 °С – до 108,6 МПа, на 27 %.

3. При понижении температуры с –10 до –20 °С наблюдается незначительное повышение прочности образцов: на 15 % в воздушно-сухом состоянии, на 18 % с H_2O, на 4 % с NaCl 5 %, на 14 % с NaCl 10 % и на 12 % с NaCl 10 %. Это объясняется тем, что при более интенсивном замерзании пород происходит увеличение их прочностных свойств, и воздействие на них ПАВ заметно снижается.

4.Среднестатистические значения, полученные в результате исследований образцов (меньшей крепости), в большинстве случаев являются достоверными.

5. Предварительная обработка горных пород растворами ПАВ дает основание для эффективного использования технологии безвзрывной, се-

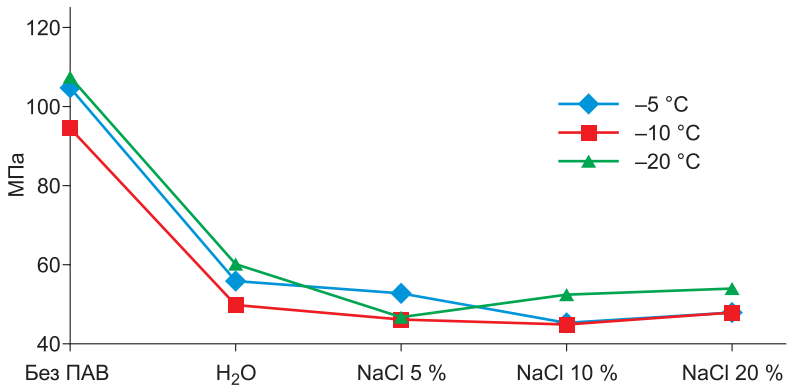


Рис. 4. Изменение прочности образцов.

Fig. 4. Change in the strength of samples.

лективной разработки угля из Эльгинского месторождения с использованием комбайнов типа КСМ-2000Р, что делает внедрение результатов данных исследований актуальным.

Литература

1. *Мировая* горная промышленность. История. Достижения. Производство. М.: НТЦ «Горное дело», 2005. 250 с.

2. *Грабский А.А.* Современное состояние и перспективы развития конструкций карьерных комбайнов // Горная пром-сть. 2010. № 4. С. 60.

3. *Винницкий К.В.* О перспективах применения машин типа КСМ на открытых горных разработках // Горн. информ.-анал. бюл. 1998. № 4. С. 173.

4. *Ермаков С.А.* Оценка эффективности применения комбайнов Wirtgen на Эльгинском каменноугольном месторождении // Горная пром-сть. 2018. № 6. С. 77–79.

5. *Краснянский Г.Л.* Опыт создания и перспективы освоения в горнодобывающей промышленности машин нового поколения КСМ-2000РМ / Г.Л. Краснянский, Р.М. Штенцайг, В. Рудольф, С.К. Коваленко // Уголь. 1998. № 4. С. 16–21.

6. *Хосоев Д.В.* Оценка технологии разработки Эльгинского угольного месторождения / Д.В. Хосоев., С.А. Ермаков // Уголь – 2009. № 11. С. 9–12.

7. *Анистратов Ю.И. и др.* Перспективы расширения сферы применения безвзрывных технологий в открытой угледобыче // Горная промышленность. 1998. № 2. С. 14–19.

8. *Норов Ю.Д.* Изучение влияния водных растворов ПАВ на изменение прочности горного массива / Норов Ю.Д., Мардонов У.М., Тошев О.Э. // Горный журнал. 2005. № 3. С. 15.

9. *Латышев О.Г., Жилин А.С., Осипов И.С., Сынбулатов В.В.* Выбор поверхностно-активной среды для управления свойствами пород в горной технологии // Горный журнал. 2004. № 6. С. 117.

10. *Латышев О.Г.* Разрушение горных пород. М.: Теплотехник, 2007. С. 660.

11. *Патент* № 2012790 / Штеле В.И. Способы разупрочнения горных пород.

12. *Шишкин Ю.П.* Экспериментальные исследования безвзрывного разупрочнения многолетнемерзлых пород на алмазном месторождении // Шишкин Ю.П., Микулевич А.П., Бураков А.М./ Физико-технические проблемы. 1990. № 5.

Поступила в редакцию 04.06.2020
Принята к публикации 15.12.2020

Об авторах

ХОСОЕВ Доржо Владимирович, ведущий инженер, Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 43,
https://orcid.org/0000-0002-1466-8509, hosoev70@mail.ru;

МАТВЕЕВ Андрей Иннокентьевич, главный научный сотрудник, Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 43,
https://orcid.org/0000-0002-4298-5990, andrei.mati@yandex.ru.

Информация для цитирования

Хосоев Д.В., Матвеев А.И. К вопросу разупрочнения вскрышных пород Эльгинского угольного месторождения путем использования поверхностно-активных веществ // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2021. Т. 26, № 1. С. 70–77. https://doi.org/10.31242/2618-9712-2021-26-1-7

DOI 10.31242/2618-9712-2020-26-1-7

Improving the efficiency of development of overburden rocks and coals of the Elgin Deposit of Yakutia by softening them using surfactants

D.V. Khosoev*, A. I. Matveev**

N.V. Chersky Mining Institute of the North SB RAS, Yakutsk, Russia
**Hosoev70@mail.ru*
***andrei.mati@yandex.ru*

Abstract. *A significant problem for non-explosive development of a deposit is an increase in resistance to digging when rocks and coal freeze. With an increase in the strength properties of rocks, the performance of combines may sharply decrease, especially when operating in winter.*

The degree to which the physical and mechanical properties of different lithological compositions of rocks in the Elga deposit affect the productivity of KSM-2000R combine was determined through calculation. For the compression strength of rocks up to 40 MPa, which includes coals and carbonaceous siltstones, the productivity of KSM-2000R will be 1400 m^3/h. With an increase in the content of hard components in rocks from 40 to 60 MPa to 40 % (mainly siltstones), the expected decrease in productivity will be up to 1000 m^3/h, and for the content of hard rocks from 60 to 80 MPa to 33 % – 650 m^3/h. It is proposed to use a surfactant – NaCl solution for preliminary softening of the rocks. After processing these rocks with surfactants under negative temperatures down to –20 degrees, σ decreased by 30–50 %, and σ r decreased by about 50 % for all types and layers of constituent rocks, which will ensure the necessary conditions for their explosive-free development using KSM 2000R type combines.

Key words: permafrost rocks, combine, rock strength, productivity, samples, solutions, sandstones, softening, non-explosive technology.

References

1. *Mirovaia* gornaia promyshlennost. Istoriia. Dostizheniia. Proizvodstvo. M.: Gornoe delo, 2005. 250 p.

2. *Grabskiy A.A.* Sovremennoe sostojanie i perspektivy razvitija konstruktsii kar'ernykh kombainov // Gornaja prom-st. 2010. No. 4. P. 60.

3. *Vinnitskiy K.E.* O perspektivakh primenenija mashin tipa KSM na otkrytykh gornykh razrabotkakh // Gorn. inform.-anal. bul. 1998. No. 4 P. 173.

4. *Ermakov S.A.* Otsenka effektivnosti primenenija kombajnov Wirtgen na Elginskom kamennougolnom mestorozhdeniji // Gornaja prom-st. 2018. No. P. 77–99.

5. *Opyt* sozdaniia i perspektivy osvoeniia v gornodobyvaiushchei promyshlennosti mashin novogo pokoleniia KSM-2000RM / G.L. Krasnianskii, R.M. Shteintsaig, V. Rudolf, S.K. Kovalenko // Ugol. 1998. No. 4. P. 16–21.

6. *Otsenka* tekhnologii razrabotki Elginskogo ugolnogo mestorozhdeniia/ D.V. Khosoev., S.A. Ermakov // Ugol. 2009. No. 11. P. 9–12.

7. *Anistratov Iu.I. i dr.* Perspektivy rasshireniia sfery primeneniia bezvzryvnykh tekhnologii v otkrytoi ugledobyche // Gornaia promyshlennost. 1998. No. 2. P. 14–19.

8. *Izuchenie* vliianiia vodnykh rastvorov PAV na izmenenie prochnosti gornogo massiva / Norov Iu.D., Mardonov U.M., Toshev O.E. // Gornyi zhurnal. 2005. No. 3. P. 15.

9. *Latyshev O.G., Zhilin A.S., Osipov I.S., Synbulatov V.V.* Vybor poverkhnostno-aktivnoi sredy dlia upravleniia svoistvami porod v gornoi tekhnologii // Gornyi zhurnal. 2004. No. 6. P. 117.

10. *Latyshev O. G.* Razrushenie gornykh porod. M.: Teplotekhnik, 2007. P. 660.

11. *Patent* No. 2012790 // Shtele V.I. Sposoby razuprochneniia gornykh porod.

12. *Eksperimentalnye* issledovaniia bezvzryvnogo razuprochneniia mnogoletnemerzlykh porod na almaznom mestorozhdenii / Shishkin Iu.P., Mikulevich A.P., Burakov A.M // Fiziko-tekhnicheskie problemy. 1990. No. 5.

About the authors

KHOSOEV Dorzho Vladimirovich, leading engineer, N.V. Chersky Mining Institute of the North SB RAS, 43 Lenina pr., Yakutsk 677980, Russia.
https://orcid.org/0000-0002-1466-8509, hosoev70@mail.ru;

MATVEEV Andrey Innokentievich, Dr. Sci. (Physics and Mathematics), chief researcher, N.V. Chersky Mining Institute of the North SB RAS, 43 Lenina pr., Yakutsk 677980, Russia,
https://orcid.org/0000-0002-4298-5990 andrei.mati@yandex.ru.

Citation

Khosoev D.V., Matveev A.I. Improving the efficiency of development of overburden rocks and coals of the Elgin Deposit of Yakutia by softening them using surfactants // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2021. Vol. 26, No. 1. pp. 70–77. (In Russ.) https://doi.org/10.31242/2618-9712-2021-26-1-7

ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ

Экология

УДК 631.437:550.424
DOI 10.31242/2618-9712-2021-26-1-8

Использование показателя магнитной восприимчивости почв для оценки экологического состояния почвогрунтов г. Якутска

А.П. Чевычелов*, А.А. Алексеев, Л.И. Кузнецова

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия
**chev.soil@list.ru*

Аннотация. *Впервые проведено определение объемной магнитной восприимчивости (ОМВ) техногенно-загрязненных почвогрунтов г. Якутск, сформированных на многолетнемерзлых породах и функционирующих в условиях криоаридного климата Центральной Якутии. Осуществлена магнитометрическая съемка на территории современного г. Якутск по произвольной сети наблюдений, выполнено 444 измерения ОМВ почвогрунтов малогабаритным измерителем КМ-7. Величины ОМВ почвогрунтов г. Якутск изменяются значительно, при среднем значении 163,5·10^{-5} ед. Си предел изменения данного показателя 13,2–1220,0·10^{-5} ед. Си составляет почти три порядка величин (10^3), что указывает на его высокую вариабельность, когда коэффициент вариации V = 64 %. Также значительно варьируют и средние величины ОМВ, полученные для почвогрунтов отдельных улиц и районов города, изменяясь от 80,3 до 314,6·10^{-5} ед. Си, т. е. почти в 4 раза. Была составлена гистограмма ОМВ почвогрунтов г. Якутск, когда весь массив данных был разбит на семь рангов или классов, с шагом, равным 50·10^{-5} ед. Си. В результате основная масса всех величин (84 %) укладывалась в пределы значений до 250·10^{-5} ед. Си, а на интервалы таковых > 250·10^{-5} ед. Си приходилось всего 16 % значений от общего количества измерений. По результатам проведенного исследования также было установлено, что суммарный показатель загрязнения изучаемых почвогрунтов тяжелыми металлами (Zc) связан с показателем ОМВ сильной положительной (r = 0,937) статистически значимой (n = 8, r_{st} = 0,707, p = 0,95) корреляционной связью, практически приближающейся к линейной зависимости. Среднее значение ОМВ почвогрунтов г. Якутск сопоставимо с таковыми, определенными для промышленных районов г. Москва (160–180·10^{-5} ед. Си), г. Пермь (183·10^{-5} ед. Си), г. Медногорск (158·10^{-5} ед. Си), и в то же время значительно ниже величин, полученных для крупных промышленно развитых городов Китая, таких как Ханьчжоу и Лоян (128·10^{-5} ед. Си).*

Ключевые слова: криолитозона, г. Якутск, техногенно-загрязненные почвогрунты, магнитная восприимчивость.

Благодарности. *Статья подготовлена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по проекту (тема № 0297-2021-0027, ЕГИСУ НИОКТР № АААА-А21-121012190033-5).*

Введение

Город Якутск – крупнейший населенный пункт, который расположен на территории со сплошной криолитозоной. В отличие от других городов России, построенных на многолетнемерзлых грунтах (Норильск, Воркута, Магадан), население в Якутске продолжает расти. Так, только за период 2000–2015 гг. численность населения здесь выросла со 195,4 до 302 тыс. человек [1]. Рост Якутска сопровождался возникновением многих негативных факторов, ухудшающих его экологическую обстановку. В настоящее время в черте города практически не осталось естественных почв, они полностью замещены техногенными слоями или почвоподобными телами – урбаноземами [2, 3].

© Чевычелов А.П., Алексеев А.А., Кузнецова Л.И., 2021

В настоящее время урбаноземы г. Якутск подвержены интенсивному, многофакторному, антропогенному и техногенному прессу. Одним из видов такого воздействия является аэротехногенное загрязнение данных почвогрунтов тяжелыми металлами (ТМ) [4, 5]. В районе Якутска полиэлементные техногенные аномалии формируются во всех природных средах: в атмосфере (газы, аэрозоли, пыль) – CO_2, NO_2, SO_2, H_2S, Pb, Cu, Mn; поверхностных водах (реки, озера) – SO_4, Cl, NH_4, NO_2, Cu, Sr, Mn; в почвенном покрове – Hg, Zn, Pb, Cr, Mn, Cu, Th, Cd, и распространяются далеко за пределы города [6].

Оценкой экологического состояния техногенно-загрязненных почвогрунтов г. Якутск занимались различные исследователи: геологи, почвоведы, экологи, что нашло свое отражение в ряде известных публикаций [4–10]. В частности, установлено, что основой полиэлементных аномалий городских почв Якутска являются такие ТМ, как Pb, Zn, Cu и Ni. Оценка почв по суммарному показателю загрязнения (Zc) выявила, что в целом территория города находится в пределах допустимого уровня загрязнения ($z<16$) с локальными точками возмещения ($z>32$), требующими дальнейших исследований [3, 5].

Проведено изучение содержания и распределения шести микроэлементов – ТМ, таких как Pb, Ni, Mo, Cr, Zn и Cu в черноземных почвах пригородной зоны г. Якутск на участках с техногенным, зоогенным и антропогенным воздействием. Установлено, что в целом на всех изученных площадках содержание ТМ в почвах ниже или несущественно превышает уровень предельно допустимых концентраций (ПДК). Поэтому данные элементы в настоящее время не представляют большой опасности для окружающей среды, тем более для живых организмов [4].

Отмечено повышение содержания как валовых, так кислоторастворимых форм Pb, Zn и Cu в поверхностном слое (0–20 см) мерзлотной лугово-черноземной почвы транспортной зоны «Аэропорт-Якутск″ в 50-метровой полосе от источника загрязнения. При этом приоритетным загрязнителем является Pb, валовое содержание которого превышает ПДК в 3 раза. Если мерзлотная лугово-черноземная почва фонового участка, удаленного от автотрассы на 250 м, характеризовалась высоким ферментативным потенциалом, то в полосе загрязнения активность инвертазы падала приблизительно в 3–5 раз, фосфотазы – в 4–5, уреазы – в 3–4, каталазы – в 4–10, дегидрогеназы – в 2–4 раза соответственно по сравнению с фоном [7].

Также установлено, что в результате более чем 300-летнего освоения городской территории в г. Якутск сформировалась локальная биотехносфера. Накопление микроэлементов в техногенных городских грунтах связано с высоким содержанием в аллювиальных четвертичных отложениях W, B, Pb, Ti, Sn, Mo и Ag (в 1,0–2,0 раза по сравнению с КЗК – кларком земной коры) и их дефицитом для V, Co, Ni, Cu, La, Be и Hg, количество которых фиксируется на уровне значений $0,5<КЗК$. Максимальная контрастность техногенных геохимических аномалий по отношению к химическому составу отложений (>5) свойственна макрокомпонентам Cl^-, NO_3^-, K^+, Na^+, NO_2^-, SO_4^{-2} и микроэлементу – ТМ Hg. При этом содержание микроэлементов в сезонно-талых примерно в 1,5 раза выше, чем в многолетнемерзлых грунтах культурного слоя (КС). Мощность техногенных геохимических ореолов в КС зависит от возраста освоения городской территории и достигает 8–10 м [8].

Проведено биотестирование фитотоксичности почвогрунтов г. Якутск с использованием тест-объекта овса посевного *Avena sativa* L. При этом оценивали всхожесть семян на 3, 4 и 14-е сутки, развитие надземной и подземной частей проростков, ингибирование тест-откликов и индекс токсичности фактора (ИТФ). Высокие показатели всхожести, развития надземной и подземной частей проростков были отмечены в контрольной пробе. Для городских почвогрунтов была характерна высокая вариабельность всех параметров. Большинство исследованных точек на территории г. Якутск характеризовались средней и низкой фитотоксичностью почв. Относительно высокая токсичность отмечалась в местах интенсивного движения автотранспорта и на улицах, где разрешен проезд грузовых автомобилей. Выявлена статистически значимая корреляционная зависимость исследуемых тест-откликов овса посевного от интенсивности автотранспортной нагрузки, более ярко выраженная при контактном биотестировании [9].

Также в последнее время было определено загрязнение атмосферы г. Якутск взвешенными веществами (ВВ), и с этой целью был изучен элементный, гранулометрический и минералогический состав ВВ в приземной атмосфере этого города. Установлено, что концентрация ВВ в воздухе города в течение десятилетнего периода

(2008–2018 гг.) постоянно превышала ПДК, при этом среднегодовые концентрации ВВ в течение этого времени были в 1,8 раза выше санитарных норм, в летний период – в 2,1, в зимний – в 1,6 раза. Поступающие в приземную атмосферу ВВ полидисперсны и представляют собой совокупность твердых частиц разного размера. Наиболее опасны средне-мелкодисперсные частицы (PM_{10}), составляющие около 10 % ВВ в атмосфере и способные проникать в глубокие отделы легких, вплоть до альвеол. Как в пылевых (>100 мкм), так и в средне-мелкодисперсных (10–100 мкм) ВВ присутствуют токсичные микроэлементы – ТМ, такие как 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 [10].

Магнитная восприимчивость (МВ) почв является интегральным показателем, который применяется в почвоведении при решении почвенно-генетических, почвенно-экологических и палеопочвенных задач [11, 12]. Особенно успешно данный показатель в последнее время используется у нас в России [13–19] и зарубежом [20–22] для оценки техногенного загрязнения почв и городских почвогрунтов ТМ. В частности, подобные исследования в России проведены на территории таких городов, как Москва [13, 23], Пермь [14, 17], Медногорск (Оренбургская область) [18] и других. Для оценки степени загрязнения почвогрунтов г. Якутск ТМ подобный подход применяется впервые.

Целью проведенных исследований являлась количественная оценка степени техногенного загрязнения почвогрунтов г. Якутск ТМ посредством измерения их МВ малогабаритным каппаметром в полевых условиях.

Объекты и методы исследований

Климат г. Якутск и его окрестностей резко-континентальный и засушливый с длительной, крайне морозной и малоснежной зимой, с коротким относительно жарким и засушливым летом. При этом среднемесячная температура июля составляет 18,7 °С, января – –43,2 °С, среднегодовая температура – –10,3 °С, среднегодовое количество осадков – 234 мм, количество осадков за вегетационный период – 143 мм, испаряемость – 502 мм, коэффициент увлажнения – 0,3, коэффициент континентальности – 302 и сумма активных температур – 1565 °С [24]. В целом в течение года в Якутске преобладают ветры северного и северо-восточных направлений [25]. Территория города характеризуется наличием криолитозоны, которая в среднем составляет 250–350 м [1].

Объектами исследований являлись техногенно-загрязненные почвогрунты, сформированные на современной территории г. Якутск (рис. 1). В полевой период 2020 г. всего было осуществлено 444 измерения объемной магнитной восприимчивости, или способности к намагничиванию [11, 26], данных почвогрунтов малогабаритным каппаметром КМ-7. КМ-7 является усовершенствованной версией каппаметра КТ-6 чешского производителя StatisGeo, который характеризуется высокой чувствительностью ($1 \cdot 10^{-6}$ ед. Си) и превосходной точностью измерений.

Магнитометрическая сьемка на территории г. Якутск проводилось по произвольной сети наблюдений. При этом измерениями были охвачены почвогрунты, преимущественно развитые вдоль автомобильных городских и пригородных дорог конкретных улиц, формирующие газоны, зеленые зоны, перекрестки, разделительные полосы между проезжей частью и тротуарами, и в меньшей степени внутригородские территории данного муниципального образования (рис. 2). В точках, составляющих сеть мониторинговых наблюдений, измерения ОМВ проводилось в 3-кратной повторности с площади поверхности почвогрунтов размером 1·1 м (S = 1 м^2).

В качестве картографических материалов (топокарты, космоснимки) использовались материалы Атласов г. Якутск [27, 28]. Географические координаты (широта – N° с.ш. и долгота – E° в.д.) точек измерения определялись с помощью спутникового приемника-навигатора GPS-e Trax Vista. При этом погрешность определения географических координат местности при работе в режиме DGPS (USGC) составляла 3–5 м с вероятностью p = 0,95 (95 %). Математическая обработка результатов исследований производилась посредством применения методов вариационно-статистического, корреляционного и регрессионных анализов, принятых в почвоведении [29]. При этом использовался стандартный пакет программ Microsoft Excel 2007.

Результаты и обсуждение

Величины ОМВ почвогрунтов г. Якутск изменяются значительно, при min = 13,2, max = 1220,0 и среднем значении $163{,}5 \cdot 10^{-5}$ ед. Си предел из-

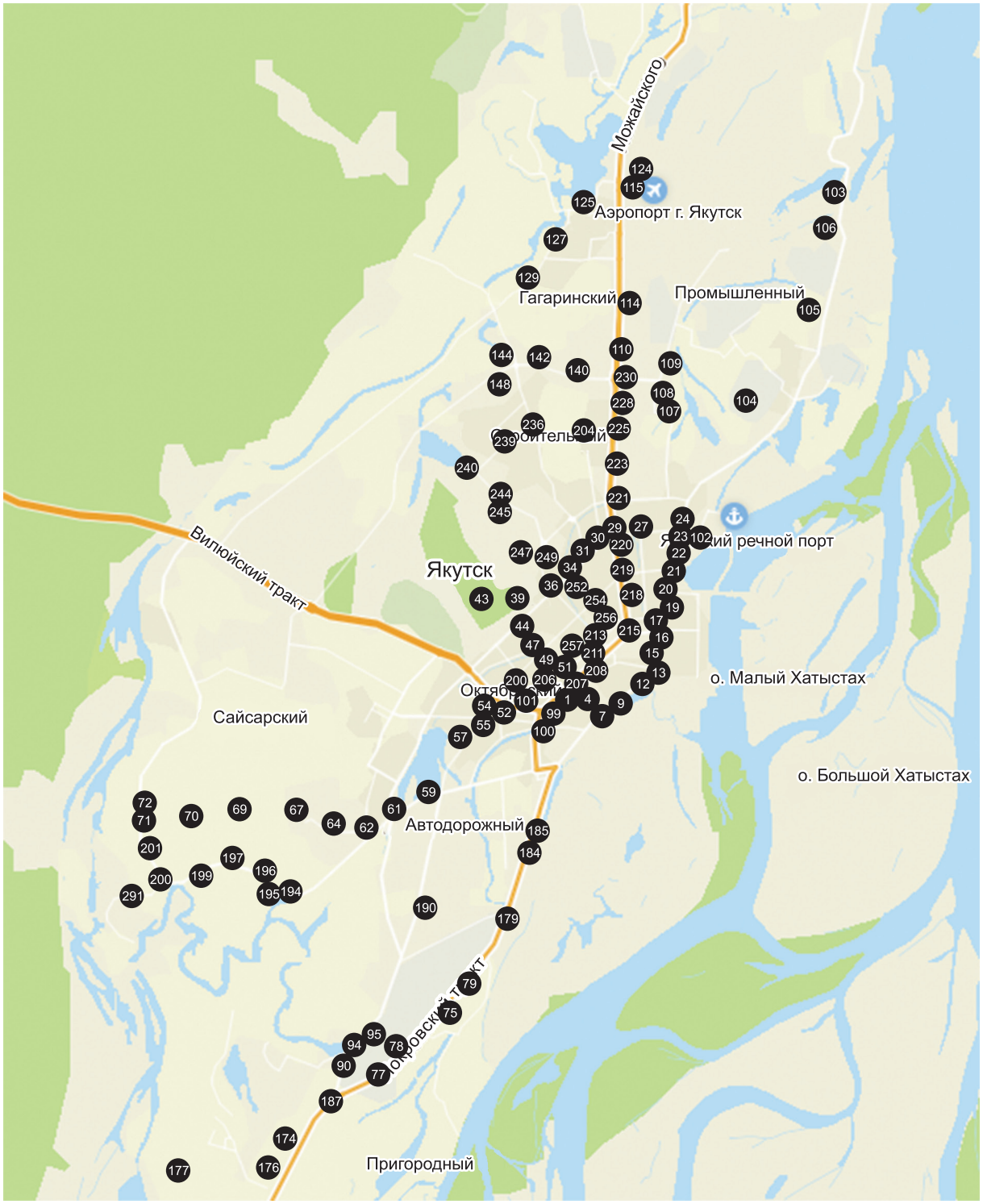


Рис. 1. Точки измерения ОМВ почвогрунтов на территории г. Якутск.

Fig. 1. Points of measurement of VMS in soils on the territory of Yakutsk.

менения данного показателя составляет почти три порядка величин (10^3), что указывает на высокую его вариабельность, когда коэффициент вариации равен V = 64 %. Также значительно варьируют и средние величины ОМВ, полученные для почвогрунтов отдельных улиц и райо-

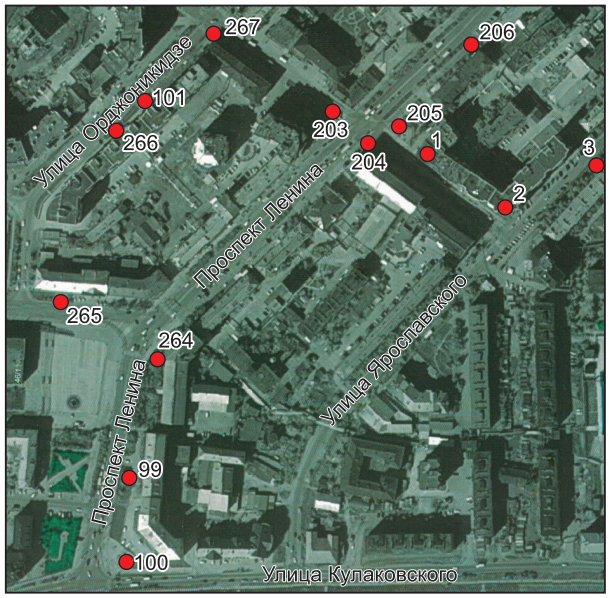


Рис. 2. Точки измерения ОМВ почвогрунтов в центральной части г. Якутск.

Fig. 2. Measurement points of VMS in soils in the central part of Yakutsk.

нов города, изменяясь от 80,3 до $314{,}6 \cdot 10^{-5}$ ед. Си, т. е. почти в 4 раза. При этом минимально загрязненными ТМ, помимо зеленых зон, оказались почвогрунты улиц Кирова, Чайковского, Хабарова, Лермонтова, Орджоникидзе, просп. Ленина, Окружного шоссе, а также районов Птицефабрики и ДСК. Здесь уровень техногенного загрязнения ТМ оказался ниже такового, характерного для города в целом. И наоборот, степень техногенного загрязнения почвогрунтов ТМ оказалось выше средней по городу для таких улиц, как Вилюйский переулок, Ярославского, Автодорожная, Чернышевского, Московской набережной, Покровского тракта и автострады 50 лет Октября. Особенно высокие максимальные значения ОМВ ($416{,}1–543{,}6 \cdot 10^{-5}$ ед. Си) характерны для почвогрунтов улиц Чернышевского, Автодорожной и Московской набережной, где отмечается более интенсивное движение грузового транспорта. Это подтверждает ранее сделанные выводы других авторов, полученные посредством биотестирования фитотоксичности почвогрунтов г. Якутск [9]. Среднее значение ОМВ почвогрунтов Вилюйского переулка ($169{,}8 \cdot 10^{-5}$ ед. Си) почти равно таковому, отмечаемому для города в целом. Данная улица, пересекающая центральную часть г. Якутск в северном направлении, по сути, представляет минисрез всего города, где предел изменения данного показателя составляет $14{,}7–581{,}3 \cdot 10^{-5}$ ед. Си (изменяется почти в 40 раз), при высокой вариабельности (V = 78 %). Самое высокое значение ОМВ почвогрунтов было отмечено нами на территории металлобазы по ул. 50 лет Советской Армии и составляло $1220{,}0 \cdot 10^{-5}$ ед. Си (табл. 1).

С целью ранжирования всего массива данных ОМВ изучаемых почвогрунтов мы построили гистограмму, где по оси ординат приведена частота встречаемости (P, %) определенного интервала значений данного показателя. С этой целью весь массив данных ($n = 444$) был разбит на семь рангов, или классов, с шагом, равным $50 \cdot 10^{-5}$ ед. Си. В результате получилось, что основная масса (84 %) всех значений ОМВ почвогрунтов г. Якутск укладывалась в интервалы значений до $250 \cdot 10^{-5}$ ед. Си. На интервалы значений $>250 \cdot 10^{-5}$ ед. Си приходилось всего 16 % таковых от общего количества измерений (рис. 3).

С целью установления возможной связи между суммарным показателем техногенного загрязнения (Zc) изучаемых почвогрунтов ТМ и показателем ОМВ нами было проведено специальное сравнительное исследование с привлечением соответствующих работ наших предшественников [3, 5] (табл. 2). По результатам данного исследования оказалось, что показатель Zc связан с показателем ОМВ сильной положительной ($r = 0{,}937$) статистически значимой ($n = 8$, $r_{st} = 0{,}707$, $p = 0{,}95$) корреляционной связью, практически приближающейся к линейной зависимости. Это в целом соответствует результатам, полученным другими авторами при проведении подобных исследований. Так, в центральной части Англии, в районе расположения металлургических и химических заводов, на загрязненных землях была установлена высокая корреляция магнитной восприимчивости с содержанием в почве меди ($r = 0{,}73$), свинца ($r = 0{,}73$) и цинка ($r = 0{,}73$) [15]. Аналогичные положительные статистически достоверные ($n = 62$, $p = 0{,}99$) корреляционные связи были выявлены для верхнего слоя техногенно-загрязненных почв г. Пермь и соответственно составляли для Ni $r = 0{,}71$, Zn – $r = 0{,}59$ и Cr – $r = 0{,}63$ [14].

Последнее позволило нам, основываясь на уравнениях линейной регрессии, связать данные показатели линейной связью. Если принять за y показатель Zc, а за x – показатель ОВМ, то получим соответствующие уравнения:

$$x = r \cdot S_x / S_y (y - y_{ср}) + x_{ср} \quad \text{и} \quad y = r \cdot S_y / S_x (x - x_{ср}) + y_{ср}.$$

Таблица 1

Статистические показатели изменения ОМВ почвогрунтов г. Якутск

Table 1

Statistical indicators of changes in VMS of soils in Yakutsk

№ п/п Number	Название улиц, районов города Name of streets and districts of the city	*n*	lim	$x \pm S_x$	S	V
1	Парк культуры и отдыха Park of culture and recreation	5	24,3–132,1	80,3±19,7	43,3	54
2	Ул. Кирова Kirov street	10	28,7–206,3	119,5±16,0	51,1	43
3	Район Птицефабрики Poultry farm district	9	35,9–229,0	123,1±21,9	65,6	53
4	Ул. Чайковская Tchaikovsky street	8	73,2–193,4	123,1±15,5	43,3	35
5	Ул. Хабарова Khabarov street	14	50,9–179,0	129,9±10,0	36,9	28
6	Ул. Лермонтова Lermontov street	18	32,3–255,5	135,3±14,2	59,5	44
7	Окружное шоссе County highway	12	34,6–392,1	142,9±30,1	105,2	74
8	Пр. Ленина Lenin avenue	35	67,4–335,7	146,5±10,8	64,0	44
9	Ул. Орджоникидзе Ordzhonikidze street	15	82,0–226,4	147,4±11,9	46,6	32
10	Район ДСК DSC district	16	54,0–263,8	151,8±13,3	53,1	35
11	Вилюйский переулок Vilyuysky lane	24	14,7–581,3	169,8±34,6	133,2	78
12	Покровский тракт Pokrovsky tract	10	89,0–285,5	172,4±17,5	56,0	32
13	Автострада 50 лет Октября Freeway 50 years of October	13	107,6–327,7	215,2±25,7	92,4	43
14	Ул. Ярославского Yaroslavsky street	8	149,4–334,3	225,5±25,1	70,3	31
15	Ул. Автодорожная Road map street	14	102,8–543,6	230,0±27,6	102,3	44
16	Ул. Чернышевского Chernyshevsky street	27	49,9–416,1	235,0±17,7	91,9	39
17	Московская набережная Moskovskaya embankment	11	219,9–432,6	314,6±16,4	54,1	17
18	В целом по городу In the whole city	444	13,2–1220,0	163,5±4,9	104,3	64

Примечание. Здесь и далее: *n* – объем выборки; lim – пределы изменения содержания; $x \pm S_x$ – среднее и его ошибка; S – стандартное отклонение; V – коэффициент вариации.

Note. Here and further: *n* – volume of sample; lim – limits of content change; $x \pm S_x$ – mean and error of mean; S – standard deviation; V – coefficient of variation.

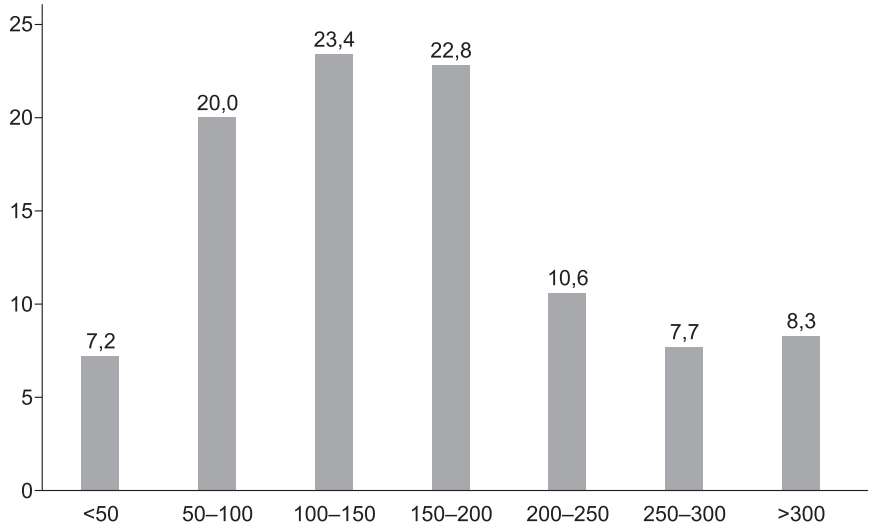


Рис. 3. Гистограмма ОМВ ($n \cdot 10^{-5}$ ед. Си) почвогрунтов г. Якутск.

Fig. 3. VMS histogram ($n \cdot 10^{-5}$ units Si) soils of Yakutsk.

При этом r = 0,937; $x_{ср}$=118,25; S_x = 48,47; $y_{ср}$ = 53,15 и S_y = 30,93. Подставив в данные формулы численные значения данных статистических величин, получим соответствующие уравнения линейной связи для x и y. Так, в нашем случае $x = 1{,}47y + 40{,}1$ или приближенно $x = 1{,}5y + 40$. Из этого уравнения следует, что ранговым значениям показателя Zc соответствуют следующие величины ОМВ: 16–64, 32–88 и 128–$232 \cdot 10^{-5}$ ед. Си. Таким образом, согласно ранжированию техногенного загрязнения почвогрунтов г. Якутск ТМ, точки со значениями ОМВ <64–$88 \cdot 10^{-5}$ ед. Си попадают в категории допустимого и умеренного загрязнений, а таковые со значениями 88–232 и >$232 \cdot 10^{-5}$ ед. Си уже относятся к категориям опасного и чрезвычайно опасного загрязнений [3, 5].

По нашим данным, в настоящее время Якутск является единственным городом, сформированным и функционирующим на многолетнемерзлых породах, где произведена оценка состояния почвогрунтов посредством определения их ОМВ. В этом плане представляет несомненный интерес сопоставление наших данных с таковыми, полученными другими авторами для промышленно-развитых городов России и зарубежья (табл. 3). Среднее значение ОМВ почвогрунтов г. Якутск ($163 \cdot 10^{-5}$ ед. Си) сопоставимо с таковыми, определенными для отдельных промышленных районов г. Москва (160–$180 \cdot 10^{-5}$ ед. Си), г. Пермь ($183 \cdot 10^{-5}$ ед. Си) и г. Медногорск ($158 \cdot 10^{-5}$ ед. Си), и в то же время значительно выше крупных промышленно-развитых городов Китая, таких как Ханьчжоу и Лоян ($128 \cdot 10^{-5}$ ед. Си). Отметим, что города Москва, Ханьчжоу и Лоян являются городами-многомиллионниками (численность населения на 01.01.2020 г. изменяется в пределах 6,547–12,678 млн чел.), а количество населения г. Пермь – более 1 млн чел. [30, 31]. И одновременно данные мегаполисы являются крупными промышленными агломерациями. Якутск, в противовес этому, с населением (на 01.01.2020 г.) 322 987 чел., не имеет на своей территории крупных промышленно-развитых предприятий. Вследствие этого необходимо констатировать, что в силу ландшафтно-климатических особенностей природной среды г. Якутск техногенное загрязнения городских почвогрунтов во времени происходит более интенсивно в условиях меньшей техногенной нагрузки, чем в других немерзлотных регионах России и зарубежья. Вероятно также, что самоочищение данных почвогрунтов здесь в условиях криоаридного климата Центральной Якутии происходит значительно медленнее. Это заставляет изыскивать приемлемые приемы снижения техногенной нагрузки на исследуемые почвогрунты. В настоящее время, по нашему мнению, таковыми приемами являются перевод городского автотранспорта на экологически более чистое газообразное топливо и уборка с городской территории с последующим безопасным складированием снега в зимний период. Период с устойчивым снежным покровом в

Таблица 2

Характеристика техногенного загрязнения почвогрунтов г. Якутск ТМ по значениям суммарного показателя (Zc) и ОМВ (χ)

Table 2

Characteristics of technogenic pollution of soils of Yakutsk HM by the values of the total index of contamination (Zc) and VMS (χ)

N п/п Number	Название улиц и районов города Name of streets and districts of the city	Zc – образующие элементы Zc – forming elements	Zc	Источник Resource	$\chi, n\cdot10^{-5}$ ед. Си $\chi, n\cdot10^{-5}$ units SI
1	Перекресток улиц Короленко–пр. Ленина The intersection of Korolenko st.–Lenin avenue	$Pb_{13,1}\rightarrow Zn_{7,5}\rightarrow Cd_{1,8}$	22,4	[3, С. 19, табл. 2] [3, P. 19, table 2]	73,8
2	Перекресток улиц Курашова–пр. Ленина The intersection of Kurashov st.–Lenin avenue	$Zn_{18,3}\rightarrow Pb_{4,8}\rightarrow Cd_{4,0}$	29,0	[3, С. 19, табл. 2] [3, P. 19, table 2]	75,6
3	Район Птицефабрики Poultry farm district	$Zn_{7,7}\rightarrow Pb_{4,6}\rightarrow Ni_{4,2}$	31,9	[5, С. 35, табл. 3] [5, P. 35, table 3]	88,1
4	Перекресток улиц Октябрьская–пр. Ленина The intersection of Oktyabrskaya st.–Lenin avenue	$Zn_{23,7}\rightarrow Pb_{8,9}\rightarrow Cd_{3,5}$	38,5	[3, С. 19, табл. 2] [3, P. 19, table 2]	95,3
5	Перекресток улиц Кальвица–Дзержинского The intersection Kalvitsa st.–Dzerzhinskiy st.	$Pb_{24,8}\rightarrow Cd_{6,7}\rightarrow Zn_{5,1}$	45,5	[5, С. 35, табл. 3] [5, P. 35, table 3]	113,5
6	Перекресток улиц Ильменская–Чайковского The intersection Ilmen st.–Tchaikovsky st.	$Pb_{23,2}\rightarrow Cu_{18,5}\rightarrow Cd_{7,5}$	57,6	[3, С. 19, табл. 2] [3, P. 19, table 2]	130,0
7	Ул. 50 лет Советской Армии 50 years of the Soviet Army st.	$Zn_{77,6}\rightarrow Pb_{17,3}$	98,4	[5, С. 35, табл. 3] [5, P. 35, table 3]	151,8
8	Свалка снега на объездном шоссе Snow dump on bypass highway	$Zn_{76,9}\rightarrow Cr_{15,7}\rightarrow Cd_{5,6}$	101,9	[3, С. 19, табл. 2] [3, P. 19, table 2]	217,9

Примечание. Zc – суммарный показатель загрязнения.

Note. Zc – total index of contamination.

Якутске составляет большую часть календарного года и длится около 7 месяцев [25].

Для оценки степени техногенного загрязнения почвогрунтов посредством определения их ОМВ в свое время было предложено отношение $\chi_{изм}/\chi_{фон}$, где $\chi_{изм}$ – измеренное значение ОМВ, а $\chi_{фон}$ – фоновая величина. При этом если данное отношение составляет 1,2–1,3, то загрязнение характеризуется как умеренное, а если в пределах 1,8–2,0 – то уже как сильное [32]. Впоследствии сотрудниками лаборатории геоэкологии Саратовского государственного университета данная величина была охарактеризована, как коэффициент магнитности (Kmag), а его ранжирование по степени техногенного загрязнения определено более дробно. Так при Kmag = 0–1 степень техногенной трансформации является допустимой, при 1–3 – умеренной, 3–5 – опасной и более 5 – чрезвычайно опасной [33]. В соответствии с данной шкалой мы ранжировали весь массив данных (n = 444) по ОМВ почвогрунтов г. Якутск (табл. 4). При этом за фоновую величину ОМВ для г. Якутск было принято значение ОМВ, равное $80\cdot10^{-5}$ ед. Си. Большая часть полученных дан-

Таблица 3

Статистические показатели ОМВ почвогрунтов (n·10^{-5}ед. Си) отдельных городов России и Зарубежья

Table 3

Statistical indicators of soil VMS (n·10^{-5} units Si) individual cities of Russia and Abroad

N п/п Number	Город, район City, district	Страна Country	*x* mean	min minimum	max maximum	Источник Resource
1	Москва, Киевский вокзал Moscow, Kievsky railway station	Россия Russia	240	50	510	[13]
2	Москва, завод «Серп и молот» Moscow, plant «Sickle and hammer»	-//-	180	110	290	-//-
3	Москва, промзона завода ЗИЛ Moscow, industrial zone of the ZIL plant	-//-	180	30	370	-//-
4	Москва, промзона Донская M., Donskaya industrial zone	-//-	160	60	190	-//-
5	Пермь Perm	-//-	183	7	1931	[17]
6	Медногорск Mednogorsk	-//-	158	36	941	[18]
7	Ханьчжоу Hangzhou	Китай China	128	–	914	[20]
8	Лоян Luoyang	Китай China	128	–	1128	[21]
9	Якутск Yakutsk	Россия Russia	163	13	1220	Наши данные Our data

Таблица 4

Степень техногенной трансформации почвогрунтов г. Якутск в зависимости от значений коэффициента магнитности (Kmag)

Table 4

The degree of technogenic transformation of Yakutsk soils depending on the values of the magnetic coefficient (Kmag)

Значения Kmag Values of Kmag	Степень техногенной трансформации почвогрунтов The degree of anthropogenic transformation of soils	Количество измерений Number of measurements	
		число (*n*) number (*n*)	в % от общего количества in % of the total number
0–1	Допустимая Acceptable	73	16,5
1–3	Умеренная Moderate	298	67,1
3–5	Опасная Dangerous	65	14,6
Более 5	Чрезвычайно опасная Extremely dangerous	8	1,8

Таблица 5

Значения ОМВ (χ) отдельных точек мониторинговой сети наблюдений за состоянием почвогрунтов г. Якутск, 2020 г.

Table 5

OMV values (χ) of individual points of the monitoring network of observations of the state of soils in Yakutsk, 2020

№ п/п Number	Название улиц, районов города Name of streets and districts of the city	Географические координаты Geographic coordinates	χ, n·10^{-5} ед. Си χ, n·10^{-5} units Si	Kmag Values of Kmag
	Минимальные Minimum			
1	Ул. Лермонтова, парк культуры и отдыха Lermontov st., park of culture and recreation	62°02′1,32″N, 129°43′4,31″E	22,7	0,3
2	Ул. Очиченко, Якутский хлебокомбинат Ochichenko st., Yakut bakery	62°03′53,56″N, 129°45′12,40″E	55,3	0,7
3	Ул. Ойунского, стадион «Юность» Oyunskogo st., Yunost stadium	62°01′14,37″N, 129°42′14,35″E	72,3	0,9
4	Перекресток улиц Лермонтова–Петра Алексеева The intersection of Lermontov st.–Peter Alexeyeva st.	62°02′25,96″N, 129°43′50,05″E	80,5	1,0
5	Вилюйский переулок, сосновый бор Vilyuysky lane, sosnovy bor	62°02′37,48″N, 129°40′52,77″E	80,5	1,0
	Средние Medium			
6	Перекресток улиц Ойунского–Петровского The intersection of Oyunsky st.–Petrovsky st.	62°01′29,26″N, 129°42′39,01″E	147,5	1,8
7	Сергеляхское шоссе Sergelyakhskoe highway	62°00′25,30″N, 129°37′14,69″E	165,5	2,1
8	Ул. Ярославского Yaroslavsky st.	62°01′29,87″N, 129°43′46,76″E	194,8	2,4
9	Вилюйский переулок Vilyuysky lane	62°02′22,09″N, 129°41′24,39″E	198,1	2,5
10	Ул. Чернышевского Chernyshevsky st.	61°59′56,07″N, 129°42′46,92″E	220,5	2,8
	Максимальные Maximum			
11	Автострада 50 лет Октября Freeway 50 years of October	62°03′56,60″N, 129°44′28,47″E	285,1	3,6
12	Вилюйский переулок Vilyuysky lane	62°02′21,72″N, 129°41′19,98″E	310,8	3,9
13	Ул. Чернышевского Chernyshevsky st.	62°00′15,33″N, 129°42′59,43″E	368,8	4,6
14	Московская набережная Moskovskaya embankment	62°01′32,24″N, 129°44′38,13″E	375,2	4,7
15	Сергеляхское шоссе Sergelyakhskoe highway	62°00′36,51″N, 129°37′13,58″E	498,9	6,2

ных по ОМВ исследуемых почвогрунтов (84 %) характеризует их степень техногенного загрязнения как допустимую и умеренную, а меньшая (16 %) – как опасную и чрезвычайно опасную. Таким образом, итоговая оценка экологического состояния почвогрунтов, осуществленная посредством магнитометрической съемки с использованием показателя ОМВ, абсолютно подтверждает правильность произведенной оценки, которая полностью совпадает с результатами исследователей, полученными другими методами с привлечением иных показателей (ПДК, КЗК, Zc, биотестирование фитотоксичности) [1, 3–5, 8, 9].

С учетом всего вышесказанного, а также отмечаемым устойчивым ростом численности населения г. Якутск и, как следствие, возрастанием антропогенной и техногенной нагрузки на городские почвогрунты, является целесообразной организация сети мониторинговых наблюдений (табл. 5).

Данная сеть в настоящее время включает около 50 точек в соответствии с их магнитными характеристиками, полученными впервые в 2020 г. Характеризуя в настоящее время техногенное загрязнение изучаемых почвогрунтов, необходимо отметить его чрезвычайно контрастный или пятнистый характер. Так в изученных почвогрунтах, расположенных вдоль Вилюйского переулка, одновременно отмечаются точки с допустимой (т. 5), умеренной (т. 9) и опасной (т. 12) степенью техногенного загрязнения (см. табл. 5). Такая же тенденция отмечается и для других улиц и районов г. Якутск (см. табл. 1). Последнее обусловлено не только высокой контрастностью распространения техногенных загрязнений в пределах различных районов города, но также и работами по реконструкции и ремонту дорог, а также озеленению городских территорий, в ходе которых происходит существенное изменение состава исследуемых почвогрунтов.

Выводы

1. Впервые проведено определение ОМВ техногенно-загрязненных почвогрунтов г. Якутск, сформированных на многолетнемерзлых породах и функционирующих в условиях криоаридного климата Центральной Якутии. При этом весь массив данных ($n = 444$ измерения) был разбит на семь рангов с шагом $50 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ. Основная масса полученных величин (84 %) укладывалась в интервалы значений до $250 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, а меньшая часть таковых (16 %) попадала в интервалы значений $>250 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ.

2. Величины ОМВ почвогрунтов г. Якутск изменяются значительно, при среднем значении $163{,}5 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, предел изменения составлял $13{,}2–1220{,}0 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, т. е. почти на три порядка величин (10^3), что указывает на высокую вариабельность изменения данного показателя V = 64 %. Также значительно варьируют и средние величины ОМВ, полученные для почвогрунтов отдельных улиц и районов города, изменяясь от 80,3 до $314{,}6 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ.

3. Среднее значение ОМВ почвогрунтов г. Якутск сопоставимо с таковыми, определенными для отдельных промышленных районов г. Москва ($160–180 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ), г. Пермь ($183 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ), г. Медногорск ($158 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ), и в то же время значительно выше величин, полученных для крупных промышленно развитых городов Китая, таких как Ханьчжоу и Лоян ($128 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ). Также установлено, что суммарный показатель загрязнения данных почвогрунтов ТМ (Zc) связан с показателем ОМВ сильной положительной ($r = 0{,}937$) статистически значимой ($n = 8$, $r_{st} = 0{,}707$, $p = 0{,}95$) корреляционной связью, практически приближающейся к линейной зависимости.

Литература

1. *Торговкин Н.В.* Геохимические особенности техногенных грунтов криолитозоны на примере территории г. Якутска: Автореф. канд. геол.-мин. наук. Якутск, 2017. 21 с.

2. *Соломонов Н.Г., Ремигайло П.А., Десяткин Р.В., Охлопков И.М., Исаев А.П., Захарова В.И.* Биоэкологические проблемы крупного города на Севере (на примере г. Якутск) // Вестник СВФУ. 2011. Т. 8, № 4. С. 32–39.

3. *Сивцева Н.Е.* Экогеохимические особенности формирования урбаноземов в условиях криолитозоны (на примере г. Якутска): Автореф. на канд. биол. наук. Якутск, 2012. 23 с.

4. *Саввинов Д.Д., Макарова М.П., Тимофеев А.Г., Ковальский Д.В.* Микроэлементы в почвах пригородной зоны г. Якутска // Наука и образование. 2014. № 2. С. 7–10.

5. *Сивцева Н.Е., Легостаева Я.Б., Макаров В.С., Васильев Н.Ф.* Экологическая оценка состояния территории г. Якутск по суммарному показателю загрязнения почвенного покрова // Вестник СВФУ. 2011. Т. 8, № 2. С. 30–35.

6. *Макаров В.Н.* Эколого-геохимическая оценка техногенного воздействия на окружающую среду Якутии // География и природные ресурсы. 2010. № 1. С. 45–48.

7. *Щелчкова М.В., Жерготова М.С.* Ферментативная активность мерзлотной лугово-черноземной по-

чвы транспортной зоны «Аэропорт – Якутск» // Наука и образование. 2014. № 2. С. 14–18.

8. *Макаров В.Н., Торговкин Н.В.* Геохимическая характеристика техногенных отложений (культурного слоя) в криолитозоне // Наука и образование. 2017. № 3. С. 38–45.

9. *Солдатова В.Ю., Шадрина Е.Г., Карпова С.Д.* Биотестирование фитотоксичности почвогрунтов г. Якутска с использованием теста – объекта овса посевного *Avena Sativa* L. // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2018. Т. 24, № 2. С. 76–86.

10. *Макаров В.Н., Торговкин Н.В.* Загрязнение атмосферы города Якутска взвешенными веществами // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2020. Т. 25, № 1. С. 43–50.

11. *Бабанин В.Ф., Трухин В.И., Карпачевский Л.О., Иванов А.В., Морозов В.В.* Магнетизм почв. Ярославль: ЯГТУ, 1995. 223 с.

12. *Mullins C.E.* Magnetic susceptibility of the soils and its significance in soil science – a review // Journal of Soil Science. 1977. Vol. 28. P. 223–246.

13. *Гладышева М.А., Иванов А.В., Строганова М.Н.* Выявление ареолов техногенно-загрязненных почв Москвы по их магнитной восприимчивости // Почвоведение. 2007. № 2. С. 235–242.

14. *Водяницкий Ю.Н., Васильев А.А., Лобанова Е.С.* Загрязненность тяжелыми металлами и металлоидами почв г. Пермь // Агрохимия. 2009. № 4. С. 60–68.

15. *Водяницкий Ю.Н., Шоба С.А.* Магнитная восприимчивость как индикатор загрязнения тяжелыми металлами городских почв (обзор литературы) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2015. № 1. С. 13–20.

16. *Латышенко К.П., Разумовская М.Ю.* Экспресс-контроль городских почв на содержание тяжелых металлов // Мир измерений. 2011. № 7. С. 39–41.

17. *Васильев А.А., Лобанова Е.С.* Картосхема магнитной восприимчивости почвенного покрова г. Перми // Пермский аграрный вестник. 2013. № 3(3). С. 24–27.

18. *Решетников М.В., Гребенюк Л.В., Кузнецов В.В.* Пространственное распределение магнитной восприимчивости почв в пределах города Медногорска (Оренбургская область) // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. № 3(178). С. 177–182.

19. *Макаров О.А., Кубарев Е.Н., Чистова О.А., Карева О.В., Крикуненко А.С., Балджиев А.С.* Магнитная восприимчивость почв на придорожных территориях // Земледелие. 2019. № 2. С. 17–20.

20. *Lu S.G., Bou S.Q.* Study on the correlation of magnetic properties an heavy metals content in urban soils of Hagzhou city, China // J. Appl. Geophys. 2006. Vol. 60. P. 1–12.

21. *Lu S.G., Bou S.Q., Xue G.F.* Magnetic properties as indicators of heavy metals pollution in urban topsoils: a case study from the city of Luoyang, China // Geophys. J. Intern. 2007. Vol. 171. P. 568–580.

22. *Golden N., Potito A.P., Zhang C., Morrison L., Gipson P.J.* Spatial patterns of metal contamination and magnetic susceptibility of soils at an Urban Bonfire site // Applied Geochemistry. 2015. Vol. 52. P. 86–96.

23. *Макаров О.А., Яковлев А.С., Тощева Г.П., Иванов А.В.* Магнитная восприимчивость почв железнодорожных объектов ЦАО города Москвы // Экологическая безопасность. 2013. № 2. С. 71–73.

24. *Чевычелов А.П., Скрыбыкина В.П., Васильева Т.И.* Географо-генетические особенности формирования свойств и состава мерзлотных почв Центральной Якутии // Почвоведение. 2009. № 6. С. 648–657.

25. *Климат* Якутска / Под ред. Ц.А. Швер, С.А. Изюменко. Л.: Гидрометеоиздат, 1982. 247 с.

26. *Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А.* Методы исследования физических свойств почв и грунтов. М.: Высшая школа, 1973. 399 с.

27. *Якутск*: географический атлас. М.: Комитет по геодезии и картографии РФ, 1992. 56 с.

28. *Якутск*: картографический атлас. Якутск: Медиа-холдинг «Якутия», 2012. 232 с.

29. *Дмитриев Е.А.* Математическая статистика в почвоведении. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. 328 с.

30. *Численность* населения городов Китая. URL: http://comparecites.org/ru/compare/Hangzl (дата обращения: 01.11.2020).

31. *Численность* населения 100 крупнейших городов России. URL:http://www.sites.google.com/site/ruregdatav1/largest_cities_russia (дата обращения: 01.11.2020).

32. *Способ* определения техногенного загрязнения почв и донных осадков металлами: пат. 2110068 Рос. Федерация. № 93030153/28/ Молостовский Э.А., Еремин В.Н; заявл. 10.06.93, 2с.

33. *Павлов П.Д., Букатин М.Д., Решетников М.В., Еремин В.Н.* Состояние почвенного покрова в зоне влияния полигона твердых бытовых отходов (на примере Балаковского полигона Саратовской области) // Аграрный научный журнал. 2015. № 2. С. 21–25.

Поступила в редакцию 25.01.2021
Принята к публикации 26.02.2021

Об авторах

ЧЕВЫЧЕЛОВ Александр Павлович, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 41, https://orcid.org/0000-0002-2668-9745, Researcher ID: D-7565-2018, chev.soil@list.ru;

АЛЕКСЕЕВ Алексей Алексеевич, лаборант, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 41,
https://orcid.org/0000-0003-0041-7458, alex3.fromru@gmail.com;

КУЗНЕЦОВА Любовь Ивановна, инженер-исследователь, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 41,
https://orcid.org/0000-0001-8374-4782, likkol@yandex.ru.

Информация для цитирования

Чевычелов А.П., Алексеев А.А., Кузнецова Л.И. Использование показателя магнитной восприимчивости почв для оценки экологического состояния почвогрунтов г. Якутска // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2021. Т. 26, № 1. С. 78–92. https://doi.org/10.31242/2618-9712-2021-26-1-8

DOI 10.31242/2618-9712-2020-26-1-8

The use of the magnetic susceptibility index of soils for the assessment of the ecological state of the soils in Yakutsk

A.P. Chevychelov*, A.A. Alekseev, L.I. Kuznetsova

Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk, Russia,
**chev.soil@list.ru*

Abstract. *For the first time, the volume magnetic susceptibility (VMS) was determined for technogenically polluted soils of Yakutsk formed on permafrost and functioning in the cryoarid climate of Central Yakutia. Magnetometric survey was carried out over the territory of the modern city of Yakutsk using an arbitrary observation network, and 444 measurements of soil VMS were made using a small-sized KM-7 kappameter. The values of soil VMS in Yakutsk vary significantly, with the average value equal to 163,5·10^{-5} Si units. This parameter varies within the range 13,2-1220,0·10^{-5} Si units, that is, almost three orders of magnitude (10^{3}), which points to its high variability while the variation coefficient is V = 64 %. The average values of VMS obtained for the soils of individual streets and districts of the city vary significantly, too: from 80,3 to 314,6·10^{-5} Si units, which is almost 4 times. A histogram of the VMS of soils in Yakutsk was compiled, when the entire data array was divided into 7 ranks or classes with a step equal to 50·10^{-}5 Si units. As a result, the majority of all values (84 %) fit within the range up to 250·10^{-5} Si units, while only 16 % of the total number of measurements were above 250·10^{-5} Si units. According to the results of the study, it was also found that the total indicator of contamination of the studied soils with heavy metals (Zc) is associated with the VMS indicator with a strong positive (r = 0,937) statistically significant (n = 8, r_{st} = 0,707, p = 0,95) correlation, almost approaching a linear relationship. The average VMS of the Yakutsk soils is comparable with the values determined for the industrial districts of Moscow (160–180·10^{-5} Si units), Perm (183·10^{-5} units Si), Mednogorsk (158·10^{-5} Si units), but at the same time it is much larger than the values obtained for large industrial cities in China, such as Hangzhou and Luoyang (128·10^{-5} Si units).*

Key words: cryolithozone, Yakutsk, technogenically polluted soils, magnetic susceptibility.

Acknowledgements. *The research was carried out within the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme No. 0297-2021-0027, reg. No. AAAA-A21-121012190033-5).*

References

1. *Torgovkin N.V.* Geohimicheskie osobennosti tekhnogennyh gruntov kriolitozony na primere territorii g. Yakutska: Avtoref. na soisk. uchenoj step. kand. Yakutsk, 2017. 21 p.

2. *Solomonov N.G., Remigajlo P.A., Desyatkin R.V., Ohlopkov I.M., Isaev A.P., Zaharova V.I.* Bioekologicheskie problemy krupnogo goroda na Severe (na primere g. Yakutska) // Vestnik SVFU. 2011. Vol. 8, No. 4. P. 32–39.

3. *Sivceva N.E.* Ekogeohimicheskie osobennosti formirovaniya urbanozemov v usloviyah kriolitozony (na primere g. Yakutska): avtoref. na soisk. uchenoj step. kand. biol. nauk. Yakutsk, 2012. 23 p.

4. *Savvinov D.D., Makarova M.P., Timofeev A.G., Koval'skij D.V.* Mikroelementy v pochvah prigorodnoj zony g. Yakutska // Nauka i obrazovanie. 2014. No. 2. P. 7–10.

5. *Sivceva N.E., Legostaeva Ya.B., Makarov V.S., Vasil'ev N.F.* Ekologicheskaya ocenka sostoyaniya territorii g. Yakutska po summarnomu pokazatelyu zagryazneniya pochvennogo pokrova // Vestnik SVFU. 2011. Vol. 8, No. 2. P. 30–35.

6. *Makarov V.N.* Ekologo-geohimicheskaya ocenka tekhnogennogo vozdejstviya na okruzhayushchuyu sredu Yakutii // Geografiya i prirodnye resursy. 2010. No. 1. P. 45–48.

7. *Shchelchkova M.V., Zhergotova M.S.* Fermentativnaya aktivnost' merzlotnoj lugovo-chernozemnoj pochvy transportnoj zony «Aeroport – Yakutsk» // Nauka i obrazovanie. 2014. No. 2. P. 14–18.

8. *Makarov V.N., Torgovkin N.V.* Geohimicheskaya charakteristika tekhnogennyh otlozhenij (kul'turnogo sloya) v kriolitozone // Nauka i obrazovanie. 2017. No. 3. P. 38–45.

9. *Soldatova V.Yu., Shadrina E.G., Karpova S.D.* Biotestirovanie fitotoksichnosti pochvogruntov g. Yakutska s ispol'zovaniem testa – ob″ekta ovsa posevnogo Avena Sativa L. // Prirodnye resursy Arktiki i Subarktiki. 2018. Vol. 24, No. 2. P. 76–86.

10. *Makarov V.N., Torgovkin N.V.* Zagryaznenie atmosfery goroda Yakutska vzveshennymi veshchestvami // Prirodnye resursy Arktiki i Subarktiki. 2020. Vol. 25, No. 1. P. 43–50.

11. *Babanin V.F., Truhin V.I., Karpachevskij L.O., Ivanov A.V., Morozov V.V.* Magnetizm pochv. Yaroslavl': YAGTU, 1995. 223 p.

12. *Mullins C.E.* Magnetic susceptibility of the soils and its significance in soil science – a review // Journal of Soil Science. 1977. Vol. 28. P. 223–246.

13. *Gladysheva M.A., Ivanov A.V., Stroganova M.N.* Vyyavlenie areolov tekhnogenno-zagryaznennyh pochv Moskvy po ih magnitnoj vospriimchivosti // Pochvovedenie. 2007. No. 2. P. 235–242.

14. *Vodyanickij Yu.N., Vasil'ev A.A., Lobanova E.S.* Zagryaznennost' tyazhelymi metallami i metalloidami pochv g. Perm' // Agrohimiya. 2009. No. 4. P. 60–68.

15. *Vodyanickij Yu.N., Shoba S.A.* Magnitnaya vospriimchivost' kak indikator zagryazneniya tyazhelymi metallami gorodskih pochv (obzor literatury) // Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 17. Pochvovedenie. 2015. No. 1. P. 13–20.

16. *Latyshenko K.P., Razumovskaya M.Yu.* Ekspress-kontrol' gorodskih pochv na soderzhanie tyazhelyh metallov // Mir izmerenij. 2011. No. 7. P. 39–41.

17. *Vasil'ev A.A., Lobanova E.S.* Kartoskhema magnitnoj vospriimchivosti pochvennogo pokrova g. Permi // Permskij agrarnyj vestnik. 2013. No. 3(3). P. 24–27.

18. *Reshetnikov M.V., Grebenyuk L.V., Kuznecov V.V.* Prostranstvennoe raspredelenie magnitnoj vospriimchivosti pochv v predelah goroda Mednogorska (orenburgskaya oblast') // Vestnik orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. 2015. No. 3(178). P. 177–182.

19. *Makarov O.A., Kubarev E.N., Chistova O.A., Kareva O.V., Krikunenko A.S., Baldzhiev A.S.* Magnitnaya vospriimchivost' pochv na pridorozhnyh territoriyah // Zemledelie. 2019. No. 2. P. 17–20.

20. *Lu S.G., Bou S.Q.* Study on the correlation of magnetic properties an heavy metals content in urban soils of Hagzhou city, China // J. Appl. Geophys. 2006. Vol. 60. P. 1–12.

21. *Lu S.G., Bou S.Q., Xue G.F.* Magnetic properties as indicators of heavy metals pollution in urban topsoils: a case study from the city of Luoyang, China // Geophys. J. Intern. 2007. Vol. 171. P. 568–580.

22. *Golden N., Potito A.P., Zhang C., Morrison L., Gipson P.J.* Spatial patterns of metal contamination and magnetic susceptibility of soils at an Urban Bonfire site // Applied Geochemistry. 2015. Vol. 52. P. 86–96.

23. *Makarov O.A., Yakovlev A.S., Toshcheva G.P., Ivanov A.V.* Magnitnaya vospriimchivost' pochv zheleznodorozhnyh ob'ektov CAO goroda Moskvy // Ekologicheskaya bezopasnost'. 2013. No. 2. P. 71–73.

24. *Chevychelov A.P., Skrybykina V.P., Vasil'eva T.I.* Geografo-geneticheskie osobennosti formirovaniya svojstv i sostava merzlotnyh pochv Central'noj Yakutii // Pochvovedenie. 2009. No. 6. P. 648–657.

25. *Klimat* Yakutska / Pod red. C.A. Shver, S.A. Izyumenko. L.: Gidrometeoizdat, 1982. 247 p.

26. *Vadyunina A.F., Korchagina Z.A.* Metody issledovaniya fizicheskih svojstv pochv i gruntov. M.: Vysshaya shkola, 1973. 399 p.

27. *Yakutsk*: geograficheskij atlas. M.: Komitet po geodezii i kartografii RF, 1992. 56 p.

28. *Yakutsk*: kartograficheskij atlas. Yakutsk: Mediya-holding «Yakutiya», 2012. 232 p.

29. *Dmitriev E.A.* Matematicheskaya statistika v pochvovedenii. M.: Knizhnyj dom «LIBROKOM», 2009. 328 p.

30. *Chislennost'* naseleniya gorodov Kitaya. URL: http://comparecites.org/ru/compare/Hangzl (data obrashcheniya: 01.11.2020).

31. *Chislennost'* 100 krupnejshih gorodov Rossii. URL: http://www.sites.google.com/site/ruregdatav1/largest_cities_russia (data obrashcheniya: 01.11.2020).

32. *Sposob* opredeleniya tekhnogennogo zagryazneniya pochv i donnyh osadkov metallami: pat. 2110068 Ros. Federaciya. N 93030153/28/ Molostovskij E.A., Eremin V.N; zayavl. 10.06.93, 2s.

33. *Pavlov P.D., Bukatin M.D., Reshetnikov M.V., Eremin V.N.* Sostoyanie pochvennogo pokrova v zone vliyaniya poligona tverdyh bytovyh othodov (na primere Balakovskogo poligona Saratovskoj oblasti) // Agrarnyj nauchnyj zhurnal. 2015. No. 2. P. 21–25.

About the authors

CHEVYCHELOV Alexander Pavlovich, Dr. Sci. (Biology), chief researcher, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk 677000, Russia,
https://orcid.org/0000-0002-2668-9745, ID-7565-2018, chev.soil@list.ru;

ALEKSEEV Alexey Alekseevich, Laboratory Assistant, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk 677000, Russia,
https://orcid.org/0000-0003-0041-7458, alex3.fromru@gmail.com;

KUZNETSOVA Lyubov Ivanovna, Research Engineer, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk 677000, Russia,
https://orcid.org/0000-0001-8374-4782, likkol@yandex.ru.

Citation

Chevychelov A.P., Alekseev A.A., Kuznetsova L.I. The use of the magnetic susceptibility index of soils for the assessment of the ecological state of the soils in Yakutsk // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2021. Vol. 26, No. 1. pp. 78–92. (In Russ.) https://doi.org/10.31242/2618-9712-2021-26-1-8

УДК 595.78:631.613(571.56-25)
DOI 10.31242/2618-9712-2021-26-1-9

О новой вспышке массового размножения сибирского шелкопряда (*Dendrolimus suberans sibiricus* Tschetv.) в Центральной Якутии

А.П. Бурнашева*, Н.Н. Винокуров, Т.Г. Евдокарова, А.А. Попов

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия
**a_burnacheva@mail.ru*

Аннотация. *В статье приведены новые сведения о вспышке численности сибирского шелкопряда в окрестностях г. Якутск в 2020 г., которая возникла на месте затухшего очага, действовавшего в 1999–2001 гг. Обсуждены сезонная динамика численности вредителя, активность энтомофагов и предварительный прогноз на следующий год.*

Июньские учеты 2020 г. показали, что в очаге одинаково развивались четное и нечетное колена вредителя и среднее число гусениц на 1 дерево достигало 126,5 особей. Наибольшая численность гусениц (214,4 экз./дерево) зарегистрирована в разнотравно-брусничном лиственничнике, где доминировали гусеницы старших возрастов (64 %). Также в очаге наблюдался подъем численности гусениц Calliteara abietis Den. & Schiff. В июле средняя численность вредителя составляла 73,2 экз./дерево, преобладали зимующие гусеницы IV возраста нечетного колена. Коконы шелкопряда на деревьях обнаруживались с третьей декады июня, вылет бабочек нового поколения и начало откладки яиц регистрировались в I декаде июля.

В очаге отмечается высокая активность энтомофагов-паразитов – гусениц мух семейства Tachinidae (57,1 %) и наездников-яйцеедов (до 77,1 %, доминант – Telenomus tetratomus Kieffer). Уровень плотности зимующих гусениц в лесной подстилке оценивается как средний (55,8 экз./м^2), из них гусеницы младшего (II–III) возраста составляют только 24,2 %.

Ключевые слова: сибирский шелкопряд, вспышки массового размножения, лиственничные леса, энтомофаги, Центральная Якутия.

Благодарности. *Авторы выражают благодарность своим коллегам-энтомологам за участие в сборе материала, а также д.б.н. А.И. Ануфриеву (ИБПК СО РАН) за ценные советы при работе с температурными датчиками и Н.С. Бабичеву (Институт леса им. В.Н. Сукачева, Красноярск) за помощь в поиске литературы по сибирскому шелкопряду.*

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по проекту «Популяции и сообщества животных водных и наземных экосистем криолитозоны восточного сектора российской Арктики и Субарктики: разнообразие, структура и устойчивость в условиях естественных и антропогенных воздействий» (тема № 0297-2021-0044, ЕГИСУ НИОКТР № 121020500194-9).

Введение

Сибирский шелкопряд (*Dendrolimus sibiricus* Tschetverikov, 1908) входит в список наиболее опасных карантинных вредителей леса Российской Федерации. Первые упоминания о вспышках массового размножения этого вида в отечественной литературе появились еще во второй половине XIX в. За этот период им уничтожены миллионы гектаров ценнейших таежных кедровых, пихтовых и лиственничных лесов Сибири, включая и Якутию [1–4]. Ареал вредителя широко простирается от побережья Тихого океана до европейской части России, на юге встречается в таежной части северо-востока Китая, Казахстана, Северной Монголии и Кореи [5, 6]. В последнее время шелкопряд распространяется на запад со скоростью 12–50 км в год, в связи с чем Европейско-средиземноморская организация по защите растений внесли его в список карантинных видов, представляющих потенциальную опасность хвойным лесам Западной Европы [7].

В Якутии сибирский шелкопряд распространен в среднетаежной подзоне – юго-западных, вилюйских и центральных районах [8–9]. Но массовые размножения происходят в лиственничных лесах Приленья и Лено-Алданского во-

© Бурнашева А.П., Винокуров Н.Н., Евдокарова Т.Г., Попов А.А., 2021

дораздела, которые по лесопатологическому зонированию Сибири и Дальнего Востока относятся к районам наибольшей вредоносности [10].

По данным Е.С. Петренко [11] и Ю.Н. Аммосова [12, 13], в Якутии регулярные вспышки численности шелкопряда регистрировались с начала прошлого века в ряде приленских (Ленском, Олекминском, Хангаласском, Намском), во всех заречных, а также Усть-Майском улусах. Во 2-й половине XX в. сильные вспышки численности вредителя в древостоях лиственницы Каяндера (*Larix kajanderi*) отмечались в 1948–1954, 1979 гг. в Хангаласском, в 1969 г. Намском, в 1970–1980-х гг. в Амгинском, Горном и Усть-Майском лесхозах. Массовое размножение шелкопряда в 1999–2001 гг. в приленских и заречных улусах общей площадью 6,5 млн га известно как самое крупное из всех регистрировавшихся в Якутии [14–16]. В начале XXI в. локальные подъемы численности вредителя отмечались в резерватах на территории Амгинского, Мегино-Кангаласского, Таттинского, Чурапчинского и других улусов [17–22].

В 2020 г. в Центральной Якутии реализовалась новая вспышка численности сибирского шелкопряда. Первые сигналы о дефолиации лиственничников в левобережье Лены поступили в последних числах мая, и к 2 июня сотрудниками Россельхознадзора и Департамента лесного надзора и охраны лесов было зарегистрировано увеличение численности вредителя на территории Хангаласского, Мархинского и Якутского участковых лесничеств. По данным Министерства природопользования, экологии и лесного хозяйства РС (Я), по состоянию на 29 июня 2020 г. установленная специалистами филиала ФБУ «Рослесозащита» «Центра защиты лесов Республики Бурятия» площадь распространения сибирского шелкопряда составила 54341 га, из которых большая часть пришлась на территорию Якутского лесничества – 38 890,4 га. Очаги шелкопряда в окрестностях Якутска выявлены в районе Табагинского мыса по Покровскому тракту, Вилюйском тракте (13–15-й км) и в Тулагино-Кильдямском наслеге (24-й км Намского тракта). По результатам этих исследований Управление Федеральной службы по ветеринарному и фитосанитарному надзору РС (Я) установило карантинные зоны в окрестностях г. Якутск и центральных районах на площади около 2,6 млн га.

Границу очагового распространения шелкопряда точно описывает температурный критерий – средняя многолетняя температура августа +13,5 °С [23]. Возникновение очагов массового размножения шелкопряда происходит при синхронизации собственного видоспецифичного спектра циклов с местными климатическими колебаниями. Массовые появления вредителя в Якутии регистрируются с периодичностью примерно 8–12 лет и им предшествуют периоды продолжительных засух. Большое значение при формировании вспышки имеют также такие факторы как снижение численности естественных врагов и физиологическое ослабление древостоев в результате антропогенного воздействия и лесных пожаров [14, 24]. Кроме того, определяющее значение в интенсивном размножении вида имеют высокие, выше 16 °С, среднемесячные температуры июля [25], которые в Центральной Якутии, по многолетним данным метеостанций, практически всегда выше этого показателя [26]. Таким образом, помимо температурного фактора, определяющую роль в возникновении и развитии очага играют дефицит осадков в летний период и малоснежные зимы, ограничивающие выживаемость перезимовывающих насекомых-энтомофагов [27, 28].

Отличительной особенностью последних вспышек является приуроченность очагов к участкам лиственничной тайги, произрастающих вокруг населенных пунктов. Эти леса находятся под сильным антропогенным прессом – выпасом скота, тронуты лесными пожарами, подвержены бессистемным рубкам. Наиболее сильно повреждаются средневлажные лиственничники разнотравно-брусничные и брусничные, произрастающие на пологих склонах и в верхней части водоразделов [9, 29]. Таким образом, изучение биологии и выявление природных закономерностей, обусловливающих динамику популяции сибирского шелкопряда в условиях густонаселенной части Центральной Якутии, совершенно необходимо для разработки мер прогнозирования и обоснования системы лесозащитных мероприятий.

Материал и методы исследования

Обследование древостоев проводилось на территории Якутского лесничества в лесных насаждениях по левой стороне Покровского тракта южнее Якутска, которые в 1999–2001 гг. также подвергались нападению шелкопряда.

В качестве основного метода учета был принят метод околота гусениц на полог [30]. Согласно методике, для околота выбирались модель-

ные деревья диаметром ствола 10–20 см, в учет брались гусеницы всех возрастов, падающие с кроны на полог от сотрясения ветвей при ударе «колотом». Недостатками этого метода является то, что при околоте гусеницы I возраста зависают в образуемых ими паутинках, а в VI возрасте они могут очень крепко удерживаться на ветках и не падать на полог, поэтому в этих группах учетные данные могут быть занижены [31].

Учеты проведены на трех участках, испытывающих средний антропогенный пресс от непосредственной близости автодороги, старой выборочной рубки и замусоренности:

1) разнотравно-брусничный лиственничник с примесью березы в окрестностях с. Табага, на 29-м км Покровского тракта (61°59′52″ N, 129°42′43″ E). Сомкнутость крон 55 %, основная растительность: брусника, грушанка красная, шиповник иглистый, голубика, герань луговая, вика приятная и др.;

2) разнотравно-мертвопокровно-брусничный лиственничник с примесью березы на 35-м км Покровского тракта (61°49′55″ N, 129°31′15″ E). Сомкнутость крон 60 %, основная растительность: брусника, кровохлебка аптечная, вика приятная, шиповник иглистый, голубика, гвоздичные и др.;

3) разнотравно-брусничный лиственничник с примесью березы в районе 32-го км Покровского тракта (61°49′52″ N, 129°31′17″ E). Сомкнутость крон 45 %, основная растительность: грушанка красная, шиповник иглистый, водосбор сибирский, земляника восточная, княженика, брусника, мхи, береза.

Также в первой половине августа были проведены *учеты зараженности яиц* шелкопряда яйцеедами. Учет запасов зимующих гусениц в подстилке был проведен в конце сентября в пределах проекции кроны модельных деревьев на квадратах 0,5×0,5 м на глубину залегания вредителя, который не превышал 10 см [32]. Температура воздуха на исследованных площадках приводится по данным датчиков-логгеров, установленных в кроне на высоте 3 м.

Таким образом, в период со 2 июня по 24 сентября всего было проведено 40 учетов численности преимагинальных фаз шелкопряда. Объем изученного материала составил 3518 гусениц, 70 куколок, 29 имаго и 961 яйцо.

Результаты и обсуждение.

Сезонная динамика численности. Июньские учеты численности гусениц и куколок проведены в I и III декадах на трех площадках со степенью пораженности кроны от 30 до 45 %, где было взято 14 модельных деревьев (табл. 1). Высота деревьев составляла 7–13 м при диаметре ствола на уровне груди 10–18 см, высоте кроны

Таблица 1

Численность и доля по возрастам гусениц сибирского шелкопряда в июне 2020 г. (экз./дерево)

Table 1

Number and proportion by instars of Siberian moth larvae in June 2020 (specimen/tree)

Тип лиственничника Type of Larch forest	Степень дехромации, % Dechromation degree, %	Число модельных деревьев Number of model trees	Количество гусениц, экз./дерево Number of larvae, spec./tree			Доля гусениц по возрастам, % Proportion by larvae instars, %			
			средн. average	min	max	III	IV	V	VI
1) разнотравно-брусничный herb-lingonberry	45	5	214,4	152	263	2,9	32,3	14,2	50,6
2) разнотравно-мертвопокровно-брусничный herb-dead-cover-lingonberry	30	5	113,2	60	225	8,8	53,3	15,3	22,6
3) разнотравно-брусничный herb-lingonberry	45	4	52	15	98	3,4	58,2	26	12,4



Рис. 1. Поврежденный лиственничный лес на 29–32-м км Покровского тракта.

Fig. 1. Damaged larch forest in 29–32nd km of the Pokrovsk road.



Рис. 2. Гусеницы на подросте лиственницы Каяндера.

Fig. 2. Larvae on undergrowth of larch (*Larix cajanderi*).

от земли 4,5−5 м и ширине 2,2−6 м. В этот период с возвышенных участков дороги визуально четко наблюдались степень дефолиации лиственницы и границы поврежденных насаждений. Как и в годы предыдущих вспышек, в конце мая и начале июня на асфальтовом покрытии дороги отмечалось большое количество гусениц V–VI возрастов, а в самом лесу на подросте лиственницы – гусеницы III–V возрастов (рис. 1, 2).

Наибольшая численность гусениц отмечена в разнотравно-брусничном лиственничнике (214,4 экз./дерево). Здесь преобладали гусеницы старших возрастов (64 %), что указывает на преобладание четного колена вредителя. Помимо высокой плотности гусениц, сильная дефолиация лиственницы на этом участке связана также и со значительным количеством гусениц VI возраста, которые, как известно, потребляют около 90 % суммарной массы потребленного корма за весь период развития [33]. Напротив, на двух других участках доминировали гусеницы нечетного колена, т. е. III и IV возраста (62,1 и 61,6 %), которые осенью должны уйти на вторую зимовку. Таким образом, в текущем году наблюдалось равномерное развитие обоих колен вредителя. Также в шелкопрядниках отмечено увеличение численности сателлита шелкопряда шерстолапки хвойной (*Calliteara abietis* ([Denis & Schiffermüller], 1775)) из семейства волнянок (Lymantriidae) Кроме того, в учетах часто попадались гусеницы совок (Noctuidae), пядениц (Geometridae) и жуки-златки (Buprestidae).

Начало окукливания гусениц, отмеченное 23 июня, совпало с многолетними фенологическими данными, согласно которым самое раннее появление куколок фиксировалось 12 июня [13]. Несмотря на засушливое и жаркое лето (табл. 2, рис. 3), опережения по срокам развития шелкопряда не прослежено.

В период начала вылета бабочек шелкопряда в I декаде июля учеты проводились на подросте и зрелых деревьях, поэтому анализ обсуждается раздельно.

На пяти деревьях подроста высотой до 4,5 м, диаметром ствола до 5,5 см на уровне груди и со степенью поврежденности кроны 46 % собрано

Таблица 2

Численность гусениц и коконов сибирского шелкопряда в начале июля

Table 2

Number of larvae and cocoons of the Siberian moth in early July

Номер пробы Sample number	Степень дехромации, % Dechromation degree, %	Количество гусениц, экз./дерево Number of larvae, spec./tree				Количество коконов, экз./дерево Number of cocoons, spec./tree				Имаго, экз./дерево Adults, spec./tree	
		III	IV	V	VI	всего	в том числе including			самцы males	самки females
							пустые empty	больные sick	здоровые healthy		
Подрост Undergrowth											
1	40	–	13	–	–	2	1	–	1	–	–
2	40	–	20	1	–	37	2	35	–	1	1
3	60	–	2	–	–	3	–	1	2	–	–
4	45	–	8	–	–	8	–	7	1	–	–
5	45	–	13	–	–	4	1	2	1	–	–
Всего: Total:	46	–	56	1	–	54	4	45	5	1	1
Крупные модельные деревья Large model trees											
1	30	–	51	1	2	3	3	–	–	1	–
2	25	–	103	2	–	3	–	1	2	1	–
3	20	1	65	–	–	1	–	1	–	1	–
4	35	–	88	5	3	5	–	3	2	1	1
5	28	1	43	1	–	2	–	–	2	2	–
Всего: Total:	27,5	2	350	9	5	14	3	5	6	6	1

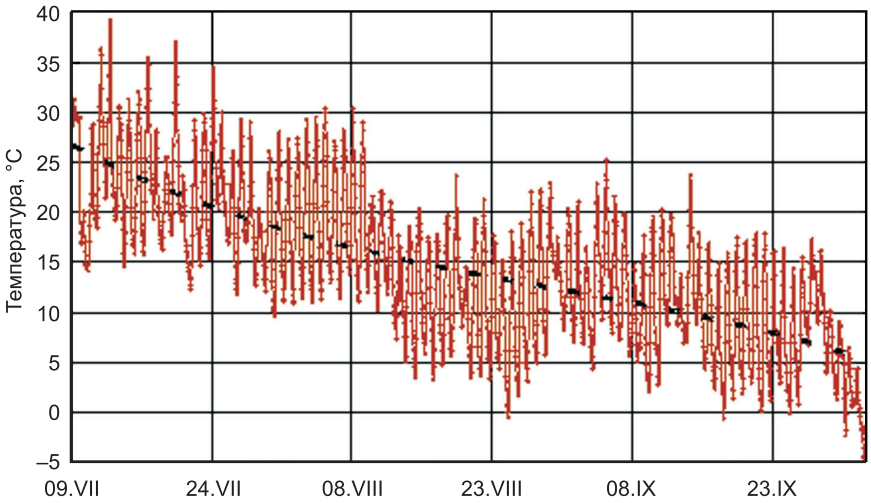


Рис. 3. Динамика суточного хода температуры в сезон исследований.

Fig. 3. Dynamics of the daily course of temperature in the research season.



Рис. 4. Бабочка шелкопряда, только что вышедшая из куколки.

Fig. 4. Butterfly of Siberian moth just emerged from the pupa.

56 гусениц IV возраста, которые уходят на вторую зимовку, 1 гусеница V возраста, 54 кокона и 2 копулирующие имаго (см. табл. 2). Предполагается, что крона этих деревьев преимущественно была заселена вышедшими из подстилки перезимовавшими гусеницами. Из общего числа коконов 4 оказались пустыми, 5 – со здоровыми и 45 с больными (и/или паразитированными) куколками. Таким образом, средняя заселенность подроста лиственницы преимагинальными фазами шелкопряда составила 11,4 гус./дерево и 10,8 кук./дерево, доля зараженных куколок составила 83,3 %.

При учетах околотом больших модельных деревьев (высота 9−13,6 м, диаметр ствола на уровне груди 11–16 см, поврежденность кроны в среднем 27,5 %) собрано 366 гусениц с III по VI возраста (см. табл. 2), а также 14 коконов с куколками. Обнаружено 7 вышедших из куколок бабочек, в основном самцов, что указывает на начало лёта имаго (рис. 4). Из общего числа коконов 3 были пустыми, 6 – здоровыми куколками и 5 – больными и пораженными паразитами. Таким образом, на деревьях крупного размера заселенность составила 73,2 гус./дерево и 2,8 кук./дерево, доля зараженных куколок – 57,1 %.

Так, в учетах I декады июля встречались почти все фазы развития вредителя – гусеницы, куколки и имаго, обнаружены кладки яиц. Это связано с тем, что в природе лиственничная раса сибирского шелкопряда характеризуется более длительным периодом развития гусениц старших возрастов и куколок, более растянутым по времени выходом бабочек и откладкой яиц, а также большей абсолютной и относительной плодовитостью [34], чем одновременно обусловливается и ее большая вредоносность. Отметим, что к этому времени началось отрастание вторичной хвои на деревьях, поэтому доля дехромации визуально снизилась (рис. 5).

В лаборатории 8 и 9 июля из части пораженных куколок шелкопряда вышли 20 личинок двукрылых, которые были помещены в отдельные садки с землей. Из них 5 экземпляров окуклились в пупариях желтоватой и красновато-бурой окраски, из которых позднее выплодились два вида мух семейства Tachinidae – паразитов гусениц сибирского шелкопряда.

Кроме того, три некопулировавшие самки в лабораторных условиях отложили 162 яйца (в среднем по 54 яйца), на 12–14-й дни из 136 яиц отродились гусеницы, т. е. выход составил 84 %. В литературе описывается, что самки сибирского шелкопряда выходят из куколки зрелыми, т. е. в состоянии готовности к копуляции и откладке яиц. У только что окрылившейся бабочки бывает от 100 до 190 зрелых яиц с твердой буро-зеленой оболочкой, у вскрытых через сутки после выхода из куколки самок – уже от 180 до 270 яиц. Бабочки приступают к откладке яиц на ветки, хвою иногда и на ствол лиственницы в первый вечер после спаривания (рис. 6). Неоплодотворенные, как в нашем случае, только что вышедшие из куколки, самки откладывают меньшее количество яиц – до 180 штук [35]. Только что вылупившиеся гусеницы поедают яйцевую оболочку и затем переходят на хвою. Отличительной особенностью гусениц I возраста является способность выделять паутинный секрет, который позволяет им не падать с кормового дерева в ветреные дни. Эта паутина также позволяет молодым гусеницам задерживаться в кроне при околоте или, даже оторвавшись от веток, перенестись с потоком воздуха на растительность вне полога, не попадая в учеты.



Рис. 5. Крона лиственницы Каяндера, поврежденной гусеницами сибирского шелкопряда.

Fig. 5. Crown of Larch (*Larix cajnderi*) damaged by larvae of Siberian moth.



Рис. 6. Яйцекладка сибирского шелкопряда на ветке лиственницы.

Fig. 6. Siberian moth oviposition larch branch.

Численность зимующих гусениц сибирского шелкопряда в лесной подстилке является одним из важных показателей состояния популяции. Их миграция в подстилку регулируется продолжительностью светового дня и начинается в Центральной Якутии с конца августа. По литературным данным, некоторые особи могут оставаться на деревьях до середины сентября, когда

Таблица 3

Плотность зимующих гусениц сибирского шелкопряда в подстилке, экз./м^2

Table 3

Density of wintering larvae of Siberian moth in litter, spec./m^2

Возраст Instar	Доля гусениц по возрастам (%) на площадках по 1 м^2 Proportion of larvae by instars (%) at 1 m^2 plots															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
II	66,7	–	–	–	16,7	5,3	–	–	23	–	–	11,1	14,3	4,1	4,5	5
III	33,3	57,1	66,7	15,4	33,3	21,1	–	30,4	15,5	–	–	11,1	7,1	12,2	13,6	10
IV	–	28,6	33,3	69,2	41,7	52,5	–	43,5	38,5	100	84,6	4,4	42,9	59,2	68,3	55
V	–	14,3	–	15,4	8,3	21,1	100	26,1	23	–	15,4	33,4	35,7	24,5	13,6	30
Всего особей по площадкам: Total specimens per plots M = 55,8 экз./м^2 (spec./m^2)	12	28	12	52	48	76	8	92	52	4	52	36	56	196	88	80

хвоя лиственниц интенсивно желтеет и может уже выпадать снег. Такие гусеницы перестают питаться и остаются неподвижными на стволах в течение суток [14, 35]. Учеты, проведенные 24 сентября 2020 г. на 16 пробных площадках в разнотравно-брусничном лиственничнике, показали, что в связи с теплой осенью некоторая часть гусениц все еще оставалась на стволах. Средняя плотность гусениц составляла 55,8 экз./м^2, при минимальном значении 4 экз./м^2 и максимальном – 196 экз./м^2 (табл. 3). Такие значения плотности относятся к средним запасам зимующих гусениц [32], и в 2021 г. здесь не ожидается сильного повреждения насаждений. Здесь также важно указать, что гусеницы младшего возраста генерации этого года составляли только 24,2 % от всей выборки. Этот положительный в плане прогноза факт является результатом высокой активности паразитов. В середине сезона мухи-тахины – эндопаразиты гусениц, снизили долю вылетающих из куколок бабочек и тем самым сократили интенсивность лёта и спаривания имаго, но решающую роль сыграла деятельность паразитов-яйцеедов, существенно повлиявшая на выплод из яиц гусениц I возраста. Однако настораживает то, что в связи с благоприятными условиями в период лета (отсутствием обильных осадков) мог произойти разлет бабочек на значительные расстояния и в следующем году в подходящих стациях могут возникнуть новые миграционные очаги.

Паразиты и хищники

Основная роль в регулировании численности сибирского шелкопряда принадлежит насекомым-энтомофагам – мухам-тахинам, наездникам и яйцеедам, которые, паразитируя на гусеницах и яйцах, резко сокращают численность вредителя до 1–2 гусениц на одно или несколько деревьев [35]. По литературным данным, общее число хищников и паразитов по всему ареалу сибирского шелкопряда доходит до 66 видов [36], в том числе 1 вид клещей и 65 видов насекомых из отрядов полужесткокрылых (1), двукрылых (20) и перепончатокрылых (44 вида ихневмонид, браконид, хальцид и проктотрупид). На Дальнем Востоке России известно 33 вида первичных паразитов гусениц и куколок сибиряка из отрядов двукрылых (20 видов тахин, мусцид и саркофагид) и перепончатокрылых (13 видов браконид и ихневмонид); на яйцах паразитируют 6 видов перепончатокрылых (сцелиониды, энциртиды, трихограмматиды, эупельмиды, птеромалиды) [37].

В Якутии паразитов и хищников сибирского шелкопряда впервые изучал Ю.Н. Аммосов [13]. В Сатагайском очаге им выявлены: паразит яиц *Telenomus tetraeneus* Thoms., паразиты гусениц – *Apanteles liparidus* Bouche, *Gelis* sp., паразиты куколок – *Theronia atalantae* Poda, *Exorista larvarum* L. и хищный клоп *Troilus luridus* F. В ходе исследований массового размножения вредителя, имевшего место в 1999–2001 гг. в приленских и заречных районах республики, этот спи-

сок был несколько расширен. Это − паразиты яиц *Trichomalus sp*., *Pachyneuron concolor* Först. (= *P. muscarum* L.) (Hymenoptera, Pteromalidae); *Telenomus tetratomus* Thorns (Hymenoptera, Scelionidae); паразиты гусениц *Apanteles liparidis* Bouche (Hymenoptera, Braconidae); куколок – *Exorista fasciata* Fall., *Masicera sphagini* R.D. (Diptera, Tachinidae). В Центральной Якутии в 2000 г. 70–100 % яиц оказалось заражено *Telenomus tetratomus*, что обусловило значительное снижение численности шелкопряда.

Как показали учеты в I декаде июля, доля зараженных куколок на подросте лиственницы составляла 83,3 %, а на крупных модельных деревьях – 57,1 %. Из пораженных куколок впоследствии выплодились два вида мух-тахин. Из всей биологически неоднородной группы паразитов, заканчивающих свое развитие в куколках, тахины являются наиболее эффективными. Согласно исследованиям Н.Г. Коломийца [36], тахина *Masicera zimini* Kol. способна уничтожить до 55 % куколок вредителя в период затухания вспышки; в работе Г.И. Юрченко и Г.И. Туровой [37] указывается, что *Blepharipa schineri* Mg., являясь массовым паразитом сибиряка в Приамурье и Приморье, заражала 50–70 % куколок в фазе кризиса вспышки.

Как показывают многолетние исследования [1, 25, 37, 38], паразиты играют огромную роль в регулировании численности этого опасного вредителя и первостепенное значение в ней имеет активность яйцеедов. Их численность возрастает вслед за ростом плотности хозяина. В очагах шелкопряда она сопряжена с фазами вспышки и максимальной эффективности достигает в эруптивной фазе, когда заражаются до 99 % яиц, после чего вспышка начинает затухать.

Проведенные 6 августа учеты зараженности яиц шелкопряда яйцеедами на разных участках очага шелкопряда по Покровскому тракту показали следующее. Из собранных 279 яиц 19 имели следы выхода гусениц, у 215 – обнаружены летные отверстия паразитов и 45 – оставались целые. Зараженность яйцеедами составила 77,1 %, а успешный выплод гусениц – от 6,8 до 22,9 %. Специалистом по паразитическим перепончатокрылым А.В. Тимоховым (МГУ, Москва) в яйцекладках этого года определены несколько видов паразитов-яйцеедов, среди которых преобладает основной естественный враг шелкопряда *Telenomus tetratomus*. Преобладание теленомуса обеспечивается гетероцикличностью популяции шелкопряда. Помимо них в заспиртованных пробах и в сухом материале имеются наездники-яйцееды из рода *Trichogramma* и хальцидоидные наездники из семейства Pteromalidae (Hymenoptera).

Дальнейшее развитие очагов шелкопряда будет зависеть от условий зимовки энтомофагов. Из-за малой глубины снежного покрова может произойти массовая гибель перезимовывающих в подстилке естественных врагов сибирского шелкопряда и вследствие низкой их численности в следующем сезоне они не смогут контролировать численность вредителя.

Выводы

В Центральной Якутии в 2020 г. отмечена вторая в новом веке вспышка массового размножения сибирского шелкопряда, охватившая лиственничные леса на площади свыше 54 000 га в окрестностях г. Якутск. Обследования в очаге на территории Якутского лесничества по Покровскому тракту, проведенные в начале лета, показали одинаковое соотношение четного и нечетного колен вредителя. На участке разнотравно-брусничного лиственничника доминировали гусеницы V и VI возрастов четного колена (64 %) с численностью 214,4 экз./дерево. На двух других учетных участках превалировали гусеницы нечетного колена младшего, III и IV, возрастов (62,1 и 61,6 % соответственно) с численностью 113,2 и 52 экз./дерево. Вспышка сопровождалось нарастанием численности гусениц шерстолапки хвойной.

Выявлена высокая пораженность популяции вредителя энтомофагами: куколок паразитическими двукрылыми из семейства Tachinidae – до 57,1 % и яиц наездниками-яйцеедами – до 77,1 %. Предварительно определены несколько видов яйцеедов, среди которых преобладал *Telenomus tetratomus* Kieffer, 1906, также обнаружены представители рода *Trichogramma* и семейства Pteromalidae.

Осенние учеты зимующих гусеницы в подстилке показали среднюю плотность 55,8 экз./м^2 (мин. 4 экз./м^2, макс. 196 экз./м^2), что можно отнести к средним запасам. Прогноз развития очага в следующем году зависит от условий зимовки гусениц шелкопряда и его паразитов. Планируется продолжение исследований динамики численности сибирского шелкопряда и биологии его энтомофагов в обнаруженных очагах массового размножения.

Литература

1. *Рожков А.С.* Массовое размножение сибирского шелкопряда и меры борьбы с ним. М.: Наука, 1965. 180 с.

2. *Кондаков Ю.П.* Закономерности массовых размножений сибирского шелкопряда // Экология популяций лесных животных Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1974. С. 206–265.

3. *Баранчиков Ю.Н., Кондаков Ю.П., Петько В.М.* Комплексный мониторинг популяций сибирского шелкопряда // Защита и карантин растений. 2005. Вып. 5. С. 39–40.

4. *Фомин С.Н., Баринов В.В., Мыглан В.С.* Сибирский шелкопряд в Республике Тыва, история исследований. Сибирский лесной журнал. 2019. № 5. С. 3–14. DOI: 10.15372/SJFS20190501.

5. *Чистяков Ю.А., Золотухин В.В., Беляев Е.А.* Сем. Lasiocampidae – Коконопряды // Аннотированный каталог насекомых Дальнего Востока России. Т. II. Lepidoptera – Чешуекрылые / Гл. ред. А.С. Лелей. Владивосток: Дальнаука, 2016. С. 308–314.

6. *Золотухин В.В.* Семейство Lasiocampidae // Каталог чешуекрылых (Lepidoptera) России. Изд-е 2-е. СПб.: Зоолог. ин-т РАН, 2019. С. 281–284.

7. *Кириченко Н.И., Баранчиков Ю.Н., Грегойри Ж.-К, Фламент Ж., Кенис М.* Может ли трофический фактор ограничить распространение сибирского шелкопряда в Европе? // Изв. Санкт-Петербургской лесотехн. акад. 2008. Вып. 182. С. 148–157.

8. *Каймук Е.Л., Винокуров Н.Н., Бурнашева А.П.* Насекомые Якутии. Бабочки. Якутск: Бичик, 2005. 88 с.

9. *Аверенский А.И., Исаев А.П.* Насекомые – главнейшие вредители лесов Якутии. Новосибирск: Наука, 2013. 167 с.

10. *Эпова В.И., Плешанов А.С.* Зоны вредоносности насекомых-филлофагов Азиатской части России. Новосибирск: Наука. Сибирская издат. фирма РАН, 1995. 147 с.

11. *Петренко Е.С.* Насекомые – вредители лесов Якутии. М.: Наука, 1965. 165 с.

12. *Аммосов Ю.Н.* К вопросу о массовом размножении сибирского шелкопряда (*Dendrolimus superans sibiricus* Tschetv.) в Центральной Якутии // Биологические ресурсы суши севера Дальнего Востока. Владивосток, 1971. С. 241–246.

13. *Аммосов Ю.Н.* Сибирский шелкопряд (*Dendrolimus superans sibiricus* Tschetv.) в Якутии // Хвойные деревья и насекомые-дендрофаги. Иркутск, 1978. С. 74–84.

14. *Винокуров Н.Н., Исаев А.П., Потапова Н.К., Ноговицына С.Н.* О вспышке массового размножения сибирского шелкопряда в Центральной Якутии // Наука и образование. 2001. № 1. С. 65–68.

15. *Винокуров Н.Н., Исаев А.П.* Сибирский шелкопряд в Якутии // Наука и техника в Якутии. 2002. № 2 (3). С. 53–56.

16. *Гниненко Ю.И., Седельник Н.Д.* Сибирский коконопряд в Якутии в XX в. // Лесоведение. 2003. № 6. С. 71–73.

17. *Обзор* санитарного лесопатологического состояния лесов Республики Саха (Якутия) за 2012 год и прогноз лесопатологической ситуации на 2013 год // Федеральное бюджетное учреждение «Российский центр защиты леса» Филиал ФБУ «Рослесозащита» «Центр защиты леса Республики Бурятия». Улан-Удэ, 2013. 31 с.

18. *Краткий* обзор санитарного и лесопатологического состояния лесов Республики Саха (Якутия) за 2013 год и прогноз лесопатологической ситуации на 2014 год // Федеральное бюджетное учреждение «Российский центр защиты леса» Филиал ФБУ «Рослесозащита» «Центр защиты леса Республики Бурятия». Улан-Удэ, 2014. 46 с.

19. *Обзор* санитарного и лесопатологического состояния лесов Республики Саха (Якутия) за 2015 год и прогноз на 2016 год // Федеральное бюджетное учреждение «Российский центр защиты леса» Филиал ФБУ «Рослесозащита» «Центр защиты леса Республики Бурятия». Якутск, 2016. 207 с.

20. *Обзор* санитарного и лесопатологического состояния лесов Республики Саха (Якутия) за 2016 год и прогноз на 2017 год // Федеральное бюджетное учреждение «Российский центр защиты леса» Филиал ФБУ «Рослесозащита» «Центр защиты леса Республики Бурятия». Улан-Удэ, 2017. 139 с.

21. *Обзор* санитарного и лесопатологического состояния лесов Республики Саха (Якутия) за 2017 год и прогноз на 2018 год // Федеральное бюджетное учреждение «Российский центр защиты леса» Филиал ФБУ «Рослесозащита» «Центр защиты леса Республики Бурятия». Улан-Удэ, 2018. 170 с.

22. *Обзор* санитарного и лесопатологического состояния лесов Республики Саха (Якутия) за 2019 год и прогноз на 2020 год // Федеральное бюджетное учреждение «Российский центр защиты леса» Филиал ФБУ «Рослесозащита» «Центр защиты леса Республики Бурятия». Якутск, 2020. 173 с.

23. *Кондаков Ю.П.* Массовые размножения сибирского шелкопряда в лесах Красноярского края // Энтомологические исследования в Сибири. Красноярск: КФ СО РЭО, 2002. С. 3–38.

24. *Колутнов Е.В., Ердаков Л.Н.* Особенности цикличности многолетней динамики вспышек массового размножения различных географических популяций сибирского шелкопряда (*Dendrolimus superans sibiricus* Tschetv.) в Сибири // Соврем. проблемы науки и образования. [Электрон. ресурс]. 2013. №6. URL: www.science-education.ru/113-11003 (дата обращения: 18.02.2021).

25. *Коломиец Н.Г.* Холодостойкость гусениц сибирского шелкопряда и температурный режим в ме-

стах их зимовки // Изв. СО АН СССР. 1961. № 1. С. 113–120.

26. *Научно-прикладной* справочник по климату СССР. Сер. 3. Многолетние данные. Ч. 1–6. № 24. Якутская АССР. Кн. 1. Л.: Гидрометеоиздат, 1989. 607 с.

27. *Чикидов И.И.* Климатические предпосылки возникновения очагов массового размножения сибирского шелкопряда в Центральной Якутии // Лесные исследования в Якутии: итоги, состояние и перспективы. Т. 1. Мерзлотное лесоведение и лесоводство. Лесная экология. Якутск: Якутский госуниверситет, 2006. С.146–159.

28. *Чикидов И.И.* Роль климатических факторов в развитии очагов массового размножения сибирского шелкопряда в Центральной Якутии в 1998–2001 гг. // Вестник ЯГУ. 2009. Т. 6, № 3. С. 8–12.

29. *Бурнашева А.П., Винокуров Н.Н.* О новых очагах массового размножения сибирского шелкопряда (*Dendrolimus superans sibiricus* Tschetv.) в Центральной Якутии // Проблемы изучения лесов мерзлотной зоны: Мат-лы Всеросс. науч.-практ. конф., Якутск, 26–28 сентября 2011 г. Якутск: СМИК-Мастер, 2011. С. 95–98.

30. *Надзор*, учет и прогноз массовых размножений хвое- и листогрызущих насекомых в лесах СССР / Под ред. А.И. Ильинского, И.В. Тропина. М.: Лесн. пром-ть, 1965. 445 с.

31. *Бубнова М.А., Бубнов М.И.* Обзор методик учета сибирского шелкопряда (*Dendrolimus sibiricus* Tschetv.) // Научное обозрение. 2019. № 5. С. 41–45.

32. *Методы* мониторинга вредителей и болезней леса // Болезни и вредители в лесах России. Справочник / Под. ред. В.К. Тузова. М.: ВНИИЛМ, 2004. Т. 3. 200 с.

33. *Кириченко Н.И., Баранчиков Ю.Н.* Кормовые нормы гусениц сибирского шелкопряда на хвойных породах Сибири // Сиб. экол. журн. 2008. № 5. С. 709–716.

34. *Кириченко Н.И., Баранчиков Ю.Н.* Пригодность хвои кормовых растений для питания и роста гусениц двух популяций сибирского шелкопряда // Экология. 2007. № 3. С. 216–221.

35. *Рожков А.С.* Сибирский шелкопряд. Систематическое положение, филогения, распространение, экономическое значение, строение и образ жизни. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 176 с.

36. *Коломиец Н.Г.* Паразиты и хищники сибирского шелкопряда. Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1962. 175 с.

37. *Юрченко Г.И., Турова Г.И.* Паразиты сибирского и белополосого шелкопрядов на Дальнем Востоке России // Энтомологические исследования в Сибири. Красноярск: КФ СО РЭО, 2002. С. 75–86.

38. *Болдаруев В.О.* Динамика численности сибирского шелкопряда и его паразитов. Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1969. 164 с.

Поступила в редакцию 19.01.2021
Принята к публикации 25.02.2021

Об авторах

БУРНАШЕВА Альбина Петровна, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 41, Россия, http://orcid.org/0000-0001-8010-2469, a_burnacheva@mail.ru;

ВИНОКУРОВ Николай Николаевич, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 41, Россия, http://orcid.org/0000-0002-9860-7120, n_vinok@mail.ru;

ЕВДОКАРОВА Таисия Григорьевна, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 41, Россия, http://orcid.org/0000-0002-6732-8399, evdokarova@mail.ru;

ПОПОВ Анатолий Анатольевич, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 41, Россия, http://orcid.org/0000-0002-8006-6215, ananpo@mail.ru.

Информация для цитирования

Бурнашева А.П., Винокуров Н.Н., Евдокарова Т.Г., Попов А.А. О новой вспышке массового размножения сибирского шелкопряда (*Dendrolimus suberans sibiricus* Tschetv.) в Центральной Якутии // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2021. Т. 26, № 1. С. 93–106. https://doi.org/10.31242/2618-9712-2021-26-1-9

DOI 10.31242/2618-9712-2020-26-1-9

About a new outbreak of the Siberian moth (*Dendrolimus suberans sibiricus* Tschetv.) in Central Yakutia

A.P. Burnasheva*, N.N. Vinokurov, T.G. Evdokarova, A.A. Popov

Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk, Russia
**a_burnacheva@mail.ru*

Abstract. *The new information on the outbreak of the Siberian moth population in the vicinity of Yakutsk in 2020 is presented. The outbreak occurred at the site of an extinct focus that operated in 1999–2001. The seasonal dynamics of population, the activity of entomophages and preliminary forecasts for the next year are discussed.*

The June surveys showed that both even and odd pest generations developed in the outbreak locus in the same way. The average number of larvae per tree reached 126.5 specimens. The largest number of larvae (214.4 spec./tree) was recorded in the forb-lingonberry larch forest, where the larvae of older instars dominated (64 %). An increase in the number of Calliteara abietis Den.&Schiff. larvae was also observed in the locus. In July, the average number of the pest was 73.2 spec./tree with predomination of wintering caterpillars of the fourth instar of the odd generation. Siberian moth cocoons were found on larch trees since the third decade of June, while the emergence of butterflies of the new generation and oviposition were recorded since the first decade of July.

The high activity of entomophages was observed in the locus, in particular tachinid flies parasitizing on larvae (57.1 %) and egg-eating parasitic wasps (up to 77.1 %, with dominating Telenomus tetratomus Kieffer). The density of wintering larvae in the forest litter was estimated to be of medium level (55.8 spec./m^2); among them, the younger instars larvae (II–III) accounted for only 24.2 %.

Key words: Siberian moth, outbreaks, larch forest, entomophages, Central Yakutia.

Acknowledgements. *The authors express gratitude to colleagues for their contribution in sampling, also to A.I. Anufriev (IBPC SB RAS) for valuable advice when working with temperature sensors, and to N.S. Babichev (V. N. Sukachev Institute of Forest, Krasnoyarsk) for their help in searching the literature on the Siberian moth. The work was carried out within the State Assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme No. 0297-2021-0044, reg. No.121020500194-9).*

References

1. *Rozhkov A.S.* Massovoye razmnozheniye sibirskogo shelkopryada i mery bor'by s nim. M.: Nauka, 1965. 180 p.

2. *Kondakov Yu.P.* Zakonomernosti massovykh razmnozheniy sibirskogo shelkopryada // Ekologiya populyatsiy lesnykh zhivotnykh Sibiri. Novosibirsk: Nauka. Sib. otd-niye, 1974. P. 206–265.

3. *Baranchikov Yu.N., Kondakov Yu.P., Pet'ko V.M.* Kompleksnyy monitoring populyatsiy sibirskogo shelkopryada // Zashchita i karantin rasteniy. 2005. Iss. 5. P. 39–40.

4. *Fomin S.N., Barinov V.V., Myglan V.S.* Sibirskiy shelkopryad v Respublike Tyva, istoriya issledovaniy. Sibirskiy lesnoy zhurnal. 2019. No. 5. P. 3–14. DOI: 10.15372/SJFS20190501.

5. *Chistyakov Yu.A., Zolotukhin V.V., Beljaev E.A.* Sem. Lasiocampidae – Kokonopryady // Annotirovannyy katalog nasekomykh Dal'nego Vostoka Rossii. T. II. Lepidoptera – Cheshuyekrylyye / Gl. red. A.S. Leley. Vladivostok: Dal'nauka, 2016. P. 308–314.

6. *Zolotukhin V.V.* Semeystvo Lasiocampidae // Katalog cheshuyekrylykh (Lepidoptera) Rossii. Izd-ye 2-ye. SPb.: Zoolog. in-t RAN, 2019. P. 281–284.

7. *Kirichenko N.I., Baranchikov Yu.N., Gregoyri Zh.-K, Flament Zh., Kenis M.* Mozhet li troficheskiy faktor ogranichit' rasprostraneniye sibirskogo shelkopryada v Yevrope? // Izv. Sankt-Peterburgskoy lesotekhn. akad. 2008. Vyp. 182. P. 148–157.

8. *Kaymuk E.L., Vinokurov N.N., Burnasheva A.P.* Nasekomyye Yakutii. Babochki. Yakutsk: Bichik, 2005. 88 p.

9. *Averenskiy A.I., Isaev A.P.* Nasekomyye – glavneyshiye vrediteli lesov Yakutii. Novosibirsk: Nauka, 2013. 167 p.

10. *Epova V.I., Pleshanov A.S.* Zony vredonosnosti nasekomykh-fillofagov Aziatskoy chasti Rossii. Novosibirsk: Nauka. Sibirskaya izdat. firma RAN, 1995. 147 p.

11. *Petrenko E.S.* Nasekomyye – vrediteli lesov Yakutii. M.: Nauka, 1965. 165 p.

12. *Ammosov Yu.N.* K voprosu o massovom razmnozhenii sibirskogo shelkopryada (*Dendrolimus superans sibiricus* Tschetv.) v Tsentral'noy Yakutii // Biologiches-

kiye resursy sushi severa Dal'nego Vostoka. Vladivostok, 1971. P. 241–246.

13. *Ammosov Yu.N.* Sibirskiy shelkopryad (*Dendrolimus superans sibiricus* Tschetv.) v Yakutii // Khvoynyye derev'ya i nasekomyye-dendrofagi. Irkutsk, 1978. P. 74–84.

14. *Vinokurov N.N., Isaev A.P., Potapova N.K., Nogovitsyna S.N.* O vspyshke massovogo razmnozheniya sibirskogo shelkopryada v Tsentral'noy Yakutii // Nauka i obrazovaniye. 2001. No. 1. P. 65–68.

15. *Vinokurov N.N., Isaev A.P.* Sibirskiy shelkopryad v Yakutii // Nauka i tekhnika v Yakutii. 2002. No. 2 (3). P. 53–56.

16. *Gninenko Yu.I., Sedel'nik N.D.* Sibirskiy kokonopryad v Yakutii v XX v. // Lesovedeniye. 2003. No. 6. P. 71–73.

17. *Obzor* sanitarnogo lesopatologicheskogo sostoyaniya lesov Respubliki Sakha (Yakutiya) za 2012 god i prognoz lesopatologicheskoy situatsii na 2013 god // Federal'noye byudzhetnoye uchrezhdeniye «Rossiyskiy tsentr zashchity lesa» Filial FBU «Roslesozashchita» «Tsentr zashchity lesa Respubliki Buryatiya». Ulan-Ude, 2013. 31 p.

18. *Kratkiy* obzor sanitarnogo i lesopatologicheskogo sostoyaniya lesov Respubliki Sakha (Yakutiya) za 2013 god i prognoz lesopatologicheskoy situatsii na 2014 god // Federal'noye byudzhetnoye uchrezhdeniye «Rossiyskiy tsentr zashchity lesa» Filial FBU «Roslesozashchita» «Tsentr zashchity lesa Respubliki Buryatiya». Ulan-Ude, 2014. 46 p.

19. *Obzor* sanitarnogo i lesopatologicheskogo sostoyaniya lesov Respubliki Sakha (Yakutiya) za 2015 god i prognoz na 2016 god // Federal'noye byudzhetnoye uchrezhdeniye «Rossiyskiy tsentr zashchity lesa» Filial FBU «Roslesozashchita» «Tsentr zashchity lesa Respubliki Buryatiya». Yakutsk, 2016. 207 p.

20. *Obzor* sanitarnogo i lesopatologicheskogo sostoyaniya lesov Respubliki Sakha (Yakutiya) za 2016 god i prognoz na 2017 god // Federal'noye byudzhetnoye uchrezhdeniye «Rossiyskiy tsentr zashchity lesa» Filial FBU «Roslesozashchita» «Tsentr zashchity lesa Respubliki Buryatiya». Ulan-Ude, 2017. 139 p.

21. *Obzor* sanitarnogo i lesopatologicheskogo sostoyaniya lesov Respubliki Sakha (Yakutiya) za 2017 god i prognoz na 2018 god // Federal'noye byudzhetnoye uchrezhdeniye «Rossiyskiy tsentr zashchity lesa» Filial FBU «Roslesozashchita» «Tsentr zashchity lesa Respubliki Buryatiya». Ulan-Ude, 2018. 170 p.

22. *Obzor* sanitarnogo i lesopatologicheskogo sostoyaniya lesov Respubliki Sakha (Yakutiya) za 2019 god i prognoz na 2020 god // Federal'noye byudzhetnoye uchrezhdeniye «Rossiyskiy tsentr zashchity lesa» Filial FBU «Roslesozashchita» «Tsentr zashchity lesa Respubliki Buryatiya». Yakutsk, 2020. 173 p.

23. *Kondakov Yu.P.* Massovyye razmnozheniya sibirskogo shelkopryada v lesakh Krasnoyarskogo kraya // Entomologicheskiye issledovaniya v Sibiri. Krasnoyarsk: KF SO REO, 2002. P. 3–38.

24. *Kolutnov E.V., Yerdakov L.N.* Osobennosti tsiklichnosti mnogoletney dinamiki vspyshek massovogo razmnozheniya razlichnykh geograficheskikh populyatsiy sibirskogo shelkopryada (*Dendrolimus superans sibiricus* Tschetv.) v Sibiri // Sovrem. problemy nauki i obrazovaniya. [Elektron. resurs]. 2013. No. 6. URL: www.science-education.ru/113-11003 (data obrashcheniya: 18.02.2021).

25. *Kolomiyets N.G.* Kholodostoykost' gusenits sibirskogo shelkopryada i temperaturnyy rezhim v mestakh ikh zimovki // Izv. SO AN SSSR. 1961. No. 1. P. 113–120.

26. *Nauchno-prikladnoy* spravochnik po klimatu SSSR. Ser. 3. Mnogoletniye dannyye. CH. 1–6. № 24. Yakutskaya ASSR. Kn. 1. L.: Gidrometeoizdat, 1989. 607 p.

27. *Chikidov I.I.* Klimaticheskiye predposylki vozniknoveniya ochagov massovogo razmnozheniya sibirskogo shelkopryada v Tsentral'noy Yakutii // Lesnyye issledovaniya v Yakutii: itogi, sostoyaniye i perspektivy. T. 1. Merzlotnoye lesovedeniye i lesovodstvo. Lesnaya ekologiya. Yakutsk: Yakutskiy gosuniversitet, 2006. P. 146–159.

28. *Chikidov I.I.* Rol' klimaticheskikh faktorov v razvitii ochagov massovogo razmnozheniya sibirskogo shelkopryada v Tsentral'noy Yakutii v 1998-2001 gg. // Vestnik YAGU. 2009. Vol. 6, No. 3. P. 8–12.

29. *Burnasheva A.P., Vinokurov N.N.* O novykh ochagakh massovogo razmnozheniya sibirskogo shelkopryada (*Dendrolimus superans sibiricus* Tschetv.) v Tsentral'noy Yakutii // Problemy izucheniya lesov merzlotnoy zony: mat-ly Vseross. nauch.-prakt. konf., Yakutsk, 26–28 sentyabrya 2011 g. Yakutsk: SMIK-Master, 2011. P. 95–98.

30. *Nadzor*, uchet i prognoz massovykh razmnozheniy khvoye- i listogryzushchikh nasekomykh v lesakh SSSR / pod red. A.I. Il'inskogo, I.V. Tropina. M.: Lesn. prom-t', 1965. 445 p.

31. *Bubnova M.A., Bubnov M.I.* Obzor metodik ucheta sibirskogo shelkopryada (*Dendrolimus sibiricus* Tschetv.) // Nauchnoye obozreniye. 2019. No. 5. P. 41–45.

32. *Metody* monitoringa vrediteley i bolezney lesa // Bolezni i vrediteli v lesakh Rossii. Spravochnik / Pod. red. V.K. Tuzova. M.: VNIILM, 2004. Vol. 3. 200 p.

33. *Kirichenko N.I., Baranchikov Yu.N.* Kormovyye normy gusenits sibirskogo shelkopryada na khvoynykh porodakh Sibiri // Sib. ekol. zhurn. 2008. No. 5. P. 709–716.

34. *Kirichenko N.I., Baranchikov Yu.N.* Prigodnost' khvoi kormovykh rasteniy dlya pitaniya i rosta gusenits dvukh populyatsiy sibirskogo shelkopryada // Ekologiya. 2007. No. 3. P. 216–221.

35. *Rozhkov A.S.* Sibirskiy shelkopryad. Sistematicheskoye polozheniye, filogeniya, rasprostraneniye, ekonomicheskoye znacheniye, stroyeniye i obraz zhizni. M.: Izd-vo AN SSSR, 1963. 176 p.

36. *Kolomiyets N.G.* Parazity i khishchniki sibirskogo shelkopryada. Novosibirsk: izd-vo SO AN SSSR, 1962. 175 p.

37. *Yurchenko G.I., Turova G.I.* Parazity sibirskogo i belopolosogo shelkopryadov na Dal'nem Vostoke Rossii // Entomologicheskiye issledovaniya v Sibiri. Krasnoyarsk: KF SO REO, 2002. P. 75–86.

38. *Boldaruyev V.O.* Dinamika chislennosti sibirskogo shelkopryada i yego parazitov. Ulan-Ude: Buryat. kn. izd-vo, 1969. 164 p.

About the authors

BURNASHEVA Albina Petrovna, Cand. Sci. (Biology), Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk 677980, Russia,
http://orcid.org/0000-0001-8010-2469, a_burnacheva@mail.ru;

VINOKUROV Nikolai Nikolaevish, Dr. Sci. (Biology), Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk 677980, Russia,
http://orcid.org/0000-0002-9860-7120, n_vinok@mail.ru;

EVDOKAROVA Taisiya Grigorievna, Cand. Sci. (Agriculture), Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk 677980, Russia,
http://orcid.org/0000-0002-6732-8399, evdokarova@mail.ru;

POPOV Anatoly Anatolievish, Cand. Sci. (Biology), Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk 677980, Russia,
http://orcid.org/0000-0002-8006-6215, ananpo@mail.ru.

Citation

Burnasheva A.P., Vinokurov N.N., Evdokarova T.G., Popov A.A. About a new outbreak of the Siberian moth (*Dendrolimus suberans sibiricus* Tschetv.) in Central Yakutia // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2021. Vol. 26, No. 1. pp. 93–106. (In Russ.) https://doi.org/10.31242/2618-9712-2021-26-1-9

УДК 581.142:631.53
DOI 10.31242/2618-9712-2021-26-1-10

Влияние температуры на прорастание семян травянистых растений Центральной Якутии

Д.Н. Андросова*, Н.С. Данилова

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия
**darija_androsova@mail.ru*

Аннотация. *Изучено влияние разных температурных режимов на прорастание семян 20 видов многолетних травянистых растений Центральной Якутии. Семена 8 видов Aconitum kusnezoffii Reichb., Actaea erythrocarpa Fisch., Adonis sibirica Patrin, Anemonidium dichotomum (L.) Holub., Heracleum dissectum Ledeb., Iris laevigata Fisch. et C.A. Mey., Trollius sibiricus Schipcz., Thalictrum minus L. не прорастают при температурном диапазоне от 5 до 35 °С, среди них виды лесной и луговой растительности, относящиеся к сем. Ranunculaceae. Семена остальных видов по требовательности к теплу в момент прорастания распределились на две группы: семена растений, начинающие прорастать при 5 °С, и семена растений, начинающие прорастать при 10 °С.Температурный диапазон прорастания семян у изученных видов широк. Для большинства степных и луговых видов он составляет от 5 до 35 °С, лесных и прибрежно-водных – от 10 до 35 °С. Спектр оптимальных температур для прорастания семян разнообразен. Наиболее узкий диапазон оптимума характерен для семян лесных растений, у каждого из них оптимальный температурный режим специфичен. Наиболее широким спектром оптимальных температур обладают семена лугового Acetosa thyrsiflora – от 10 до 25 °С. Для семян всех изученных степных видов оптимум лежит в пределах 20–25 °С, а для прибрежно-водного Rumex aquaticus характерны два оптимума прорастания 20 и 35 °С. При низких (5 °С) и высоких (35 °С) температурах у изученных видов прорастание семян становится затрудненным, задержка прорастания при этих режимах является приспособлением, защищающим семена якутских растений от несвоевременного прорастания в конце осени перед суровой зимой или в летние сухие месяцы, в период острого дефицита влаги, который характерен для Центральной Якутии.*

Ключевые слова: всхожесть, прорастание семян, минимальный, максимальный и оптимальный температурный режим прорастания семян.

Благодарности. *Статья выполнена в рамках госзадания ИБПК СО РАН по проекту «Растительный покров криолитозоны таежной Якутии: биоразнообразие, средообразующие функции, охрана и рациональное использование» (0297-2021-0023; рег. номер АААА-А21-121012190038-0).*

Введение

Прорастание семян является важным этапом в жизненном цикле растения и напрямую регулируется температурой. Изучение биологических особенностей семян многолетних травянистых растений с учетом оптимального температурного режима их прорастания дает возможность разработать эффективные приемы подготовки семян к посеву, обеспечивающие получение наиболее жизнеспособных растений и высокий выход посадочного материала.

Характер зависимости прорастания семян от температуры является преимущественно видовой особенностью, сложившейся, как отмечали ряд авторов [1–4], в течение всей истории формирования растительности, но в то же время на прорастание семян влияют и условия современной окружающей среды [5, 6]. Ф. Хаберландтом [7] установлены три кардинальные точки температур – минимальная, максимальная и оптимальная.

Растения, приуроченные к засушливым условиям пустынь и степей, формируют эвритермные семена [8–10]. Для видов влажных местообитаний характерно формирование семян ближе к стенотермному типу [8]. И.А. Райковой [10] установлено, что семена луговых растений прорастают при низких температурах (0–10 °С) или при их резких колебаниях. В своей работе А.П. Стешенко [11] указывает, что большинство семян луговых растений способны прорастать

© Андросова Д.Н., Данилова Н.С., 2021

при более высоких температурах (15–20 °С). При этом их семена имеют среднюю и низкую всхожесть, но значительно повышают ее при резкой смене температур.

Цель работы – изучение зависимости всхожести и характера прорастания семян интродуцированных многолетних травянистых растений Центральной Якутии от температуры.

Материалы и методы

Работа проводилась в 2018–2019 гг. на базе коллекции травянистых растений природной флоры Якутии Ботанического сада Института биологических проблем криолитозоны СО РАН, расположенного в окр. г. Якутск, в пределах Центральной Якутии.

Климат региона характеризуется резкой континентальностью. Размах абсолютных минимальных и максимальных температур составляет 102 °С, от –64 °С в январе до +38 °С в июле. По количеству выпадающих осадков (140–180 мм) Центральная Якутия приближена к степным и полупустынным районам Средней Азии [12].

Для работы использованы семена 20 видов травянистых многолетников, относящихся к различным подразделениям растительного покрова, степных видов – 3, лесных – 11, луговых – 4 и прибрежно-водных – 2. До проращивания семена хранились в бумажных пакетах при комнатной температуре (20 … 24 °С) в течение 5–6 месяцев. Семена каждого вида размещали по 100 штук в четырехкратной повторности в стерильных стеклянных чашках Петри на фильтровальной бумаге. Увлажнитель – дистиллированная вода. Учет проросших семян вели ежедневно на протяжении 30 дней. Семя считали проросшим при наличии корешка, размер которого равен семени.

Эксперименты проводились с использованием климатокамеры BINDERKBWF 240, поддерживались различные температурные режимы: 5, 10, 20, 25, 30, 35 °С, при этом другие факторы: влажность 60 %, аэрация и свет (16 ч на свету, 8 ч в темноте), были равнозначны.

Согласно И.Г. Строна [13], в качестве критериев оптимальной температуры мы рассматриваем максимальную долю всхожести и темп прорастания ($T_{ср}$).

Темп прорастания характеризуется таким показателем, как средневзвешенное значение периода прорастания семян [14], которое рассчитывается по формуле

$$T_{ср} = \frac{\sum(t \times n)}{\sum n},$$

где $T_{ср}$ – средневзвешенное значение периода прорастания семян; t – время в сутках, начиная с 0 дня (день постановки опыта); n – количество проросших семян в отдельные сутки; Σn – общее количество проросших семян.

Полученные данные обработаны в программе Excelfor Windows, представлены в виде средней арифметической величины и стандартной ошибкой. Достоверность различий между средними значениями определяли в программе StatPlus 2007, используя критерии Бонферрони для множественного сравнения при уровне $p \leq 0{,}008$.

Названия растений даны согласно Конспекту флоры Азиатской части России [15], Конспекту флоры Якутии [16].

Результаты и обсуждение

Семена восьми видов *Aconitum kusnezoffii* Reichb., *Actaea erythrocarpa* Fisch. *Adonis sibirica* Patrin, *Anemonidium dichotomum* (L.) Holub., *Heracleum dissectum* Ledeb., *Iris laevigata* Fisch. et C.A. Mey., *Trollius sibiricus* Schipcz., *Thalictrum minus* L. не прорастают при температурном диапазоне от 5 до 35 °С, среди них виды лесной и луговой растительности. При этом необходимо отметить, что шесть видов из них являются представителями сем. Ranuncnlaceae, для которых характерно недоразвитие зародыша, и это является причиной морфологического и морфофизиологического покоя [17].

Температурный диапазон прорастания семян у остальных изученных видов широк (табл. 1) и составляет от 5 до 35 °С или от 10 до 35 °С.

При температуре 5 °С семена семи видов не прорастают. У остальных пяти видов задерживается начало прорастания, наблюдается растянутый период прорастания. У двух видов (*Goniolimon speciosa* (L.) Boiss. и *Allium senescens* L.) отмечена низкая всхожесть, у *Veronica incana* L. – единичные всходы. В отличие от них два вида: луговой – *Acetosa thyrsiflora* и лесной – *Solidago dahurica*, при таком же ходе прорастания имеют высокую всхожесть 71 и 99 % соответственно (см. рисунок). Высокая всхожесть семян этих видов при низкой температуре 5 °С говорит об их способности к прорастанию ранней весной. Показатель $T_{ср}$ при температуре 5 °С варьирует от 16,4 (*Acetosa thyrsiflora*) до 25,75 суток (*Goniolimon speciosum*).

Таблица 1

Температура прорастания семян

Table 1

Seed germination temperature

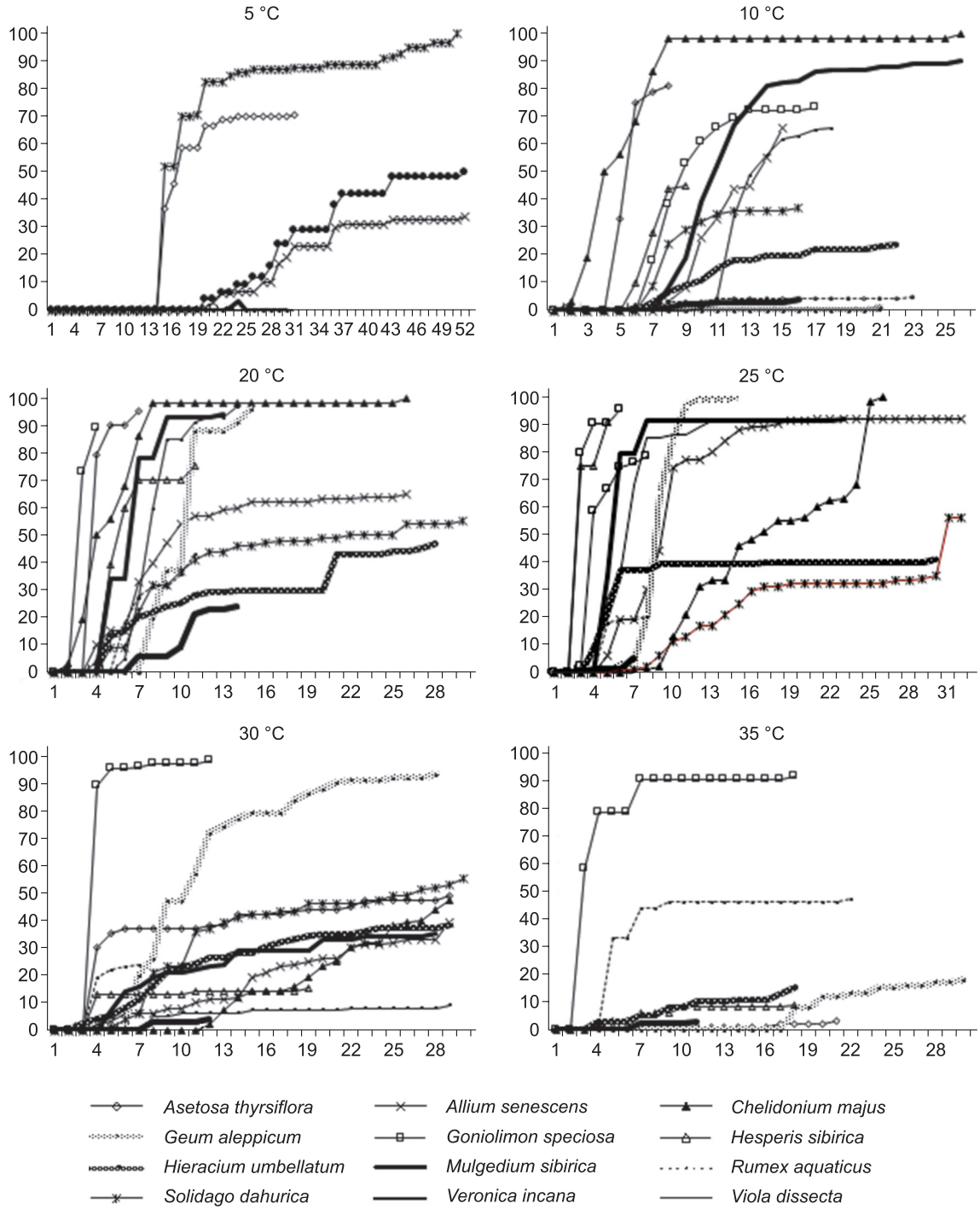
Вид Species	Температурный диапазон прорастания семян *t*, °C Temperature range of seed germination *t*, °C	Температура *t*, °C Temperature *t*, °C		
		минимум min	оптимум optimum	максимум max
Степные (Steppes)				
Allium senescens	5–35	5	20–25	–
Goniolimon speciosum	5–35	5	20–35	–
Veronica incana	5–30	5	20–25	30
Лесные (Forest)				
Chelidonium majus	10–30	10	10	30
Hesperis sibirica	10–35	10	25	–
Hieracium umbellatum	10–35	10	20	–
Mulgedium sibiricum	10–35	10	20	–
Solidago dahurica	5–30	5	5	30
Viola dissecta	10–30	10	20–25	30
Луговые (Meadow)				
Acetosa thyrsiflora	5–35	5	10–25	–
Geum aleppicum	10–35	10	25	–
Прибрежно-водные (Aquatic–Riparian)				
Rumex aquaticus	10–35	10	20, 35	–

Температура 10 °C вызывает прорастание семян всех видов. Ряд авторов [18, 19] отмечают, что прорастание семян видов из экстремально холодных местообитаний вызывается температурами только выше 10 °C. Начало и продолжительность прорастания хотя и затягиваются, но становятся значительно короче, чем при 5 °C. Всхожесть семян по сравнению с 5 °C увеличилась от 2 до 86 % (*Veronica incana*), от 24 до 73 % (*Goniolimon speciosa*), от 19 до 66 % (*Allium senescens*), от 70 до 81 % (*Acetosa thyrsiflora*) и, наоборот, снижается у *Solidago dahurica* от 99 до 37 % (см. рисунок).Для семян *Asetosa thyrsiflora* и *Chelidonium majus* L. температура 10 °C является оптимальной, темп прорастания семян повышается и составляет 5,7 и 5,3 суток соответственно. С низкой всхожестью и с задержкой на 21 день прорастают 1 % семян *Geum aleppicum* Jacq. Низкую всхожесть имеют семена *Mulgedium sibiricum* Cass. ex Less., *Rumex aquaticus*, *Hieracium umbellatum* L., *Solidago dahurica*.

Температура 20–25 °C для многих видов является оптимальной (см. табл. 1). Семена приобретают дружное и быстрое прорастание, увеличивается темп прорастания семян и, соответственно, всхожесть семян. Семена большинства видов начинают прорастать на 3–5 день (лишь у семян *Chelidonium majus* – на 9-й день). Хорошо прорастают семена *Geum aleppicum* – всхожесть семян повысилась от 1 (при 10 °C) до 96 и 100 % (при 20 и 25 °C). В меньшей степени, но также возросла всхожесть у семян *Mulgedium sibiricum* – от 4 (10 °C) до 24 % (20 °C) (см. рисунок).

При температуре 30 °C прорастают семена всех видов, но, в отличие от других температурных режимов, у семян большинства видов значительно понижаются всхожесть, энергия и темп прорастания семян. Всхожесть варьирует от 4 до 53 %, исключение составляют семена двух видов (*Goniolimon speciosum* и *Geum aleppicum*), у которых она составляет 89 и 93 % соответственно. Для семян четырех видов (*Veronica incana*, *Viola dissecta* Ledeb., *Solidago dahurica*, *Chelidonium majus*) данный температурный режим является максимальным (см. табл. 1).

При температуре 35 °C семена четырех видов совсем не прорастают, но хорошо прорастают



Динамика прорастания семян в зависимости от температуры.
По оси абсцисс – прорастание семян (дни); по оси ординат – всхожесть семян, %.

Dynamics of seed germination depending on temperature.
Abscissa – seed germination (days); ordinate – seed germination,%.

после смены температуры на более низкие (20–25 °C). Например, в течение 3-х дней у *Acetosa thyrsiflora* всхожесть достигла 100 %.

Для семян восьми видов мы не смогли определить максимальную температуру прорастания, но можем предположить, что температура

Таблица 2

Всхожесть и средневзвешенное значение периода ($T_{ср}$) прорастания семян (M±SD)

Table 2

Germination and weighted average value of the period ($T_{ср}$) of seed germination (M±SD)

Показатели Indicators	Температурные режимы t, °C Temperature conditions t, °C					
	5	10	20	25	30	35
Acetosa thyrsiflora						
ЛВ, %	70±3,6[a]	81±3,7[b]	95±4,5[b]	97±2,9[b]	48±3,6[в]	2±0,8[c]
$T_{ср}$, сутки	16,4±0,4[a]	5,7±0,1[б]	4,3±0,2[б]	3,6±0,1[б]	7,8±0,2[d]	10,5±0,3[e]
Allium senescens						
ЛВ, %	19±0,8[a]	66±0,8[b]	65±0,8[b]	92±0,8[в]	39±2,2 [e]	1,3±0,5[c]
$T_{ср}$, сутки	25,7±0,4[a]	11,8±0,1[b]	9,6±0,2[b]	9,6±0,3[b]	16,9±0,5 [a]	4,0±0,8 [в]
Chelidonium majus						
ЛВ, %	0	99±0,8[a]	85±2,2[b]	68±1,4[в]	47±2,4[c]	0
$T_{ср}$, сутки	0	5,3±0,1 [a]	16,1±0,1[b]	14,7±0,1[b]	20,5±0,4[в]	0
Geum aleppicum						
ЛВ, %	0	1,3±0,5[a]	96±2,9[b]	10 ±0[в]	93±0,8[b]	12±1,6[c]
$T_{ср}$, сутки	0	21,0±1,0[a]	10,9±0,1[b]	7,5±0,1[b]	11,3±0,5[в]	15,3±0,1[c]
Goniolimon speciosum						
ЛВ, %	24±0,8[a]	73±0,8[b]	89,2±0,7[в]	78±0,8[c]	89±0,8[в]	91±0,9[в]
$T_{ср}$, сутки	25,8±0,1[a]	8,9±0,1[b]	3,2±0,1[в]	4,5±0,1[в]	3,2±0,1[в]	2,03±0,0[в]
Hesperis sibirica						
ЛВ, %	0	45±0,8[a]	75±7,1[b]	91±2,8[в]	14±1,5[c]	9±0,8[d]
$T_{ср}$, сутки	0	7,2±0,5[a]	5,9±0,1[b]	3,4±0,2[в]	20,5±0,3[c]	8,1±0,2[d]
Hieracium umbellatum						
ЛВ, %	0	24±1,4[a]	47±3,6[b]	41±6,5[bв]	38±0,8[в]	15±0,8[c]
$T_{ср}$, сутки	0	11,5±0,2[a]	12,7±0,1[b]	6,3±0,4[в]	10,9±0,6[c]	10,6±0,2[c]
Mulgedium sibiricum						
ЛВ, %	0	4±0,8[a]	24±1,6[b]	5±0,8[a]	4±0,8[a]	4±0,9[a]
$T_{ср}$, сутки	0	10,0±0,8[a]	11,1±0,7[a]	6,4±0,2[b]	9,0±0,8[a]	8,3±0,1[a]
Rumex aquaticus						
ЛВ, %	0	5±0,8[a]	44±1,6[b]	20±1,6[в]	24±0,8[в]	46±1,6[b]
$T_{ср}$, сутки	0	11,6±4,0[a]	7,6±2,9[b]	5,2±2,4[в]	4,3±2,1[в]	5,6±2,4[b]
Solidago dahurica						
ЛВ, %	87±4,9[a]	37±0,8[b]	56±0,8[в]	34±2,2[b]	53±2,2[в]	0
$T_{ср}$, сутки	20,6±0,4[a]	8,6±0,3[b]	10,6±0,2[в]	13,9±0,1[в]	12,5±4,0[в]	0
Veronica incana						
ЛВ, %	2±0,8[a]	86±0,8[b]	94±0,8[в]	92±1,4[в]	35±0,8[c]	0
$T_{ср}$, сутки	23,5±0,2[a]	11,5±0,3[b]	7,6±0,2[в]	5,9±0,2[в]	10,6±0,4[b]	0
Viola dissecta						
ЛВ, %	0	67±0,8[a]	97±2,4[b]	91±3,7[в]	9±0,8[c]	0
$T_{ср}$, сутки	0	12,9±0,1[a]	8,6±0,4[b]	6,6±0,3[b]	12,9±0,1[a]	0

Примечание. ЛВ – лабораторная всхожесть, %; $T_{ср}$ – средневзвешенное значение периода прорастания семян, в днях. Средние значения с одинаковыми буквенными индексами статистически не различимы при $p < 0{,}008$, $n = 4$.

Note. ЛВ – laboratory germination rate, %; $T_{ср}$ – weighted average value of the seed germination period, in days. The average values with the same letter indexes are not statistically distinguishable at $p < 0.008$, $n = 4$.

35 °С является максимальной для шести изученных видов, их семена при этой температуре прорастают очень слабо со всхожестью от 1 до 15 %, так зародыши *Geum aleppicum* после высвобождения от покровной оболочки или не растут совсем, или трогаются в рост медленно. Отличаются ходом прорастания семена двух видов: *Goniolimon speciosum* и *Rumex aquaticus*, при 35 °С всхожесть этих семян составляет 92 и 46 % соответственно, при этом и показатель $T_{ср}$ равен 2,03 и 5,6 суток, что говорит об оптимальности этого температурного режима (табл. 2).

Оптимальным температурным режимом прорастания семян у степных видов являются высокие температуры от 20 до 25 °С (35 °С), для семян лесных растений характерен узкий диапазон оптимума, у каждого вида он различен, например, для семян *Solidago dahurica* – 5 °С, *Chelidonium majus* – 10 °С. Наиболее широким диапазоном оптимальных температур обладают семена лугового вида *Acetosa thyrsiflora* – от 10 до 25 °С и 25 °С, у семян другого лугового вида *Geum aleppicum* температурный оптимум прорастания узок и составляет 25 °С. Для прибрежно-водного *Rumex aquaticus* характерны два оптимума прорастания 20 и 35 °С (см. табл. 1). Подобная картина с двумя пиками была отмечена О.В. Даевой [4] для семян *Allium galanthum* Kar. et Kir., обитающего по каменистым склонам. Семена этого вида лучше прорастают при температурах 5 и 20 °С, при котором всхожесть составляет 60 и 30 % соответственно. Что касается хорошего прорастании семян *Rumex aquaticus* при 35 °С, то в литературе имеются сведения о том, что семена видов из местообитаний с высоким уровнем водоснабжения имеют тенденцию прорастать при относительно высоких температурах [20]. Наши данные вполне соотносятся с этим мнением.

При низких (5 °С) и высоких (35 °С) температурах у исследуемых видов наблюдается задержка прорастания семян, снижаются их всхожесть, энергия и темп, прорастание семян становится затрудненным. З.Г. Беспалова с соавторами [21] считают, что задержка прорастания при низкой температуре является приспособлением, защищающим семена от преждевременного прорастания в конце осени. Похожую картину отмечали М.Г. Николаева с соавторами [22] и В.В. Вихирева-Василькова [23] у семян растений Крайнего Севера, И.В. Борисова [8] – у семян степных и луговых растений Монголии. Растения из холодных регионов, как правило, предпочитают прорастание при более высоких температурах, чтобы предотвратить появление всходов, когда морозы более вероятны [24]. И, наоборот, отсутствие прорастания при высоких температурах является, как указывает В.В. Скрипчинский [25] приспособлением, предотвращающим преждевременное появление проростков в то время, когда они были бы обречены на гибель. В регионах с жарким и сухим летом высокие температуры подавляют прорастание, чтобы избежать появления всходов в периоды водного стресса [26].

Заключение

1. Семена восьми видов, из которых шесть являются представителями сем. Ranunculaceae, не прорастают при температурном диапазоне от 5 до 35 °С.

2. По требовательности к теплу в момент прорастания виды распределились на две группы: семена растений, начинающие прорастать при 5 °С, и семена растений растений, начинающие прорастать при 10 °С.

3.Температурный диапазон прорастания семян у изученных видов широк. Для большинства степных и луговых видов он составляет от 5 до 35 °С, лесных и прибрежно-водных – от 10 до 35 °С.

4. При низких (5 °С) и высоких (35 °С) температурах у изученных видов прорастание семян становится затрудненным, задержка прорастания при этих режимах является приспособлением, защищающим семена растений от несвоевременного прорастания в конце осени перед суровой зимой или в летние сухие месяцы, в период острого дефицита влаги, который характерен для Центральной Якутии.

5. Спектр оптимальных температур для прорастания семян разнообразен. Наиболее узкий диапазон оптимума характерен для семян лесных растений, у каждого из них оптимальный температурный режим специфичен. Наиболее широким спектром оптимальных температур обладают семена лугового *Acetosa thyrsiflora* – от 10 до 25 °С. Для семян всех изученных степных видов оптимум лежит в пределах 20–25 °С, а прибрежно-водного *Rumex aquaticus* – характерны два оптимума прорастания 20 и 35 °С.

Литература

1. *Тараканов К.А.* Экологические этапы развития и типы приспособления некоторых видов растений // Растения и среда. М.; Л., 1950. С. 48–75.

2. *Николаева М.Г.* О природе действия пониженной температуры на семена // Итоги и перспективы исследований развития растений: матер. II делегат. съезда ВБО. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1959. С. 137–147.

3. *Культиасов М.В.* Эколого-исторический метод в интродукции растений // Бюл. ГБС. 1963. Вып.15. С. 24–39.

4. *Даева О.В.* Особенности прорастания семян сибирских видов лука // Бюлл. ГБС. 1966. Вып. 61. С. 66–72.

5. *Grubb P.J.* The maintenance of species-richness in plant communities: the importance of the regeneration niche // Biological Reviews. 1977. Vol. 52. P. 107–145.

6. *Schütz W., Rave G.* The effect of cold stratification and light on the seed germination of temperate sedges (Carex) from various habitats and implications for regenerative strategies // Plant Ecology. 1999. Vol. 144, No. 2. P. 215.

7. *Haberlandt F.* Der allgameine Landwirtschaft Pflanzenbau. 1879. 760 p.

8. *Борисова И.В.* О долговечности семян некоторых степных и пустынных растений Казахстана и Монголии // Бот. журн. 1998. Т. 83, № 6. С. 55–65.

9. *Днепровский Ю.М., Черемушкина В.А., Судобина В.П.* Особенности прорастания семян корневищных луков Северной Азии // Бюл. ГБС. 1991. Вып. 159. С 89–95.

10. *Райкова, И.А.* К биологии прорастания и всхожести семян некоторых памирских растений // Науч. тр. Ташкентск. гос. ун-та. Биология. 1962. Вып. 210. С. 155–186.

11. *Стешенко А.П.* Биология свежесобранных семян у растений высокогорий Памира // Бот. журн. 1963. Т. 48, № 7. С. 965–978.

12. *Гаврилова М.К.* Климат Центральной Якутии. Якутск: Кн. изд-во, 1973. 120 с.

13. *Строна И.Г.* Общее семеноведение полевых культур. М.: Колос, 1966. 464 с.

14. *Бухаров А.Ф., Балеев Д.Н., Бухарова А.Р.* Кинетика прорастания семян. Методы исследования и параметры / // Известия ТСХА. 2017. Вып. 2. С. 5–15.

15. *Конспект* флоры Азиатской России: сосудистые растения / [Л.И. Малышев и др.]; под ред. К.С. Байкова. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. 630 с.

16. *Конспект* флоры Якутии: Сосудистые растения / сост. Л.В. Кузнецова, В.И. Захарова. Новосибирск: Наука, 2012. 272 с.

17. *Николаева М.Г.* Особенности прорастания семян растений из подклассов Magnoliidae, Ranunculidae, Caryophyllidae и Hamamelidae // Бот. журн. 1988. Т. 73, № 4. С. 508–521.

18. *Billings W.D., Mooney H.A.* The ecology of Arctic and alpine plants. 1968 //doi.org/10.1111/j.1469-185X.1968.tb00968.x

19. *Thompson K.* The occurrence of buried viable seeds in relation to environmental gradients // J. Biogeography. 1978. Vol. 5. P. 425–430.

20. *Grime J., Mason G., Curtis A.* A comparative study of germination characteristics in a local flora // Journal of Ecology. 1981. Vol. 69. P. 1017–1059.

21. *Беспалова З.Г., Борисова И.В., Санжид Ж.* Всхожесть и характер прорастания семянок некоторых видов полыни (Artemisia L.) Центрального Казахстана и Монголии // Бот. журн. 1982. Т. 67, № 10. С. 1321–1328.

22. *Николаева М.Г., Алексеева Х.А., Далецкая Т.В., Поздова Л.М., Полякова Е.Н., Разумова М.В., Скрябин С.З.* Условия прорастания семян растений Крайнего Севера // Бюлл. ГБС. 1983. Вып. 128. С. 90–94.

23. *Вихирева-Василькова В.В.* О прорастании семян некоторых арктических растений // Бот. журн. 1958. Т. 43, № 7. С. 1024–1029.

24. *Rosbakh S., Poschlod P.* Initial temperature of seed germination as related to species occurrence along a temperature gradient // Funct. Ecol. 2015. Vol. 29. P. 5–14.

25. *Скрипчинский В.В.* Приспособительные реакции, регулирующие процессы роста и развития растений в свете общих закономерностей онтогенеза // Итоги и перспективы исследований развития растений. М.; Л., 1959. С. 66–81.

26. *Mayfield M.M., Dwyer J.M., Main A., Levine J.M.* The germination strategies of widespread annual plants are unrelated to regional climate // Global Ecology and Biogeography. 2014. Vol. 23. P. 1430–1439.

Поступила в редакцию 15.12.2020
Принята к публикации 16.02.2021

Об авторах

АНДРОСОВА Дария Николаевна, младший научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, 677000, Якутск, пр. Ленина, 41, Россия,
http://orcid.org/0000-0003-1521-0556, darija_androsova@mail.ru;

ДАНИЛОВА Надежда Софроновна, главный научный сотрудник, доктор биологических наук, профессор, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, 677000, Якутск, пр. Ленина, 41, Россия,
http://orcid.org/0000-0001-6532-7977, nad9.5@mail.ru.

Информация для цитирования

Андросова Д.Н., Данилова Н.С. Влияние температуры на прорастание семян травянистых растений Центральной Якутии // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2021. Т. 26, № 1. С. 107–115. https://doi.org/10.31242/2618-9712-2021-26-1-10

DOI 10.31242/2618-9712-2020-26-1-10

Influence of temperature on germination of the seeds of herbaceous plants in Central Yakutia

D.N. Androsova*, N.S. Danilova

Institute for Biological Problems of Cryolithozone of the Siberian Branch of RAS, Yakutsk, Russia
**darija_androsova@mail.ru*

Abstract. *The influence of different temperature conditions on the germination of seeds of 20 species of perennial herbaceous plants in Central Yakutia was studied. The seeds of 8 species of Aconitum kusnezoffii Reichb., Actaea erythrocarpa Fisch., Adonis sibirica Patrin, Anemonidium dichotomum (L.) Holub., Heracleum dissectum Ledeb., Iris laevigata Fisch. et C.A. Mey., Trollius sibiricus Schipcz., Thalictrum minus L. do not germinate in the temperature range from 5 to 35 °C; among them, there are the species of forest and meadow vegetation belonging to Ranunculaceae family. The species were divided into 2 groups according to the demand for heat at the time of germination: plant seeds starting to germinate at 5 °C, and plant seeds starting to germinate at 10 °C. The temperature range of seed germination for the studied species is wide. For the majority of steppe and meadow species, it ranges from 5 to 35 °C, while for forest and coastal-water species – from 10 to 35 °C. The ranges of optimal temperatures for seed germination are diverse. The narrowest optimum range is typical for the seeds of forest plants; in each of them, the optimum temperature regime is specific. The widest range of optimum temperatures is characteristic of the seeds of meadow Acetosa thyrsiflora – from 10 to 25 °C. For the seeds of all the studied steppe species, the optimum lies within the range of 20–25 °C, while there are two optimal temperature points for the coastal-water Rumex aquaticus: 20 and 35 °C. At low (5 °C) and high (35 °C) temperatures, the germination of the seeds of the studied species becomes difficult; the delay in germination under these conditions is a tool protecting the seeds of Yakut plants from untimely germination in late autumn before the harsh winter or in dry summer months, during the period of acute moisture deficit, which is typical for Central Yakutia.*

Key words: germination capacity, seed germination, minimum, maximum and optimal temperature regime of seed germination.

Acknowledgements. *The work was carried out within the framework of the State Assignment to the IBPC SB RAS under the Project «Vegetation cover of the cryolithozone of taiga in Yakutia: biodiversity, environmental functions, protection and rational use» (0297-2021-0023; reg. number AAAA21-121012190038-0).*

References

1. *Tarakanov K.A.* Ekologicheskie etapy razvitiya i tipy prisposobleniya nekotoryh vidov rastenij // Rasteniya i sreda. M.; L., 1950. P. 48–75.

2. *Nikolaeva M.G.* O prirode dejstviya ponizhennoj temperatury na semena // Itogi perspektivy issledovanij razvitiya rastenij: materialy II delegat. s"ezda VBO. M.; L.: Izd-vo AN SSSR, 1959. P. 137–147.

3. *Kul'tiasov M.V.* Ekologo-istoricheskijmetod v introdukciirastenij // Byul. GBS. 1963. Iss. 15. P. 24–39.

4. *Daeva O.V.* Osobennosti prorastaniya semyan sibirskih vidov luka // Byull. GBS. 1966. Iss. 61. P. 66–72.

5. *Grubb P.J.* The maintenance of species-richness in plant communities: the importance of the regeneration niche // Biological Reviews. 1977. Vol. 52. P. 107–145.

6. *Schütz W., Rave G.* The effect of cold stratification and light on the seed germination of temperate sedges (Carex) from various habitats and implications for regenerative strategies // Plant Ecology. 1999. Vol. 144, No. 2. P. 215.

7. *Haberlandt F.* Der allgameine Landwirtschaft Pflanzenbau. 1879. 760 p.

8. *Borisova I.V.* O dolgovechnosti semyan nekotoryh stepnyh i pustynnyh rastenij Kazahstana i Mongolii // Bot. Zhurn. 1998. Vol. 83, No. 6. P. 55–65.

9. *Dneprovskij Yu.M., Cheremushkina V.A., Sudobina V.P.* Osobennosti prorastaniya semyan kornevishchnyh lukov Severnoj Azii // Byul. GBS. 1991. Iss. 159. P. 89–95.

10. *Rajkova I.K.* K biologii prorastaniya i vskhozhesti semyan nekotoryh pamirskih rastenij / I.K. Rajkova // Nauch. tr. Tashkentsk. Gos. un-ta. Biologiya. 1962. Iss. 210. P. 155–186.

11. *Steshenko A.P.* Biologiya svezhesobrannyh semyan u rastenij vysokogorij Pamira // Bot. Zhurn. 1963. Vol. 48, No. 7. P. 965–978.

12. *Gavrilova M.K.* Klimat Central'noj Yakutii. Yakutsk: Kn. izd-vo, 1973. 120 p.

13. *Strona I.G.* Obshchee semenovedenie polevyh kul'tur. M.: Kolos, 1966. 464 p.

14. *Buharov A.F., Baleev D.N., Buharova A.R.* Kinetika prorastaniya semyan. Metody issledovaniya i parametry / // Izvestiya TSKHA. 2017. Iss. 2. P. 5–15.

15. *Konspekt* flory Aziatskoj Rossii: sosudistye rasteniya / [L.I. Malyshevi dr.]; pod red. K.S. Bajkova. Novosibirsk.: Izd-vo SB RAN, 2012. 630 p.

16. *Konspekt* flory Yakutii: Sosudistye rasteniya / sost. L.V. Kuznecova, V.I. Zaharova. Novosibirsk: Nauka, 2012. 272 p.

17. *Nikolaeva M.G.* Osobennosti prorastaniya semyan rastenij iz podklassov Magnoliidae, Ranunculidae, Caryophyllidaei Hamamelidae // Bot. Zhurn. 1988. Vol. 73, No. 4. P. 508–521.

18. *Billings W.D., Mooney H.A.* The ecology of Arctic and alpine plants. 1968 //doi.org/10.1111/j.1469-185X.1968.tb00968.x

19. *Thompson K.* The occurrence of buried viable seeds in relation to environmental gradients // J. Biogeography. 1978. Vol. 5. P. 425–430.

20. *Grime J., Mason G., Curtis A.* A comparative study of germination characteristics in a local flora // Journal of Ecology. 1981. Vol. 69. P. 1017–1059.

21. *Bespalova Z.G., Borisova I.V., Sanzhid Zh.* Vskhozhest' i harakter prorastaniya semyanok nekotoryh vidov polyni (Artemisia L.) Central'nogo Kazahstana i Mongolii // Bot. Zhurn. 1982. Vol. 67, No. 10. P. 1321–1328.

22. *Nikolaeva M.G., Alekseeva H.A., Daleckaya T.V., Pozdova L.M., Polyakova E.N., Razumova M.V., Skryabin S.Z.* Usloviya prorastaniya semyan rastenij Krajnego Severa // Byull. GBS. 1983. Iss. 128. P. 90–94.

23. *Vihireva-Vasil'kova V.V.* O prorastanii semyan nekotoryh arkticheskih rastenij // Bot. Zhurn. 1958. Vol. 43, No. 7. P. 1024–1029.

24. *Rosbakh S., Poschlod P.* Initial temperature of seed germination as related to species occurrence along a temperature gradient // Funct. Ecol. 2015. Vol. 29. P. 5–14.

25. *Skripchinskij V.V.* Prisposobitel'nye reakcii, reguliruyushchie process rosta i razvitiya rastenij v svete obshchih zakonomernostej ontogeneza // Itogi i perspektivy issledovanij razvitiya rastenij. M.; L., 1959. P. 66–81.

26. *Mayfield M.M., Dwyer J.M., Main A., Levine J.M.* The germination strategies of widespread annual plants are unrelated to regional climate // Global Ecology and Biogeography. 2014. Vol. 23. P. 1430–1439.

About the authors

ANDROSOVA Darija Nikolaevna, junior researcher, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk 677000, Russia,
http://orcid.org/0000-0003-1521-0556, darija_androsova@mail.ru;

DANILOVA Nadezhda Sofronovna, chief researcher, Dr. Sci. (Biology), professor, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk 677000, Russia,
http://orcid.org/0000-0001-6532-7977, nad9.5@mail.ru.

Citation

Androsova D.N., Danilova N.S. Influence of temperature on germination of the seeds of herbaceous plants in Central Yakutia // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2021. Vol. 26, No. 1. pp. 107–115. (In Russ.) https://doi.org/10.31242/2618-9712-2021-26-1-10

УДК 599.742.1:574.3 (571.56-25)
DOI 10.31242/2618-9712-2021-26-1-11

Численность и распределение по территории безнадзорных собак в разных типах городской среды (на примере г. Якутск)

М.Л. Яковлева[1,*], М.М. Сидоров[1], В.А. Данилов[2], Е.Г. Шадрина[1]

[1]*Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия*
[2]*Научно-исследовательский институт прикладной экологии Севера им. Д.Д. Саввинова Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия*

**applebee1993@gmail.com*

Аннотация. *Приводятся результаты учета численности и территориального распределения безнадзорных собак г. Якутск с 2011 по 2019 г. На исследуемой территории рассмотрено распределение собак по территории двух типов среды: жилая многоэтажная и жилая 1–2-этажная. Отмечены существенные различия в показателях плотности населения безнадзорных собак как по типам застройки, так и по учетным площадкам, приуроченным к разным кварталам. В многоэтажной застройке города плотность варьирует от 4 до 42 особей/км^2, в 1–2 этажной – от 23 до 120 особей/км^2. Эти показатели зависят не только от типа застройки, но и от других факторов – времени года, наличия источников питания и т. п. При экстраполяции полученных нами результатов по двум основным типам среды (49,41 км^2) на территорию города (122 км^2), численность безнадзорных собак на 2019 г. составляет около 6500 особей. Также нами проанализирована степень привязанности безнадзорных собак к определенным кварталам. Оседлость более характерна для 1–2-этажной застройки (41,9 % особей), поскольку в данном типе среды наиболее благоприятные условия для обитания безнадзорных собак – постоянная подкормка со стороны людей, наличие большого количества мест сброса мусора и мест для выведения потомства, тогда как в районах многоэтажной жилой застройки чаще наблюдаются постоянно перемещающиеся собаки (75,8 % особей).*

Ключевые слова: безнадзорные собаки, городская среда, численность, плотность населения.

Благодарности. *Работа выполнена в рамках выполнения госзадания ИБПК СО РАН, проект «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» (0376-2016-0002; рег. номер АААА-А17-117020110058-4) и Государственного задания Минобрнауки РФ на период 2020–2022 гг. Проект FSRG-2020-0018 «Изучение особенностей функционирования арктических и субарктических экосистем Якутии в условиях усиления техногенного воздействия и глобального изменения климата».*

Введение

Во многих крупных городах наличие безнадзорных собак является одной из серьезных экологических проблем [1–46]. В последние годы в крупных городах Российской Федерации проблеме безнадзорных собак уделяется все большее внимание: экология и популяционная структура безнадзорных собак в России были изучены в Воронежской области [12], Москве [6, 18, 39], Омске [4, 21, 31, 32], Нижнем Новгороде [19], в городах Карелии [22, 45], Сургуте [35], Самаре [3], Перми [30], Казани [52], Ангарске [17], Пензе [20], Иркутске [34], Якутске [47, 48], Екатеринбурге [29], в Ямало-Ненецком автономном округе [24], Череповце [54], Мурманске [13], Ижевске [23].

Изучение безнадзорных собак представляет интерес не только с практической точки зрения, но и с теоретической – как модель для изучения внутрипопуляционных процессов при освоении новой среды. Так, Е.С. Березина [5], Л.А. Рязанова и Д.Ю. Нохрин [44] в своих работах рассматривают генетику окрасов беспородных собак. Есть работы по суточной активности безнадзорных собак [33], по половозрастной структуре популяций [35], по особенностям поведения и морфологии [27, 28, 49], по классификации и страте-

© Яковлева М.Л., Сидоров М.М., Данилов В.А., Шадрина Е.Г., 2021

гии контроля, а также регуляции численности безнадзорных собак [6, 25, 38, 40].

Большой интерес представляет изучение безнадзорных собак на территории северных городов, где влияние абиотических факторов ярко выражено. Город Якутск по категории относится к крупным городам [14], здесь сосредоточено около трети населения республики (315,951 тыс. человек). Это административный, культурный и научный центр Республики Саха (Якутия). Промышленность здесь представлена в основном предприятиями, обеспечивающими нормальное функционирование города, – пищевая, строительная, теплоэнергетика; в городе отсутствуют железная дорога и крупные перевалочные базы, поэтому основным типом среды здесь является жилая застройка.

К специфике экологических условий г. Якутск следует отнести природные условия. Климат региона резко-континентальный, с холодной зимой: средняя температура января составляет около −40 °С. При этом для непродолжительного летнего периода характерно небольшое количество осадков и высокие температуры – до +40 °С. Годовая амплитуда Якутска – одна из наибольших на планете и превышает 100 °С [53]. Известно, что суровые климатические условия Якутии приводят к тому, что синантропные виды фактически не могут существовать здесь в природных популяциях [27, 41, 50]. Естественно, что население безнадзорных собак в таких условиях также имеет свои особенности численности и распределения по территории. Кроме того, при анализе синантропной фауны следует учесть, что г. Якутск расположен в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород, в связи с чем все многоэтажные дома построены на свайном фундаменте.

Целью данной работы является оценка численности и структуры населения безнадзорных собак г. Якутск. При этом в наши задачи входило: определение численности безнадзорных собак в разных типах городской среды, выявление многолетней динамики численности и анализ степени оседлости бродячих собак.

Материал и методы исследования

Особенностью г. Якутск как административного центра является отсутствие выраженной зоны промышленной застройки, так как имеющиеся промышленные предприятия располагаются в разных частях города и чередуются с жилыми кварталами. Поэтому учеты проводились в жилой зоне, с выделением типов застройки. На крупномасштабной карте города были выделены площадки различных типов городской среды. Площадки выделов для удобства последующей обработки соответствовали кварталам города (рис. 1, табл. 1). Оценка площадей различных типов среды и конкретных площадок производилась с использованием ГИС-технологий: спутниковых снимков и программы SASPlanet, позволяющей обрабатывать космоснимки и определять площади выделенных объектов. На основании проделанной работы были проведены оценки площадей разных типов городской среды в исследованной части города в целом и по выделенным административным округам.

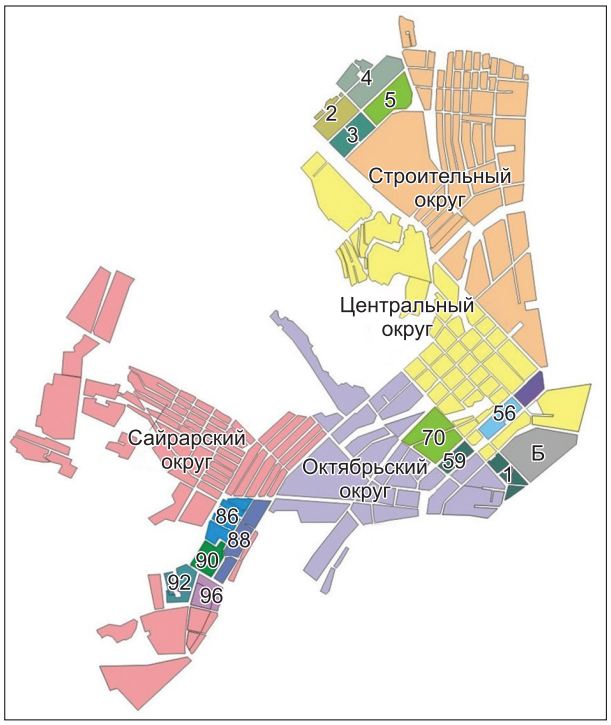


Рис. 1. Фрагмент карты г. Якутск с выделенными площадками учета в разных округах города.

Fig. 1. Map fragment of Yakutsk with highlighted accounting sites in different districts of the city.

Использовался модифицированный метод выборочного учета на пробных площадках [10, 51], расположенных в двух основных типах городской среды (застройки: жилая одно–двухэтажная и жилая многоэтажная). Всего выделено 12 площадок. Площадь этих двух типов среды в целом по г. Якутск составила 12,93 и 36,48 км^2, покрытие учетами – 4,28 и 3,57 % соответственно.

Таблица 1

Площадки проведения выборочных учетов безнадзорных собак г. Якутск

Table 1

Sites for census taking of stray dogs in Yakutsk

Типы среды Environment type	Округ District	Номер площадки Site number	Квартал Section	Площадь, км^2 Area, km^2	Общая площадь, среды, км^2 Total area of the environment, km^2	Обследованная площадь, км^2 Surveyed area, km^2
Жилая многоэтажная Multi-storey residential	Октябрьский Oktyabr'skii	1	59	0,046	12,93	0,55
		2	70	0,16		
	Центральный Central'nyi	3	56	0,065		
		4	54	0,056		
		5	1, Б	0,226		
Жилая одно–двухэтажная 1–2 storey residential	Сайсарский Saisarskii	6	92	0,11	36,48	1,3
		7	96	0,073		
		8	86,88,90	0,37		
	Строительный Stroitel'nyi	9	2	0,24		
		10	3	0,11		
		11	4	0,25		
		12	5	0,15		

Выбор модельных территорий объясняется особенностями г. Якутск – в городе отсутствуют крупные промышленные зоны, территория промышленных предприятий разобщена и чередуется с жилыми кварталами. Для учетов выбраны наиболее старые и обжитые районы города со сложившейся инфраструктурой.

Учеты проводились с 2011 по 2019 г. 2 раза в год, в весенне-летний и осенне-зимний периоды. Учет на каждой площадке проводился утром с 9 до 11 часов путем трехкратного обхода всей территории с регистрацией каждый раз всех бездомных собак на площадке. Для идентификации каждая встречаемая собака фотографировалась для внесения в картотеку базы данных, что позволило описать внешний вид этой собаки, примерный возраст, место ее встречи, состав группы, в которой она находилась во время встречи, и ряд других параметров.

Для каждой из площадок вычислялось количество обитающих здесь бездомных собак, на основе этих данных были получены значения популяционной плотности бездомных собак для площадки, а затем средней плотности для всех площадок в данном типе среды. Численность собак рассчитана исходя из данных о средней плотности населения и известной площади каждого типа среды. Расчет плотности населения собак в каждом отдельном квартале городской среды, численности в выделенных типах городской среды, а также расчет статистических ошибок данных производился по апробированной методике [51]:

Расчет численности и статистической достоверности учета.

Плотность населения.

$$D_j = \frac{n_j}{S_j}; \quad n_j = \sum_{k=1}^{b_j} n_{jk}; \quad S_j = \sum_{k=1}^{n_1} S_{jk}, \quad (1)$$

где D_j – средняя взвешенная плотность населения собак в j-м (отдельном) типе городской среды; n_j – число собак, учтенных в j-м типе городской среды (на всех площадках); n_{jk} – число собак, учтенных на k-м участке j-го типа; S_j – общая площадь выборочного учета в j-м типе среды; S_{jk} – площадь k-го участка в j-м типе; b_j – число выбранных участков на площадках в j-м типе городской среды.

Численность.

$$N_j = D_j Q_j, \quad (2)$$

где N_j – оценка численности собак в конкретном типе среды; D_j – оценка плотности собак в конкретном типе в целом; Q_j – площадь данного типа среды.

Статистическая ошибка оценки плотности.

$$m(D_j) = \sqrt{\sum (D_j - D_{jk}) \frac{S_{jk}}{S_j (S_j - S_{jk})}}, \quad (3)$$

где S_{jk} – площадь k-го участка данного типа среды, S_j – суммарная площадь участков данного типа среды.

Статистическая ошибка оценки численности.

$$m(N_j) = m(D_j) Q_j. \quad (4)$$

Результаты и их обсуждение

Работы по учету безнадзорных собак на территории г. Якутск были начаты в 2011 г. [16] и продолжаются по настоящее время. В табл. 2 приведен перечень учетных площадок и выделов, соответствующих одному типу среды, по округам, плотности бездомных собак на них.

В целом на период с 2011 по 2019 г. отмечены резкие колебания плотности населения безнадзорных собак. По двум типам среды отмечены существенные различия в показателях средней плотности населения безнадзорных собак как по типам застройки, так и по учетным площадкам, приуроченным к разным кварталам. Достоверность различий между показателями плотности населения безнадзорных собак г. Якутска в многоэтажной и 1–2-этажной застройках составила 0,00179.

Следует отметить, что в первые годы проведения учетов (2011–2012 гг.) учетные площадки в жилой 1–2-этажной среде располагались только в Сайсарском районе [16]. Поскольку городская среда имеет высокую тенденцию к изменению – расширяется площадь, за счет появления новых построек, для достоверного проведения учетов были взяты дополнительные учетные площадки (2, 3, 4, 5 кварталы) из Строительного района начиная с 2013 г.

В районах жилой одно-двухэтажной застройки г. Якутск за 2011–2019 гг. плотность популяции варьировала весьма значительно – от 23 до 120 особей/км^2, достигая максимума в 2013 г. В 2014–2015 гг. после резкого спада плотность популяции безнадзорных собак держится стабильно – примерно 70 особей/км^2. Затем нами снова отмечен спад в 2016 г. – плотность снижается до 37 особей/км^2 и далее незначительно возрастает в 2017 г., достигая 44 особей/км^2. После 2018 г. и по настоящее время резкие перепады в показателях плотности не наблюдаются, и она в среднем составляет 25 особей/ км^2 (рис. 2, табл. 3), тогда как в районах жилой многоэтажной застройки плотность населения безнадзорных собак была существенно ниже и варьировала от 4 до 42 особей/км^2, достигая максимума в 2012 г. (см. рис. 2, табл. 3). В целом в многоэтажной застройке после 2015 г. не наблюдается резких колебаний плотности населения бродячих собак, и в среднем она составляет 17 особей/км^2.

Расчет численности бездомных собак на модельных площадках дает детальную картину в соответствии с реально существующими различиями в экологических характеристиках мест обитания собак. Результаты наших учетов демонстрируют, что численность безнадзорных собак в двух основных типах среды г. Якутск подвержена значительным колебаниям, как во временном, так и в пространственном отношении (рис. 3, табл. 4). В пределах каждого отдельного года численность безнадзорных собак на территории 1–2-этажной жилой застройки была статистически выше, чем в районах многоэтажной застройки. При этом надо отметить, что величина статистической ошибки была существенно выше для площадок 1–2-этажной застройки. Это объясняется тем, что в данном типе среды имеются факторы, влияющие на достоверность учета, а именно – особенности постройки самих кварталов учета. Например, в Строительном округе дома расположены таким образом, что они образуют квадрат, в центре которого помещены мусорные баки. Сами мусорные баки небольшого размера, вследствие чего вокруг них скапливается переизбыток отходов. К тому же, в этих кварталах присутствует множество заброшенных строений и машин, где и под которыми собаки могут делать себе норы.

При экстраполяции полученных нами результатов по двум основным типам среды (49,41 км^2) на территорию города (122 км^2) численность безнадзорных собак на 2019 г. составляет около 6500 особей.

Кроме того, отмечены колебания численности и плотности населения безнадзорных собак по сезонам: в летний период городские безнадзорные собаки рассредоточиваются по окрестностям города и дачным массивам, что отражается в более низких показателях учета, а зимой плотность собак на территории города возрастает. При этом население безнадзорных собак на территории города постоянно обновляется за счет высокого отхода в зимний период, а также за счет пополне-

Таблица 2

Изменения плотности населения безнадзорных собак г. Якутск по учетным площадкам в 2011–2019 гг.

Table 2

Changes in the population density of stray dogs in Yakutsk by registration sites in 2011–2019 years

Тип среды Environment type	Округ District	Квартал Section	Площадь, км^2 Area, km^2	Плотность, особей/км^2 Density, individuals/km^2								
				2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Жилая многоэтажная Multi-storey residential	Октябрьский Oktyabr'skii	59	0,046	21,74	43,48	21,74	–	43,48	–	21,74	–	–
		70	0,16	18,75	62,50	43,75	6,25	37,50	12,50	9,38	5,00	9,82
	всего total		0,206	19,42	58,25	38,83	4,85	33,98	9,71	12,14	3,88	9,02
	Центральный Central'nyi	56	0,065	30,77	30,77	30,77	–	61,54	15,38	–	–	8,79
		54	0,056	53,57	17,86	–	–	17,86	17,86	44,64	14,29	15,31
		1,Б	0,226	8,85	35,40	17,70	4,42	–	22,12	13,27	2,65	6,95
	всего total		0,347	20,17	31,70	17,29	2,88	12,97	17,29	15,85	4,03	8,23
Всего *Total*			*0,553*	*19,89*	*41,59*	*25,32*	*3,60*	*20,80*	*14,47*	*14,47*	*3,98*	*8,52*
Жилая одно-двухэтажная 1-2 storey residential	Сайсарский Saisarskii	92	0,11	54,55	90,91	154,55	63,64	9,09	31,82	45,45	16,36	7,79
		96	0,073	95,89	109,59	150,68	54,79	27,40	41,10	27,40	41,10	29,35
		86,88,90	0,37	45,95	51,35	90,54	89,19	86,49	24,32	36,49	20,54	15,44
	всего total		0,553	54,25	66,91	111,21	79,57	62,39	25,32	32,55	22,42	15,76
	Строительный Stroitel'nyi	2	0,24	–	–	68,75	58,33	75,00	52,08	56,25	23,33	26,79
		3	0,11	–	–	136,36	72,73	59,09	36,36	36,36	69,09	64,94
		4	0,25	–	–	126,00	36,00	72,00	24,00	40,00	12,00	37,71
		5	0,15	–	–	213,33	73,33	93,33	80,00	76,67	12,00	24,76
	всего total		0,75	–	–	126,67	56,00	75,33	46,00	52,00	24,00	35,62
Всего *Total*			*1,303**	*54,25**	*66,91**	*120,11*	*66,00*	*69,84*	*37,22*	*43,75*	*23,33*	*27,19*
ВСЕГО **Total**			**1,856***	**35,34***	**51,72***	**88,09**	**47,41**	**55,23**	**30,44**	**35,02**	**17,56**	**21,63**

* В 2011–2012 гг. площадь 0,553, учеты проводили только в Сайсарском округе.

* In 2011–2012 the square is 0.553, since the censuses were carried out only in the Saisar district.

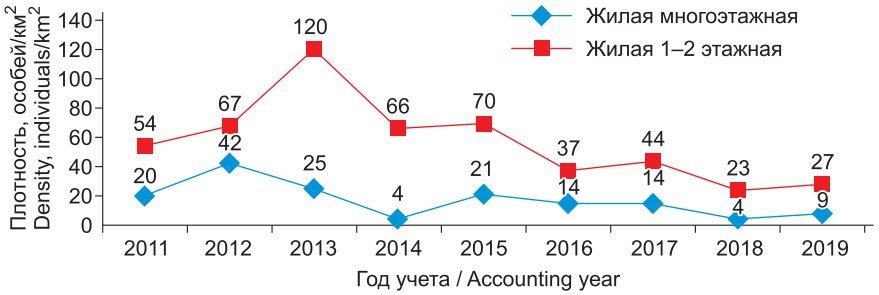


Рис. 2. Сравнение плотности населения безнадзорных собак на модельных площадках в двух типах среды (г. Якутск за 2011–2019 гг.).

Fig. 2. Comparison of the population density of stray dogs in two types of environment (Yakutsk for 2011–2019 years).

ния – потерянных и «брошенных» собак по окончании дачного сезона (рис. 4).

При анализе распределения собак по районам надо учесть, что Октябрьский и Центральный округи находятся в центре г. Якутск, здесь практически все здания являются многоэтажными, кроме того, Центральный округ – это еще и место сосредоточения главных административных зданий г. Якутск и Республики Саха в целом. Как было сказано выше, в связи с особенностями строительства в криолитозоне все каменные дома построены на сваях. Мусорные баки – стандартные высокие и железные, мусор вывозится практически всегда по графику. Есть лишь несколько старых домов, с невысоким свайным фундаментом, и в зимнее время оставшиеся в центре безнадзорные собаки в большинстве случаев используют пространство под старыми домами как норы.

Строительный округ находится на окраине города, представлен одно-двухэтажными деревянными домами. В этом районе много заброшенных зданий, гаражных стоянок, мусорные баки самодельные (деревянные), мусор вывозится редко, местные жители постоянно подкармливают безнадзорных собак. Все эти факты создают благоприятные условия для выживания безнадзорных собак в суровых зимних условиях.

Таблица 3

Плотность населения безнадзорных собак на модельных площадках г. Якутск в двух типах среды, особей/км^2

Table 3

Population density of stray dogs in the model sites in Yakutsk in two types of environment, individuals/km^2

Год учета Accounting year	Жилая многоэтажная (12,29 км^2) Multi-storey residential (12.29 km^2)	Жилая 1–2-этажная (36,48 км^2) 1–2-storey residential (36.48 km^2)	Критерий Стьюдента	
	M±m	M±m	t_c	$p \le 0{,}001$
2011	19,89±6,18	23,02±4,76	3,63	0,00179
2012	41,59±6,04	28,40±5,30		
2013	25,32±3,65	120,11±14,48		
2014	3,60±0,24	66,00±5,19		
2015	20,80±5,69	69,84±9,62		
2016	14,47±1,29	37,22±6,06		
2017	14,47±4,99	43,75±5,05		
2018	3,98±1,59	23,33±6,40		
2019	8,52±1,14	27,19±5,66		

Примечание. M – среднее арифметическое, m – статистическая ошибка, t_c – критерий Стьюдента; $p \le 0{,}001$ – уровень статистической значимости.

Note. M, the arithmetic mean; m, error; t_c, Student's t-test; $p \le 0.001$, the level of statistical significance.

Таблица 4

Численность безнадзорных собак на модельных площадках г. Якутск в двух типах среды, особей

Table 4

The number of stray dogs in the model sites in Yakutsk in two types of environment, individuals

Год учета Accounting year	Жилая многоэтажная (12,29 км^2) Multi-storey residential (12.29 km^2)	Жилая 1–2-этажная (36,48 км^2) 1–2-storey residential (36.48 km^2)
	M±m	M±m
2011	257±3,42	840±6,20
2012	538±3,34	1036±6,90
2013	327±2,02	4382±18,87
2014	47±0,13	2408±6,77
2015	269±3,15	2548±12,54
2016	187±0,71	1358±7,90
2017	187±2,76	1596±6,59
2018	51±0,88	851±8,35
2019	110±0,63	992±7,38

Примечание. M – среднее арифметическое, m – статистическая ошибка.

Note. M, the arithmetic mean; m, error.

Изменения в плотности населения также связаны с мероприятиями по отлову безнадзорных собак, которые проводит мэрия г. Якутск, начиная с 2013 г. Проведение мероприятий связано с тем, что в этот период участились случаи нападения собак на людей в разных населенных пунктах Якутии. С 2015 г. отловом собак официально занимается Пункт передержки безнадзорных животных [37].

Нами также проанализирована степень оседлости безнадзорных собак на территории г. Якутск. Как оседлые рассматривались собаки, зарегистрированные в пределах одного квартала в течение хотя бы двух-трех учетов, мигранты – зарегистрированные ранее в других кварталах, пришельцы – ранее учетами не зарегистрированные. Главным фактором миграции в условиях города является поиск пищи, но немаловажен также репродуктивный аспект. Самцы в период гона активно перемещаются на большие расстояния; самки в период течки также осуществляют переходы в поисках подходящего отца для будущего потомства и места для выведения щенков. Толчком к интенсификации этого процесса служит активное изменение городской среды под влиянием человека – активное строительство и перепланировка города, увеличение плотности населения городского населения, меры по регуляции численности бездомных животных.

Для анализа сравнения степени оседлости были взяты основные модельные площадки, а также два дополнительных квартала (№ 15 и № 145) из Строительного округа. Кварталы № 15 и № 145 (площади: 0,33 км^2 и 0,24 км^2 соответственно) представляют собой одноэтажный тип застройки: дома располагались вдоль улиц, и каждый участок был огорожен собственным забором. Несмотря на то что обитающие там особи преимущественно владельческие, они находились на свободном выгуле, поэтому мы отнесли их к безнадзорным собакам. При рассмотрении усредненных данных по типам среды разница в соотношении трех групп невелика: оседлые собаки составили 40,9, мигрирующие – 21,9, пришельцы – 37,3 % (рис. 5), но при анализе распределения по типам застройки выявлены различия. Высокая доля оседлых особей характерна для кварталов жилой 1–2-этажной застройки (41,9 %) и одноэтажного частного сектора (100 %), где

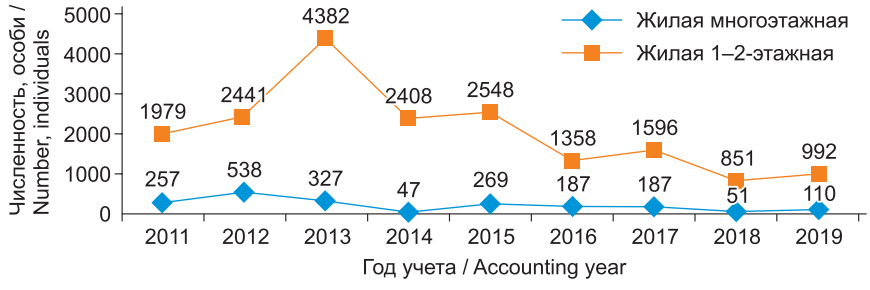


Рис. 3. Численность безнадзорных собак на модельных площадках в двух типах среды (г. Якутск за 2011–2019 гг.).

Fig. 3. The number of stray dogs in the model sites in two types of environment (Yakutsk, 2011–2019 years).

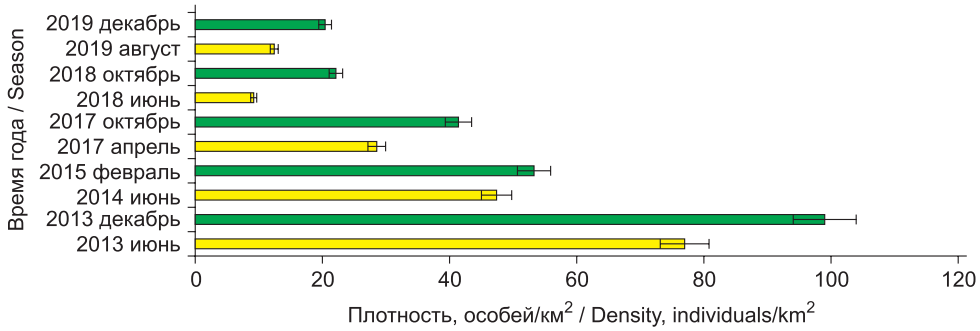


Рис. 4. Зависимость плотности населения безнадзорных собак от времени года (г. Якутск, 2013–2019 гг.).

Fig. 4. Dependence of population density of stray dogs on the season (Yakutsk, 2013–2019 years).

наблюдается большое число несанкционированных мест сброса мусора, это указывает на достаточное количество пищи и оптимальные условия для проживания собак. В районах многоэтажной застройки больше пришельцев и мигрантов (75,8 % и 14,5 % соответсвенно), что свидетельствует о нестабильности населения собак в этом типе среды и косвенно подтверждает наше мнение о ее меньшей благоприятности для существования безнадзорных животных.

Заключение

Таким образом, в период с 2011 по 2019 г. в двух типах среды на территории г. Якутск отмечены резкие колебания численности и плотности населения безнадзорных собак как по типам застройки, так и по учетным площадкам, приуроченным к разным кварталам. Средняя плотность населения за весь период работ составила 17 особей/км^2 в многоэтажном типе среды и 57 особей/км^2 – для 1–2-этажной застройки, колебания в разные годы достигали от 2 до 5 раз в 1–2-этажном типе среды: минимальная плотность 23 особи/км^2, максимальная – 120 особей/км^2. Для многоэтажного типа среды – от 1,5 до 10 раз (минимум – 4 особи/км^2, максимум – 42 особи/км^2).

При экстраполяции полученных нами результатов по двум основным типам среды (49,41 км^2) на территорию города (122 км^2), численность безнадзорных собак на 2019 г. составляет около 6500 особей.

Кроме того, отмечены колебания численности по сезонам: в летний период городские безнадзорные собаки рассредоточиваются по окрестностям города и дачным массивам, что отражается в более низких показателях учета, а зимой численность собак на территории города возрастает. Более высокие показатели плотности населения в

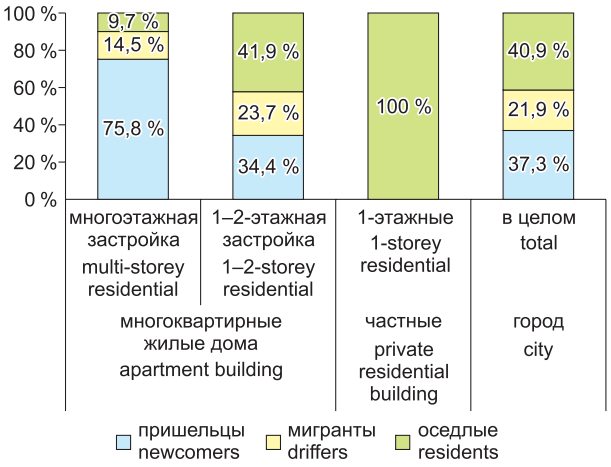


Рис. 5. Распределение безнадзорных собак г. Якутска по степени оседлости.

Fig. 5. Distribution of stray dogs in Yakutsk by the degree of residence.

зимний период характерны для районов 1–2-этажной застройки, что связано с наличием мест, служащих в качестве убежищ, и низким уровнем благоустройства, что облегчает безнадзорным собакам добывание пищи.

Анализ привязанности безнадзорных собак к определенным кварталам города показал невысокую долю оседлых особей (25,95), тогда как мигрирующие и пришельцы составили 31,54 и 42,51 % соответственно. Это служит показателем высокой степени мобильности населения, связанной с постоянным перемещением собак по территории, высокой долей индивидов, переходящих из категории «владельческих» в безнадзорные, и, возможно, связано с высокой смертностью. При этом более высокая доля оседлых особей характерна для кварталов жилой 1–2-этажной застройки, тогда как в районах многоэтажной застройки больше мигрантов и пришельцев, что

свидетельствует о нестабильности населения собак в этом типе среды и косвенно подтверждает наше мнение о ее меньшей благоприятности для существования безнадзорных животных.

Литература

1. *Gorbovets A.S.* Ecological aspects of stray dogs dwelling in a megapolis // Актуальные проблемы экологии и природопользования сборник научных трудов XVII Международной научно-практической конференции: в 2 частях / Российский университет дружбы народов. М., 2015. С. 81–84.

2. *Аралов А.В., Юрьев А.А.* О проблеме бездомных собак // Университет XXI века: исследования в рамках научных школ Материалы научной конференции научно-педагогических работников, аспирантов, магистрантов и соискателей ТГПУ им. Л.Н. Толстого / ТГПУ им. Л.Н. Толстого. Тула, 2015. С. 6–9.

3. *Артемова Е.Н., Владимирова Э.Д.* Мониторинг популяции полудиких собак в г. Самара // Материалы докладов международной молодежной конференции. Архангельск, 2007. С. 246–248.

4. *Березина Е.С.* Популяционная структура, особенности поведения и морфологии свободноживущих собак и кошек и значение этих животных в эпизоотических и эпидемических процессах при бешенстве, токсокарозе и токсоплазмозе: Дисс. … докт. биол. наук. Омск, 2012. 411 с.

5. *Березина Е.С.* Генетика окрасов беспородных собак в Среднем Прииртышье (г. Тара) // Териофауна России и сопредельных территорий. Международное совещание (IX Съезд Териологического общества при РАН). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. С. 55.

6. *Блохин Г.И., Блохина Т.В.* Этолого-экологические особенности безнадзорных собак в условиях города // Естественные науки. 2008. № 3.С. 54–57.

7. *Боярская В.И.* Проблема собак на улицах города // Безопасность городской среды: материалы межрегиональной (с международным участием) научно-практической конференции. 2016. С. 46–50.

8. *Васильев А.Г.* О территориальном поведении бродячих собак в городе // V съезд Всесоюзного териологического общества АН СССР. М., 1990. Т. 3. С. 9–10.

9. *Васильева Н.Н., Калинкина Е.В.* Проблемы бродячих животных (собаки) в больших городах и селитебных территориях. Географическое пространство: сбалансированное развитие природы и общества // Материалы V заоч. Всеросс. научно-практич. конф., посвященной году экологии в России. Южно-Уральский гос. гуманитарно-педагог. университет. 2017. С. 21–27.

10. *Верещагин А.О., Поярков А.Д., Горячев К.С.* Методы оценки численности бездомных собак в городе // Тез. докладов VI съезда териологического общества. М., 1999. 47 с.

11. *Винобер А.В., Винобер Е.В.* Собачья жизнь в России: социально-кинологический обзор // Гуманитарные аспекты охоты и охотничьего хозяйства. 2017. № 3 (6). С. 202–217.

12. *Гапонов С.П., Карагодина А.С.* Эколого-этологические особенности группировок собак в Воронеже // Вестник Мордовского университета. 2009. № 1. С. 112–114.

13. *Горяева А.А., Юдина С.О.* Начальный этап исследования группировки безнадзорных собак города Мурманска с позиции популяционной экологии // Интеграционные процессы в науке в современных условиях. Сб. статей межд. научно-практич. конф. Мурманск, 2018. С. 21–26.

14. Градотека [электронный ресурс]. URL: http://gradoteka.ru/city/yakutsk/info (дата обращения: 29.12.2016).

15. *Гуль И.Р., Гуль М.Ю.* Безнадзорные собаки в г. Львове: экологические и социальные аспекты // Териофауна России и сопредельных территорий. Международное совещание (VIII Съезд Териологического общества при РАН). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2007. С. 111.

16. *Данилов В.А., Ларионов А.Г.* Учет безнадзорных собак г. Якутска// Научно-исследовательская конференция «Научные и инновационные основы стратегии социально-экономического развития городского округа «г. Якутск» на период до 2030 г.». Якутск, 2011. С.117–123.

17. *Демидович А.П., Кашкова Т.В.* Бездомные собаки города Ангарска // Териофауна России и сопредельных территорий. Международное совещание (IX Съезд Териологического общества при РАН). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. С. 141.

18. *Жуленко А.С., Полынова Г.В.* Экологические типы популяции бездомных собак поселка Мосрентген г. Москвы // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2016. № 3. С. 35–44.

19. *Залозных Д.В., Пономаренко О.И.* Численность, особенности распределения и территориальное поведение бездомных собак в Нижнем Новгороде // Ветеринарная патология. 2006. № 2 (17). С. 19–23.

20. *Золина Н.Ф.* Особенности экологии популяций бездомных собак в городе Пензе // Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В.Г. Белинского. 2011. № 25. С. 195–198.

21. *Зонова А.Б., Плешакова В.И.* Проблема бездомных собак в Омске // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. 2016. № 4 (7). С. 10.

22. *Ивантер Э.В., Седова Н.А.* Экологический мониторинг группировок бездомных собак (на примере г. Петрозаводска) // Экология. 2008 г. № 2. С. 116–121.

23. *Капитонов В.И., Каргашин С.А.* Структура и динамика населения бродячих собак в г. Ижевске // Териофауна России и сопредельных территорий. Международное совещание (X Съезд Териологического

общества при РАН). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2016. С. 160.

24. *Кислицына Е.А., Богачева А.В.* Бездомные собаки как компонент урбанизированных территорий // Юный ученый. 2017. № 3-1 (12). С. 42–47.

25. *Комарова Н.С., Усенко В.В.* Пути решения проблемы безнадзорных животных. Вклад молодых ученых в аграрную науку // Матер. Межд. научно-практич. конф. 2018. С. 149–151.

26. *Коппингер Л., Коппингер Р.* Собаки. Новый взгляд на поведение, происхождение и эволюцию собак. М.: Софион, 2005. 384 с.

27. *Котенкова Е. В.* Синантропные и дикоживущие мыши надвидового комплекса *Mus musculuss*. l.: систематика, распространение, образ жизни, механизмы изоляции и эволюция. Автореф. дис. … докт. биол. н. М., 2000. 56 с.

28. *Кошутина Н.А.* Изучение поведения псовых на примере стаи бродячих собак // Инновационные условия развития науки и образования в межкультурном взаимодействии: комплексный подход. Материалы II международной научно-практической конференции. 2015. С. 14–16.

29. *Кошутина Н.А., Потапов И.В.* Особенности распространения и биологии бродячих собак в г. Екатеринбурге // Сборник статей Международной научно-практической конференции / Отв. ред. Сукиасян А.А. Уфа, 2015. С. 28–32.

30. *Май И.В., Максимова Е.В.* Медико-биологические аспекты обитания бродячих животных в крупном городе (на примере г. Перми) // Вестник Пермского университета. Серия: Биология. 2017. № 3. С. 341–346.

31. *Макенов М.Т., Кассал Б.Ю.* Исследование популяции собак-парий г. Омска // Омская биологическая школа. Ежегодник: Межвузовский сборник науч. трудов / Омск.гос. пед. ун-т. Омск: Изд-во ОмГПУ, 2006. Вып. 3. С. 129–132 .

32. *Макенов М.Т.* Динамика населения собак на контрольных участках в течение года // Актуальные проблемы современной териологии: Тезисы докладов. Всероссийская научная конференция. Новосибирск, 2012. С. 109.

33. *Макенов М.Т.* Суточная активность собак-парий. // Териофауна России и сопредельных территорий. Международное совещание (IX Съезд Териологического общества при РАН). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. С. 291.

34. *Молькова А.А., Носырева Ю.Н.* Анализ популяции бездомных собак на примере питомника «К-9» г. Иркутска // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. 2016. № 1. С. 46–50.

35. *Наконечный Н.В.* Структура популяции и поведенческие особенности бродячих собак города Сургута // Вестник Сургутского государственного университета. 2016. № 3 (13). С. 43–48.

36. *Наконечный Н.В., Ибрагимова Д.В., Емцев А.А.* Половозрастная структура популяций бродячих собак города Сургута и Сургутского района // Вестник Сургутского государственного университета. 2017. № 4 (18). С. 67–70.

37. *Официальный* сайт окружной администрации города Якутска [электронный ресурс]. https://якутск.рф/city/proekty/dobro/novosti/5444/ (дата обращения: 14.03.2015).

38. *Поярков А.Д.* Стратегия контроля и регуляции численности бродячих собак в городских условиях// Экология, поведение и управление популяциями волка. М., 1998.

39. *Поярков А.Д., Верещагин А.О., Горячев Г.С. и др.* Учет численности и популяционные характеристики бездомных собак г. Москвы // Животные в городе. Мат. научно-практ. конф. М., 2000. С. 84–87.

40. *Рахимов И.И., Шамсувалеева Э.Ш.* Особенности классификации бездомных собак // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. 2012. № 2-1. С. 131–136.

41. *Романова Г.А.* Материалы по распространению и экологии домовой мыши и серой крысы в Якутии // Экология наземных позвоночных таежной Якутии. Якутск, 1984. С. 77–82.

42. *Русакова И.Н.* Влияние демографических процессов на численность безнадзорных животных в российских городах // Петербургская социология сегодня. 2017. № 8. С. 73–90.

43. *Рябов Л.С.* Бродячие и одичавшие собаки в Воронежской области // Бюллетень МОИП. Отд. биолог. М., 1979. Т. 84, вып. 4. С. 18–27.

44. *Рязанова Л.А., Нохрин Д.Ю.* Сравнительный анализ окрасочного полиморфизма безнадзорных собак в условиях промышленного мегаполиса // Universum: химия и биология. 2016. № 1–2 (20). С. 6.

45. *Седова Н.А.* Экологический анализ населения бездомных собак в городах Карелии: Дисс. … канд. биол. наук. Петрозаводск, 2007. 130 с.

46. *Серебрякова Ю.* Бездомные собаки как часть городской экосистемы // Люди. Наука. Инновации в новом тысячелетии: сборник научных трудов Международной молодежной научно-практической конференции: в 2-х частях. 2015. С. 412–418.

47. *Сидоров М.М., Данилов Вас. А., Яковлева М.Л.* Безнадзорные собаки г. Якутска // Экологические проблемы промышленных городов. Сборник научных трудов по материалам 7-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Ч. 1 / Саратовский гос. университет. Саратов, 2015. С. 94–97.

48. *Сидоров М.М., Шадрина Е.Г., Данилов Вас. А., Яковлева М.Л.* Изменения численности и распределения по территории безнадзорных собак г. Якутска // Проблемы популяционной биологии. Матер. XII Всерос. популяц. семинара памяти Н.В. Глотова, 11–14 апреля 2017 г., г. Йошкар-Ола. Йошкар-Ола, 2017. С. 203–205.

49. *Тихонова Т.В.* Тенденции морфологической изменчивости свободноживущих собак в зависимости

от региона их обитания // Вестник Пермского университета. Серия: Биология. 2017. № 1. С. 93–98.

50. *Хляп Л.А., Варшавский А.А.* Синантропные и агрофильные грызуны как чужеродные млекопитающие. // Российский журнал биологических инвазий. 2010. Т. 3, № 3. С. 73–91.

51. *Челинцев Н. Г.* Математические основы учета животных. М., 2000. 431 с.

52. *Шамсувалеева Э.Ш., Рахимов И.И.* Особенности экологии бездомных собак в условиях города Казани и его окрестностей. Казань, 2013. 168 с.

53. *Швер Ц.А., Изюменко С.А.* Климат Якутска. Л.: Гидрометеоиздат, 1982. 246 с.

54. *Юрова Т.М., Коломийцев Н.П., Поддубная Н.Я., Хабарова Л.С.* Бездомные собаки г. Череповца: численность, демографическая структура группировок, распределение по территории // Териофауна России и сопредельных территорий. Международное совещание (X Съезд Териологического общества при РАН). М.: Товарищество научных изданий КМК. 2016. С. 472.

Поступила в редакцию 25.01.2021
Принята к публикации 26.02.2021

Об авторах

ЯКОВЛЕВА Мария Леонидовна, аспирант, лаборант, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 41, Россия,
https://orcid.org/0000-0003-1698-8343, e-mail: applebee1993@gmail.com;

СИДОРОВ Михаил Михайлович, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 41, Россия,
https://orcid.org/0000-0001-7490-2777, e-mail: sidorov_michail86@mail.ru;

ДАНИЛОВ Василий Александрович, младший научный сотрудник, НИИ Прикладной экологии Севера им. Д.Д. Саввинова Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, 677980, Якутск, пр. Ленина, 43, Россия,
https://orcid.org/0000-0003-1628-7512, e-mail: vasiliy_danilov01@mail.ru;

ШАДРИНА Елена Георгиевна, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 41, Россия,
https://orcid.org/0000-0002-9660-0072, e-mail: e-shadrina@yandex.ru.

Информация для цитирования

Яковлева М.Л., Сидоров М.М., Данилов В.А., Шадрина Е.Г. Численность и распределение по территории безнадзорных собак в разных типах городской среды (на примере г. Якутск) // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2021, Т. 26, № 1. С. 116–129. https://doi.org/10.31242/2618-9712-2021-26-1-11

DOI 10.31242/2618-9712-2021-26-1-11

Abundance and spatial distribution of stray dogs in different types of urban environment (by the example of Yakutsk)

M.L. Yakovleva[1,*], M.M. Sidorov[1], D.A. Danilov[2], E.G. Shadrina[1]

[1]Institute for Biological Problems of Cryolithozone of the Siberian Branch of RAS, Yakutsk, Russia
[2]Savinov Research Institute of Applied Ecology of the North, North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

**applebee1993@gmail.com*

Abstract. *The results of studying the abundance and spatial distribution of stray dogs over the territory of Yakutsk in 2011–2019 are presented. The distribution of dogs over the territory of two types of environment (residential multistorey area and residential 1–2-storey area) is discussed. Considerable differences*

in population density values are registered, depending both on area type and on census sites located in different city blocks. In multistorey areas, the density varies from 4 to 42 individuals per km^2, while in 1–2-storey areas, it varies from 23 to 120 individuals/km^2. These parameters depend not only on area type but also on other factors: season, availability of food sources, etc. The number of stray dogs obtained by extrapolation of the obtained results for two major types of environment (49,41 km^2) over the whole city territory (122 km^2) was about 6500 individuals in 2019. Migratory habits of stray dogs at the territory of Yakutsk were also analyzed. Residence is more characteristic of 1–2-storey areas (32 % of individuals), because in this type of environment the conditions are more favorable for stray dogs (regular feeding by local people and significant amount of local garbage dumps and suitable places for breeding), while in multistorey areas permanently migrating dogs are observed more frequently (74% of individuals).

Key words: stray dogs, urban environment, abundance, population density.

Acknowledgements. *The studies were carried out within the framework of the State Assignment to IBPC SB RAS, Project "Structure and dynamics of animal populations and communities in the cold region of the North-Eastern Russia under contemporary conditions of global climate change and anthropogenic transformation of Northern ecosystems: factors, mechanisms, adaptation, conservation" (0376-2016-0002; reg. No. AAAA17-117020110058-4) and the State Assignment of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation for 2020-2022, Project FSRG-2020-0018, «Study of the specifics of Arctic and subarctic ecosystems of Yakutia under the conditions of intensifying anthropogenic impact and global climate change».*

References

1. *Gorbovets A.S.* Ecological aspects of stray dogs dwelling in a megapolis // Aktual'nye problemy ekologii i prirodopol'zovaniya sbornik nauchnyh trudov XVII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii: v 2 chastyah / Rossijskij universitet druzhby narodov. M., 2015. P. 81–84.

2. *Aralov A.V., Yur'ev A.A.* O probleme bezdomnyh sobak // Universitet XXI veka: issledovaniya v ramkah nauchnyh shkol Materialy nauchnoj konferencii nauchno-pedagogicheskih rabotnikov, aspirantov, magistrantov i soiskatelej TGPU im. L.N. Tolstogo / TGPU im. L.N. Tolstogo. Tula, 2015. P. 6–9.

3. *Artemova E.N., Vladimirova E.D.* Monitoring populyacii poludikih sobak v g. Samara // Materialy dokladov mezhdunarodnoj molodezhnoj konferencii. Arhangel'sk, 2007. P. 246–248.

4. *Berezina E.S.* Populyacionnaya struktura, osobennosti povedeniya i morfologii svobodnozhivushchih sobak i koshek i znachenie etih zhivotnyh v epizooticheskih i epidemicheskih processah pri beshenstve, toksokaroze i toksoplazmoze: Diss. … dokt. biol. nauk. Omsk, 2012. 411 p.

5. *Berezina E.S.* Genetika okrasov besporodnyh sobak v Srednem Priirtysh'e (g. Tara) // Teriofauna Rossii i sopredel'nyh territorij. Mezhdunarodnoe soveshchanie (IX S"ezd Teriologicheskogo obshchestva pri RAN). M.: Tovarishchestvo nauchnyh izdanij KMK, 2011. P. 55.

6. *Blohin G.I., Blohina T.V.* Etologo-ekologicheskie osobennosti beznadzornyh sobak v usloviyah goroda // Estestvennye nauki. 2008. No. 3. P. 54–57.

7. *Boyarskaya V.I.* Problema sobak na ulicah goroda // Bezopasnost' gorodskoj sredy materialy mezhregional'noj (s mezhdunarodnym uchastiem) nauchno-prakticheskoj konferencii. 2016. P. 46–50.

8. *Vasil'ev A.G.* O territorial'nom povedenii brodyachih sobak v gorode // V s"ezd Vsesoyuznogo teriologicheskogo obshchestva AN SSSR. M., 1990. Vol. 3. P. 9–10.

9. *Vasil'eva N.N., Kalinkina E.V.* Problemy brodyachih zhivotnyh (sobaki) v bol'shih gorodah i selitebnyh territoriyah // Geograficheskoe prostranstvo: sbalansirovannoe razvitie prirody i obshchestva. Materialy V zaoch. Vseross. nauchno-praktich. konf., posvyashchennoj godu ekologii v Rossii / Yuzhno-Ural'skij gos. gumanitarno-pedagog. universitet. 2017. P. 21–27.

10. *Vereshchagin A.O., Poyarkov A.D., Goryachev K.S.* Metody ocenki chislennosti bezdomnyh sobak v gorode // Tez. dokladov VI s"ezda teriologicheskogo obshchestva. M., 1999. 47 p.

11. *Vinober A.V., Vinober E.V.* Sobach'ya zhizn' v Rossii: social'no-kinologicheskij obzor // Gumanitarnye aspekty ohoty i ohotnich'ego hozyajstva. 2017. No. 3 (6). P. 202–217.

12. *Gaponov S.P., Karagodina A.S.* Ekologo-etologicheskie osobennosti gruppirovok sobak v Voronezhe // Vestnik Mordovskogo universiteta. Nac. issled. Mordovskij gos. univer. im. N.P. Ogareva. 2009. 1. P. 112–114.

13. *Goryaeva A.A., Yudina S.O.* Nachal'nyj etap issledovaniya gruppirovki beznadzornyh sobak goroda Murmanska s pozicii populyacionnoj ekologii // Integracionnye processy v nauke v sovremennyh usloviyah. Sb. statej mezhd. nauchno-praktich. konf. 2018. P. 21–26.

14. *Gradoteka* [elektronnyj resurs]. URL: http://gradoteka.ru/city/yakutsk/info (data obrashcheniya: 29.12.2016).

15. *Gul' I.R., Gul' M.Yu.* Beznadzornye sobaki v g. L'vove: ekologicheskie i social'nye aspekty // Teriofauna Rossii i sopredel'nyh territorij. Mezhdunarodnoe soveshchanie (VIII S"ezd Teriologicheskogo obshchestva pri RAN). M.: Tovarishchestvo nauchnyh izdanij KMK, 2007. P. 111.

16. *Danilov V.A., Larionov A.G.* Uchet beznadzornyh sobak g. Yakutska // Nauchno-issledovatel'skaya konferenciya «Nauchnye i innovacionnye osnovy strategii social'no-ekonomicheskogo razvitiya gorodskogo okruga «g. Yakutsk» na period do 2030 g.». Yakutsk, 2011. P. 117–123.

17. *Demidovich A.P., Kashkova T.V.* Bezdomnye sobaki goroda Angarska // Teriofauna Rossii i sopredel'nyh territorij. Mezhdunarodnoe soveshchanie (IX S"ezd Teriologicheskogo obshchestva pri RAN). M.: Tovarishchestvo nauchnyh izdanij KMK, 2011. P. 141.

18. *Zhulenko A.S., Polynova G.V.* Ekologicheskie tipy populyacii bezdomnyh sobak poselka Mosrentgen g. Moskvy // Vestnik Rossijskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. 2016. No. 3. P. 35–44.

19. *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. 19–23.

20. *Zolina N.F.* Osobennosti ekologii populyacij bezdomnyh sobak v gorode Penze // Izvestiya Penzenskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. V.G. Belinskogo. 2011. No. 25. P. 195–198.

21. *Zonova A.B., Pleshakova V.I.* Problema bezdomnyh sobak v Omske // Elektronnyj nauchno-metodicheskij zhurnal Omskogo GAU. 2016. No. 4 (7). P. 10.

22. *Ivanter E.V., Sedova N.A.* Ekologicheskij monitoring gruppirovok bezdomnyh sobak (na primere g. Petrozavodska) // Ekologiya. 2008. No. 2. P. 116–121.

23. *Kapitonov V.I., Kargashin S.A.* Struktura i dinamika naseleniya brodyachih sobak v g. Izhevske // Teriofauna Rossii i sopredel'nyh territorij. Mezhdunarodnoe soveshchanie (X S"ezd Teriologicheskogo obshchestva pri RAN). M.: Tovarishchestvo nauchnyh izdanij KMK, 2016. P. 160.

24. *Kislicyna E.A., Bogachyova A.V.* Bezdomnye sobaki kak komponent urbanizirovannyh territorij // Yunyj uchenyj. 2017. No. 3-1 (12). P. 42–47.

25. *Komarova N.S., Usenko V.V.* Puti resheniya problemy beznadzornyh zhivotnyh // Vklad molodyh uchenyh v agrarnuyu nauku materialy. Mezhd. nauchno-praktich. konf. 2018. P. 149–151.

26. *Koppinger L., Koppinger R.* Sobaki. Novyj vzglyad na povedenie, proiskhozhdenie i evolyuciyu sobak. M.: Sofion, 2005. 384 p.

27. *Kotenkova E.V.* Sinantropnye i dikozhivushchie myshi nadvidovogo kompleksa *Mus musculuss*. l.: sistematika, rasprostranenie, obraz zhizni, mekhanizmy izolyacii i evolyuciya. Avtoref. dis. … dokt. biol. n. M., 2000. 56 p.

28. *Koshutina N.A.* Izuchenie povedeniya psovyh na primere stai brodyachih sobak // Innovacionnye usloviya razvitiya nauki i obrazovaniya v mezhkul'turnom vzaimodejstvii: kompleksnyj podhod. Materialy II mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. 2015. P. 14–16.

29. *Koshutina N.A., Potapov I.V.* Osobennosti rasprostraneniya i biologii brodyachih sobak v g. Ekaterinburge // Sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii / Otv. red. Sukiasyan A.A. Ufa, 2015. P. 28–32.

30. *Maj I.V., Maksimova E.V.* Mediko-biologicheskie aspekty obitaniya brodyachih zhivotnyh v krupnom gorode (na primere g. Permi) // Vestnik Permskogo universiteta. Seriya: Biologiya. 2017. No. 3. P. 341–346.

31. *Makenov M. T., Kassal B.Yu.* Issledovanie populyacii sobak-parij g. Omska // Omskaya biologicheskaya shkola. Ezhegodnik: Mezhvuzovskij sbornik nauch. trudov / Omsk. gos. ped. un-t. Omsk : Izd-vo OmGPU, 2006. Vyp. 3. P. 129–132 .

32. *Makenov M.T.* Dinamika naseleniya sobak na kontrol'nyh uchastkah v techenie goda Aktual'nye problemy sovremennoj teriologii: Tezisy dokladov // Vserossijskaya nauchnaya konferenciya. Novosibirsk, 2012. P. 109.

33. *Makenov M.T.* Sutochnaya aktivnost' sobak-parij // Teriofauna Rossii i sopredel'nyh territorij. Mezhdunarodnoe soveshchanie (IX S"ezd Teriologicheskogo obshchestva pri RAN). M.: Tovarishchestvo nauchnyh izdanij KMK, 2011. P. 291.

34. *Mol'kova A.A., Nosyreva Yu.N.* Analiz populyacii bezdomnyh sobak na primere pitomnika «K-9» g. Irkutska // Voprosy normativno-pravovogo regulirovaniya v veterinarii. 2016. No. 1. P. 46–50.

35. *Nakonechnyj N.V.* Struktura populyacii i povedencheskie osobennosti brodyachih sobak goroda Surguta // Vestnik Surgutskogo gosudarstvennogo universiteta. 2016. No. 3 (13). P. 43–48.

36. *Nakonechnyj N.V., Ibragimova D.V., Emcev A.A.* Polovozrastnaya struktura populyacij brodyachih sobak goroda Surguta i Surgutskogo rajona // Vestnik Surgutskogo gosudarstvennogo universiteta. 2017. No. 4 (18). P. 67–70.

37. *Oficial'nyj* sajt okruzhnoj administracii goroda Yakutska [elektronnyj resurs]. https://yakutsk.rf/city/proekty/dobro/novosti/5444/ (data obrashcheniya: 14.03.2015).

38. *Poyarkov A.D.* Strategiya kontrolya i regulyacii chislennosti brodyachih sobak v gorodskih usloviyah// Ekologiya, povedenie i upravlenie populyaciyami volka. M.: 1998.

39. *Poyarkov A.D., Vereshchagin A.O., Goryachev G.S. i dr.* Uchet chislennosti i populyacionnye harakteristiki bezdomnyh sobak g. Moskvy // Zhivotnye v gorode. Mat. nauchno-prakt. konf. M., 2000. P. 84–87.

40. *Rahimov I.I., Shamsuvaleeva E.Sh.* Osobennosti klassifikacii bezdomnyh sobak // Vestnik Chuvashskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. I.Y. Yakovleva. 2012. No. 2-1. P. 131–136.

41. *Romanova G.A.* Materialy po rasprostraneniyu i ekologii domovoj myshi i seroj krysy v Yakutii // Ekologiya nazemnyh pozvonochnyh taezhnoj Yakutii. Yakutsk, 1984. P. 77–82.

42. *Rusakova I.N.* Vliyanie demograficheskih processov na chislennost' beznadzornyh zhivotnyh v rossijskih gorodah. // Peterburgskaya sociologiya segodnya. 2017. No. 8. P. 73–90.

43. *Ryabov L.S.* Brodyachie i odichavshie sobaki v Voronezhskoj oblasti // Byulleten' MOIP. Otd. biolog. M., 1979. Vol. 84, Iss. 4. P. 18–27.

44. *Ryazanova L.A., Nohrin D.Yu*. Sravnitel'nyj analiz okrasochnogo polimorfizma beznadzornyh sobak v usloviyah promyshlennogo megapolisa // Universum: himiya i biologiya. 2016. No. 1-2 (20). P. 6.

45. *Sedova N.A.* Ekologicheskij analiz naseleniya bezdomnyh sobak v gorodah Karelii: Diss. … kand. biol. nauk. Petrozavodsk, 2007. 130 p.

46. *Serebryakova Yu.* Bezdomnye sobaki kak chast' gorodskoj ekosistemy // Lyudi. Nauka. Innovacii v novom tysyacheletii sbornik nauchnyh trudov Mezhdunarodnoj molodezhnoj nauchno-prakticheskoj konferencii: v 2-h chastyah. 2015. P. 412–418.

47. *Sidorov M.M., Danilov V.A., Yakovleva M.L.* Beznadzornye sobaki g. Yakutska. Ekologicheskie problemy promyshlennyh gorodov // Sbornik nauchnyh trudov po materialam 7-j Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. Chast' 1. Saratovskij gos. universtitet. Saratov. 2015. P. 94–97.

48. *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. Mater. XII Vseros. populyac. seminara pamyati N.V. Glotova, 11–14 aprelya 2017. g. Joshkar-Ola. Joshkar-Ola, 2017. P. 203–205.

49. *Tihonova T.V.* Tendencii morfologicheskoj izmenchivosti svobodnozhivushchih sobak v zavisimosti ot regiona ih obitaniya // Vestnik Permskogo universiteta. Seriya: Biologiya. 2017. No. 1. P. 93–98.

50. *Hlyap L.A., Varshavskij A.A.* Sinantropnye i agrofil'nye gryzuny kak chuzherodnye mlekopitayushchie // Rossijskij zhurnal biologicheskih invazij. 2010. Vol. 3. No. 3. P. 73–91.

51. *Chelincev N.G.* Matematicheskie osnovy ucheta zhivotnyh. M., 2000. 431 p.

52. *Shamsuvaleeva E.Sh., Rahimov I.I.* Osobennosti ekologii bezdomnyh sobak v usloviyah goroda Kazani i ego okrestnostej. Kazan', 2013. 168 p.

53. *Shver C.A., Izyumenko S.A.* Klimat Yakutska. L.: Gidrometeoizdat, 1982. 246 p.

54. *Yurova T.M., Kolomijcev N.P., Poddubnaya N.Ya., Habarova L.S.* Bezdomnye sobaki g. Cherepovca: chislennost', demograficheskaya struktura gruppirovok, raspredelenie po territorii // Teriofauna Rossii i sopredel'nyh territorij. Mezhdunarodnoe soveshchanie (H S"ezd Teriologicheskogo obshchestva pri RAN). M.: Tovarishchestvo nauchnyh izdanij KMK, 2016. P. 472.

About the authors

YAKOVLEVA Maria Leonidovna, graduate student, Assistant, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk 677980, Russia,
https://orcid.org/0000-0003-1698-8343, e-mail: applebee1993@gmail.com;

SIDOROV Mikhail Mikhailovich, Cand. Sci. (Biology), researcher, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk 677980, Russia,
https://orcid.org/0000-0001-7490-2777, sidorov_michail86@mail.ru;

DANILOV Vasily Alekseevich, junior researcher, D.D. Savinov Research Institute of Applied Ecology of the North, North-Eastern Federal University, 43 Lenina pr., Yakutsk 677980, Russia,
https://orcid.org/0000-0003-1628-7512, vasiliy_danilov01@mail.ru;

SHADRINA Elena Georgievna, professor, Dr. Sci. (Biology), chief researcher, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk, 677980, Russia
https://orcid.org/0000-0002-9660-0072, e-shadrina@yandex.ru.

Citation

Yakovleva M.L., Sidorov M.M., Danilov D.A., Shadrina E.G. Abundance and spatial distribution of stray dogs in different types of urban environment (by the example of Yakutsk) // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2021, Vol. 26, No. 1. P. 116–129. https://doi.org/10.31242/2618-9712-2021-26-1-11

Биологические ресурсы

УДК 581.95: 582.573.81(571.56)
DOI 10.31242/2618-9712-2021-26-1-12

Новое местонахождение *Hemerocallis Minor* Mill. (Hemerocallidaceae) на территории Якутии

О.А. Николаева, Е.А. Афанасьева*

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия
**Zea_81@mail.ru*

Аннотация. *Красоднев малый (желтый) – Hemerocallis minor – включен в Красную книгу РС(Я), в категорию 2б – вид, численность которого сокращается в результате чрезмерного использования человеком. В 2019 г. в окрестностях с. Жемкон Хангаласского улуса Республики Саха (Якутия) на пойменном злаково-разнотравном лугу, рядом с проезжей частью дороги было обнаружено новое местонахождение редкого для Якутии вида. Исследование проводили по общепринятой методике изучения за ценопопуляциями растений, на 20 площадках размером 1 м^2. Изученная ценопопуляция H. minor небольшая, занимает около 20 м^2. Общая численность популяции составляет 103 особи, плотность произрастания вида 5,1 экз/м^2. Ценопопуляция молодая нормальная неполночленная, возрастной спектр левосторонний с максимумом на виргинильные особи. Самоподдержание ценопопуляции только семенное. Лимитирующим фактором численности и самоподдержания ценопопуляции является антропогенный. Данная ценопопуляция H. minor находится под угрозой исчезновения и нуждается в особых мерах охраны. Создание интродукционной популяции может служить резервным фондом для восстановления ценопопуляции H. minor в Центральной Якутии.*

Ключевые слова: *Hemerocallis*, редкий вид, Красная книга, флористические находки, ценопопуляция, фитоценотическое описание, Центральная Якутия.

Благодарности. *Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по проекту «Растительный покров криолитозоны таежной Якутии: биоразнообразие, средообразующие функции, охрана и рациональное использование» (тема № 0297-2021-0023, ЕГИСУ НИОКТР № АААА-А21-121012190038-0). Авторы выражают благодарность заместителю директора по научной работе со школьниками МБОУ Ойской СОШ Ноговицыну Б.Р. за организацию экспедиции.*

Введение

Hemerocallis minor Mill. – красоднев малый (желтый) – в Якутии встречается очень редко, включен в Красную книгу РС(Я), категория 2 б – вид, численность популяции которой сокращается в результате чрезмерного использования их человеком и может быть стабилизирована специальными мерами охраны [1]. Вид также включен в Красные книги Красноярской, Новосибирской и Читинской областей [2–4]. *H. minor* – крупное до 60 см корневищное растение с прикорневыми линейными листьями; цветонос безлистый, несущий до 6–10 крупных цветков до 10 см в диаметре; околоцветник воронковидный, лимонно-желтый, при основании трубчатый; коробочки овальные, до 3 см длиной, семена черные блестящие.

Материал и методы

Первичное испытание *H. minor* в ботаническом саду Якутии показало высокие интродукционные возможности вида. В коллекции имеются два образца, мобилизованные из Олекминского улуса (Юго-Западная Якутия), из окр. д. Кочегарово и д. Абага. Интродуценты ежегодно и обильно цветут и плодоносят, образуют многочисленный жизнеспособный самосев. Испытывается во многих ботанических садах Сибири [5]. *H. minor* – высокодекоративное растение, в условиях культуры морфологические показатели по-

© Николаева О.А., Афанасьева Е.А., 2021

вышаются в несколько раз [6]. Используется в групповых и одиночных посадках, в миксбордерах и других цветочных композициях частного и городского озеленения.

Общее распространение: Восточная и Западная Сибирь, российский Дальний Восток; Китай, Монголия, Корея [7]. ***В Якутии:*** Центральная Якутия: наиболее северное местонахождение близ г. Якутск, окр. с. Едейцы. Юго-Западная Якутия: долина р. Лена от пос. Пеледуй до г. Олекминск, р. Большой Патом (рис. 2) [1, 8].

Места обитания и биология. Произрастает в березовых и сосновых лесах, на пойменных и лесных лугах. Предпочитает умеренно влажные места, рыхлые богатые почвы. Светолюбив. Цветет с середины июня до конца июля, семена созревают в конце августа.

Флористические исследования проводились на территории Хангаласского улуса Центральной Якутии, охватывающей юго-восточную часть Среднесибирского плоскогорья, южную часть Центрально-Якутской низменности и северную половину Приленского плато. Вся территория относится к Центрально-Якутскому флористическому району [9].

Климат. Климат Центральной Якутии характеризуется резкой континентальностью, продолжительным зимним периодом и засушливостью. Перепады температуры по абсолютному минимуму и максимуму достигают 102 °С. В июле средняя температура составляет 18,7 °С, максимальная достигает 38 °С, в январе средняя –43,3 °С, минимальная –64 °С. Годовое количество осадков составляет 247 мм [9–10].

Гидрография. По территории исследуемого района протекает одна из крупнейших водных артерий Азии – р. Лена и ее крупные притоки: Вилюй (левый приток), Алдан и Амга (правые притоки). Питание рек в основном снеговое, летом и осенью дождевое.

Почвы. Центральная Якутия расположена в области сплошного распространения криолитозоны мощностью 500–600 м. Многолетнемерзлотные породы влияют на своеобразие приземного климата и почвообразовательных процессов. По почвенно-мелиоративному районированию в Центральную Якутию входят следующие провинции: Центрально-Якутская таежно-аласная мерзлотных палевых карбонатных почв в сочетании с луговыми и засоленными почвами аласов; Якутская долинно-степная мерзлотных черноземов [9].

Ценопопуляционное исследование *H. minor* проводили по общепринятой методике [11–13] на 20 площадках размером 1 м^2.

Обсуждение результатов

Новая точка местообитания *H. minor* была найдена в ходе экспедиционных работ в июне 2019 г. в окр. с. Жемкон на пойменном злаково-разнотравном лугу, вдоль проезжей части дороги к паромной переправе через р. Лена Жемкон-Качикатцы (рис. 1).

Травостой довольно густой двухъярусный, общее проективное покрытие составляет 90–95 %, средняя высота травостоя 50–60 см. В первом ярусе доминируют *Poa pratensis* L., *Ranunculus propinquus* C.A. Mey., рассеянно – *Elytrigia repens* (L.) Nevski*, Bromopsis inermis* (Leysser) Holub*, Galium boreale* L.*, G. verum* L.*, Hordeum brevisubulatum* (Trin.) Link*, Thalictrum simplex* L.*, T. minus* L.*, Acetosa thyrsiflora* (Fingerh.) A. et D. Löve*, Sanguisorba officinalis* L.*,* единично – *Valeriana alternifolia* Ledeb.*, Iris setosa* Pall. ex Link s.l.*, Anemone sp.* Второй ярус сложен доминирующим видом *Equisetum arvense* L.*,* реже – *Taraxacum ceratophorum* (Ledeb.) DC.*, Vicia cracca* L.*, V. amoena* Fisch., *Geranium pratense* L.*, Allium schoenoprasum* L.*, Anemone dichotomun* (L.) Holub*, A. sylvestris* L.*, Achillea millefolium* L.*, Astragalus sp, Dasystephana macrophylla* (Pall.) Zuev*, Plantago media* L.*, Primula farinosa* L.*, Pedicularis sp, Linum komarovii* Juz.*, Potentilla stipularis* L. Единично встречаются *Betula pendula* Roth и *Salix bebbiana* Sarg.

Данные гербарной этикетки: Республика Саха (Якутия). Хангаласский улус. Окрестности пос. Жемкона. 61°437712′ с.ш., 129°192391′ в.д. 18 VI [2019]. Собрали: Николаева О.А., Афанасьева Е.А. Определили: Николаева О.А., Афанасьева Е.А. (SASY, LE, 055429).

Изученная ценопопуляция *H. minor* небольшая, занимает около 20 м^2. Общая численность ценопопуляции составляет 103 особи, плотность произрастания вида 5,1 экз/м^2. Ценопопуляция молодая нормальная неполночленная, возрастной спектр левосторонний с максимумом на виргинильные особи. Самоподдержание ценопопуляции только семенное.

Лимитирующим численность и самоподдержание ценопопуляции является антропогенный

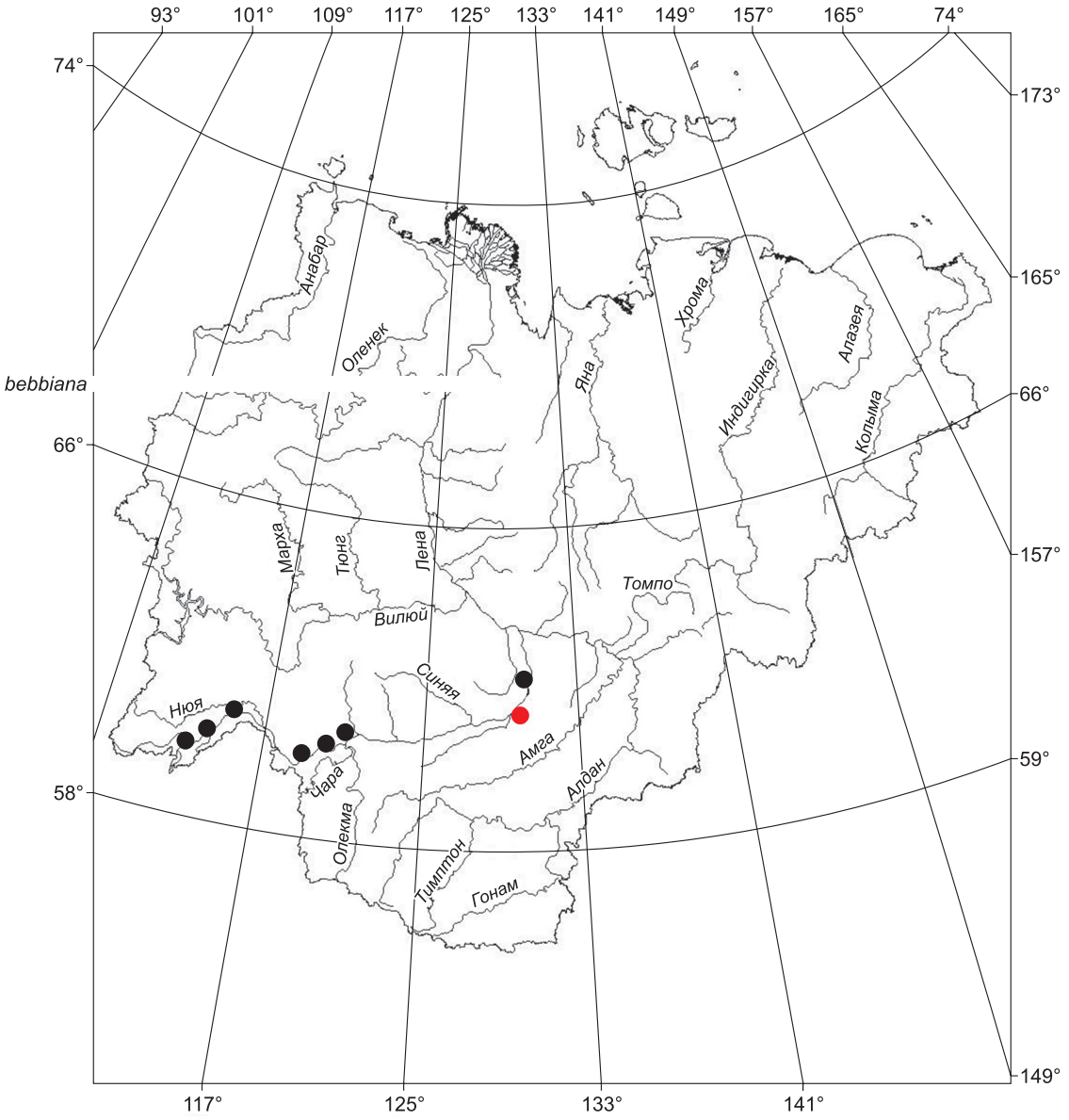


Рис. 1. Распространение *Hemerocallis minor* на территории Якутии (черными точками отмечены ранее известные местообитания, красной – новая точка обнаружения).

Fig. 1. The distribution of *Hemerocallis minor* on the territory of Yakutia (black dots indicate previously known habitats, red – a new detection point).

фактор. Было обнаружено более 10 следов выкопки растений. *H. minor* наиболее заметен в середине июня, во время цветения, поэтому хищнические действия людей направлены на извлечение цветущих взрослых растений, что объясняет отсутствие взрослых генеративных растений. Всего в популяции было обнаружено 17 молодых генеративных особей. Генеративные особи *H. minor* по всем параметрам уступают интродуцентам. В среднем высота генеративных растений достигает 44,8 см, побег несет 6–7 листьев и 2 цветка (рис. 2). Длина листа в среднем 32,1 см, ширина листа – 1,1 см. Диаметр цветка от 6,5 до 7,8 см. Средняя длина наружного лепестка – 6,3 см, ширина – 1,7 см. Средняя длина внутреннего лепестка – 6,3 см, ширина – 2,0 см.

Изученные ценопопуляции в Олекминском районе также малочисленные, насчитывают не



Рис. 2. *Hemerocallis minor* в окр. пос. Жемкон.

Fig. 2. *Hemerocallis minor* in the vicinity of the Gemcon village.

более 100 особей, возрастной спектр также неполночленный и левосторонний с преобладанием прегенеративных особей [6].

Заключение

Таким образом, изученная ценопопуляция *H. minor* на территории Хангаласского улуса Республики Саха (Якутия) находится под угрозой исчезновения и нуждается в особых мерах охраны. Создание интродукционной популяции может служить резервным фондом для восстановления ценопопуляции *H. minor* в Центральной Якутии.

Литература

1. *Красная* книга Республика Саха (Якутия). Т. 1. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и грибов. М., 2017. 412 с.

2. *Красная* книга Читинской области и Агинского Бурятского автономного округа.: Растения / гл. ред. А.П. Островский. Чита: Стиль, 2002. 280 с.

3. *Красная* книга Новосибирской области: Животные, растения и грибы / Отв. ред. В.А. Юдкин, Д.Н. Шауло. 2-е изд., перераб. и доп. Новосибирск: Арта, 2008. 528 с.

4. *Красная* книга Красноярского края: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды дикорастущих растений и грибов / Отв. ред. Н.В. Степанов. Красноярск: Изд-во СФУ, 2012. 576 с.

5. *Интродукция* растений природной флоры Сибири / Науч. ред. А.Н. Куприянов, Е.В. Банаев; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Центральный сибирский ботанический сад; Кузбасский ботанический сад ФИЦ угля и углехимии СО РАН. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2017. 495 с.

6. *Борисова С.З., Данилова Н.С.* 2017. Эколого-биологическая характеристика редкого для Якутии вида *Hemerocallis minor* (Hemerocallidaceae) // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2017. № 37. С. 44–57.

7. *Флора* Сибири. Т. 4: Araceae – Orchidaceae. Новосибирск, 1987. 208 с.

8. *Конспект* флоры Якутии. Сосудистые растения. Новосибирск, 2012. 272 с.

9. *Разнообразие* растительного мира Якутии // Захарова В.И. и др. / Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т биологич. проблем криолитозоны. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2005. 328 с.

10. *Гаврилова М.К.* Климат Центральной Якутии. Якутск: Кн. изд-во, 1973. 119 с.

11. *Работнов Т.А.* Жизненный цикл многолетних травянистых растений в луговых ценозах // Тр. БИН АН СССР. 1950. № 3(6): 7. 197 с.

12. *Ценопопуляции* растений (Основные понятия и структура). М., 1976. 217 с.

13. *Ценопопуляции* растений: Очерки популяционной биологии. 1988. М. 184 с.

Поступила в редакцию 20.11.2020
Принята к публикации 27.01.2021

Об авторах

НИКОЛАЕВА Ольга Александровна, инженер-исследователь, Институт биологических проблем криолитозоны РАН, 677000, Якутск, пр. Ленина, 41, Россия,
https://orcid.org/0000-0002-1646-6759, olka87.87@mail.ru;

АФАНАСЬЕВА Екатерина Александровна, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны РАН, 677000, Якутск, пр. Ленина, 41, Россия, https://orcid.org/0000-0002-1810-003X, Zea_81@mail.ru.

Информация для цитирования

Николаева О.А., Афанасьева Е.А. Новое местонахождение *Hemerocallis Minor* Mill. (Hemerocallidaceae) на территории Якутии // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2021. Т. 26, № 1. С. 130–135. https://doi.org/10.31242/2618-9712-2021-26-1-12

DOI 10.31242/2618-9712-2020-26-1-12

The new location *Hemerocallis Minor* Mill. in the territory of Yakutia

O.A. Nikolaeva, E.A. Afanasieva

Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk, Russia
**Zea_81@mail.ru*

Abstract. *Hemerocallis minor – is included in the Red Book of the Republic of Sakha (Yakutia), in category 2b, a species whose numbers are decreasing as a result of excessive human use. In 2019, in the vicinity of the village Zhemkon of the Khangalassky ulus of the Sakha Republic (Yakutia) on a floodplain cereal-forb meadow, next to the roadway, a new location of a species rare for Yakutia was discovered. The study was carried out according to the generally accepted research method for plant cenopopulations, on 20 sites with a size of 1 m^2. The studied coenopopulation of H. minor is small, occupying about 20 m^2. The total number of the population is 103 individuals, the density of growth of the species is 5.1 ind./m^2. The cenopopulation is young, normal, incomplete, the age spectrum is left-sided with a maximum for virginal individuals. Self-maintenance of cenopopulation is only seed. The anthropogenic factor is the limiting aspect of the number and self-maintenance of the cenopopulation. This coenopopulation of H. minor is endangered and needs special protection measures. The creation of an introduction population can serve as a reserve fund for the restoration of the H. minor cenopopulation in the Central Yakutia.*

Key words: *Hemerocallis*, rare species, Red Book, floristic finds, coenopopulation, phytocenotic descriptions, Central Yakutia.

Acknowledgements. *The research was carried out within the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme No. 0297-2021-0023, reg. No. AAAA-A21-121012190038-0). The authors are grateful to the deputy director for research with schoolchildren MBOU Oyskoy SOSH for Nogovitsin B.R. for organizing the expedition.*

References

1. *Krasnaya* kniga Respublika Saha (Yakutiya). Redkie i nahodyashchiesya pod ugrozoj ischeznoveniya vidy rastenij i gribov. M., 2017. 412 p.

2. *Krasnaya* kniga Chitinskoj oblasti i Aginskogo Buryatskogo avtonomnogo okruga : Rasteniya / gl. red. A.P. Ostrovskij. Chita: Stil', 2002. 280 p.

3. *Krasnaya* kniga Novosibirskoj oblasti: zhivotnye, rasteniya i griby / otv. red. V.A. Yudkin, D.N. Shaulo. 2-e izd., pererab. i dop. Novosibirsk: Arta, 2008. 528 p.

4. *Krasnaya* kniga Krasnoyarskogo kraya: Redkie i nahodyashchiesya pod ugrozoj ischeznoveniya vidy dikorastushchih rastenij i gribov / otv. red. N.V. Stepanov. Krasnoyarsk: Izd-vo SFU, 2012. 576 p.

5. *Introduksia* rasteniy pripodnoy flory Sibiri 2017 / Nauch. red. A.N. Kupriyaniv, E.V. Banaev; Ros. akad. nauk, Sib. otd-nie, Tsentral`nyy sibirskiy botanicheskiy sad; Kuzbasskiy botanicheskiy sad FITS uglja i uglechimii SO RAN. Novosibirsk: Akademicheskoe izd-vo «Geo», 2017. 495 p.

6. *Borisova S.Z., Danilova N.S.* Ekologo-biologicheskaya harakteristika redkogo dlya Yakutii vida Hemerocallis minor (Hemerocallidaceae) // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya. 2017. No. 37. P. 44–57.

7. *Flora* Sibiri. T. 4: Araceae – Orchidaceae. Novosibirsk, 1987. 208 p.

8. *Konspekt* flory Yakutii. Sosudistye rastenija. [Synopsis of the Yakutian flora. Vascular plants]. Novosibirsk, 2012. 272 p.

9. *Raznoobrazie* rastitel'nogo mira Yakutii // Zaharova V.I. i dr. / Ros. Akad. Nauk, Sib. otd-nie, In-t biologich problem kriolitozony. Novosibirsk: Izdatel'stvo SO RAN, 2005. 328 p.

10. *Gavrilova M.K.* Klimat Central'noj Yakutii. Yakutsk: Kn. izd-vo, 1973. 119 p.

11. *Rabotnov T.A.* The life cycle of perennial herbaceous plants in the meadow cenoses // Tr. BIN AN SSSR. 1950. No. 3(6). P. 7–197.

12. *Cenopopulyacii* rastenij (Osnovnye ponyatiya i struktura). M., 1976. 217 p.

13. *Cenopopuljacii* rastenij: Ocherki populjacionnoj biologii. M., 1988. 184 p.

About the authors

NIKOLAEVA Olga Aleksandrovna, research-engineer, Botanical garden, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk 677980, Russia,
https://orcid.org/0000-0002-1646-6759, olka87.87@mail.ru;

AFANASIEVA Ekaterina Aleksandrovna, Cand. Sci. (Biology), researcher, Botanical garden, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk 677980, Russia,
https://orcid.org/0000-0002-1810-003X, Zea_81@mail.ru.

Citation

Nikolaeva O.A., Afanasieva E.A. The new location *Hemerocallis Minor* Mill. in the territory of Yakutia // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2021. Vol. 26, No. 1. pp. 130–135. (In Russ.) https://doi.org/10.31242/2618-9712-2021-26-1-12

УДК 615.322:615.9:633.87(517.56)
DOI 10.31242/2618-9712-2021-26-1-13

Биологическая и токсикологическая активность водно-спиртовых экстрактов из ряда хвойных растений Якутии

М.У. Кан*, М.М. Шашурин, А.Н. Журавская

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия
**kanmiun@yandex.ru*

Аннотация. *Исследована биологическая активность и токсичность водно-спиртовых экстрактов хвои четырех видов хвойных растений Якутии. Биологическим тест-объектом являлись Parametium caudatum в стационарной фазе роста. Воздействие на тест-объект проводили в течение 30 минут и 48 часов. Из всех исследованных образцов экстракты лиственницы и можжевельника обладают высокой биологической активностью и токсичностью. Экстракты лиственницы и можжевельника с увеличением длительности экспозиции расширяли диапазон токсического действия, экстракты пихты и кедрового стланика, напротив, с увеличением длительности экспозиции сужали широту токсического действия на парамеции. Проведенные исследования по влиянию хвойных экстрактов на клеточном уровне позволили охарактеризовать степень их безопасности и токсичности и сделали возможным дальнейшее их применение для получения биопрепаратов.*

Ключевые слова: водно-спиртовые экстракты растений *Larix sibirica* Ledeb., *Abies sibirica* Ledeb., *Juniperus communis* L., *Pinus pumila* (Pall.) Regel., биологическая активность, токсичность, *Parametium caudatum*.

Благодарности. *Работа выполнена в рамках проекта VI.62.1.8. «Разработка биопрепаратов из тканей растений и животных Якутии на основе изучения особенностей их биохимического состава и механизмов адаптации к условиям Севера» (№ 0376-2019-0005 регистрационный номер АААА-А17-117020110055-3).*

Введение

В тканях растений содержание, структурное разнообразие и биологическая активность биоактивных веществ зависят от степени экстремальности экологических условий произрастания [1, 2]. Известно, что породный состав лесного покрова определяется географическим положением, климатическими и почвенно-грунтовыми условиями; в Якутии он не богат и представлен исключительно хвойными породами растений [3]. Установлено, что хвоя обладает уникальными особенностями, она экологически безопасна, имеет ряд полезных свойств, востребованных в животноводстве, ветеринарии, пищевой, фармацевтической промышленности и в косметологии [4–6]. В настоящее время хвойные растения широко используют для получения разнообразных лечебных экстрактов [7–9]. Высокая биологическая активность хвои обусловлена комплексом биоактивных веществ: макро- и микроэлементов, витаминов, фитонцидов, фитогормонов, бактериостатических веществ и др. [10–14]. Многокомпонентный химический состав хвойных растений обусловливает важность оценки определения уровня безопасности, токсичности сырья и готового продукта. Известно, что для исключения нежелательных побочных эффектов биопрепаратов необходима токсикологическая оценка, где большое значение имеют изучение зависимости эффекта от дозы, широта терапевтического диапазона, т. е. диапазон доз от минимальной терапевтической до минимальной токсической. Исследования на токсичность – это первая обязательная стадия испытания любого биопрепарата, прежде чем переходить к его доклинической стадии испытаний, а тем более к клинической. Только исследования продуктов *in vivo* и *in vitro* на биологических объектах дают интегральные биологические показатели, которые зависят от характера комбинированного взаимодействия экзогенных и эндогенных веществ друг с другом и с живыми организмами, что позволяет определить предельные дозы полезного и безопасного использования биоактивных веществ [15]. В связи с вышеперечисленным нами были проведены

© Кан М.У., Шашурин М.М., Журавская А.Н., 2021

исследования действия водно-спиртовых экстрактов четырех видов хвойных растений: можжевельника, лиственницы, пихты, стланика, произрастающих в Якутии, и дана оценка их биологической активности и токсичности. В качестве биотеста использовался одноклеточный организм *Paramecium caudatum*.

Материалы и методы исследования

Для проведения исследований использовали хвою лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.), пихты сибирской (*Abies Sibirica* Ledeb.), можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis* L.) и кедрового стланика (*Pinus pumila* (Pall.) Regel.), широко распространенных на территории Южной Якутии (Lat: 58.8488, Lon: 124.7018).

Водно-спиртовую смесь для получения экстрактов готовили из этилового спирта ректификата (95 об.%) путем его разведения дистиллированной водой до концентрации 47,5 об.%. Экстракцию проводили в стеклянных емкостях, в которые добавляли высушенное измельченное растительное сырье (хвоя и тонкие побеги) и 47,5%-й этанол в соотношении 1:10. Экстрагировали в течение 20 суток при 25 °С, в темном месте.

Исследование проводили на одноклеточном организме парамеции вида *Paramecium caudatum*. Периодическое культивирование парамеций проводили при температуре 25 °С. В качестве корма использовали зерна риса без дополнительного введения растворенных органических питательных веществ в виде сенного настоя, дрожжей, пептона и т. д. для исключения эффекта комбинированного воздействия токсичных/биоактивных веществ в исследованных пробах на чувствительность всей тест-системы. Использование риса обусловлено тем, что данный вид корма также не дает мелкодисперсной пищевой взвеси, поэтому труднодоступен для парамеций. В результате замедляется рост биомассы в различные фазы роста культуры парамеций. Благодаря этому тест-объект имеет одинаковую токсикорезистентность, значительно растянутую во времени [16]. В эксперименте использовали клон парамеций в стационарной фазе роста. Время экспозиции в остром опыте составило 30 минут; при хроническом – 48 часов. Определение биологической и токсикологической активности водно-спиртовых экстрактов проводилось по стандартной методике [15]. Наблюдение вели с помощью микроскопа Axiostarplus (CarlZeiss) при увеличении 10x/0.25.

Оценку биологической активности и токсичности исследуемых экстрактов проводили, определяя пороговую, остановочную и лизирующую концентрации. Концентрации, вызывающие ускорение движения парамеций, принимали за пороговые. Концентрации, при которых клетки останавливали движение, рассматривали как переходные от максимально эффективных к минимально токсичным и определяли как остановочные. Концентрации, приводящие к лизису клеток, считались минимально смертельными, или лизирующими. Степень биологической активности определялась по величине пороговой концентрации: чем меньше эта величина, тем выше активность [17]. О клеточной токсичности экстрактов судили по величине лизирующей концентрации – чем она меньше, тем токсичнее вещество. Контролем для опытных образцов служила водно-спиртовая смесь.

В остром и хроническом опытах уровень безопасности водно-спиртовых экстрактов растений определяли как широту интервала активности (физиологический диапазон), уровень токсичности определяли как широту интервала токсичности (токсический диапазон) исследуемых экстрактов. Данные показатели сравнивали по величине разности интервала между верхней и нижней границами. Для оценки уровня безопасности экстрактов за нижнюю границу интервала принимали пороговую концентрацию этанола, за верхнюю границу – концентрацию, которая вызывала остановку клетки. Для определения уровня токсичности исследуемых экстрактов за нижнюю границу интервала принимали концентрацию, которая вызывала остановку клетки, за верхнюю границу – концентрацию, которая вызывала лизис клетки [18, 19].

Культура *Paramecium caudatum* была любезно предоставлена Государственным бюджетным учреждением Республики Саха (Якутия) «Якутская республиканская ветеринарно-испытательная лаборатория».

Эксперименты проводили в четырех повторностях. Результаты представлены в виде средней арифметической величины. Абсолютную ошибку рассчитывали из среднеквадратической ошибки с помощью коэффициента Стьюдента при $p = 0,95$ [20]. Сравнение средних значений выборок проводили методом однократного дисперси-

онного анализа (ANOVA). Значимость различий между средними значениями определяли, используя критерий Ньюмена–Кейлса для множественных сравнений при уровне $p \leq 0{,}05$. Расчет проводили с помощью пакета AnalystSoft, StatPlus – программа статистического анализа, v.2007.

Результаты и обсуждение

В табл. 1 показаны биологическая активность и токсичность водно-спиртовых экстрактов из четырех видов хвойных растений Якутии при действии на одноклеточный организм *Paramecium caudatum* в остром эксперименте. Известно, что этиловый спирт является клеточным ядом для биологических объектов. Его действие приводит к денатурации ферментативных и мембранных белков клетки [18, 21]. В начале эксперимента была определена зависимость доза–эффект водно-спиртовых растворов для одноклеточных организмов *Paramecium caudatum*: острый токсический эффект (лизис клетки) наступал при концентрации этанола 5,5 %, концентрация 5,0 % вызвала необратимую остановку организма. Пороговая концентрация этанола 3,5 % вызвала стимуляцию подвижности парамеций (см. табл. 1). Полученные данные были использованы в качестве контроля.

В остром опыте все изученные опытные образцы в сравнении с контролем показали высокую биологическую активность, степень которой оценивали по величине пороговой концентрации – чем она меньше, тем выше активность. Анализ результатов, приведенных в табл. 1, указывает на наиболее высокую биологическую активность водно-спиртовых экстрактов лиственницы и можжевельника, пороговые концентрации этанола в которых были в 17,5 и 11,7 раза ниже контрольных соответственно. Биологическая активность водно-спиртовых экстрактов пихты и стланика была ниже контроля в 7,0 и 4,4 раза соответственно. Остановку подвижности тест-объекта вызывали концентрации экстрактов: лиственницы – 0,5 %, можжевельника – 1,8 %, пихты и стланика – 2,5 %, что было в 10, 3 и 2,2 раза ниже контрольного значения соответственно.

О клеточной токсичности судили по величине лизирующей концентрации, чем она меньше, тем токсичнее вещество. Наибольшие токсические эффекты наблюдались при воздействии на *Paramecium caudatum* экстрактов лиственницы

Таблица 1

Биологическая активность (порог действия) и показатели токсичности водно-спиртовых растворов, определенные на *Paramecium caudatum* (острый опыт)

Table 1

Biological activity (threshold of action) and toxicity indicators of water-alcohol solutions determined on *Paramecium caudatum* (acute experience)

Объект исследования (экстракты) Research object (extracts)	Концентрации этанола экстрактов, вызывающие морфологические и функциональные изменения парамеций, % Ethanol concentrations in extracts causing morphological and functional changes in Paramecium,%		
	Пороговая (стимуляция подвижности парамеций) Threshold (stimulation of mobility of paramecium)	Остановочная Ingibition	Лизирующая Lysis
Контроль (водно-этанольная смесь) Control (water-ethanol mixture)	3.5	5.0	5.5
Можжевельник *Juniperus communis*	0.3	1.8	2.0
Лиственница *Larix sibirica*	0.2	0.5	0.8
Пихта *Abies sibirica*	0.8	2.5	2.8
Стланик *Pinus pumila*	0.5	2.5	2.8

(0,8 % этанола) и можжевельника (2,0 % этанола), что в 6,3 и 3 раза ниже контроля соответственно. Водно-спиртовые экстракты пихты и стланика вызвали лизис клетки в концентрациях этанола 2,8 %, что в 2 раза ниже контроля.

Результаты эксперимента по хроническому воздействию в течение 48 часов водно-спиртовых экстрактов на одноклеточный организм *Paramecium caudatum* приведены в табл. 2.

В контроле пороговая концентрация этанола, стимулирующая подвижность парамеций, составила 2,5 %; необратимая остановка организмов произошла при концентрации 4,0 %; гибель клеток тест-объекта – при концентрации этанола 4,5 %.

В хроническом эксперименте опытные образцы экстрактов лиственницы, пихты и стланика показали равную пороговую биологическую активность (0,2 %) в 12,5 раза ниже контроля, экстракт из можжевельника – в 8,3 раза ниже контроля. Остановка клеток тест-объекта экстрактом лиственницы произошла при концентрации этанола 0,3 %; экстрактом можжевельника – при концентрации 0,5 %, что в 13,3 и 8,0 раза ниже контроля соответственно. Для водно-спиртовых экстрактов пихты и стланика остановочная концентрация этанола была в 5 раз ниже контроля.

Токсический эффект на *Paramecium caudatum* в хроническом опыте водно-спиртовых экстрактов лиственницы и можжевельника наблюдали при концентрациях этанола 0,8 %, экстрактов пихты и стланика – при концентрациях 1,0 %, что в 5,6 и в 4,5 раза ниже контроля соответственно.

Полученные данные по острому и хроническому воздействию водно-спиртовых экстрактов четырех изученных видов хвойных растений Якутии на *Paramecium caudatum* позволили получить первоначальные представления об их безопасности, активности и токсичности, а также проводить подбор доз при исследованиях на более сложных биологических объектах (тканях, органах, организмах), так как *Paramecium caudatum* часто используют для предварительной оценки степени токсичности исследуемого вещества по отношению к теплокровным [22].

На рис.1 представлены изменения уровня безопасности экстрактов в сравнение данных острого опыта и хронического воздействия.

В остром эксперименте широта интервала активности равнялась для стланика 2,0, пихты –

Таблица 2

Биологическая активность (порог действия) и показатели токсичности водно-спиртовых растворов определенные на *Paramecium caudatum* (хронический эксперимент)

Table 2

Biological activity (threshold of action) and toxicity indicators of water-alcohol solutions determined on *Paramecium caudatum* (chronic experiment)

Объект исследования (экстракты) Research object (extracts)	Концентрации этанола экстрактов, вызывающие морфологические и функциональные изменения парамеций, % Ethanol concentrations in extracts causing morphological and functional changes in Paramecium,%		
	Пороговая (стимуляция подвижности парамеций) Threshold (stimulation of mobility of paramecium)	Остановочная Ingibition	Лизирующая Lysis
Контроль (водно-этанольная смесь) Control (water-ethanol mixture)	2,5	4,0	4,5
Можжевельник *Juniperus communis*	0,3	0,5	0,8
Лиственница *Larix sibirica*	0,2	0,3	0,8
Пихта *Abies Sibiric*	0,2	0,8	1,0
Стланик *Pinus pumila*	0,2	0,8	1,0

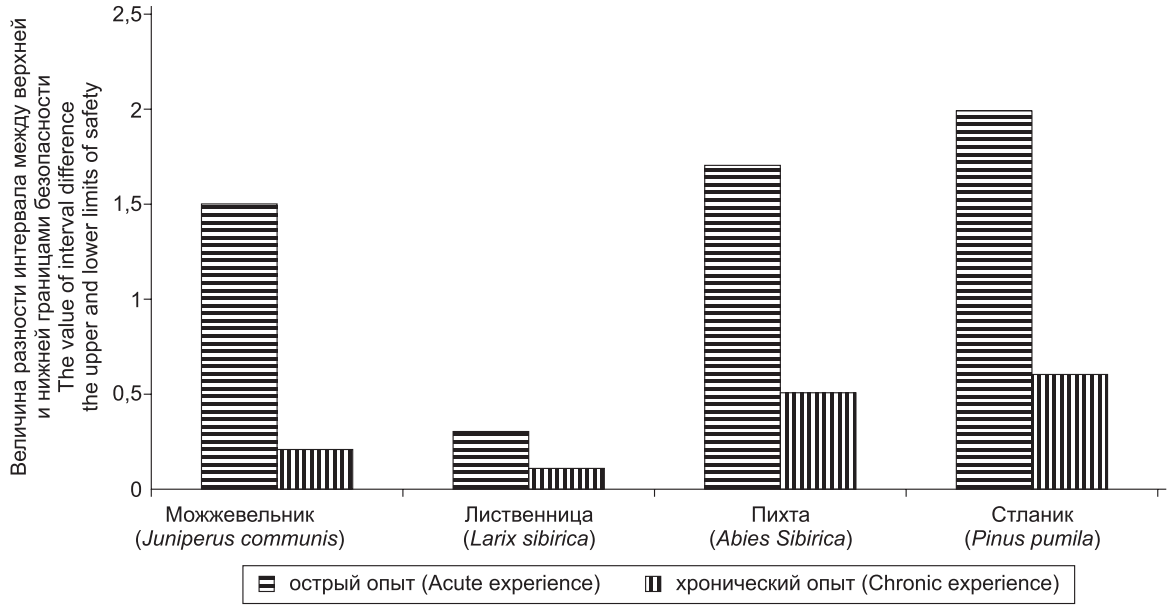


Рис. 1. Уровни безопасности водно-спиртовых экстрактов при остром и хроническом эксперименте.

Fig. 1. The safety levels of water-alcohol extracts in acute and chronic experiment.

1,7, можжевельника – 1,5, лиственницы – 0,3. В хроническом опыте физиологический диапазон был равен для кедрового стланика и пихты 0,6, можжевельника – 0,2, лиственница – 0,1. Установлено, что уровень безопасности с увеличением длительности экспозиции воздействия на тест-культуру снижается во всех исследуемых экстрактах, экстракт можжевельника снизил в 7,5 раза, пихта – в 2,8, лиственница – в 3,0 и кедровый стланик – в 0,6 раза. Известно, что чем больше широта интервала активности, тем большую ценность представляет экстракт, поскольку уменьшается риск возможного развития токсического действия на тест-объект. Таким образом, из исследованных образцов высоким уровнем безопасности обладают экстракты пихты и кедрового стланика. Узкая широта физиологического диапазона была отмечена у экстракта лиственницы.

На рис. 2 показан уровень токсичности водно-спиртовых экстрактов в остром и хроническом экспериментах в сравнении.

В остром опыте токсический диапазон по величине разности между верхней и нижней границами интервалов для кедрового стланика, лиственницы и пихты равнялись 0,3, для можжевельника – 0,2. В хроническом эксперименте широта интервала токсичности равнялась для стланика и пихты 0,2, можжевельника – 0,3, лиственницы – 0,5. Установлено, что уровень токсичности снижался с увеличением длительности экспозиции воздействия на тест-культуру в 1,5 раза для экстракта пихты и кедрового стланика и, наоборот, увеличивался в 1,5 раза для экстракта можжевельника и 1,6 раза для лиственницы. Таким образом, из исследованных образцов высоким уровнем токсичности обладают экстракты можжевельника и лиственницы. Менее токсичными являются экстракты пихты и стланика.

Заключение

Экспериментально показано, что в исследованных водно-спиртовых экстрактах пороговые концентрации этанола стланика (0,7–0,5 %), можжевельника (0,4–0,3 %) и лиственницы (0,2 %) проявили стабильную биологическую активность на протяжении всего эксперимента при воздействии на *Paramecium caudatum*. Устойчивая клеточная токсичность в течение всего эксперимента наблюдалась у экстракта лиственницы с концентрацией этанола 0,8 %. На основании полученных данных по величине пороговой и лизирующей концентраций составлен ряд по степени биологической активности и клеточной токсичности экстрактов: лиственница > можжевельник > кедровый стланик > пихта.

Установлено, что по степени уровня безопасности и токсичности экстракты пихты и кедрового стланика представляют большую ценность, поскольку уменьшается риск возможного разви-

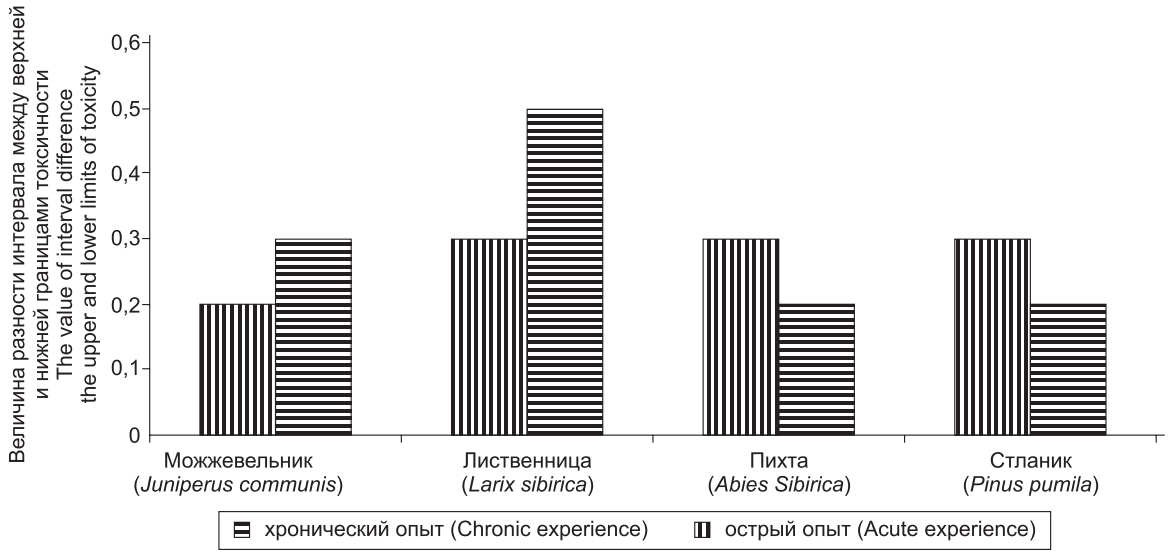


Рис. 2. Уровень токсичности водно-спиртовых экстрактов в остром и хроническом экспериментах.

Fig. 2. The level of toxicity of water-alcohol extracts in acute and chronic experiments.

тия токсического действия на тест-объект. Экстракты лиственницы и можжевельника имеют тенденцию к усилению токсического действия на тест-объект с увеличением воздействия экспозиции. Это свидетельствует о том, что они опасны с точки зрения развития нежелательных побочных эффектов для парамеции.

Литература

1. *Макаров А.А.* Биологически активные вещества в растениях Якутии. Якутск: ЯНЦСО АН СССР, 1989. 156 с.

2. *Кершенгольц Б.М., Аньшакова В.В., Филиппова Г.В., Кершенгольц Е.Б.* Влияние температурно-влажностных метеорологических условий на качественный и количественный состав эфирных масел полыней Якутии // Химия растительного сырья. 2009. № 3. С. 89–94.

3. *Тимофеев П.А*. Леса Якутии: состав, ресурсы, использование и охрана. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2003. 194 с.

4. *Дурст Л., Кремер Л.* Минеральный корм в кормлении животных / Немецкий союз кормления животных. 10-е изд. 2010. С. 55.

5. *Бибик И.В., Глинева Ю.А.* Перспективы использования экстракта из хвои сосны обыкновенной в производстве функциональных напитков // Техника и технология пищевых производств. 2012. № 1. С. 9–13.

6. *Терентьев В.И., Аникиенко Т.И.* Химический и микробиологический состав хвойного кедрового экстракта // Вестн. КрасГАУ. 2011. № 4. С. 160–163.

7. *Терентьев В.И., Аникиенко Т.И.* Сравнительная оценка химического состава кедрового, пихтового, соснового хвойных экстрактов // Вестник КрасГАУ. 2011. № 8. С. 246–249.

8. *Величко Н.А., Клименок С.Н., Демина О.В.* Возможность использования хвойных экстрактов в рецептурах настоек // Вестник КрасГАУ. 2018. № 4. С. 156–160.

9. *Лебедева Д.Д., Трусов Н.А., Соломонова Е.В., Ноздрина Т.Д., Меер Т.П.* Перспективы использования хвойных растений Московского региона в качестве биобезопасного источника аскорбиновой кислоты // Вестник Курской ГСХА. 2018. № 3. С. 31–35.

10. *Величко Н.А., Рыгалова Е.А.* Химический состав водного экстракта ели сибирской (*Picea obovata*) и разработка рецептуры безалкогольного напитка на его основе // Вестник КрасГАУ. 2018. № 3. С. 143–146.

11. *Антонов В.И., Ягодин В.И.* Экстракционная переработка древесной зелени пихты и кедра сибирских // Лесной журнал. 2007. № 5. С. 89–93.

12. *Матвеенко Е.В., Величко Н.А., Калачева Г.С.* Химический состав водно-этанольного экстракта древесной зелени // Химия растительного сырья. 2015. № 2. С. 107–111.

13. *Ермаков А.И., Арасимович В.В., Ярош Н.П.* и др. Методы биохимического исследования растений. Л.: Агропромиздат, 2000. 430 с.

14. *Музычкина Р.А., Корулькин Д.Ю., Абилов Ж.А.* Качественный и количественный анализ основных групп БАВ в лекарственном растительном сырье и фитопрепаратах. Алматы, 2004. 284 с.

15. *Кудрин А.Н., Ананин В.В., Балабаньян В.Ю., Галушкин Л.Р., Дассайе Ч.Р., Акимов П.П.* Система экспресс-метода интегральной оценки биологической активности индивидуальных веществ и комплексных препаратов на биологических объектах // Российский химический журнал. 1997. Т. XLI, № 5. С. 114–123.

16. *Виноходов Д.О., Пожаров А.В.* Методологические особенности токсикологических тестов с инфузориями // Известия СПбГЭ-ТУ «ЛЭТИ». Серия «Биотехнические системы в медицине и экологии». 2006. Вып. 3. С. 60–67.

17. *Пузырева И.Н., Огай М.А., Петров А.Ю.* Экспресс-анализ биологической активности композиции из спиртоводного извлечения расторопши, астрагала и таурина // Научные ведомости БГУ. 2016. № 12 (233), вып. 34. С. 131–134.

18. *Степанова Э.Ф., Андреева И.Н., Огай М.А.* Использование экспресс-методов оценки биологической активности на культуре клеток при разработке фитопрепаратов адаптогенного действия // Фармация на современном этапе – проблемы и достижения: науч. тр. 2000. Т. 39, ч. 1. С. 299–302.

19. *Матвеенко Т.И.* Основы токсикологии. Хабаровск: Изд-во ТОГУ, 2006. 142 с.

20. *Пауков В.С.* Отравления. Понятия о ядах и условиях их действия: Учебное пособие. М.: Практическая медицина, 2008. 332 с.

21. *Лакин Г.Ф.* Биометрия. М.: Высшая школа, 1980. 456 с.

22. *Черемных Е.Г., Кулешин А.В., Кулешина О.Н.* Биотестирования пищевых добавок на инфузории // Вестник РУДН. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. 2011. № 3. С. 5–12.

Поступила в редакцию 29.12.2020
Принята к публикации 02.02.2021

Об авторах

КАН Ми Ун, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, 677000, Якутск, пр. Ленина, 41, Россия,
http://orcid.org/0000-0003-4339-4241, kanmiun@yandex.ru;

ШАШУРИН Михаил Михайлович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, 677000, Якутск, пр. Ленина, 41, Россия,
https://orcid.org/0000-0002-6785-1948, inwertaza@mail.ru;

ЖУРАВСКАЯ Алла Николаевна, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, 677000, Якутск, пр. Ленина, 41, Россия,
https://orcid.org/0000-0002-7570-2328, jan43@mail.ru.

Информация для цитирования

Кан М.У., Шашурин М. М., Журавская А. Н. Биологическая и токсикологическая активность водно-спиртовых экстрактов из ряда хвойных растений Якутии // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2021. Т. 26, № 1. С. 136–144. https://doi.org/10.31242/2618-9712-2021-26-1-13

DOI 10.31242/2618-9712-2020-26-1-13

Biological and toxicological activity of aqueous-alcoholic extracts from a number of conifers of Yakutia

M.U. Kan*, M.M. Shashurin, A.N. Zhuravskaya

Institute for Biological Problems of Cryolithozone, SB RAS, Yakutsk, Russia
**kanmiun@yandex.ru*

Abstract. *The biological activity and toxicity of aqueous-alcoholic extracts of four species of coniferous plants in Yakutia have been studied. The biological test object was Paramecium caudatum in the stationary growth phase. The exposure time to the test object was carried out for 30 minutes and 48 hours. The extracts of larch and juniper have high biological activity and toxicity. Extracts of larch and juniper with an increase in the duration of exposure expanded the range of toxic effects. On the contrary, extracts of fir and dwarf pine, with an increase in the duration of exposure, narrowed the breadth of the toxic effect on Paramecia. The study carried out on the effect of coniferous extracts at the cellular level made it possible to*

characterize the degree of their safety and toxicity. It made possible to further use them for the production of biological products.

Key words: plant extracts, *Larix sibirica* Ledeb., *Abies sibirica* Ledeb., *Juniperus communis* L., *Pinus pumila* (Pall.) Regel., biological activity, toxicity, *Parametium caudatum*.

Acknowledgements. *The work was carried out within the Project VI.62.1.8. «Development of biological products from the tissues of plants and animals of Yakutia based on the study of the peculiarities of their biochemical composition and mechanisms of adaptation to the conditions of the North» (No. 0376-2019-0005, registration number AAAA17-117020110055-3).*

References

1. *Makarov A.A.* Biologicheski aktivnye veshchestva v rasteniyakh Yakutii. Yakutsk: YaNTsSO AN SSSR, 1989. 156 p.

2. *Kershengol'ts B.M., An'shakova V.V., Filippova G.V., Kershengol'ts E.B.* Vliyanie temperaturno-vlazhnostnykh meteorologicheskikh uslovii na kachestvennyi i kolichestvennyi sostav efirnykh masel polynei Yakutii // Khimiya rastitel'nogo syr'ya. 2009. No. 3. P. 89–94.

3. *Timofeev P.A.* Lesa Yakutii: sostav, resursy, ispol'zovanie i okhrana. Novosibirsk: Izdatel'stvo SO RAN, 2003. 194 p.

4. *Durst L., Kremer L.* Mineral'nyi korm v kormlenii zhivotnykh / Nemetskii soyuz kormleniya zhivotnykh. 10-e izd. 2010. P. 55.

5. *Bibik I.V., Glineva Yu.A.* Perspektivy ispol'zovaniya ekstrakta iz khvoi sosny obyknovennoi v proizvodstve funktsional'nykh napitkov // Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv. 2012. No. 1. P. 9–13.

6. *Terent'ev V.I., Anikienko T.I.* Khimicheskii i mikrobiologicheskii sostav khvoinogo kedrovogo ekstrakta // Vestn. KrasGAU. 2011. No. 4. P. 160–163.

7. *Terent'ev V.I., Anikienko T.I.* Sravnitel'naya otsenka khimicheskogo sostava kedrovogo, pikhtovogo, sosnovogo khvoinykh ekstraktov // Vestnik KrasGAU. 2011. No. 8. P. 246–249.

8. *Velichko N.A., Klimenok S.N., Demina O.V.* Vozmozhnost' ispol'zovaniya khvoinykh ekstraktov v retsepturakh nastoek // Vestnik KrasGAU. 2018. No. 4. P. 156–160.

9. *Lebedeva D.D., Trusov N.A., Solomonova E.V., Nozdrina T.D., Meer T.P.* Perspektivy ispol'zovaniya khvoinykh rastenii moskovskogo regiona v kachestve biobezopasnogo istochnika askorbinovoi kisloty // Vestnik Kurskoi GSKhA. 2018. No. 3. P. 31–35.

10. *Velichko N.A., Rygalova E.A.* Khimicheskii sostav vodnogo ekstrakta eli sibirskoi (Picea obovata) i razrabotka retseptury bezalkogol'nogo napitka na ego osnove // Vestnik KrasGAU. 2018. No. 3. P. 143–146.

11. *Antonov V.I., Yagodin V.I.* Ekstraktsionnaya pererabotka drevesnoi zeleni pikhty i kedra sibirskikh // Lesnoi zhurnal. 2007. No. 5. P. 89–93.

12. *Matveenko E.V., Velichko N.A., Kalacheva G.S.* Khimicheskii sostav vodno-etanol'nogo ekstrakta drevesnoi zeleni // Khimiya rastitel'nogo syr'ya. 2015. No. 2. P. 107–111.

13. *Ermakov A.I., Arasimovich V.V., Yarosh N.P.* i dr. Metody biokhimicheskogo issledovaniya rastenii. L.: Agropromizdat, 2000. 430 p.

14. *Muzychkina R.A., Korul'kin D.Yu., Abilov Zh.A.* Kachestvennyi i kolichestvennyi analiz osnovnykh grupp BAV v lekarstvennom rastitel'nom syr'e i fitopreparatakh. Almaty, 2004. 284 p.

15. *Kudrin A.N., Ananin V.V., Balaban'yan V.Yu., Galushkin L.R., Dassaie Ch.R., Akimov P.P.* Sistema eksperes-metoda integral'noi otsenki biologicheskoi aktivnosti individual'nykh veshchestv i kompleksnykh preparatov na biologicheskikh ob'ektakh // Rossiiskii khimicheskii zhurnal. 1997. Vol. XLI, No. 5. P. 114–123.

16. *Vinokhodov D.O., Pozharov A.V*. Metodologicheskie osobennosti toksikologicheskikh testov s infuzoriyami // Izvestiya SPbGE-TU «LETI». Ser. «Biotekhnicheskie sistemy v meditsine i ekologii». 2006. Iss. 3. P. 60–67.

17. *Puzyreva I.N., Ogai M.A., Petrov A.Yu.* Ekspress-analiz biologicheskoi aktivnosti kompozitsii iz spirtovodnogo izvlecheniya rastoropshi, astragala i taurina // Nauchnye vedomosti BGU . 2016. No. 12 (233). Iss. 34. P. 131–134.

18. *Stepanova E.F., Andreeva I.N., Ogai M.A.* Ispol'zovanie ekspress-metodov otsenki biologicheskoi aktivnosti na kul'ture kletok pri razrabotke fitopreparatov adaptogennogo deistviya // Farmatsiya na sovremennom etape – problemy i dostizheniya: nauch. tr. M., 2000. Vol. 39, ch. 1. P. 299–302.

19. *Matveenko T.I.* Osnovy toksikologii. Khabarovsk: Izd-vo TOGU, 2006. 142 p.

20. *Paukov V.S.* Otravleniya. Ponyatiya o yadakh i usloviyakh ikh deistviya // Uchebnoe posobie. M.: Prakticheskaya meditsina, 2008. 332 p.

21. *Lakin G.F.* Biometriya. M.: Vysshaya shkola, 1980. 456 p.

22. *Cheremnykh E.G., Kuleshin A.V., Kuleshina O.N.* Biotestirovaniya pishchevykh dobavok na infuzorii // Vestnik RUDN, seriya Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. 2011. No. 3. P. 5–12.

About the authors

KAN Mi Un, Cand. Sci. (Biology), researcher, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk 677000, Russia,
https://orcid.org/0000-0003-4339-4241, kanmiun@yandex.ru;

SHASHURIN Mikhail Mikhailovich, Cand. Sci. (Biology), senior researcher, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk 677000, Russia,
https://orcid.org/0000-0002-6785-1948, inwertaza@mail.ru;

ZHURAVSKAYA Alla Nikolaevna, Dr. Sci. (Biology), professor, chief researcher, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk, 677000, Russia,
https://orcid.org/0000-0002-7570-2328, jan43@mail.ru.

Citation

Kan M.U., Shashurin M.M., Zhuravskaya A.N. Biological and toxicological activity of aqueous-alcoholic extracts from a number of conifers of Yakutia // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2021. Vol. 26, No. 1. pp. 136–144. (In Russ.) https://doi.org/10.31242/2618-9712-2021-26-1-13

МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Материаловедение

УДК 678.026.3+678:691
DOI 10.31242/2618-9712-2021-26-1-14

Формирование пористости базальтопластиковых композиционных материалов при климатических испытаниях в условиях Севера

А.К. Кычкин*, Н.Ф. Стручков, Г.Г. Винокуров

Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН, Якутск, Россия
**kychkinplasma@mail.ru*

Аннотация. *В настоящее время базальтопластиковые композиционные материалы находят широкое применение в различных областях промышленности. Как показывает практика, при эксплуатации изделий из базальтопластиковых композиционных материалов на их надежность и долговечность значительное влияние оказывают природно-климатические условия внешней среды. Проблема обеспечения высоких служебных свойств базальтопластиковых композиционных материалов особенно четко проявляется при эксплуатации изделий в районах с экстремальными климатическими условиями. Этим определяется актуальность проведения натурных климатических испытаний базальтопластиковых композиционных материалов в природно-климатических условиях Севера и Арктики.*

В работе методом гидростатического взвешивания исследовано формирование пористости при климатических испытаниях базальтопластиковых композиционных материалов. Показано, что при климатической деградации композиционного материала в условиях Севера происходит значительное увеличение его открытой пористости. На основе теории марковских цепей разработана статистическая модель формирования пористости при климатических испытаниях базальтопластиковых композиционных материалов с цилиндрической и плоской симметрией. Проведены расчеты пористости слоев базальтопластикового композиционного материала при равномерной деградации с наружной поверхности. С ростом количества испытаний пористость распространяется на внутренние слои. При большой длительности испытаний распределение пористости слоев приближается к предельному линейному или равномерному законам в зависимости от формы базальтопластикового композиционного материала.

Ключевые слова: Сибирская платформа, Вилюйско-Мархинский дайковый пояс, дайки, долериты, высокотитанистые базиты.

Благодарности. *Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-29-05012 и в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Тема № 0297-2021-0041).*

Введение

С развитием современных технологий базальтопластиковые композиционные материалы находят широкое применение во многих отраслях промышленности – авиастроении, судостроении, в дорожном хозяйстве и др. [1–3]. На эксплуатационные свойства изделий из базальтопластиковых композиционных материалов существенное влияние оказывают природно-климатические условия внешней среды. Воздействия внешней среды способствуют преждевременному старению базальтопластиковых композиционных материалов. За длительный период эксплуатации изделий (~25–30 лет и более) внешние воздействия могут значительно снизить прочностные свойства материалов. Так, снижение прочности

© Кычкин А.К., Стручков Н.Ф., Винокуров Г.Г., 2021

композиционных материалов, в том числе вследствие пластификации влагой связующего, может достичь ~30 % и более, а температура стеклования связующих может снизиться до ~25 °С. Проблема обеспечения высоких служебных свойств базальтопластиковых композиционных материалов становится особенно актуальной при эксплуатации изделий в районах с экстремальными климатическими условиями Севера и Арктики [3].

Деградация базальтопластиковых композиционных материалов зависит от многочисленных случайных факторов: технологии их изготовления, состава, структуры и свойств материалов, физико-химического взаимодействия компонентов и др. Также при климатических испытаниях базальтопластиковых композиционных материалов непосредственное влияние оказывают случайные факторы внешней среды – сезонный температурный режим и влажность, ветровая нагрузка, солнечная радиация и др.

Поэтому для описания деградации базальтопластиковых композиционных материалов при внешних климатических воздействиях целесообразно использование методов статистического моделирования. Среди методов статистического описания процессов деградации материалов особый интерес представляют исследования на основе применения теории случайных марковских процессов. Дело в том, что марковские процессы – без последействия и занимают промежуточное положение между процессами с последействием (например, ползучесть материалов) и независимыми испытаниями Бернулли [4, 5]. Как известно, математический аппарат теории марковских процессов подробно разработан и имеет обширные приложения в статистической физике и кинетике, химической физике, радиофизике и др. [4–7].

Целью данной работы является установление изменения пористости базальтопластиковых композиционных материалов при климатических испытаниях и разработка статистической модели формирования пористости при деградации композиционных материалов.

Материалы и методика экспериментальных исследований

В работе проведен анализ технологических данных базальтопластиковых композиционных материалов строительной арматуры цилиндрической формы, плоских защитных конструкционных базальтопластиковых композиционных материалов, а также экспериментальных результатов их климатических испытаний на полигоне в условиях Севера (рис. 1).

Объектами для климатических испытаний и экспериментальных исследований в работе являются базальтосодержащие протяженные цилиндрические композиционные материалы конструкционного назначения – базальтопластиковая арматура с диаметрами 6 и 8 мм (см. рис. 1, *а*). Композиционные материалы представляют собой эпоксидную матрицу, продольно армированную базальтовыми ровингами; получены вытяжкой на технологической линии «Струна» (г. Бийск, ООО «Бийский завод стеклопластиков»). Далее образцы базальтопластиковой арматуры были подвергнуты климатическим испытаниям экспонированием в течение 51 месяца на открытом полигоне Института физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН в природно-климатических условиях г. Якутск (см. рис. 1, *в*).

Плоский базальтопластиковый композиционный материал представляет собой лист базальтотекстолита толщиной 5 мм, состоит из 15 слоев базальтовой ткани БТ-11П-кв-12 и двух слоев (первый и последний) ткани ТБК-100П-кв-12. Плетение саржевого типа; содержание эпоксидного связующего в отвержденном образце составляет 20±0,5 % от массы базальтотекстолита (см. рис. 1, *б*).

Для сравнительного анализа также исследован плоский композиционный материал в виде листа стеклотекстолита толщиной 5 мм, состоящий из стеклоткани Ортекс 560 – 13 слоев; с полотняным плетением (см. рис. 1, *б*). Содержание эпоксидного связующего в отвержденном образце составляет 13±0,5 % от массы стеклотекстолита. Схема переплетения – полотняного (слева) и саржевого типов (справа).

В работе анализ структуры композиционных материалов проведен на микроскопах «Neophot-32», «Stemi2000-C» и «Axio Observer D1m».

Для определения открытой пористости использовался метод гидростатического взвешивания, который широко используется в материаловедении [8, 9]. В качестве пропитывающей жидкости был использован керосин; взвешивание осуществлялось на электронных весах с точностью 0,0001 г. Определение открытой пористости образцов базальтопластиковых композиционных материалов состоит из следующих операций:

1. Изготовление и подготовка образцов.
2. Измерение массы образца в сухом состоянии.

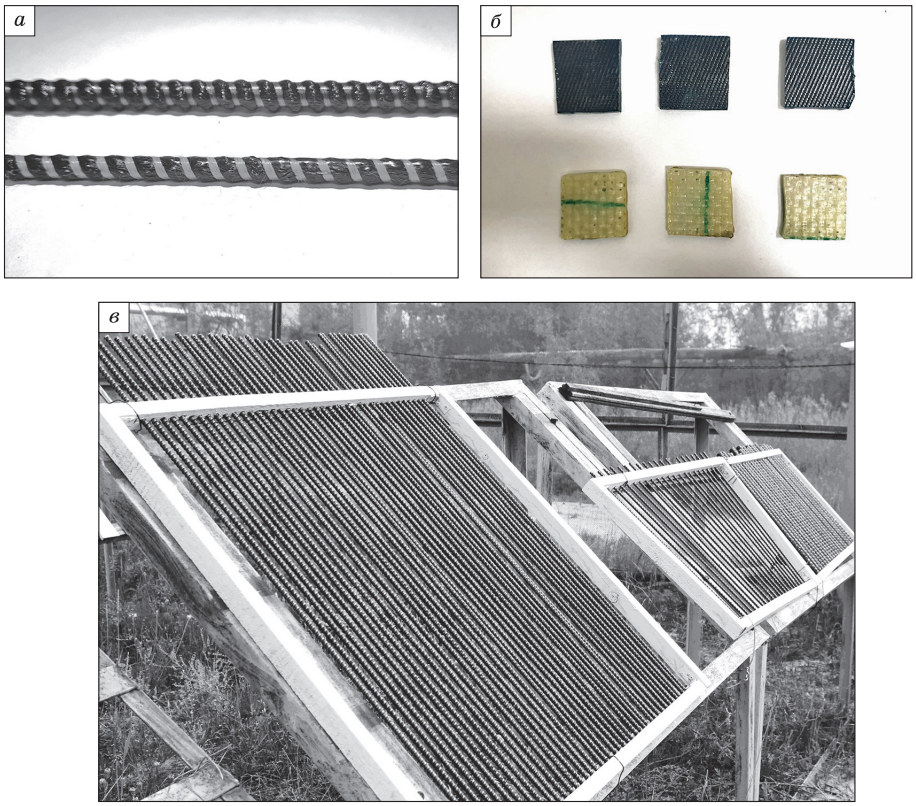


Рис.1. Базальтопластиковые композиционные материалы:
а – цилиндрической формы; *б* – плоской формы; *в* – климатические испытания на открытом полигоне.

Fig. 1. Basalt-plastic composite materials:
а – cylindrical; *б* – flat shape; *в* – climatic tests at an open range.

3. Пропитка образца в керосине в течение 1 сут.

4. Взвешивание пропитанного образца на воздухе.

5. Взвешивание пропитанного образца в керосине.

Далее, по ГОСТ 9.304-87 [9] рассчитывается значение открытой пористости образца базальтопластикового композиционного материала.

Изменение пористости базальтопластиковых композиционных материалов при климатических испытаниях

Регулярными наблюдениями во время климатических испытаний была установлена деградация базальтопластиковых композиционных материалов с формированием дефектов и элементов пористости. Установлено, что деградация происходит, в основном, на границах раздела армирующий материал–матрица. Это означает, что при климатических испытаниях базальтопластиковый композиционный материал будет иметь слоистую структуру. Данная дискретная особенность структуры базальтопластикового композиционного материала учитывается при разработке статистической модели формирования пористости на основе теории дискретных марковских цепей.

Количественной характеристикой деградации композиционного материала целесообразно рассматривать открытую пористость, которая измеряется сравнительно простыми методами. Поэтому проведено исследование изменения открытой пористости в базальтопластиковых композиционных материалах под воздействием условий внешней среды при климатических испытаниях.

Сначала для определения влияния условий экспонирования измерены данные открытой пористости образцов в зависимости от их расположения. На рис. 2 приведены значения открытой пористости образцов-цилиндров, вырезанных по 30 мм из базальтопластиковой арматуры, после климатических испытаний. Как видно из графиков, открытая пористость имеет значительный разброс данных по длине базальтопластикового композиционного материала. Это происходит вследствие различия локальных условий экспонирования для образцов-цилиндров (солнечная

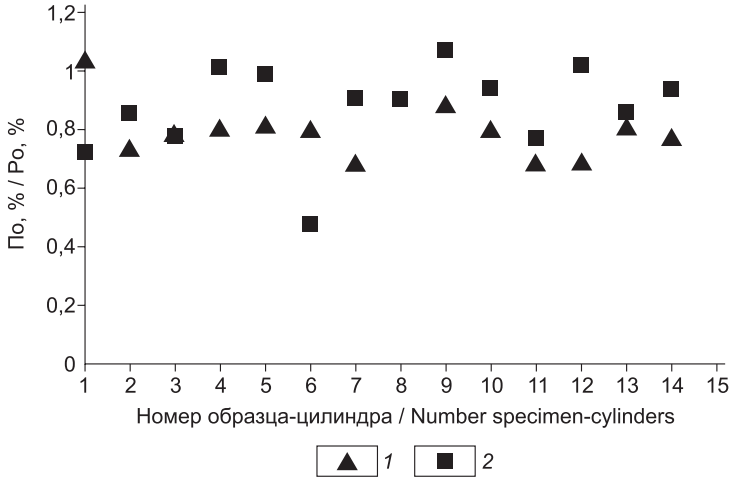


Рис.2. Изменение открытой пористости образцов-цилиндров по длине базальтопластикового композиционного материала:
1 – диаметр 6 мм; *2* – диаметр 8 мм (нумерация образцов от торца базальтопластиковой арматуры).

Fig. 2. Change in open porosity of specimen-cylinders along the length of the basalt-plastic composite material:
1 – diameter 6 mm; *2* – diameter 8 mm (numbering of samples from the end of the basalt-plastic reinforcement).

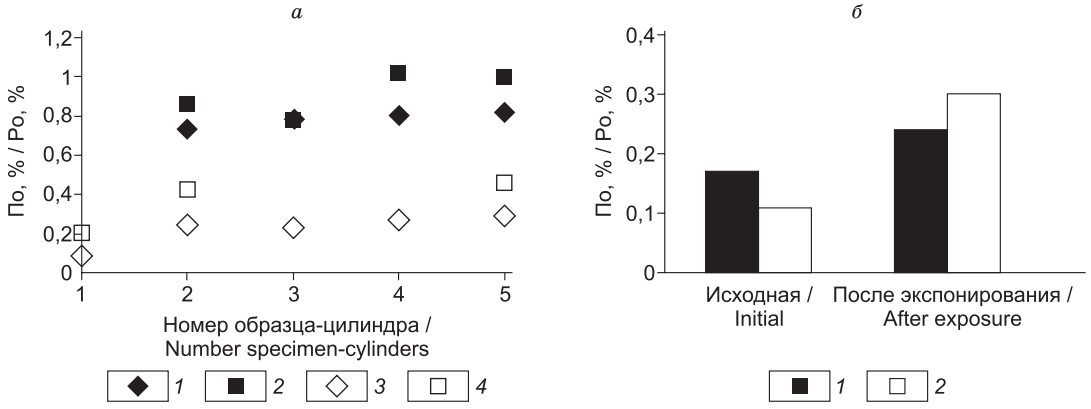


Рис. 3. Изменение открытой пористости образцов при климатических испытаниях композиционного материала:
а – цилиндрическая симметрия (*1* – после деградации, диаметр 6 мм; *2* – после деградации, диаметр 8 мм; *3* – исходный материал, диаметр 6 мм; *4* – исходный материал, диаметр 8 мм); *б* – плоская симметрия (*1* – базальтопластиковый композиционный материал, *2* – стеклотекстолитовый композиционный материал).

Fig. 3. Change in open porosity of specimens during climatic tests of composite material:
a – cylindrical symmetry (*1* – after degradation, diameter 6 mm; *2* – after degradation, diameter 8 mm; *3* – initial material, diameter 6 mm; *4* – source material, diameter 8 mm); *б* – planar symmetry (*1* – basalt-plastic composite material, *2* – glass-fiber laminated composite material).

радиация, осадки, ветер и др.). Также наблюдаются в целом более высокие значения открытой пористости для базальтопластиковой арматуры большего диаметра – 8 мм (рис. 2).

Далее исследовано изменение открытой пористости базальтопластиковых композиционных материалов при климатических испытаниях (рис. 3). На рис. 3, *а* приведено изменение открытой пористости образцов базальтопластиковых композиционных материалов цилиндрической формы при климатических испытаниях (арматура, см. рис. 1, *а*).

Как видно из графиков, при деградации базальтопластикового композиционного материала происходит значительное увеличение его открытой пористости. Наибольшее увеличение пористости наблюдается для базальтопластиковой арматуры диаметра 6 мм – от ~3 до 10 раз. Для базальтопластиковой арматуры диаметром 8 мм также установлено существенное увеличение

открытой пористости образцов от ~2 до 3 раз (см. рис. 3, *а*).

На рис. 3, *б* представлено изменение открытой пористости образцов при климатических испытаниях базальтопластиковых и стеклотекстолитовых композиционных материалов плоской формы (см. рис. 1, *б*). Также наблюдается значительное увеличение их открытой пористости при климатической деградации. Средние значения открытой пористости исходных образцов базальтопластиковых и стеклотекстолитовых композиционных материалов равны 0,17 и 0,11 % соответственно (см. рис. 3, *б*). Как видно из экспериментальных данных (рис. 3, *б*), после экспонирования открытая пористость у базальтопластиковых композиционных материалов увеличивается до ~0,24 % (в 1,4 раза); у стеклотекстолитовых материалов открытая пористость возрастает до ~0,30 % (в 2,7 раза).

Таким образом, величина открытой пористости может рассматриваться в качестве чувствительной количественной характеристики деградации базальтопластиковых композиционных материалов при климатических испытаниях.

Модель марковских цепей для описания формирования пористости при климатических испытаниях базальтопластиковых композиционных материалов

Для статистического моделирования на основе дискретной марковской цепи рассмотрены два вида слоистой структуры базальтопластиковых композиционных материалов – цилиндрической (см. рис. 1, *а*) и плоской (см. рис. 1, *б*) форм.

Цилиндрический базальтопластиковый композиционный материал представляется бесконечным цилиндром с одинаковыми продольными армирующими ровингами. Тогда поперечное сечение цилиндра можно разбить на концентрические слои, толщину слоев выбираем больше диаметра армирующих ровингов; нумерация слоев задается начиная с поверхности бесконечного цилиндра 1, 2, 3, …, *N*.

Плоский базальтопластиковый композиционный материал представляется бесконечной областью с одинаковыми плоскими текстильными материалами между двумя граничными плоскостями. Тогда поперечное сечение можно разбить на плоские слои одинаковой толщины, которая выбирается намного большей толщины армирующих материалов. Деградация плоского базальтопластикового материала происходит одновременно с обеих граничных плоскостей. Поэтому задается нумерация слоев половины материала, также начиная с поверхности граничной плоскости до середины образца 1, 2, 3 …, *N*.

Статистический подход на основе марковских цепей разработан с учетом данных слоистых схем структуры базальтопластиковых композиционных материалов. Дело в том, что при таком подходе с учетом цилиндрической или плоской симметрии композиционного материала номер слоя является единственной переменной. Таким образом, объектом статистического моделирования становится распределение пористости слоев композиционного материала.

Для разработки статистической модели формирования пористости при деградации композиционного материала приняты следующие допущения:

1. Образование локальной пористости базальтопластикового композиционного материала происходит на границе матрица–армирующий материал.

Вследствие деградации композиционного материала при климатических испытаниях физико-механические свойства матрицы и армирующего материала изменяются со временем. В итоге их разница приводит к возникновению дефектов и пористости на их границе.

2. Изменение пористости по слоям базальтопластикового композиционного материала описывается простой марковской цепью.

Слоистая схема описания базальтопластиковых композиционных материалов является дискретной и конечной (диаметр цилиндра и толщина пластины ограничены); таким образом, задаются конечные *N*-мерные векторы распределения пористости. Для предлагаемой марковской цепи событием является появление пористости в цилиндрическом или плоском слое. Пусть номера слоев $n = 1, 2, \ldots, N$, тогда количество слоев *N* задает число строк матрицы переходных вероятностей марковской цепи. Обозначим *По* дискретную случайную величину пористости цилиндрических или плоских слоев; начальное распределение пористости задается *N*-мерным вектором-строкой $F_0(По)$ с условием нормировки элементов:

$$\sum_{n=1}^{N} F_{0n}(По) = 1. \qquad (1)$$

При полной деградации композиционного материала пористость на границах матрица–армирующий материал появляется по всему поперечному сечению. Тогда распределение пористости по слоям задается линейно убывающим (цилиндрическая геометрия материала) или постоянным (плоская геометрия материала) предельными законами распределения $F_{ПР}(По)$. Также задается целочисленное количество испытаний марковской цепи l – количество дней, недель, месяцев, год и др., которые соответствуют единице измерения длительности климатических испытаний.

Для простых однородных цепей Маркова матрицы переходных вероятностей можно задать табл. 1 (цилиндрическая геометрия материала) и табл. 2 (плоская геометрия материала); где p, q – вероятности переходов. Распределение пористости через l испытаний задается произведением вектора на l степень матрицы [4]:

$$F(По) = F_0(По)\, A^l, \qquad (2)$$

где A – матрица переходных вероятностей.

Следует отметить, что для первой строки первой матрицы переходных вероятностей (табл. 1) выполнение условия нормировки (1) обеспечивается быстрой сходимостью убывающего степенного ряда при $0 \le p < 1$. Также данный вид матрицы переходных вероятностей A выбран для обеспечения предельного линейно убывающего распределения $F_{ПР}(По)$ пористости цилиндрических слоев.

Вид второй матрицы переходных вероятностей A для плоской геометрии (табл. 2) также

Таблица 1

Матрица переходных вероятностей марковской цепи для цилиндрической симметрии базальтопластиковых композиционных материалов

Table 1

Matrix of transition probabilities of the Markov chain for cylindrical symmetry of basalt-plastic composite materials

Столбцы / Строки	1	2	3	4	…	$N-1$	N
1	$(1-2p)/(1-p)$	p	p^2	p^3	…	p^{N-2}	p^{N-1}
2	q	$1-p-q$	p	0	…	0	0
3	0	q	$1-p-q$	p	…	0	0
4	0	0	q	$1-p-q$	…	0	0
…	…	…	..	…	…	…	…
$N-1$	0	0	0	0	…	$1-p-q$	p
N	0	0	0	0	…	q	$1-q$

Таблица 2

Матрица переходных вероятностей марковской цепи для плоской симметрии базальтопластиковых материалов

Table 2

Matrix of transition probabilities of the Markov chain for plane symmetry of basalt-plastic materials

Столбцы / Строки	1	2	3	4	…	$N-1$	N
1	q	$1-q$	0	0	…	0	0
2	q	$1-p-q$	p	0	…	0	0
3	0	q	$1-p-q$	p	…	0	0
4	0	0	q	$1-p-q$	…	0	0
…	…	…	..	…	…	…	…
$N-1$	0	0	0	0	…	$1-p-q$	p
N	0	0	0	0	…	q	$1-q$

выбран для обеспечения предельного равномерного распределения $F_{ПР}(По)$ пористости плоских слоев.

Из формулы (2) следует, что вычисления сводятся только к алгебраическим операциям умножения матриц. В работе расчеты распределения пористости проведены с использованием MathCad. Расчеты проведены при различных вероятностях перехода $0 \le p \le 1$, $0 \le q \le 1$ и размерах матрицы переходных вероятностей до 100×100 (до ста слоев композиционного материала); расчет степеней матрицы проведен от 10 до 10000.

При климатических испытаниях деградация базальтопластикового композиционного материала начинается с поверхности. Поэтому начальное распределение следует задавать вектором $F_0(По) = (1, 0, 0, 0 \ldots. 0)$ – вначале появляется пористость только для наружного слоя.

На рис. 4 приведены результаты расчетов распределения пористости цилиндрических (*а*) и плоских (*б*) слоев базальтопластикового композиционного материала в зависимости от длительности испытаний *l*. Как видно из графиков, с возрастанием длительности испытаний *l* распределения пористости более выравниваются.

Для цилиндрической симметрии базальтопластикового материала при $l = 1000$ распределение приближается к линейно убывающему предельному распределению $F_{ПР}(По)$ (см. рис. 4, *а*, кривая *3*). Линия *4* соответствует $F_{ПР}(По)$ при полной деградации композиционного материала, когда пористость появляется по всему объему бесконечного цилиндра.

Для плоской симметрии базальтопластикового материала (см. рис. 4, *б*) при возрастании длительности испытаний распределения приближаются к постоянному предельному распределению, пористость начинает появляться по всему плоскому образцу (линии *3*, *4*). Линия *4* также соответствует предельному постоянному закону распределения $F_{ПР}(По)$ при полной деградации плоского композиционного материала.

Экспериментальными исследованиями была обнаружена исходная пористость для всех видов базальтопластиковых композиционных материалов до экспозиции климатических испытаний. Поэтому для расчета абсолютных значений пористости необходимо задавать пористость деградированного внешнего слоя $П_{ИСХ}$ из экспериментальных данных. Тогда изменения пористости слоев базальтопластиковых композиционных материалов при климатических испытаниях можно рассчитать по пропорции с законами распределения (см. рис. 4).

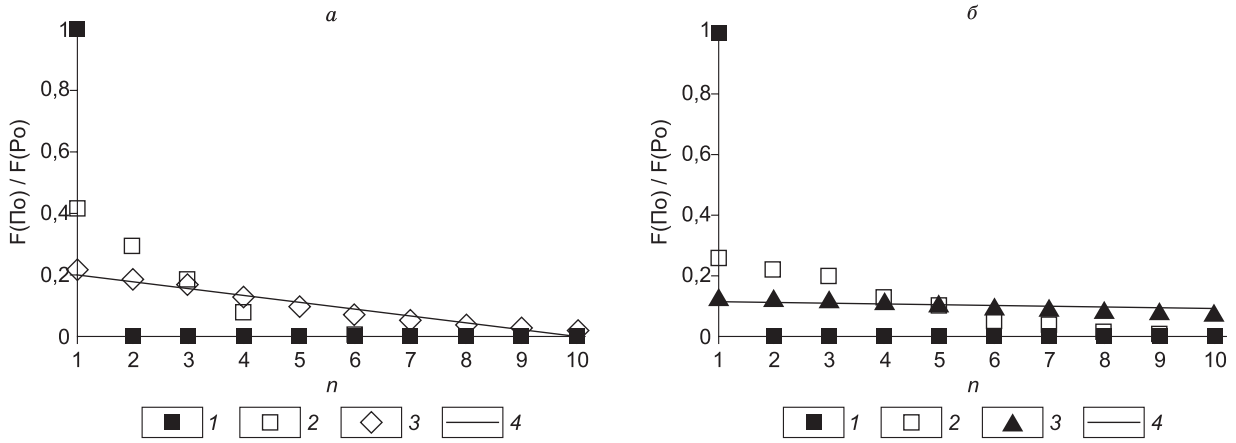


Рис. 4. Распределения пористости цилиндрических (*а*) и плоских (*б*) слоев базальтопластикового композиционного материала в зависимости от длительности испытаний:
а: *1* – начальное распределение $l = 0$, *2* – $l = 10$, *3* – $l = 1000$, *4* – предельное распределение $F_{ПР}(По)$; вероятности переходов $p = 0{,}148$, $q = 0{,}2$; количество цилиндрических слоев $N = 10$; матрица 10×10; *б*: *1* – начальное распределение $l = 0$, *2* – $l = 10$, *3* – $l = 100$, 4 – $l = 1000$, предельное распределение $F_{ПР}(По)$; вероятности переходов $p = 0{,}5$, $q = 0{,}5$; количество плоских слоев $2N = 20$; матрица 10×10.

Fig. 4. Porosity distributions of cylindrical (*а*) and flat (*б*) layers of basalt-plastic composite material, depending on the duration of tests:
а: *1* – initial distribution $l = 0$, *2* – $l = 10$, *3* – $l = 1000$, *4* – limiting distribution $F_{PR}(Po)$; transition probabilities $p = 0{,}148$, $q = 0{,}2$; the number of cylindrical layers $N = 10$; matrix 10×10; *б*: *1* – initial distribution $l = 0$, 2 – $l = 10$, 3 – $l = 100$, *4* – $l = 1000$, limiting distribution F_{PR} (Po); transition probabilities $p = 0{,}5$, $q = 0{,}5$; the number of flat layers $2N = 20$; matrix 10×10.

Заключение

1. Проведено изучение изменения пористости при климатических испытаниях базальтопластиковых композиционных материалов. Выявлено, что при климатической деградации композиционного материала происходит существенное увеличение его открытой пористости: для базальтопластиковой арматуры диаметром 6 мм – от ~3 до 10 раз, для арматуры диаметра 8 мм – от ~2 до 3 раз. Для плоских базальтопластиковых композиционных материалов открытая пористость увеличивается до ~1,4 раза.

2. На основе теории марковских цепей предложена статистическая модель формирования пористости при климатических испытаниях базальтопластиковых композиционных материалов. При этом испытание для марковской цепи является единицей времени климатических испытаний. Для построения модели рассмотрены слоистые структуры базальтопластиковых композиционных материалов цилиндрической и плоской геометрии. Соответственно построены две матрицы переходных вероятностей для простых однородных цепей Маркова, которые описывают равномерную климатическую деградацию с поверхности базальтопластикового композиционного материала.

3. При полной деградации композиционного материала цилиндрической геометрии пористость распределяется равномерно по всему поперечному сечению и задается линейно убывающим законом распределения. Для базальтопластикового композиционного материала плоской формы предельное распределение описывается постоянным законом распределения.

Литература

1. *Вапиров Ю.М., Кириллов В.П., Кривонос В.В.* Закономерности изменения свойств полимерных композитоконструкционного назначения при длительном климатическом старении в свободном и нагруженном состояниях // Сб. докл. VI научной конф. по гидроавиации «Гидроавиасалон–2006». М., 2006. Ч. II. С. 103–108.

2. *Старцев О.В., Аниховская Л.И., Литвинов А.А., Кротов А.С.* Повышение достоверности прогнозирования свойств полимерныхкомпозиционных материалов при термовлажностном старении // Докл. РАН. 2009. Т. 428, № 1. С. 56–60.

3. *Ефимов В.А., Шведова А.К., Коренькова Т.Г., Кириллов В.Н.* Исследование полимерных конструкционных материалов при воздействии климатических факторов и нагрузок в лабораторных и натурных условиях // Труды ВИАМ. 2013. № 1. (электронный журнал).

4. *Рытов С.В.* Введение в статистическую радиофизику. М.: Наука, 1966. 404 с.

5. *Тихонов В.И., Миронов М.А.* Марковские процессы. М.: Советское радио, 1977. 489 с.

6. *Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П.* Физическая кинетика. М.: Наука, 1979. 528 с.

7. *Зельдович Я.Б.* Избранные труды. Химическая физика и гидродинамика. М.: Наука, 1984. 374 с.

8. *Исакаев Э.Х., Мордынский В.Б., Подымова Н.Б., Сидорова Е.В., Школьников Е.И.* Определение пористости газотермических покрытий // Физика и химия обработки материалов. 2010. № 5. С. 71–77.

9. *ГОСТ* 9.304-87 Покрытия газотермические. Общие требования и методы контроля. вед. 01.07.89. М.: Изд-во стандартов, 1988. 10 с.

Поступила в редакцию 20.01.2021
Принята к публикации 18.02.2021

Об авторах

КЫЧКИН Анатолий Константинович, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН, 677980, Якутск, ул. Октябрьская, 1,
https://orcid.org/0000-0002-5276-5713, kychkinplasma@mail.ru;

СТРУЧКОВ Николай Федорович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН, 677980, Якутск, ул.Октябрьская,
https://orcid.org/0000-0003-3078-0709, struchkov_n@rambler.ru;

ВИНОКУРОВ Геннадий Георгиевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова, СО РАН, 677980, Якутск, ул. Октябрьская, 1,
https://orcid.org/0000-0003-1454-6293, g.g.vinokurov@iptpn.ysn.ru.

Информация для цитирования

Кычкин А.К., Стручков Н.Ф., Винокуров Г.Г. Формирование пористости базальтопластиковых композиционных материалов при климатических испытаниях в условиях Севера // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2021. Т. 26, № 1. С. 145–154. https://doi.org/10.31242/2618-9712-2021-26-1-14

DOI 10.31242/2618-9712-2020-26-1-14

Formation of the porosity of basalt-plastic composite materials during climate tests under the conditions of the North

A.K. Kychkin, N.F. Struchkov, G.G. Vinokurov

V.P. Larionov Institute of the Physical-Technical Problems of the North SB RAS, Yakutsk, Russia
**kychkinplasma@mail.ru*

Abstract. *Currently, basalt-plastic composite materials are widely used in various branches of industry. As practice shows, during the operation of products made of basalt-plastic composite materials, their reliability and durability are significantly influenced by the natural and climatic conditions of the external environment. The problem of ensuring high service properties of basalt-plastic composite materials is especially clearly manifested during the operation of products in the areas with extreme climatic conditions. This determines the urgency of carrying out full-scale climatic tests of basalt-plastic composite materials under the climatic conditions of the North and the Arctic. In this work, the formation of porosity during climatic tests of basalt-plastic composite materials was investigated by means of hydrostatic weighing. It is shown that during climatic degradation of a composite material in the North, there is a significant increase in its open porosity. On the basis of the theory of Markov chains, a statistical model of the formation of porosity during climatic tests of basalt-plastic composite materials with cylindrical and planar symmetry is developed. Calculations of the porosity of the layers of a basalt-plastic composite material with uniform degradation from the outer surface were carried out. As the number of tests increases, porosity spreads to the inner layers. With a long test duration, the distribution of the porosity of the layers approaches the limiting linear or uniform laws, depending on the shape of the basalt-plastic composite material.*

Key words: basalt-plastic composite materials, climatic tests, porosity, statistical modeling, Markov chains.

Acknowledgements. *The work was supported by the RFBR under Project No. 18-29-05012 and within the State Assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (No. 0297-2021-0041).*

References

1. *Vapirov Yu.M., Kirillov V.P., Krivonos V.V.* Zakonomernosti izmeneniya svoistv polimernykh kompozitokonstruktsionnogo naznacheniya pri dlitel'nom klimaticheskom starenii v svobodnom i nagruzhennom sostoyaniyakh // Sb. dokl. VI nauchnoi konf. po gidroaviatsii «Gidroaviasalon–2006». M., 2006. Ch. II. P. 103–108.

2. *Startsev O.V., Anikhovskaya L.I., Litvinov A.A., Krotov A.S.* Povyshenie dostovernosti prognozirovaniya svoistv polimernykhkompozitsionnykh materialov pri termovlazhnostnom starenii // Dokl. RAN. 2009. Vol. 428, No. 1. P. 56–60.

3. *Efimov V.A., Shvedova A.K., Koren'kova T.G., Kirillov V.N.* Issledovanie polimernykh konstruktsionnykh materialov pri vozdeistvii klimaticheskikh faktorov i nagruzok v laboratornykh i naturnykh usloviyakh // Trudy VIAM. 2013. No. 1. (ehlektronnyi zhurnal).

4. *Rytov S.V.* Vvedenie v statisticheskuyu radiofiziku. M.: Nauka, 1966. 404 p.

5. *Tikhonov V.I., Mironov M.A.* Markovskie protsessy. M.: Sovetskoe radio, 1977. 489 p.

6. *Lifshits E.M., Pitaevskii L.P.* Fizicheskaya kinetika. M.: Nauka, 1979. 528 p.

7. *Zel'dovich Ya.B.* Izbrannye trudy. Khimicheskaya fizika i gidrodi-namika. M.: Nauka, 1984. 374 p.

8. *Isakaev Eh.Kh., Mordynskii V.B., Podymova N.B., Sidorova E.V., Shkol'nikov E.I.* Opredelenie poristosti gazotermicheskikh pokrytii // Fizika i khimiya obrabotki materialov. 2010. No. 5. P. 71–77.

9. *GOST* 9.304-87 Pokrytiya gazotermicheskie. Obshchie trebovaniya i metody kontrolya. ved. 01.07.89. M.: Izd-vo standartov, 1988. 10 s.

About the authors

KYCHKIN Anatoly Konstantinovich, Cand. Sci. (Engineering), leading researcher, V.P. Larionov Institute of Physical-Technical Problems of the North SB RAS, 1 Oktyabrskaya st., Yakutsk 677980, Russia, https://orcid.org/0000-0002-5276-5713, kychkinplasma@mail.ru;

STRUCHKOV Nikolay Fedorovich, Cand. Sci. (Engineering), senior researcher, V.P. Larionov Institute of Physical-Technical Problems of the North SB RAS, 1 Oktyabrskaya st., Yakutsk 677980, Russia, https://orcid.org/0000-0002-5276-5713, https://orcid.org/0000-0003-3078-0709, struchkov_n@rambler.ru;

VINOKUROV Gennady Georgievich, Cand. Sci. (Engineering), leading researcher, V.P. Larionov Institute of Physical-Technical Problems of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 1 Oktyabrskaya st., Yakutsk 677980, Russia,
https://orcid.org/0000-0002-5276-5713, https://orcid.org/0000-0003-1454-6293, g.g.vinokurov@iptpn.ysn.ru.

Citation

Kychkin A.K., Struchkov N.F., Vinokurov G.G. Formation of the porosity of basalt-plastic composite materials during climate tests under the conditions of the North // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2021. Vol. 26, No. 1. pp. 145–154. (In Russ.) https://doi.org/10.31242/2618-9712-2021-26-1-14

Указатель материалов, опубликованных в журнале «Природные ресурсы Арктики и Субарктики», Т. 25, 2020 г.

№ 1

Науки о Земле

Общая и региональная геология, петрология и вулканология

Шкодзинский В.С. КОЛИЧЕСТВЕННАЯ МОДЕЛЬ И ПЕТРОЛОГИЯ КИСЛЫХ МАГМ, ГЕНЕЗИС РУДОНОСНЫХ ГИДРОТЕРМ 5

Горев Н.И., Шахурдина Н.К., Салихов Р.Ф., Проценко Е.В. К ВОПРОСУ ОБ ЭРОЗИОННОМ СРЕЗЕ КИМБЕРЛИТОВ АЛАКИТ-МАРХИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ 18

Гриненко В.С., Баранов В.В. ГЛОБАЛЬНАЯ ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ И ПАЛЕОБИОГЕОГРАФИЯ СРЕДНЕЙ ЮРЫ ПО БРАХИОПОДАМ 30

Инженерная геология, мерзловедение и грунтоведение

Макаров В.Н., Торговкин Н.В. ЗАГРЯЗЕНИЕ АТМОСФЕРЫ города ЯКУТСКА ВЗВЕШЕННЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ 41

Общая биология

Экология

Чевычелов А.П., Захарова О.Г. К ОЦЕНКЕ ФОСФАТНОГО СОСТОЯНИЯ МЕРЗЛОТНЫХ ПОЧВ ЮЖНОЙ ЯКУТИИ 49

Ануфриев А.И. ТЕМПЕРАТУРНАЯ РЕГУЛЯЦИЯ РИТМОВ ЗИМНЕЙ СПЯЧКИ 60

Ямборко А.В., Киселев С.В. УЧЕТ ЧИСЛЕННОСТИ БЕЗНАДЗОРНЫХ СОБАК НА ТЕРРИТОРИИ города МАГАДАНА 68

Биологические ресурсы

Николин Е.Г., Кириллин Е.В., Охлопков И.М. ПРОДУКТИВНОСТЬ НЕКОТОРЫХ ДОМИНИРУЮЩИХ КОРМОВЫХ ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЙ о. ЗАВЬЯЛОВА (МАГАДАНСКАЯ ОБЛАСТЬ) 76

Строева Н.С., Дарханова В.Г., Филиппова Г.В. ВВЕДЕНИЕ В КУЛЬТУРУ И РАЗМНОЖЕНИЕ *IN VITRO* HEMEROCALLIS, СОРТА ‘WINE AND ROSES’ 85

Прокопьев И.А., Слепцов И.В., Порядина Л.Н., Рожина С.М. ГОДОВАЯ ДИНАМИКА ВТОРИЧНЫХ МЕТАБОЛИТОВ В ТАЛЛОМАХ *CETRARIA LAEVIGATA* И *FLAVOCETRARIA CUCULLATA* В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ 94

Металлургия и материаловедение

Материаловедение

Петрова Н.Н., Портнягина В.В. ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА ЧАСТИЦ И КОНЦЕНТРАЦИИ ФТОРСОДЕРЖАЩЕГО ПОЛИМЕРА НА СВОЙСТВА МОРОЗОСТОЙКИХ РЕЗИН НА ОСНОВЕ ПРОПИЛЕНОКСИДНОГО КАУЧУКА 101

Ефимов С.Е. ФИЛЬТРОВАЛЬНО-СОРБЦИОННЫЙ МЕТОД ОЧИСТКИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД НЕТКАНЫМ СОРБЕНТОМ «ЭКОСОРБ» 118

Память

ПАМЯТИ ИМАЕВА ВАЛЕРИЯ СУЛЕЙМАНОВИЧА..... 125

№ 2

Науки о Земле

Общая и региональная геология, петрология и вулканология

Imaeva L.P., Gusev G.S., Imaev V.S. SEISMOTECTONICS OF THE NORTHERN SECTOR OF THE VERKHOYANSK FOLD SYSTEM (NORTH-EAST OF THE RUSSIAN ARCTIC)..... 5

Kostin A.V. IMMISCIBLE SILICA- AND IRON-RICH MELTS AT THE KILDYAM VOLCANO COMPLEX (CENTRAL YAKUTIA, RUSSIA)..... 25

Коногорова Д.В., Ковальчук О.Е., Бардухинов Л.Д. УНИКАЛЬНЫЙ АЛМАЗ ИЗ ТРУБКИ НЮРБИНСКАЯ (НАКЫНСКОЕ КИМБЕРЛИТОВОЕ ПОЛЕ, ЗАПАДНАЯ ЯКУТИЯ, РОССИЯ)..... 45

Павлов И. С., Suzuki N. ТАБАЮРЯХСКИЙ МАМОНТ (*MAMMUTHUS PRIMIGENIUS* BLUM., 1799) С ОСТРОВА КОТЕЛЬНЫЙ, НОВОСИБИРСКИЙ АРХИПЕЛАГ 56

Климовский А.И. КОСТНЫЕ ОСТАТКИ *MAMMUTHUS PRIMIGENIUS* ИЗ ОКРЕСТНОСТЕЙ С. ДАППАРАЙ, ОЛЕКМИНСКИЙ РАЙОН, ЮЖНАЯ ЯКУТИЯ..... 67

Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение

Готовцев С.П., Климовский И.В. О ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКОЙ ИЗУЧЕННОСТИ ЮЖНОЙ ЧАСТИ ЗАПАДНОЙ ЯКУТИИ 81

Чжан Р.В., Павлова Н.А., Огонеров В.В., Лобанов А.Л., Данзанова М.В. ИНЖЕНЕРНОЕ ОСВОЕНИЕ НИЗКИХ ПОЙМ РЕК КРИОЛИТОЗОНЫ ПОД ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО: ОПЫТ, ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ 87

Общая биология

Экология

Протопопов А.В., Протопопова В.В. СТЕПНОЙ КОМПОНЕНТ ПОЗДНЕПЛЕЙСТОЦЕНОВЫХ ЭКОСИСТЕМ ЯКУТИИ..... 98

Биологические ресурсы

Исаев А.П., Бочкарев В.В., Соломонов Н.Г., Кириллин Р.А., Шемякин Е.В., Габышев В.Ю. ОБЩИЙ ОБЗОР ФАУНЫ ОТРЯДА СОКОЛООБРАЗНЫЕ (FALCONIFORMES) ДОЛИНЫ СРЕДНЕЙ ЛЕНЫ И ПРИЛЕГАЮЩИХ К НЕЙ ТЕРРИТОРИЙ..... 108

Рожков Ю.Ф., Кондакова М.Ю. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛЕСНЫХ МАССИВОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЕШИФРИРОВАНИЯ СНИМКОВ СВЕРХВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ 125

Металлургия и материаловедение

Материаловедение

Сукнёв С.В. КВАЗИХРУПКОЕ РАЗРУШЕНИЕ СТРУКТУРНО-НЕОДНОРОДНОГО МАТЕРИАЛА С КРУГОВЫМ ОТВЕРСТИЕМ ПРИ СЖАТИИ 137

Васильев А.П., Охлопкова А.А., Стручкова Т.С., Алексеев А.Г. ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО СЕРИЦИТА НА СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА 147

Маркова М.А., Петрова П.Н., Федоров А.Л., Попов С.Н. РАЗРАБОТКА ВЫСОКОПРОЧНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА 157

№ 3

Науки о Земле

Общая и региональная геология, петрология и вулканология

Kudrin M.V., Polufuntikova L.I., Fridovsky V.Yu., Aristov V.V., Tarasov Ya.A. GEOCHEMISTRY AND THE FORM OF «INVISIBLE» GOLD IN PYRITE FROM METASOMATITES OF THE KHANGALAS DEPOSIT, NORTH-EAST OF RUSSIA 7

Опарин Н.А., Олейников О.Б., Баранов Л.Н. АПАТИТ ИЗ КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКИ МАНЧАРЫ (ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЯКУТИЯ) 15

Трунилина В.А. ПОЗДНЕМЕЛОВОЙ ПРАВО-КЫРИНСКИЙ МАССИВ ЩЕЛОЧНО-ПОЛЕВОШПАТОВЫХ ГРАНИТОВ (ВЕРХОЯНО-КОЛЫМСКАЯ ОРОГЕННАЯ ОБЛАСТЬ) 27

Плотников В.В., Мащенко Е.Н. НОВЫЕ ДАННЫЕ О ГРАНИЦАХ АРЕАЛА ШЕРСТИСТОГО НОСОРОГА (*COELODONTA ANTIQUITATIS* BLUMENBACH, 1799) В ПОЗДНЕМ ПЛЕЙСТОЦЕНЕ 40

Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение

Спектор В.В., Jin Huijun, Торговкин Н.В., Максимов Г.Т., Спектор В.Б., Сыромятников И.И. СТРОЕНИЕ ПЛЕЙСТОЦЕНОВЫХ КРИОГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЛЕНО-АМГИНСКОЙ РАВНИНЫ (ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЯКУТИЯ) 49

Обогащение полезных ископаемых

Матвеев А.И., Винокуров В.Р. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ НОВОГО ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ ГОРНЫХ ПОРОД КОМБИНИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ 63

Общая биология

Экология

Шадрина Е.Г., Вольперт Я.Л., Охлопков И.М., Сидоров М.М., Данилов В.А. НАСЕЛЕНИЕ МЛЕКОПИТАЮЩИХ БАССЕЙНА ВЕРХНЕЙ МУНЫ (АРКТИЧЕСКАЯ ЗОНА ЗАПАДНОЙ ЯКУТИИ): СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОГНОЗ 74

Воронов И.В. СОДЕРЖАНИЕ ФЛАВОНОИДОВ В БИОМАССЕ *ATRIPLEX PATULA* L. ПРИ МЕХАНОАКТИВАЦИОННОЙ ОБРАБОТКЕ 89

Порядина Л.Н. МАТЕРИАЛЫ К ЛИХЕНОБИОТЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ 97

Биологические ресурсы

Чикидов И.И. ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗРАСТАНИЯ КЕДРОВОСТЛАНИКОВЫХ СООБЩЕСТВ НА ОЛЕКМО-ЧАРСКОМ НАГОРЬЕ ЯКУТИИ 110

Рожина С.М., Слепцов И.В., Журавская А.Н. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЛИПИДНО-БЕЛКОВОЙ ФРАКЦИИ, ВЫДЕЛЯЕМОЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БИОПРЕПАРАТА «ЭПСОРИН» .. 117

Краснова А.Н., Польшина Т.Н. РЕДКАЯ АНОМАЛИЯ «ВЕТВИСТОСТЬ» *TYPHA GROSSHEIMII* POBED. ГИДРОФИЛЬНОГО РОДА *TYPHA* L. (TYPHACEAE) 123

Металлургия и материаловедение

Материаловедение

Данилова С.Н., Ярусова С.Б., Охлопкова А.А., Гордиенко П.С., Слепцова С.А., Буравлев И.Ю., Ванг Лянсай, Цзяо Ян. РАЗРАБОТКА ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОЛИМЕР-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СВМПЭ 130

Лепов В.В., Ачикасова В.С., Махарова С.Н., Захаров В.Е., Павлов Н.В. АНАЛИЗ РАЗРУШЕНИЯ МАТЕРИАЛА ТРУБЫ ПОДДУВА КОТЕЛЬНОЙ, ЭКСПЛУАТИРУЕМОЙ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ АРКТИКИ 143

Романов И.О., Макиенко В.М., Востриков Я.А. О ПАРАДИГМЕ «НАДЕЖНОСТЬ МАТЕРИАЛА» 152

№ 4

Науки о Земле

Общая и региональная геология, петрология и вулканология

Кутыгин Р.В., Будников И.В., Сивчиков В.Е. ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ СТРАТИГРАФИИ КАСИМОВСКО-ГЖЕЛЬСКИХ И ПЕРМСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ И ЕЕ СКЛАДЧАТОГО ОБРАМЛЕНИЯ 5

Васильев Д.А., Ермаков Н.Н., Прокопьев А.В. ТЕКТОНИКА ЮГО-ВОСТОЧНОГО ФЛАНГА ИНЬЯЛИ-ДЕБИНСКОГО СИНКЛИНОРИЯ (ВЕРХОЯНО-КОЛЫМСКАЯ СКЛАДЧАТАЯ ОБЛАСТЬ) 30

Округин А.В., Журавлев А.И. КОНВЕРГЕНТНЫЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СИЛИКАТНЫХ МАГМАТИЧЕСКИХ И КАРБОНАТИТОВЫХ ПОРОД ТОМТОРСКОГО МАССИВА НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ 42

Зуева И.Н., Чалая О.Н., Глязнецова Ю.С., Лифшиц С.Х. ГЕОХИМИЯ НАФТИДОВ СРЕДНЕКАМЕННОУГОЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПРИКОЛЫМСКОГО ПОДНЯТИЯ (СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ) 59

Колесов С.Д. МЕСТОНАХОЖДЕНИЕ ОСТАТКОВ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ МАМОНТОВОЙ ФАУНЫ «ЕНГЕ-ЮРЮЕ» СРЕДНЕКОЛЫМСКОГО РАЙОНА РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ) 72

Общая биология

Экология

Габышев В.А., Габышева О.И. К ИЗУЧЕНИЮ ВЛИЯНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ НА РАЗВИТИЕ ФИТОПЛАНКТОНА ОЗЕР Г. ЯКУТСКА И ОКРЕСТНОСТЕЙ 81

Коробкова Т.С., Сабарайкина С.М. АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ПЛОДОВ *LONICERA L.* В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ 92

Колосова О.Н., Хлебный Е.С., Башева Н.В. ПРОФИЛЬ ЖИРНЫХ КИСЛОТ ПЛАЗМЫ КРОВИ БЕРЕМЕННЫХ ЖЕНЩИН КАК БИОМАРКЕР РИСКА НЕВЫНАШИВАНИЯ БЕРЕМЕННОСТИ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА 100

Биологические ресурсы

Оконешникова М.В., Иванова А.З., Десяткин А.Р., Филиппов Н.В., Десяткин Р.В. ПОЧВЫ ТУКУЛАНОВ БАССЕЙНА РЕКИ КЕНКЕМЕ (ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЯКУТИЯ) 111

Степанова В.В., Охлопков И.М. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ И ПЛОТНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ ВОЛКА (*CANIS LUPUS LINNAEUS*, 1758) В ЯКУТИИ 121

Память

ЮРИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ МОЧАНОВ 134
ЕВГЕНИЙ ГРИГОРЬЕВИЧ БЕРЕЖКО 135

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ 136

УКАЗАТЕЛЬ

Index of articles published in «Arctic and Subarctic Natural Resources» journal, Vol. 25, 2020

No. 1

Earth sciences

General and regional geology, petrology and volcanology

Shkodzinskiy V.S. QUANTITATIVE MODEL AND PETROLOGY OF ACID MAGMAS, GENESIS OF ORE-BEARING HYDROTHERMS 5

Gorev N.I., Shakhurdina N.K., Salikhov R.F., TO THE QUESTION CONCERNING THE EROSION SECTION OF KIMBERLITES OF THE ALAKIT-MARKHINSKY ORE FIELD 18

Grinenko V.S., Baranov V.V. GLOBAL PALEOGEOGRAPHY AND PALEOBIOGEOGRAPHY OF THE MIDDLE JURASSIC (AALENIAN-CALLOVIAN) AS DERIVED FROM BRACHIOPODS 30

Engineering geology, permafrost and soil science

Makarov V.N., Torgovkin N.V. POLLUTION OF ATMOSPHERE IN YAKUTSK BY SUSPENDED SUBSTANCES 41

General biology

Ecology

Chevychelov A.P., Zakharova O.G. TO THE ASSESSMENT OF THE PHOSPHATE STATUS OF PERMAFROST SOILS OF SOUTHERN YAKUTIA 49

Anufriev A.I. TEMPERATURE REGULATION IN THE RHYTHM OF WINTER HIBERNATION 60

Yamborko A.V., Kiselev S.V. COUNTING THE NUMBER OF STRAY DOGS IN MAGADAN 68

Biological resources

Nikolin E.G., Kirillin E.V., Okhlopkov I.M. THE PRODUCTIVITY OF SOME DOMINANT FORAGE HERBACEOUS PLANTS OF THE ZAVYALOV ISLAND (MAGADAN OBLAST) 76

Stroeva N.S., Darkhanova V.G., Filippova G.V. INTRODUCTION TO CULTURE AND *IN VITRO* REPRODUCTION OF THE HEMEROCALLIS, VARIETY 'WINE AND ROSES' 85

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 94

Metallurgy and materials science

Materials science

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 101

Efimov S.E. FILTER-SORPTION METHOD FOR TREATMENT OF OIL-CONTAINING WASTEWATER WITH NON-WOVEN SORBENT «ECOSORB» 118

Memory

IN MEMORY OF IMAEV VALERY SULEIMANOVICH 125

УКАЗАТЕЛЬ

No. 2

Earth sciences

General and regional geology, petrology and volcanology

Imaeva L.P., Gusev G.S., Imaev V.S. SEISMOTECTONICS OF THE NORTHERN SECTOR OF THE VERKHOYANSK FOLD SYSTEM (NORTH-EAST OF THE RUSSIAN ARCTIC)..... 5

Kostin A.V. IMMISCIBLE SILICA- AND IRON-RICH MELTS AT THE KILDYAM VOLCANO COMPLEX (CENTRAL YAKUTIA, RUSSIA)..... 25

Konogorova D.V., Kovalchuk O.E., Bardukhinov L.D. UNIQUE DIAMOND FROM THE NYURBINSKAYA PIPE (NAKYN KIMBERLITE FIELD, WEST YAKUTIA, RUSSIA) 45

Pavlov I., Suzuki N. TABAYURYAKHSKY MAMMOTH (*MAMMUTHUS PRIMIGENIUS* BLUM., 1799) FROM THE ISLAND OF KOTELNY, NOVOSIBIRSKIY ARCHIPELAGO 56

Klimovsky A.I. THE BONE REMAINS OF *MAMMUTHUS PRIMIGENIUS* FROM THE VICINITY OF DAPPARAY VILLAGE, OLEKMINSKY DISTRICT, SOUTHERN YAKUTIA..... 67

Engineering geology, permafrost and soil science

Gotovtsev S.P., Klimovsky I.V. ON THE GEOCRYOLOGICAL STUDIES ON THE SOUTHERN PART OF WESTERN YAKUTIA..... 81

Zhang R.V., Pavlova N.A., Ogonerov V.V., Lobanov A.L., Danzanova M.V. CIVIL CONSTRUCTION ON LOW FLOODPLAINS IN PERMAFROST REGIONS: EXPERIENCE, PROBLEMS, PROSPECTS..... 87

General biology

Ecology

Protopopov A.V., Protopopova V.V. STEPPE COMPONENT OF THE LATE PLEISTOCENE ECOSYSTEMS OF YAKUTIA..... 98

Biological resources

Isaev A.P., Bochkarev V.V., Solomonov N.G., Kirillin R.A., Shemyakin E.V., Gabyshev V.Yu. GENERAL OVERVIEW OF THE FALCONIFORMES FAUNA OF THE MIDDLE LENA VALLEY AND ADJACENT TERRITORIES 108

Rozhkov Yu.F., Kondakova M.Yu. COMPARATIVE CHARACTERIZATION OF FORESTS USING THE INTERPRETATION OF ULTRA-HIGH RESOLUTION IMAGES..... 125

Metallurgy and materials science

Materials science

Suknev S.V. QUASI-BRITTLE FRACTURE OF A STRUCTURALLY INHOMOGENEOUS MATERIAL WITH A CIRCULAR HOLE UNDER COMPRESSION 137

Vasilev A.P., Okhlopkova A.A., Struchkova T.S., Alekseev A.G. INFLUENCE OF MODIFIED SERICITE ON THE PROPERTIES AND STRUCTURE OF POLYTETRAFLUOROETHYLENE..... 147

Markova M.A., Petrova P.N., Fedorov A.L., Popov S.N. DEVELOPMENT OF HIGH-STRENGTH POLYMER MATERIALS BASED ON POLYTETRAFLUOROETHYLENE..... 157

УКАЗАТЕЛЬ

No. 3

Earth sciences

General and regional geology, petrology and volcanology

Kudrin M.V., Polufuntikova L.I., Fridovsky V.Yu., Aristov V.V., Tarasov Ya.A. GEOCHEMISTRY AND THE FORM OF «INVISIBLE» GOLD IN PYRITE FROM METASOMATITES OF THE KHANGALAS DEPOSIT, NORTH-EAST OF RUSSIA..... 7

Oparin N.A.,Oleinikov O.B., Baranov L.N. APATITE FROM THE MANCHARY KIMBERLITE PIPE (CENTRAL YAKUTIA)..... 15

Trunilina V.A. LATE CRETACEOUS RIGHT-KYRIN MASSIF OF ALKALI-FELDSPAR GRANITES (VERKHOYANO-KOLYMA OROGENY REGION)..... 27

Plotnikov V.V., Mashchenko E.N. NEW DATA ON THE RANGE BOUNDARIES OF THE WOOLLY RHINOCEROS (*COELODONTA ANTIQUITATIS* BLUMENBACH, 1799) IN THE LATE PLEISTOCENE..... 40

Engineering geology, permafrost and soil science

Spektor V.V., Huijun Jin, Torgovkin N.V., Maksimov G.T., Spektor V.B., Syromyatnikov I.I. STRUCTURAL FEATURES OF PLEISTOCENE CRYOGENIC DEPOSITS IN THE LENA AND AMGA RIVERS PLAIN (CENTRAL YAKUTIA)..... 49

Mineral processing

Matveev A.I., Vinokurov V.R. DEVELOPMENT OF THE DESIGN OF A NEW CHOPPER OF COMBINED ACTION..... 63

General biology

Ecology

Shadrina E.G., Vol'pert Ya.L., Okhlopkov I.M., Sidorov M.M., Danilov V.A. MAMMALIAN POPULATION OF THE UPPER MUNA BASIN (THE ARCTIC ZONE OF THE WEST YAKUTIA): CURRENT STATE AND FORECAST..... 74

Voronov I.V. THE CONTENT OF FLAVONOIDS IN *ATRIPLEX PATULA* L. BIOMASS DURING MECHANICAL ACTIVATION TREATMENT..... 89

Poryadina L.N. MATERIALS ON THE LICHENBIOTA OF CENTRAL YAKUTIA..... 97

Biological resources

Chikidov I.I. FEATURES OF THE GROWTH OF *PINUS PUMILA* (PALL.) REGEL COMMUNITIES IN THE OLEKMO-CHARSKY HIGHLANDS OF YAKUTIA..... 110

Rozhina S.M., Sleptsov I.V., Zhuravskaya A.N. CHEMICAL COMPOSITION OF THE LIPID-PROTEIN FRACTION SEPARATED IN THE PRODUCTION OF EPSORIN BIOPREPARATION..... 117

Krasnova A.N., Polshina T.N. A RARE BRANCHING ANOMALY OF *TYPHA GROSSHEIMII* POBED. OF THE HYDROPHILIC GENUS *TYPHA* L. (TYPHACEAE)..... 123

Metallurgy and materials science

Materials science

Danilova S.N., Yarusova S.B., Okhlopkova A.A., Gordienko P.S., Sleptsova S.A., Buravlev I.Yu., Wang Liansai, Jiao Yang. THE DEVELOPMENT OF WEAR-RESISTANT POLYMER-POLYMER COMPOSITE MATERIALS BASED ON UHMWPE..... 130

Lepov V.V., Achikasova V.S., Makharova S.N., Zakharov V.E., Pavlov N.V. FAILURE ANALYSIS OF THE MATERIAL OF WATER BOILER PIPE OPERATED IN THE ARCTIC ZONE OF THE REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA) 143

Romanov I.O., Makienko V.M., Vostrikov Y.A. ABOUT THE «RELIABILITY OF THE MATERIAL» PARADIGM..... 152

No. 4

Earth sciences

General and regional geology, petrology and volcanology

Kutygin R.V., Budnikov I.V., Sivtchikov V.E. THE MAIN FEATURES OF THE KASIMOVIAN–GZHELIAN AND PERMIAN STRATIGRAPHY IN THE SIBERIAN PLATFORM AND ADJACENT FOLD BELTS 5

Vasiliev D.A., Ermakov N.N., Prokopiev A.V. TECTONIC STRUCTURES OF THE SOUTHEASTERN FLANK OF THE IN'YALI-DEBIN SYNCLINORIUM (THE VERKHOYANSK-KOLYMA OROGENIC REGION) 30

Okrugin A.V., Zhuravlev A.I. CONVERGENT MINERALOGICAL FEATURES OF SILICATE IGNEOUS AND CARBONATITE ROCKS OF THE TOMTOR MASSIF IN THE NORTHEAST OF THE SIBERIAN PLATFORM 42

Zueva I.N., Chalaya O.N., Glyaznetsova Yu.S., Lifshits S.Kh. GEOCHEMISTRY OF NAPHTHIDES OF THE MIDDLE CARBONIFEROUS SEDIMENTS OF THE PRIKOLYM UPLIFT (NORTHEAST OF RUSSIA)..... 59

Kolesov S.D. LOCATION OF THE REMAINS OF THE MAMMOTH FAUNA IN «ENGE-YURYUE» OF THE SREDNEKOLYMSKY REGION OF THE REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA) 72

General biology

Ecology

Gabyshev V.A., Gabysheva O.I. ON THE STUDY OF THE EFFECTS OF HEAVY METALS ON THE GROWTH OF LAKE PHYTOPLANKTON IN YAKUTSK AND ITS VICINITY..... 81

Korobkova T.S., Sabaraikina S.M. ANTIOXIDANT ACTIVITY OF THE BERRIES OF *LONICERA L.* UNDER THE CONDITIONS OF CENTRAL YAKUTIA..... 92

Kolosova O.N., Khlebny E.S., Baisheva N.V. FATTY ACID PROFILE IN THE BLOOD PLASMA OF PREGNANT WOMEN AS A BIOMARKER OF THE RISK OF MISCARRIAGE IN THE NORTH..... 100

Biological resources

Okoneshnikova M.V., Ivanova A.Z., Desyatkin A.R., Filippov N.V., Desyatkin R.V. SOILS OF TUKULANS IN THE KENKEME RIVER BASIN (CENTRAL YAKUTIA)..... 111

Stepanova V. V., Okhlopkov I. M. THE CURRENT STATE OF THE WOLF (*CANIS LUPUS LINNAEUS*, 1758) POPULATION SIZE AND DENSITY IN YAKUTIA..... 121

Memory

YURI ALEXEEVICH MOCHANOV 134

YEVGENY GRIGORIEVICH BEREZHKO 135

REQUIREMENTS FOR MANUSCRIPTS..... 136

Редактор *Н.А. Лившиц*
Корректура *Н.В. Счастнева*
Компьютерная верстка *И.В. Мелехов*
Обложка *А.А. Николашкиной*

Дата выхода в свет 06.04.2021. Формат 60×84 1/8. Печать цифровая
Усл. п.л. 18,8. Тираж 100 экз. Заказ № 65. Цена свободная.

Адрес редакции:
677007, г. Якутск, пр. Ленина, 33, тел. 8(4112) 39-06-64, http://nras.asrsya.ru

Адрес издателя:
677007, г. Якутск, пр. Ленина, 33, ГБУ «Академия наук Республики Саха (Якутия)»,
тел. 8(4112) 33-57-11, e-mail: anrsya@mail.ru

Адрес издательства:
Издательство СО РАН
630090, Новосибирск, Морской просп., 2
E-mail: psb@sibran.ru
тел. (383) 330-80-50
Отпечатано в Издательстве СО РАН
Интернет-магазин Издательства СО РАН
http://www.sibran.ru