

ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ АРКТИКИ И СУБАРКТИКИ

(до 2018 г. «Наука и образование»)

Научный журнал

2019, Том 24, № 2

Основан в 1996 г.
Выходит 4 раза в год

Учредители:

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

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

Главный редактор

И.И. Колодезников

д-р геол.-минерал. наук

Заместители главного редактора:

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

Ответственный секретарь

З.А. Корнилова

Адрес редакции:

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

<http://nras.ysn.ru>

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

Подписной индекс в каталоге Почта России – 54891

© Академия наук РС (Я), 2019
© Якутский научный центр СО РАН, 2019
© Северо-Восточный федеральный университет
им. М.К. Аммосова, 2019
© Министерство образования и науки РС (Я), 2019

ISSN 2618-9712

ARCTIC AND SUBARCTIC NATURAL RESOURCES

(until 2018 «Nauka i Obrazovanie»)

Scientific journal

2019, Vol. 24, No. 2

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

Igor I. Kolodeznikov

Dr. of Geologo-Mineralogical Sciences

Deputy Editors-in-Chief:

N.G. Solomonov

Corresponding Member of RAS

Yu.M. Grigoriev

Dr. of Physico-Mathematical Sciences

Executive Editor

Z.A. Kornilova

Editorial Office Address:

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

<http://nras.ysn.ru>

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

Subscription Index in the Russian Post Catalog – 54891

© Academy of Sciences of RS (Ya), 2019
© Yakut Scientific Center of SB RAS, 2019
© M.K. Ammosov North-Eastern
Federal University, 2019
© Ministry of Education and Science of RS (Ya), 2019

Редакционный совет:

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

Редакционная коллегия:

Науки о Земле

Горячев Н.А. – чл.-корр. РАН, СВКНИИ ДВО РАН
Григорьев М.Н. – д.г.н., ИМЗ СО РАН
Железняк М.Н. – д.г.-м.н., ИМЗ СО РАН
Зинчук Н.Н. – д.г.-м.н., проф., ЗЯНЦ АН РС (Я)
Имаев В.С. – д.г.-м.н., проф., ИЗК СО РАН
Кондратьев С.А. – д.т.н., ИГД СО РАН
Курилко А.С. – д.т.н., ИГДС СО РАН
Курчиков А.Р. – чл.-корр. РАН, Зап.-Сиб. ф-л ИНГГ СО РАН
Кутыгин Р.В. – к.г.-м.н., ИГАБМ СО РАН
Матвеев А.И. – д.т.н., ИГДС СО РАН
Похиленко Н.П. – акад. РАН, ИГМ СО РАН
Рассказов И.Ю. – д.т.н., ИГД ДВО РАН
Романовский В.Е. – д-р, проф., Геофиз. ин-т Ун-та шт. Аляска, США
Стоун Дэвид – д-р, проф., Геофиз. ин-т Ун-та шт. Аляска, США
Толстов А.В. – д.г.-м.н., НИГПИ АК «АЛРОСА» (ПАО)
Фридовский В.Ю. – д.г.-м.н., проф., ИГАБМ СО РАН
Шепелев В.В. – д.г.-м.н., проф., ИМЗ СО РАН
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

Общая биология

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

Материаловедение

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

Editorial Council:

I.I. Kolodeznikov – Dr. Sci. (Geology and Mineralogy), Prof., AS RS(Ya); G.F. Krymsky – Acad. RAS, Yu.G. Shafer Inst. of Cosmophysical Research and Aeronomy SB RAS; A.N. Nikolaev – Dr. Sci. (Biol), NEFU n.a. M.K. Ammosov;
M.Yu. Prisyazhny – Dr. Sci. (Geography), Ministry of Education and Science of RS (Ya); V.V. Filippov – Corr. Member RAS

Editorial Board:

Earth Sciences

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

General Biology

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

Materials Science

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

СОДЕРЖАНИЕ

Науки о Земле

Общая и региональная геология, петрология и вулканология

- Имаев В.С., Имаева Л. П., Козьмин Б.М.* Геодинамические особенности сейсмоструктурных структур центральной части зоны Черского (Северо-Восток России) 5
- Костин А.В.* Рудные брекчии – ключ к пониманию генезиса месторождений серебра и золота Западного Верхоянья 21

Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение

- Волкова Л. С., Макаров В.Н.* Экологический мониторинг в районах падения отделяющихся частей ракетносителя «Союз-2» на территории Якутии 38
- Нерадовский Л.Г.* Статистика удельного электрического сопротивления мерзлых рыхлых отложений и осадочных пород долины р. Лена «Туймаада» 49

Геотехнология, обогащение полезных ископаемых

- Матвеев А.И., Винокуров В.Р.* Экспериментальные исследования по интенсификации процессов измельчения в ступенчатой центробежной мельнице 56
- Батугина Н.С., Гаврилов В.Л., Ткач С.М.* Принципы ресурсосберегающего управления качеством при поставках угля в труднодоступные районы Северо-Востока России 64

Общая биология

Ботаника, почвоведение

- Коробкова Т.С.* Реализация потенциальной продуктивности смородины черной в условиях криолитозоны 74
- Андросова Д. Н.* Типы прорастания семян растений Центральной Якутии 83

Экология

- Дягилев Г.Т., Чернявский В.Ф., Егоров И.Я., Софронова О.Н., Никифоров О.И.* Эпизоотолого-эпидемиологический мониторинг сибирской язвы в арктической и восточной зонах Якутии 95

Биологические ресурсы

- Горлачева Е.П., Афонин А.В., Горлачев В.П.* Рыбы водоемов северного Забайкалья 106

Металлургия и материаловедение

Материаловедение

- Стручков Н.Ф., Винокуров Г.Г.* Формирование макроструктуры и пористости износостойких модифицированных порошковых покрытий 117
- Данилова С.Н., Абакунова Е.В., Слепцова С.А., Иванов А.Н., Джин-Хо Чо.* Полимерные композиционные материалы на основе СВМПЭ, наполненные модифицированным монтмориллонитом 126

CONTENTS

Earth sciences

General and regional geology, petrology and volcanology

- Imaev V.S., Imaeva L.P., Koz'min B.M.* Geodynamic features of seismotectonic structures in central part of the Chersky Zone (North-East of Russia) 5
- Kostin A.V.* Ore breccias as a key to understanding the genesis of the silver and gold deposits in Western Verkhoyanye 21

Engineering geology, permafrost and soil science

- Volkova L.S., Makarov V.N.* Ecological monitoring in the regions where the separating parts of the Soyuz-2 rocket carrier fall at the territory of Yakutia 38
- Neradovskii L.G.* Statistics of the resistivity of frozen loose sediments and sedimentary rocks in the Tuymaada valley of the Lena river 49

Geotechnology, mineral processing

- Matveev A.I., Vinokurov V.R.* Experimental studies on the intensification of grinding processes in a step centrifugal mill 56
- Batugina N.S., Gavrilov V.L., Tkach S.M.* Principles of resource-saving management of quality for coal supply to the hard-to-reach regions of the North-East of Russia 64

General biology

Botany, soil science

- Korobkova T.S.* Realization of the potential productivity of black currant's under the conditions of cryolithozone 74
- Androsova D. N.* Types of seed germination for the plants of Central Yakutia 83

Ecology

- Dyagilev G.T., Chernyavsky V.F., Egorov I.Ya., Sofronova O.N., Nikiforov O.I.* Epizootological and epidemiological monitoring of the anthrax in the Arctic and Eastern zones of Yakutia 95

Biological resources

- Gorlacheva E.P., Afonin A.V., Gorlachev V.P.* Fishes in the reservoirs of Northern Transbaikalia 106

Metallurgy and materials science

Materials Science

- Struchkov N.F., Vinokurov G.G.* Formation of the macrostructure and porosity of the wear-proof modified powder coatings 117
- Danilova S. N., Abakunova E. V., Sleptsova S. A., Ivanov A. N., Jin-Ho Cho.* Polymeric composite materials based on UHMWPE filled with modified of montmorillonite 126

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Общая и региональная геология, петрология и вулканология

УДК 551.248(571.56)

DOI 10.31242/2618-9712-2019-24-2-1

Геодинамические особенности сейсмотектонических структур центральной части зоны Черского (Северо-Восток России)

В.С. Имаев^{1,*}, Л.П. Имаева¹, Б.М. Козьмин²

¹Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

²Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, Якутск, Россия

*imaev@crust.irk.ru

Аннотация. В статье рассматривается взаимоотношение крупных внутриконтинентальных впадин северо-востока России (система Момо-Селенныхских впадин) и региональной Верхояно-Колымской системы разломов, пересекающих зону хребтов Черского в северо-западном направлении. Представлен обзор данных о природе названных впадин, развивавшихся с миоцена по средний плейстоцен как рифтовые. Показано, что в среднем плиоцене произошла смена тектонического режима и указанные структуры формируются в поле регионального сжатия. Это подтверждается комплексом геолого-геофизических и геодинамических данных и преобладающим типом тектонических движений в Верхояно-Колымской системе разломов, соответствующих сдвигам, надвигам и взбросам. Как пример анализируется зона влияния генерального разлома Улахан, который является сдвиговой границей между Североамериканской и Евразийской литосферными плитами и контролирует современные тектонические процессы на северо-востоке России.

Ключевые слова: активные разломы, сейсмичность, неотектонические структуры, фокальные механизмы землетрясений, современная геодинамика, палеосейсмодислокации.

Благодарности. Данное научное исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ (№ 19-05-0062), комплексной программы правительства Республики Саха (Якутия) по изучению территории республики в 2016–2020 гг., а также в рамках выполнения работ по проекту ИЗК СО РАН (№ 346-2018-0001) и ИГАИБМ СО РАН (№ 0381-2616-0001).

DOI 10.31242/2618-9712-2019-24-2-1

Geodynamic features of the seismotectonic structures in the central part of the Chersky Zone (North-East of Russia)

V.S. Imaev^{1,*}, L.P. Imaeva¹, B.M. Koz'min²

¹Institute of the Earth's Crust, SB RAS, Irkutsk, Russia

²Diamond and Precious Metal Geology Institute, SB RAS, Yakutsk, Russia

*imaev@crust.irk.ru

Abstract. Relationship between large intracontinental depressions in the north-east of Russia (the system of Momo-Selennyakh depressions) and the regional Verkhoyansk-Kolyma fault system breaking through the zone of the Chersky Ridges to the north-west is considered. A review is presented over the data on the nature of these depressions, which developed since the Miocene till the Pleistocene as rift troughs, It is shown that a change of the tectonic regime occurred in the Middle Pleistocene, and the indicated structures

are developing in the field of regional compression. This is confirmed by the entire set of geological, geophysical and geodynamic data and by the prevailing type of tectonic motions in the Verkhoyansk-Kolyma fault system corresponding to strike-slips, overthrusts and thrust-faults. The zone affected by the general Ulakhan fault is analyzed as an example. This zone is a shear boundary between the North American and Eurasian lithospheric plates, and it controls modern tectonic processes in the north-east of Russia.

Key words: active faults, seismicity, neotectonci structures, focal mechanisms of earthquakes, modern geodynamics, paleoseismic dislocations

Acknowledgements. The study is done on state assignment of DPMGI SB RAS with the support of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation and with support of RFBR (grant no. 19-05-00062).

Введение

За XX – начало XXI вв. исследователями многих стран мира в арктической зоне Земли локализован крупный Арктико-Азиатский сейсмический пояс (ААСП), который пересекает акваторию Северного Ледовитого океана, шельф моря Лаптевых, континентальную часть Северо-Восточной Азии, северную часть Охотского моря и Камчатку, связывая между собой сейсмические зоны Арктики и Тихого океана (рис. 1). По своему пространственному положению пояс представляет звено в гигантской «цепи» эпицентров землетря-

сений, разделяющей Евразийскую и Североамериканскую литосферные плиты на расстоянии более 8 тыс. км [1–7].

Арктико-Азиатский пояс включает три крупные тектонические зоны с высоким уровнем сейсмичности: срединноокеанический арктический хр. Гаккеля, шельф моря Лаптевых и сеймотектоническую зону Черского. По современным представлениям, указанные зоны отражают разную природу современной сейсмичности. Она отчетливо выражена в пространственном распределении эпицентральных полей землетрясений,

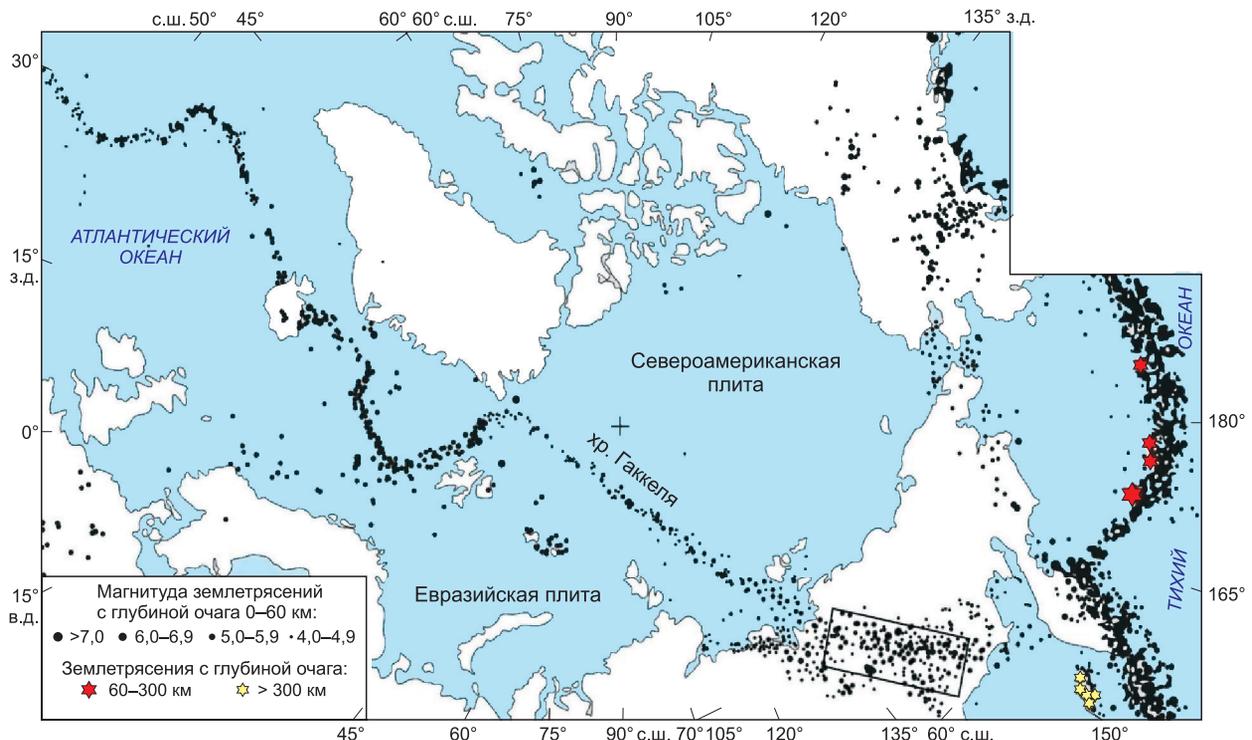


Рис.1. Локализация Арктико-Азиатского сейсмического пояса (ААСП) в Арктической зоне и на северо-востоке Азиатского континента [1, 2, 3, 5]. В прямоугольнике показана территория исследований, представляющая сеймотектоническую зону Черского [5, 6, 8].

Fig.1. Localization of the Arctic-Asian seismic belt (AASB) in the Arctic zone and the northeast Asian continent [1, 2, 3, 5]. The rectangle shows the research area representing the Chersky seismotectonic zone [5, 6, 8].

обусловленном различным типом напряженного состояния земной коры со сменой тектонических режимов на отдельных участках границы Евразийской и Североамериканской литосферных плит, и зависит от условий их взаимодействия [8]. Так, в пределах хр. Гаккеля – это узкая (до 80 км) полоса эпицентров, возникшая в обстановке растяжения земной коры [1, 2, 5]. На шельфе моря Лаптевых и в прибрежных районах континента ее конфигурация становится «диффузной» (расширяется до 200 км между Таймыром, Новосибирскими островами и прибрежной зоной), где имеет место смешанное поле тектонических напряжений (растяжение–сжатие). В зоне Черского фиксируются, в основном, условия сжатия, а сейсмичность занимает широкую (более 400 км) полосу территории, вытянутую к юго-востоку до Охотского моря [5, 6].

Задача проведенных исследований состояла в выявлении общих тенденций сейсмотектонического развития территории на основе взаимоотношения крупных внутриконтинентальных впадин северо-востока России (система Момо-Селенняхских впадин) с региональной Верхояно-Колымской системой разломов, развитой в сейсмотектонической зоне Черского. На примере одного из главных разломов этой системы Улахан рассмотрены признаки геодинамической активности, характерные для современного тектонического режима.

Методы исследований

Геодинамическая обстановка центральной части территории сейсмотектонической зоны Черского (СЗЧ) изучалась на основе комплекса геолого-геофизических данных, позволяющих выявить проявления современной тектонической активности во взаимосвязи с местной сейсмичностью. Так, для анализа структуры эпицентральных полей землетрясений были построены разномасштабные карты эпицентров. При их создании использовались каталоги и базы данных, полученные по наблюдениям сети региональных цифровых сейсмических станций Якутского филиала Федерального исследовательского центра Единой геофизической службы РАН (ЯФ ФИЦ ЕГС РАН). Сеть цифровых станций была оборудована американской (IRIS-STS-1, PAR-4CH-KS-2000) и российской (SDAS-CM3-OC, Байкал-CM3-KB) аппаратурой, позволяющей без пропусков регистрировать в пределах континентальной

части ААСП и соседних районов суши все сейсмические события с $M_s \geq 3$. При определении параметров эпицентров землетрясений привлекались специальные компьютерные программы, в их числе программа HYP2DT (Michigan University, USA); WSG (Россия) и др. [9, 10]. База данных пополнялась сведениями из Международных бюллетеней «ISC», «NEIC» (<http://www/isc/ac/uk/iscbulletin/search/bulletin/>) и каталогов землетрясений ФИЦ ЕГС РАН. Данные по аномалиям геофизических полей были заимствованы из публикаций [5, 6, 8].

Напряженное состояние земной коры определялось с помощью стереограмм фокальных механизмов землетрясений (метод А.В. Введенской по данным первых вступлений сейсмических волн), а также на основе параметров механизмов очагов, заимствованных из других источников [5, 6, 8] и Global Centroid Moment Tensor (CMT) Catalog Search (<http://www.globalcmt.org/>). При сопоставлении на разных фазах единого цикла деформаций в мезозое, мезозое–кайнозое были реконструированы тектонические напряжения по геолого-структурным наблюдениям (элементы залегания трещиноватости, слоистости и ориентации плоскостей сместителей надвигов [11], а в современное время – по параметрам механизма очагов сильных землетрясений [5, 6, 8].

Момо-Селенняхские рифтовые впадины

В середине XX в. исследуемая территория рассматривалась как Момский континентальный рифт. Анализ тектонических структур, проявления сейсмичности в срединноарктической рифтовой зоне хр. Гаккеля и его характер сочленения с материковыми структурами дали основание А.Ф. Грачеву [3] считать, что арктическая зона хребта Гаккеля имеет свое материковое продолжение, которое трассируется эпицентрами землетрясений через дельту р. Лена к системе Момо-Селенняхских впадин. Позже А.Ф. Грачев с соавторами [12], проанализировав особенности новейшей структуры и вулканизм этого района, а также существование возможных геологических и сейсмологических признаков проявления там поперечного к простиранию впадин растяжения, сформулировал представление о Момском новейшем континентальном рифте, включающем осевую Момо-Селенняхскую систему впадин и прилегающие к ней горные сооружения Черского и Момского хребтов.

На следующем этапе исследований А.Ф. Грачев [13], а затем Я. Кристофферсон [14] обратили внимание на постепенное вырождение спредингового хр. Гаккеля при приближении его к шельфу моря Лаптевых. В этом направлении уменьшается выраженность хребта в рельефе дна океана, сокращаются расстояния между разновозрастными магнитными аномалиями, которые вовсе исчезают в его крайней южной части. Скорость спрединга изменяется от 0,6–0,7 см/год в центральной части хребта до 0,3 см/год в его южной части. Тем не менее, А.Ф. Грачев полагал, что зона растяжения не заканчивается у континентального склона, а продолжается далее к югу на шельф моря Лаптевых и его побережье,

где растяжение литосферы еще не привело к формированию океанической коры. Продолжение рифтовых структур Евразийского бассейна на шельф и побережье моря Лаптевых и далее в глубь континента вслед за А.Ф. Грачевым предполагали еще ряд исследователей [1, 4, 15–17].

Для выяснения природы местных сейсмотектонических процессов рассмотрим их особенности. Цепь позднекайнозойских впадин северо-западного простирания (Селенняхская, Кыринская, Нижнемомская, Верхнемомская) обозначим как Момский рифт (рис. 2), к которому примыкают поднятия хребтов Черского (до 3100 м) и Момского (до 2400 м). Рифт обрамляется с северо-востока предгорным Индигиро-Зырянским про-

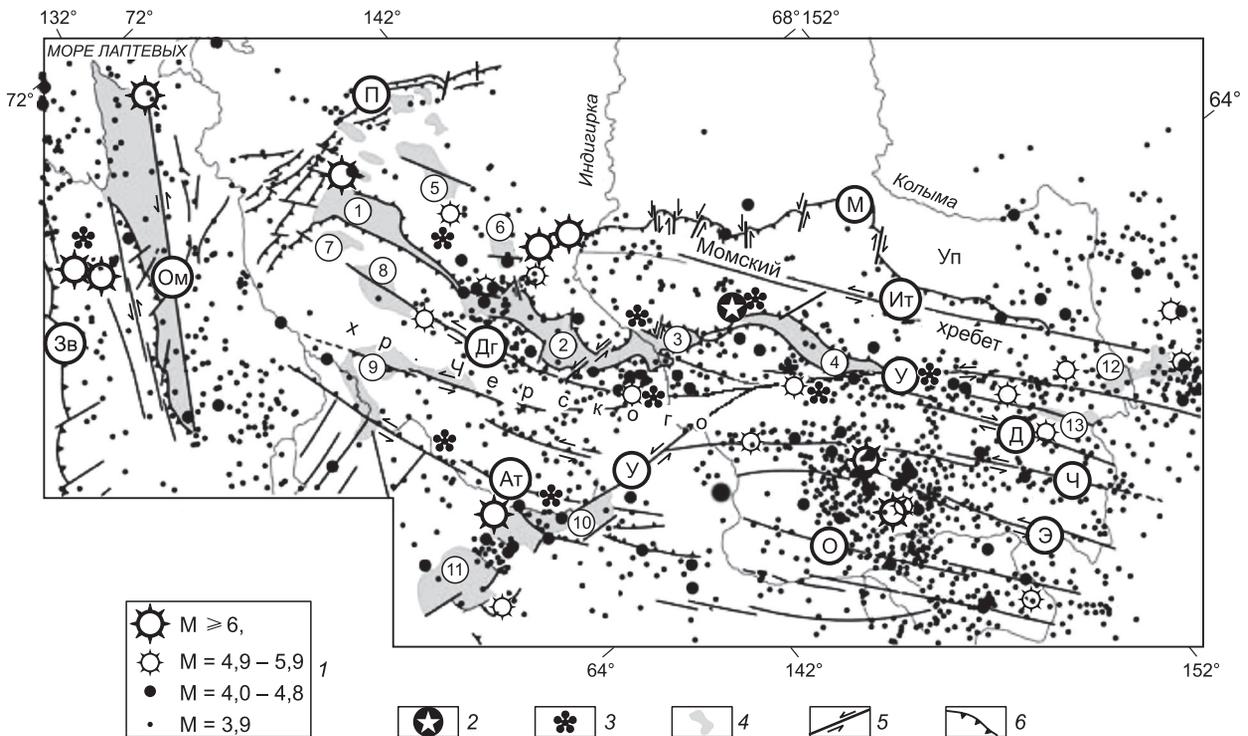


Рис. 2. Землетрясения сейсмотектонической зоны Черского и система внутриконтинентальных Момо-Селенняхских впадин, обрамляющих их горных хребтов и активных разломов [5, 6, 8].

1 – эпицентры с магнитудой $M: \geq 6, 4,9-5,9, 4,0-4,8, \leq 3,9$; 2 – вулкан Балаган-Тас; 3 – сейсмодислокации; 4 – кайнозойские впадины (цифры в кружках: 1 – Селенняхская, 2 – Кыринская, 3 – Нижнемомская, 4 – Верхнемомская, 5 – Уяндинская, 6 – Томмотская, 7 – Ольджойская, 8 – Неннелинская, 9 – Туостакская, 10 – Верхнеадычанская, 11 – Дербекинская, 12 – Сеймчано-Буондинская, 13 – Тасканская); 5, 6 – активные разломы (5) и взбросы и надвиги (6) (буквы в кружках: Д – Дарпир, Дг – Догдинский, Ит – Илин-Тасский, О – Оймаконский, Ом – Омолойский, У – Улахан, Ч – Чай-Юреинский, Э – Эльгинский, Ат – Адыча-Тарынский, Зв – Западно-Верхоянский, М – Мятисский, П – Полоусный).

Fig. 2. Earthquakes of the Chersky seismotectonic zone and the system of intracontinental Moma-Selennyakh basins encircling their mountain Ranges and active faults [5, 6, 8].

1 – Epicenters with $M: \geq 6, 4.9-5.9, 4.0-4.8, \leq 3.9$; 2 – Balagan-Tas volcano; 3 - seismodislocations; 4 – Cenozoic basins (number in circles: 1 – Selennyakh, 2 – Kyra, 3 – Lower Moma, 4 – Upper Moma, 5 – Uyandina, 6 – Tommot, 7 – Oljoy, 8 – Nennely, 9 – Tuostakh, 10 – Upper Adycha, 11 – Derbeke, 12 – Seymchan – Buyunda, 13 – Taskan); 5–6 – active faults (letters in circles): 5 – strike-slips (D – Darpir, Dg – Dogdo, It – Ilin-Tass, O – Oymyakon, Om – Omoloy, U – Ulakhan, H – Chay-Yureya, E – Elga, 6 – reverse faults and thrusts (At – Adycha-Taryn, Sv – Western Verkhoyansk, M – Myatis, P – Polousny).

гибом с мощным (до 2,5 км) разрезом угленосных отложений эоцена, олигоцена и миоцена, а на юго-западе – рядом предгорных впадин (Туостаская, Верхнеадычанская, Дербекинская и др.) с угленосными миоценовыми и местами олигоценными отложениями [5, 6].

Существует ряд геолого-геофизических признаков, свидетельствующих о рифтовой природе указанных впадин. В частности, характерным признаком рифта является наличие на его северо-западном окончании системы веерообразно расходящихся впадин, представленных Ненелинской, Ольджойской, Селенняхской, Уяндиной, Томмотской и другими депрессиями с угленосными отложениями миоцена и плиоцена (см. рис. 2). На юго-восточном окончании рассматриваемой зоны располагаются Сеймчано-Буондинская, Тасканская и другие небольшие

впадины, выполненные также угленосными отложениями олигоцена и неогена. Анализ возраста кайнозойских отложений названных впадин указывает на закономерное омоложение этих осадков при движении с северо-запада (губа Буор-Хая) на юго-восток (бассейн р. Колыма), исключение составляет лишь Сеймчано-Буондинская впадина [15].

В поле силы тяжести (рис. 3) указанная зона приурочена к крупному гравитационному уступу, отделяющему тяжелые породы Колымского блока от более легких масс Верхояно-Колымской складчатой области [5, 8]. Ось уступа примерно совпадает с трассами генеральных разломов Улахан и Дарпир.

Выявленная коровая неоднородность в поле силы тяжести прослеживается в верхах мантии. На это указывают результаты изучения поверх-

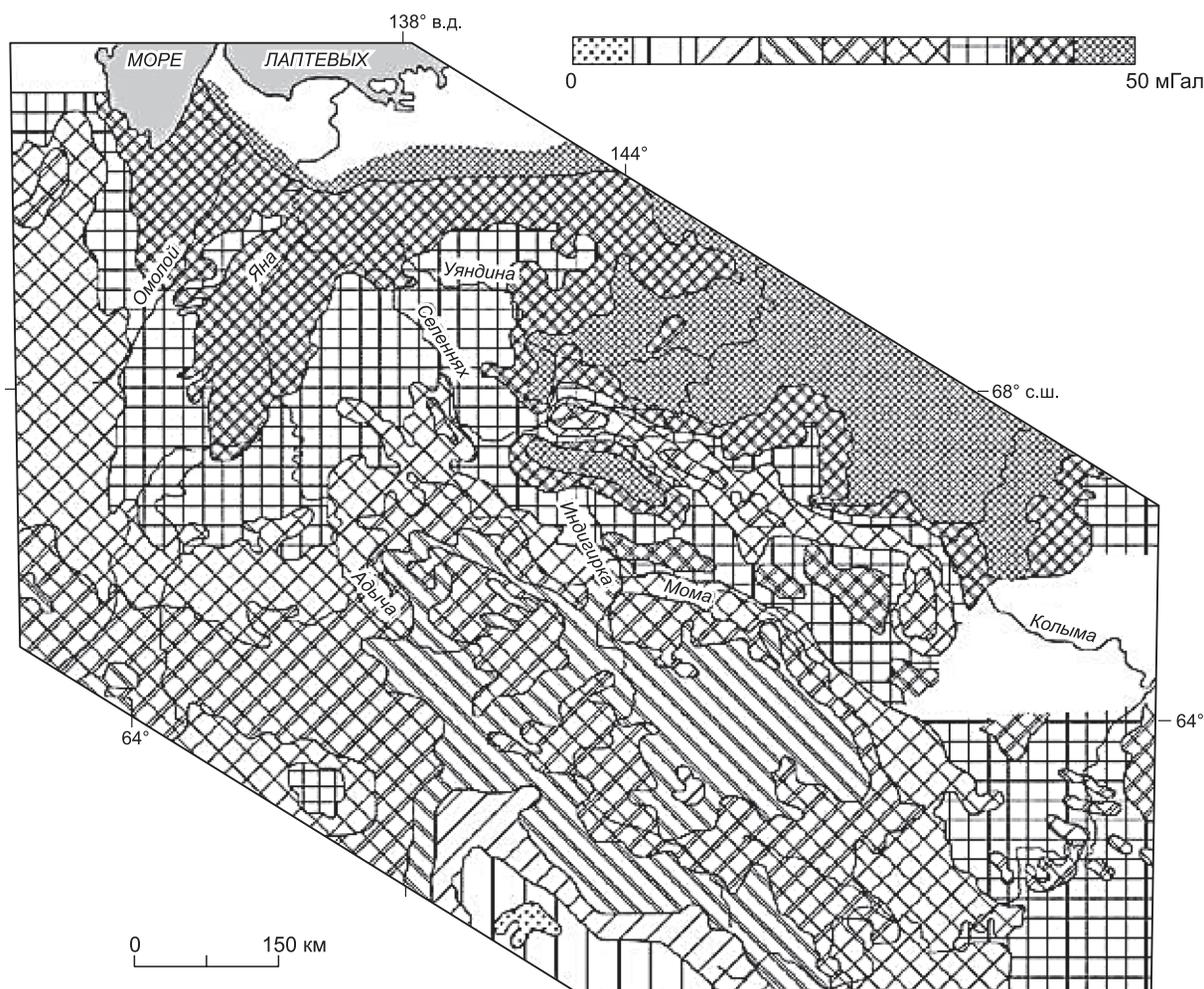


Рис. 3. Аномалии поля силы тяжести на континентальной части Арктико-Азиатского сейсмического пояса [5, 8].

Fig. 3. Anomalies of the field of gravity on the continental part of the Arctic-Asian seismic belt [5, 8].

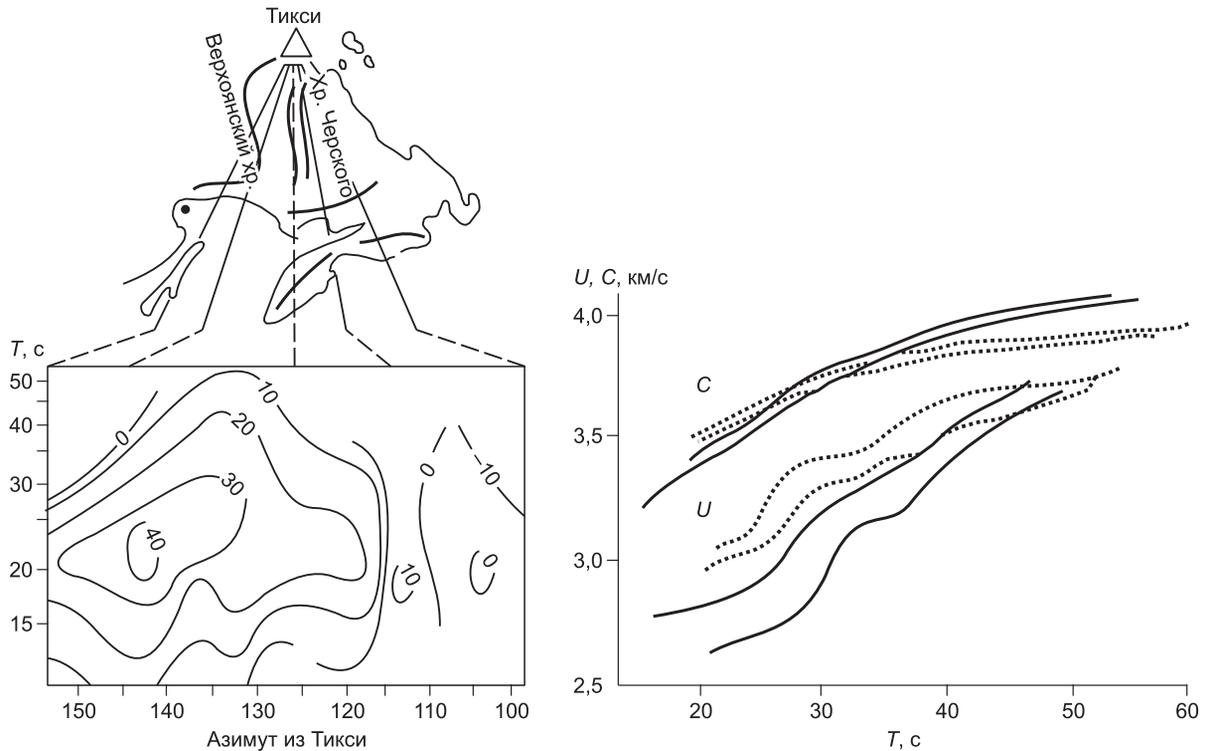


Рис. 4. Искажение поляризационных свойств поверхностных волн Релея на сейсмограммах станции «Тикси» от Курило–Камчатских землетрясений. Слева – аномалии углов поляризации волн Релея, наблюдаемые в «Тикси» для трасс: хребтов Верхоянского и Черского (вверху – схема трасс, внизу – изолинии поляризационных аномалий в градусах на плоскости период–азимут подхода волны). Справа – границы областей наблюдаемой дисперсии фазовых (*C*) и групповых (*U*) скоростей волн Релея в направлении районов Верхоянского хребта (сплошные линии) и хр. Черского (пунктир) [18].

Fig. 4. Distortion of the polarization’s properties of Rayleigh surface waves on seismograms of the Tiksi station from the Kuril – Kamchatka earthquakes. On the left, the anomalies of the polarization’s angles of the Rayleigh waves observed in Tiksi for the trails: the Verkhoyansk and Chersky ridges (at the top is the route map, at the bottom are the isolines of the polarization’s anomalies in degrees on the plane of the period-azimuth of the arrivals of wave). On the right are the boundaries of the regions of observed dispersion for phase (*C*) and group (*U*) velocities of Rayleigh wave in the direction the Verkhoyansk Ridge (solid lines) and Chersky Ridge (dotted line) [18].

ностных волн Релея, записанные от удаленных землетрясений местной наблюдательной сетью. При пересечении данного района поверхностными сейсмическими волнами обнаруживается существенное искажение поляризационных свойств волн Релея (поворот азимута поляризации до 40°) [18] (рис. 4). Возможно, что эти коровая и мантийная неоднородности и предопределили местоположение рифта в пространстве [19].

Земная коры в районе Момского рифта утонена до 24–26 км по сравнению с расположенными юго-западнее районами, где ее мощность составляет 40–44 км [22]. По мнению американских сейсмологов, утонение земной коры до 30–35 км в пределах Момского рифта, по сравнению с 40–45 км в окружающих районах, хорошо устанавливается на основе анализа скоростей P_n и P_g сейсмических волн от местных землетря-

сений и следится в виде «языка», вытянутого от среднего течения р. Яна до верховьев р. Колыма [20] (рис.5).

Это позволяет предположить наличие здесь в недавнем геологическом прошлом близко расположенного к земной поверхности мантийного диапира [21, 23]. Он, вероятно, и обусловил высокий тепловой поток, фиксируемый в настоящее время прямыми измерениями в скважинах (хр. Черского – 88 мВт/м², хр. Сунтар-Хаята – 100 мВт/м²). На существование рифта могут также указывать проявления позднекайнозойского вулканизма (вулканы Балаган-Тас (рис. 6) и Урага-Хая), петрохимический состав родственного базальтам других рифтовых зон Земли [3, 6], а также наличие минерализованных источников подземных вод с температурой до +20 °С, известных в системе Момо-Селенныхских впадин [6].

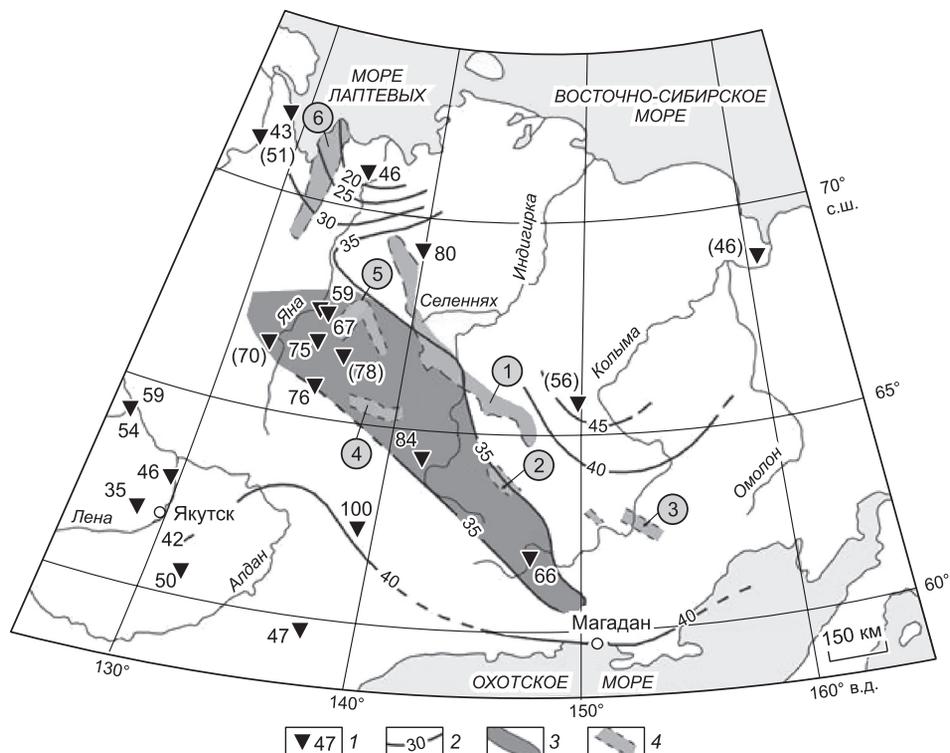


Рис. 5. Толщина земной коры [20] и тепловой поток [21] на юго-восточном фланге Арктико-Азиатского сейсмического пояса. 1 – точечные определения теплового потока, мВт/м²; 2 – изолинии мощности земной коры, км; 3 – область утонения земной коры; 4 – кайнозойские впадины (номера в кружках: 1 – Момо-Селенняхская система, 2 – Верхнерерская, 3 – Сеймчано-Буюндинская, 4 – Верхнеадычанская, 5 – Туостакская, 6 – Омолойская).

Fig. 5. Earth's crust thickness [20] and heat flow [21] in the central part of Chersky seismotectonic zone. 1 – point definitions of heat flow in mW / m²; 2 – earth's crust thickness isolines in km; 3 – crust thinning area; 4 – Cenozoic basins (numbers in circles: 1 – Moma – Selennyakh system, 2 – Upper Nera, 3 – Seymchan-Buyunda, 4 – Upper Adycha, 5 – Tuostakh, 6 – Omoloy).

В то же время, выявлен ряд фактов, отрицающих современное существование Момского рифта. Прежде всего, не находит своего морфологического выражения в рельефе окончание рифтовой зоны. На северо-западе она «заперта» хребтом Кулар и западным окончанием кряжа Полоусного, а на юго-востоке – структурами Колымского нагорья.

Поэтому наблюдаемый сейчас ряд рифтовых признаков может быть отнесен к реликтам Момского рифта, сохранившимся до наших дней [6]. Именно поэтому некогда обширная территория, занимаемая единой впадиной Момского рифта в период его расцвета (нижний миоцен–средний плейстоцен), под воздействием сжатия, вызванного сближением Североамериканской и Евразийской литосферных плит (режим транспрессии), превратилась в цепочку небольших вытянутых в северо-западном направлении впадин,

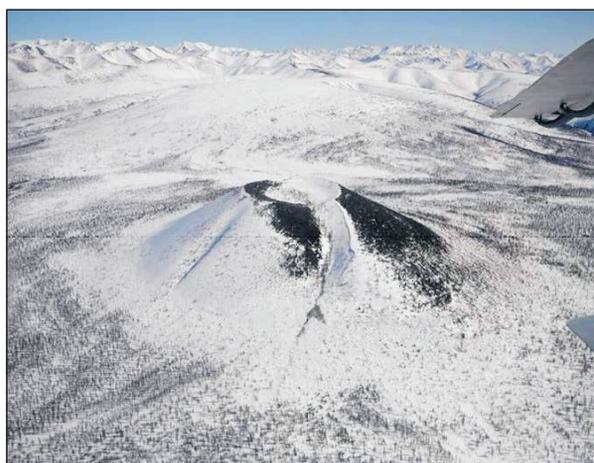


Рис. 6. Общий вид позднекайнозойского влк. Балаган-Тас вблизи северо-восточной окраины Верхнемомской впадины [6].

Fig. 6. General view of the Late Cenozoic Balagan-Tas volcano near the northeast margin of the Upper Moma basin [6].

связанных между собой узкими перешейками (см. рис. 2). По этой же причине хребты, составляющие горную цепь Черского, изменили в плане прежнюю линейную форму на современную изогнутую S-образную [5, 6].

В связи с этим трудно представить, что Момский рифт мог быть продолжением срединно-океанического хребта Гаккеля на континент. Возможное существование рифтовой зоны, скорее всего, ограничивалось локальной территорией, занимаемой системой Момо-Селенныхских впадин и обрамляющих ее горных поднятий [5, 6, 24, 25]. К такому же выводу недавно пришли американские исследователи [7], которые предполагают обособленность Момской рифтовой зоны от рифтовой системы, развитой в хр. Гаккеля и на шельфе моря Лаптевых. Другим контраргументом против современного присутствия рифта является установление и картирование нами в пределах сейсмотектонической зоны Черского, куда пространственно тяготеет система впадин Момского рифта, значительного числа складчатых дислокаций, а также надвигов и взбросов в кайнозойских образованиях, в том числе внутри самих Момо-Селенныхских впадинах. Деформации кайнозойских отложений большей частью молодые, возникли в условиях сжатия и прослеживаются на всем протяжении сейсмотектонической зоны Черского [5, 6, 24]. Их появление, вероятно, вызвано изменением геодинамического режима, начавшимся примерно в среднем плиоцене, когда, по мнению ряда геоморфологов, была заложена сеть водотоков этой территории и условия растяжения сменились сжатием [8].

Система разлома Улахан

Рассмотрим особенности современного тектонического режима и его влияние на региональную систему разломов, господствующих в сейсмотектонической зоне Черского. Следует отметить, что большинство рассматриваемых разломов находятся и их современная активизация происходит в обстановке сжатия, существующей на границе между крупными Евразийской и Североамериканской литосферными плитами (см. рис. 1), которые взаимодействуют на Северо-Востоке Азии [5, 6, 24–28]. Остановимся на характеристике генеральных разломов, которые в зоне Черского играют основную структурообразующую роль в формировании современного рельефа и являются главными сейсмогенерирующими структурами.

К таким прежде всего относится зона влияния разлома Улахан (см. рис. 2, 7), который следует более чем на 1500 км от Сеймчано-Буондинской впадины на юго-востоке до субширотного отрезка р. Индигирка в ее среднем течении [6]. По длине и кинематике данный дизъюнктив можно сопоставить с известным разломом Сан-Андреас в Калифорнии. Продолжение разлома Улахан в направлении Охотского побережья проблематично, хотя по ряду признаков (геоморфологическим и дешифровочным) разлом может быть прослежен до побережья Охотского моря. Его северо-западным окончанием на левобережье р. Индигирка служит разветвление на Догдинский (Чемалгинский) разлом, который затухает в бассейне р. Яна, и другую широтную ветвь в долине рек Ирегенья–Иньяли, протягивающуюся к Верхнеадычанской впадине [6, 8] (см. рис. 2, 7).

Впервые Улахан был выделен А.С. Симаковым в 1949 г. и в дальнейшем изучался многими магаданскими и якутскими геологами [29–31]. При дешифрировании космоснимков (см. рис. 7) линия разлома отчетливо выделяется в виде эшелона левых кулис, в полостях которых в позднекайнозойское время возникла цепочка молодых минивпадин «pull-apart» (Переправа, Верхнеэрикетская, Бугчанская, Верхнесударская, Верхнелыглыхтахская и др.) [5, 6]. Они отчетливо диагностируются на космоснимках, следятся на топокартах и выражены в рельефе. Наиболее крупными из них являются впадины Бугчанская и Переправа.

Пространственное соотношение зоны влияния Улахана со складчатостью и поясом гранитоидных интрузий, наличием выходов крупных блоков палеозойских пород (поднятия: Омuleвское – на юго-восточном окончании упомянутого разлома и Тас-Хаяхтахское – на противоположном северо-западном фланге), расположенных между расщепляющимися концами осевой зоны разлома Улахан, позволяют прийти к выводу, что он представляет собой крупнейшую сдвиговую систему на северо-востоке России [6, 8, 29].

Величины горизонтальных перемещений в плоскости разлома Улахан оценивались в районе западного обрамления Омuleвского блока (см. рис. 7). Для этого выявлялись горизонтальные смещения, которые считывались с крупномасштабных топографических карт (М.: 1:100 и 1:300 тыс.) по однотипным смещениям небольших притоков, пересекавших плоскость разлома перпендикулярно его простиранию. Следует от-



Рис. 7. Главные разломы юго-восточной части сейсмотектонической зоны Черского на космоснимке «Метеор».

1 – сдвиги, 2 – надвиги и взбросы; 3 – эпицентры сильных землетрясений; 4 – вулкан Балаган-Тас; 5 – фокальные механизмы землетрясений (P – положение оси сжатия, T – оси растяжения). Блок-диаграмма показывает характер смещения Омuleвского блока при движении разломов Улахан и Дарпир под влиянием коллизии Евразийской (EA) и Североамериканской (CA) литосферных плит (врезка).

Fig. 7. The main faults of the southeastern part of the Chersky seismotectonic zone in the Meteor satellite image.

1 – strike-slips, 2 – reverses and thrusts; 3 – epicenters of strong earthquakes; 4 – Balagan-Tas volcano; 5 – focal mechanisms of earthquakes (P – the position of the axis of compression, T – axis of tension). The block diagram shows the displacement pattern of the Omulevsky block during the movements of Ulakhan and Darpir faults under the influence of a collision between the Eurasian (EA) and North American (CA) lithospheric plates (upper on the right).

метить, что суммарная величина горизонтального смещения в 23–24 км в зоне Улахана была получена магаданскими геологами при построении ими геологической карты Омuleвского блока [29–31]. Примерно такое же смещение в 24 км рассчитано по ширине понижения в рельефе, которому соответствует молодая впадина «pull-apart» между р. Сумун и р. Улахан-Нагаин. Время начала горизонтальных сдвиговых смещений может быть определено в первом приближении как среднеплиоценовое, когда, по мнению большинства геоморфологов, была заложена сеть водотоков этого района, т. е. около 3,4 млн лет назад. В таком случае скорость горизонтальных движения по разлому составляет около 0,7–0,8 см/год [8].

Результаты повторного нивелирования по линии реперов вдоль р. Индигирка вкрест простираня структур СЗЧ выявили слабые восходящие

вертикальные движения (0–4 мм/год) в системе Момо-Селенняхских впадин вместе с обрамляющими их горными хребтами Момский и Черского. В то же время на этой же карте (рис. 8), составленной Якутским геодезическим предприятием ГУГК СССР [32], отчетливо видно, что разлом Улахан повсеместно трассируется в районе, ограниченном изолинией с нулевым значением скорости вертикальных движений, что указывает на преобладание в его пределах современных горизонтальных перемещений.

Анализ морфокинематических характеристик разлома Улахан по данным геолого-структурных (трещиноватость, зеркала скольжения) и сейсмологических (фокальные механизмы землетрясений) наблюдений показывает, что плоскость его сместителя субвертикальна (75–90°), он имеет северо-западное простираня (280–320°) [5]. Разлом

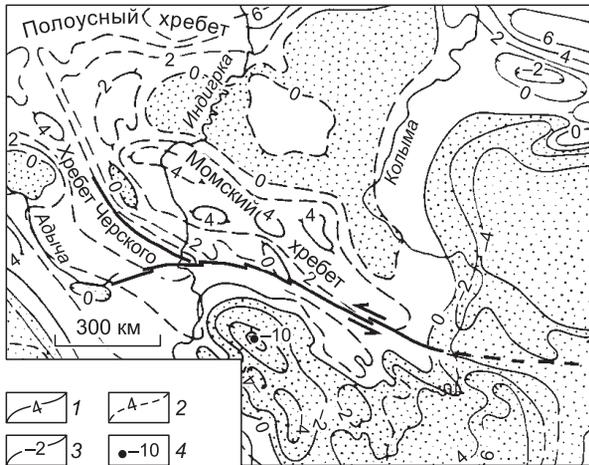


Рис. 8. Изолинии скоростей современных вертикальных тектонических движений (мм/год) [32]: 1 – поднятие, 2 – предполагаемые; 3 – опускание; 4 – максимальные значения скоростей [32]. Утолщенной линией показана трасса левого сдвига Улахан .

Fig. 8. Isolines of speeds of modern vertical tectonic movements (mm/year) [32]: 1 – uplift, 2 – estimated; 3 – lowering; 4 – maximum of speeds. The thickened line shows the route of the left Ulakhan strike slip .

обладает высоким сейсмическим потенциалом. Главные тектонические напряжения, действующие в очагах зарегистрированных здесь землетрясений, имели следующие параметры: сжимающие усилия близгоризонтальны (угол наклона 7–15°) и ориентированы в северо-восточном направлении по азимуту 32–80°, растягивающие – близвертикальны (угол наклона 44–69°) и действовали в субдолготном и северо-западном направлениях по азимуту 320–340°. Тип подвижки в очаге – левый сдвиг [8]. Это подтверждается характером современного рельефа, когда при пересечении разломом Улахан верховьев рек Рассоха и Омuleвка (бассейн р. Ясачная, притока р. Колыма) выявлено систематическое смещение их русел влево с амплитудой от 4 до 24 км в течение среднего плейстоцена–голоцена. Это позволяет оценить среднюю скорость горизонтальных тектонических движений по в 0,5–0,7 см/год [28, 34]. Ярким примером таких левобочковых смещений может служить современная тектоническая обстановка, наблюдаемая на отрезке рассматриваемого разлома вблизи присдвиговой впадины «Переправа» (рис. 9).

Разлом Дарпир (см. рис. 2, 7) составляет сопряженную динамопару с разломом Улахан и

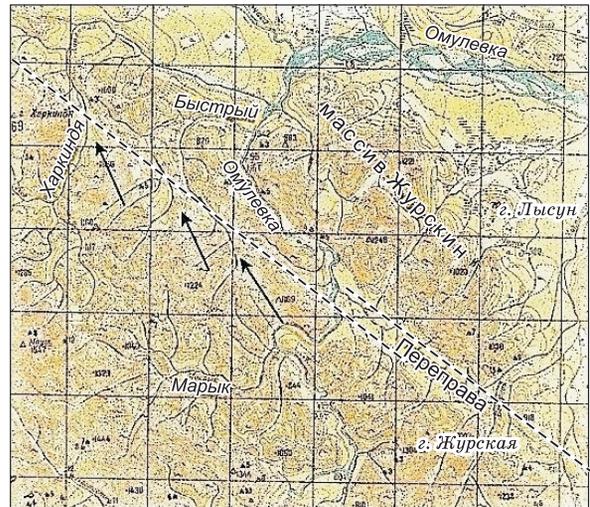


Рис. 9. Фрагмент топокарты верхнего течения р. Омuleвка (левого притока р. Ясачная, бассейн р. Колыма). М 1:300000. Штриховой линией показана трасса разлома Улахан. В левой кулисе показана современная присдвиговая впадина «pull-apart» Переправа. Стрелки указывают на систематическое смещение влево русел верхних притоков р. Омuleвка (Быстрый, Харкиндя и др.) вдоль трассы названного разлома.

Fig. 9. Fragment of topographic map of the upper stream of the Omulevka River (left tributary of the Yasachnaya River, the basin of the Kolyma R.). Scale 1: 300000. The dotted line shows the Ulakhan fault. There is a modern pull-apart basin «Pereprava» in the left echelon's fold. Arrows indicate a systematic leftward displacement of the upper tributaries of the Omulevka River (Bystryy, Harkindya and et al.) along the route of the named fault.

впервые был выделен А.А. Николаевым в 1958 г. Он следует на юго-востоке региона на расстоянии более 400 км и отделяет Омuleвское поднятие от Иньяли-Дебинского синклинария. Геологическим строением этого разлома занимались многие исследователи [29–31], благодаря которым была установлена его взбрососдвиговая кинематика. Горные породы в зоне разрыва подвержены интенсивной складчатости, сильному дроблению, рассланцеванию и милонитизации. На многих своих участках разлом подчеркивается линейными магнитными аномалиями и резкой гравитационной ступенью. Амплитуда горизонтальных перемещений по нему сравнительно невелика и варьируется в интерпретации разных авторов от 2 до 10 км [27–29].

Дарпир, как и разлом Улахан, надежно дешифрируется на средне- и крупномасштабных космо- и аэрофотоснимках (см. рис. 7), выделяется на топокартах в виде протяженных лине-

аментов северо-западного простирания, которые сочленяются под острым углом в 20–25°, ограничивая поднятый с амплитудой в 450–550 м Омудевский блок палеозойских пород, развитых среди мезозойских образований крупного Охотского блока и Североамериканской плиты (см. рис. 7, врезка справа вверху). Согласно современным тектоническим представлениям, Омудевское поднятие является отдельным блоком, впаиваемым в мезозойскую структурную раму в процессе коллизионных и послеколлизионных преобразований структуры Верхояно-Колымских мезозоид [5, 6, 8]. На рис. 7 отражено пространственное положение главных осей (Р и Т) тектонических напряжений в фокусе Сеймчан-

ского 1974 г. и Улахан-Чистайского 2013 г. землетрясений, подтверждающие левосдвиговые подвижки в их очагах. Следует отметить, что сопряженная разрывная система Улахан–Дарпир представляет собой наиболее яркую динамопару, отражающую стиль тектонических деформаций в юго-восточной части границы между Североамериканской плитой и Охотоморским блоком. На врезке (см. рис. 7) предлагается структурно-динамическая модель Омудевского блока, подтверждающую экструзию (выдавливание) этого блока к юго-востоку при сближении названных плит.

В настоящее время местную сейсмичность в районе Улахана контролирует сеть цифровых

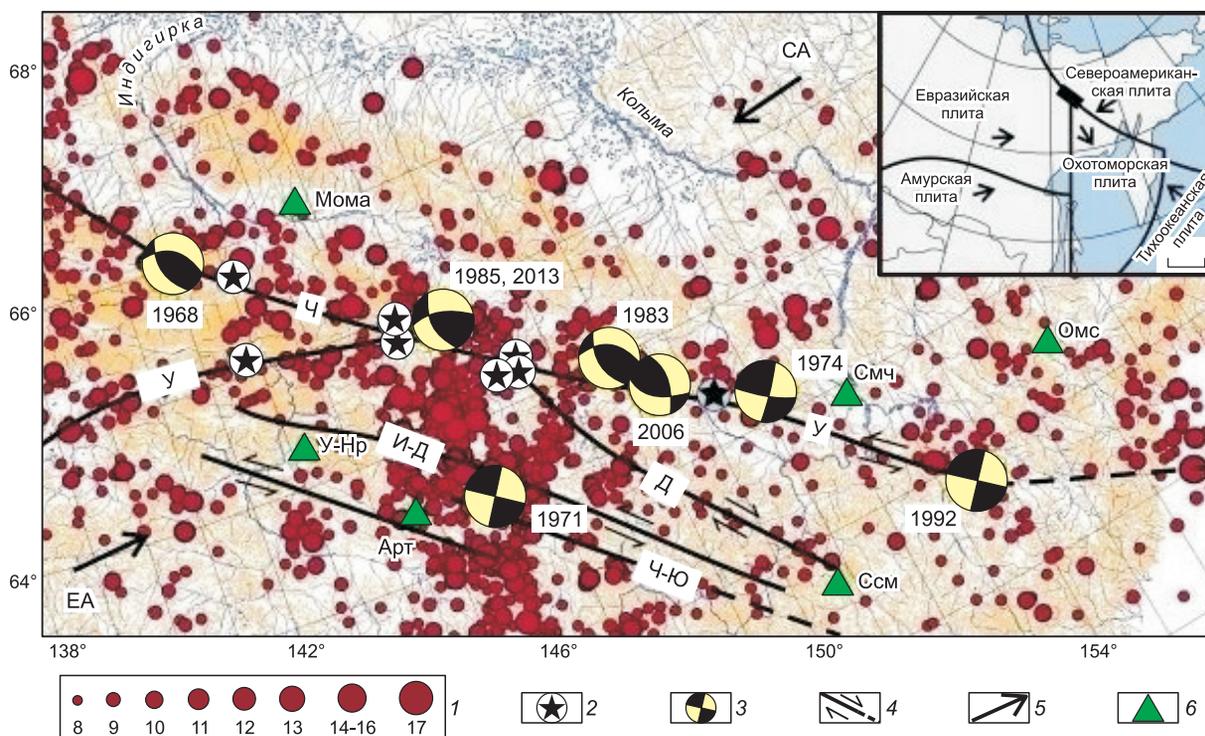


Рис. 10. Распределение эпицентров землетрясений в зоне разлома Улахан.

1 – энергетический класс землетрясений $K = \lg E$, Дж; 2 – сейсмодислокации; 3 – фокальные механизмы землетрясений (черные квадранты – области первых вступлений волн сжатия, желтые – волн разряжения), рядом проставлен год возникновения события; 4 – активные сдвиги: У – Улахан, Д – Дарпир, И-Д – Иньяли-Дебинский, Ч – Чималгинский, Ч-Ю – Чай-Юреинский; 5 – направление движения плит: EA – Евразийская, SA – Североамериканская; 6 – региональные сейсмические станции ФИЦ ЕГС РАН (Мома, У-Нр – Усть-Нера, Арт – Артык, Ссч – Сеймчан, Ссч – Сусуман, Омс – Омсукчан). На врезке приведена упрощенная карта взаимодействия литосферных плит на северо-востоке Азии. Район исследований помечен прямоугольником.

Fig. 10. Distribution of earthquakes epicenters of in the zone of the Ulakhan Fault.

1 – energy class of earthquakes $K = \lg E$, Joule; 2 – seismodislocation; 3 – focal mechanisms of earthquakes (black quadrants – areas of the first arrivals of compression waves, yellow ones – tension waves), the year of occurrence of the event is indicated beside; 4 – active strike-slip: У – Ulakhan, Д – Darpir, И-Д – In'yali-Debin, Ч-Ю – Chai-Yureya; 5 – direction of movement of plates: EA – Eurasian, SA – North American; 6 – regional seismic stations FITS EGS RAS (Moma, U-Nr – Ust-Nera, Art – Artyk, Smch – Seymchan, Sms – Susuman, Oms – Omsukchan). Upper in set shows simphlized the map of interaction of lithospheric plates in northeast Asia. The study area is marked with a rectangle.

сейсмических станций Якутского филиала ФИЦ ЕГС РАН (Усть-Нера, Мома, Артык) и Магаданского филиала ФИЦ ЕГС РАН (Сеймчан, Сусуман, Омсукчан, Омчак), что позволяет без пропусков регистрировать все землетрясения, начиная с магнитуды $M_s \geq 2,5$ (энергетический класс $K \geq 8$).

За XX – начало XXI вв. в зоне влияния Улаха на отмечено более 14 тыс. подземных толчков, которые произошли на глубине 7–30 км в пределах земной коры (ее мощность здесь ~ 35 км [20]). Интенсивность больше десятка из них достигала в эпицентре 6–7 баллов. На рис. 10 приведена карта эпицентров землетрясений вдоль трассы Улаха на. Легко заметить, что он сейсмоактивен на всем своем протяжении. Все подвижки в очагах землетрясений (по данным фокальных механизмов) имеют идентичный тип, соответствующий левым сдвигам.

Повышенная мобильность Улаха на подтверждается также наличием в его системе следов современных землетрясений в виде обвалов, осыпей, камнепадов и др., а также крупных сейсмических событий прошлого (~20 палеосейсмодислокаций и сейсмопроявлений с возрастом от 4 тыс. лет и моложе). К наиболее крупным из них относятся сейсмодислокации «Чибагалах», «Тирехтях», «Урультун» и «Купкинская» [5, 6, 8]. Из хорошо сохранившихся древних дислокаций в зоне Улаха на хорошо известна обвальная плотина «Тирехтях» (Ерюн-Тас-Тух) высотой до 50 м, возникшая в момент землетрясения примерно 1 тыс. лет назад и перекрывшая один из водотоков в долине р. Тирехтях, левого притока р. Мома [5, 33]. Именно сюда тяготеет очаг одного из самых сильных современных сейсмических событий, приуроченных к разлому Улаха на, подтверждающих общий сдвиговой характер смещения по его плоскости, каким является Улахан-Чистайское землетрясение 20 января 2013 г., которое случилось в центральной части СЗЧ в хр. Улахан-Чистай, вблизи восточного окончания кайнозойской Бугчанской впадины. Оно произошло 20.01.2013 г. в 8 ч. 38 мин. Гринвича с $m_b = 5,7$ на глубине 23 км. Его координаты соответствовали $64,76^\circ$ с.ш. и $146,66^\circ$ в.д. Сила сотрясений в эпицентральной области могла достигать 7–8 баллов.

Согласно опросам местного населения, землетрясение ощущалось в трех северо-восточных районах Республики Саха (Якутия) (Оймяконском, Момском и Верхнеколымском), а также на юге Магаданской области на площади почти 300 тыс. км². Его воздействия почувствовали жи-

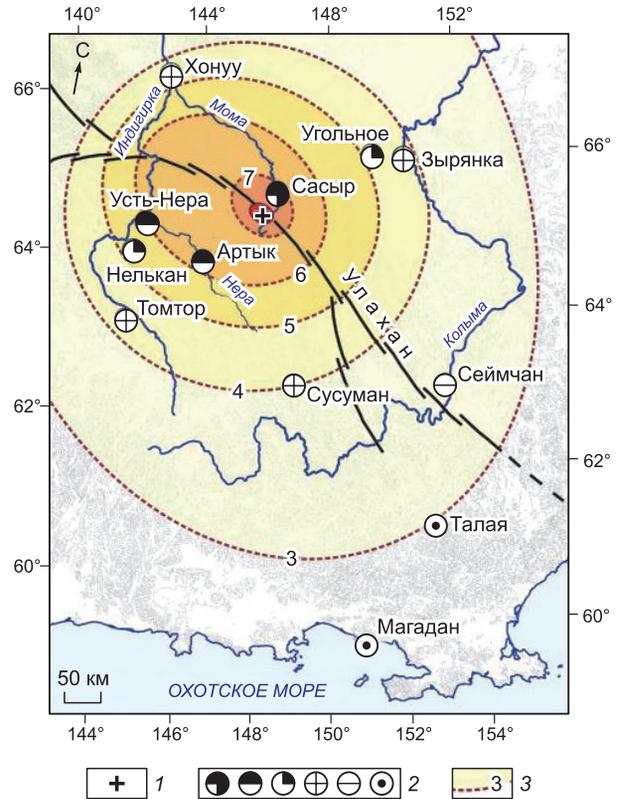


Рис.11. Схема изосейст Улахан-Чистайского землетрясения 20.01.2013 г.

1 – эпицентр главного толчка по инструментальным данным; 2 – интенсивность сотрясений в баллах по шкале MSK-64 соответственно: 7, 6, 5, 4, 3, 2; 3 – изосейсты (линии бальности). Утолщенная сплошная линия – трасса разлома Улаха на.

Fig. 11. The Isoseists of Ulakhan-Chistai earthquake dated January 20, 2013.

1 – the epicenter of the main shock according to instrumental data; 2 – intensity of shocks in points on the MSK-64 scale, respectively: 7, 6, 5, 4, 3, 2; 3 – The thickened solid line is the Ulakhan fault line.

тели 12 населенных пунктов. По этим данным была построена карта изосейст (рис. 11). Движения в очаге Улахан-Чистайского толчка по данным параметров фокального механизма, приведенного в бюллетене ISC [<http://www.isc.uk/>], произошли по типу левого сдвига, что совпадает с левобокowymi перемещениями по разлому Улаха на, установленными по геолого-структурным данным [6].

Полученные материалы свидетельствуют, что сеймотектонические процессы в зоне влияния разлома Улаха на протекают в условиях сжатия, способствующих развитию в современную эпоху систем левых сдвигов в сочетании с надвигами и взбросами.

Заключение

Исследования в центральной части сейсмо-тектонической зоны Черского (СЗЧ) показали, что современная природа сейсмичности обусловлена здесь обстановкой сжатия, способствовавшей развитию региональной Верхояно-Колымской системы сдвигов, взбрососдвигов, надвигов и интенсивной дислоцированности кайнозойских осадков. Эта характеристика геологической среды устанавливалась на основе изучения трещиноватости горных пород и зеркал скольжения в зонах активных разломов, при изучении отложений кайнозойских впадин и прогибов, а также анализа многочисленных проявлений сейсмичности и параметров фокальных механизмов землетрясений [5–8].

На примере одного из главных разломов этой системы Улахан были рассмотрены присущие для него признаки геодинамической активности, характерные при современном тектоническом режиме сжатия.

Прежде всего названный разлом формирует-ся и развивается как левый сдвиг со скоростью движения до 0,5–0,7 см/год., что вызвало образование в его структуре серии познекайнозойских минивпадин «pull-apart». Для разлома характерен высокий сейсмический потенциал с генерацией землетрясений с $M_s = 5,5–6$. Параметры фокальных механизмов сильных землетрясений с подвижками в очаге типа сдвига, взбрососдвига и надвига уверенно согласуются с кинематикой Улахана, определенной по геологическим данным. Зона разлома сопровождается многочисленными сейсмопроявлениями (обвалы, оползни, камнепады и др.) и палеосейсмодислокациями. Для этой территории присуща повышенная плотность теплового потока (до 70 мВт/м²) и широкое развитие наледных процессов [7, 8]. Пространственное совпадение этих явлений, по-видимому, неслучайно, так как все они тяготеют к зоне влияния разлома, современные подвижки по которому нарушают целостность земной коры и способствуют, вероятно, подтоку внутриземного тепла к поверхности, вызывая формирование таликов и появление наледей. Кроме того, реликты Момского рифта (утонение земной коры, наличие неоднородности в коре и верхах мантии и др.) также способствуют реактивации здесь сейсмо-тектонических процессов.

Предложенная блок-диаграмма модели происходящих сейсмо-тектонических движений в райо-

не динамического влияния разломов Улахан и Дарпир подтверждается произошедшими здесь в последнее время землетрясениями и кинематикой активных разломов (см. рис. 7) и доказывает определяющую роль разлома Улахан в сейсмической жизни региона.

Установленный кинематический план развития системы разлома Улахан, образующего центральную, стволую трассу и ее разветвления по краям, связан с тем, что сейсмогенерирующие структуры развиваются в условиях коллизии Евразийской (скорость движения 0,2 см/год) и Североамериканской (1 см/год) литосферных плит, движущихся навстречу друг другу [34], что, несомненно, изменяет облик современного рельефа, в том числе, например, конфигурацию Момо-Селенныхских впадин.

Полученные результаты детальных сейсмо-тектонических исследований могут являться базовой основой анализа геодинамических режимов, а также сейсмогеодинамических построений для отдельных сегментов сейсмических поясов северо-востока Азии.

Литература

1. Зоненшайн Л.П., Савостин Л.А. Введение в геодинамику. М.: Недра, 1979. 311 с.
2. Plate-tectonic map of Circum-Pacific region. Circum-Pacific map series. U.S. Geological Survey, 1984.
3. Грачев А.Ф. Рифтовые зоны Земли. Л.: Недра, 1987. 258 с.
4. Rowley D.B., Lottes A.L. Plate-kinematic reconstructions of the North Atlantic and Arctic: Late Jurassic to Present // Tectonophysics. 1988. V. 155. P. 73–120.
5. Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М. Активные разломы и сейсмо-тектоника Северо-Восточной Якутии. Якутск: ЯНЦ СО АН СССР, 1990. 138 с.
6. Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М. Сейсмо-тектоника Якутии. М.: ГЕОС, 2000. 227 с.
7. Fujita K., Cambray F.W., Velbel M.A. Tectonics of the Laptev Sea and Moma rift systems, Northeastern USSR // Marine Geology. 1990. V. 93. P. 95–118.
8. Сейсмо-тектоника северо-восточного сектора Российской Арктики / отв. ред. Л.П. Имаева, И.И. Колледзников. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2017. 136 с.
9. Mackey K.G., Fujita K., Hartse H.E., Stead R.J., Steck L.K., Gunbina L.V., Leyshuk N., Shibaev S.V., Koz'min B.M., Imaev V.S., Gordeev E.I., Chebrov V.N., Masal'ski, Gileva N.A., Bormatov V.A., Voitenok A.A., Levin Y.N., Fokina T.A. Seismicity map of Eastern Russia, 1960–2010 // Seismological Research Letters. 2010. V. 81, N 5. P. 761–768.
10. Землетрясения России в 2003 году. Обнинск: ГС РАН, 2006. 112 с.

11. Николаев П.Н. Системный анализ тектонических напряжений и деформаций // Изв. вузов. Геол. и разв. 1979. № 5. С. 35–42.
12. Грачев А.Ф., Деменицкая Р.М., Карасик А.М. Проблемы связи Момского континентального рифта со структурой срединно-океанического хребта Гаккеля // Геофизические методы разведки в Арктике. Л.: НИИГА. 1973, вып. 8. С. 56–75.
13. Грачев А.Ф. Основные проблемы новейшей тектоники и геодинамики Северной Евразии // Физика Земли. 1996. № 12. С. 5–36.
14. Kristoffersen Y. Eurasia Basin // The Geology of North America. Vol. L. The Arctic ocean region / ed. A. Grantz, G.L. Johnson, J.F.Sweeney / Geological Society of America, Boulder, CO, 1990. P. 365–378.
15. Артемов А.В., Иванов И.Ю. Геологическое строение Момского континентального рифта // Геотектоника. 1988. № 2. С. 102–107.
16. Аветисов Г.П. Сейсмоактивные зоны Арктики. СПб: ВНИИОкеангеология, 1996. 185 с.
17. Грамберг И.С., Деменицкая Р.М., Секретов С.Б. Система рифтогенных грабенов шельфа моря Лаптевых как недостающего звена рифтового пояса хребта Гаккеля – Момского хребта // Докл. АН СССР. 1990. Т. 311, № 3. С. 689–694.
18. Ландер А.В., Левшин А.Л., Ратникова А.И., Якобсон А.Н. Особенности глубинного строения севера Евразии по данным поверхностных сейсмических волн // Докл. АН СССР. 1985. Т. 286, № 4. С. 845–848.
19. Franke D., Kruger F., Klinge K. Tectonics of the Laptev Sea – Moma “Rift” Region: Investigation with Seismologic Broadband Data // J. of Seismology. 2000. N 4. P. 99–116.
20. Mackey G.K., Fujita K., Ruff L.J. Crustal thickness of Northeast Russia // Tectonophysics. 1998. V. 284. P. 283–297.
21. Балобаев В.Т. Геотермия мерзлой зоны литосферы Севера Азии. Новосибирск: Наука, 1991. 194 с.
22. Суворов В.Д., Корнилова З.А. Мощность земной коры на юго-востоке Верхояно-Колымской складчатой области // Тихоокеанская геология. 1986. № 4. С. 32–35.
23. Смирнов Я.Б. Новые принципы анализа данных теплового потока на территории СССР и некоторые аспекты изучения тектонической активности // Современная тектоническая активность территории СССР. М.: Наука, 1984. С. 56–65.
24. Imaeva L.P., Imaev V.S., Koz'min B.M. Structural-dynamic model of the Chersky seismotectonic zone (continental part of the Arctic–Asian seismic belt) // Journal of Asian Earth Sciences. 2016. V. 116. P. 59–68. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jseaes.2015.11.010>
25. Imaeva L.P., Gusev G.S., Imaev V.S., Mel'nikova V.I. Neotectonic activity and parameters of seismotectonic deformations of seismic belts in the Northeast Asia // Journal of Asian Earth Sciences, 2017. V.148. P. 254–264. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jseaes.2017.09.007>.
26. Imaeva L.P., Kozmin B.M., Imaev V.S., Mackey K.C. Structure of dynamic analysis of the epicentral zone of the Slin-Tas earthquake (14.02.2013. Ms 6. 9 // J. of Seismology. 2015. V. 19. P. 341–353. DOI: 10.1007/15110950-014-9469-5)
27. Imaeva L.P., Imaev V.S., Smekalin O.P., Grib N.N. A seismotectonic zonation map of Eastern Siberia: new principles and methods of mapping // Open Journal of Earthquake Research, 2015. V. 4. P. 115–125. <http://dx.doi.org/10.4236/ojer.2015.44011>
28. Mclean M.S., Fujita K., Mackey K.G., Kleber E., Koz'min B.M., Imaev V.S. The Ulakhan Fault System, Northeast Russia. // 2000 Fall Meeting AGU. Abstracts. San-Fransisco, USA, 2000. P. F1164.
29. Шахтыров В.Г. Разломные и сдвиговые морфоструктуры Северо-Востока СССР // Морфоструктурные исследования. Теория и практика. М.: Наука, 1985. С. 190–194.
30. Мальков Б.И. Схема развития юго-восточной части Яно-Колымской геосинклинали системы // Мезозойский тектогенез: материалы 7-й сессии научного совета по тектонике Сибири и Дальнего Востока / ИТиГ ДВО АН СССР. Хабаровск, 1971. С. 35–41.
31. Мерзляков В.М. Стратиграфия и тектоника Омурского поднятия (Северо-Восток СССР). М.: Наука, 1971. 152 с.
32. Бочаров Г.В., Гусев Г.С., Есипова Л.В. Карта современных движений территории Якутской АССР // Геотектоника. 1982. № 3. С. 60–63.
33. Важенин Б.П. Палеосейсмодислокации в сейсмическом поясе Черского // Сейсмологические и петрофизические исследования на северо-востоке России. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1992. С. 79–102.
34. Стеблов Г.М. Взаимодействие тектонических плит в Северо-Восточной Азии // Докл. РАН. 2004. Т. 394, № 5. С. 689–692.

References

1. Zonenshain L.P., Savostin L.A. Vvedenie v geodinamiku [Introduction to geodynamics]. Moscow, Nedra Publ., 1979. 311 p.
2. Plate-tectonic map of Circum–Pacific region. Circum–Pacific map series. U.S. Geological Survey, 1984.
3. Grachev A.F. Riftovye zony Zemli [Rift zones of the Earth]. Leningrad, Nedra Publ., 1987. 258 p.
4. Rowley D.B., Lottes A.L. Plate-kinematic reconstructions of the North Atlantic and Arctic: Late Jurassic to Present // Tectonophysics. 1988. V. 155. P. 73–120.
5. Imaev V.S., Imaeva L.P., Koz'min B.M. Aktivnyye razlomy i seismotektonika Severo-Vostochnoi Yakutii [Active faults and seismotectonics of Northeastern Yakutia]. Yakutsk, YaNTs SO AN SSSR Publ., 1990. 138 p.
6. Imaev V.S., Imaeva L.P., Koz'min B.M. Seismotektonika Yakutii [Seismotectonics of Yakutia]. Moscow, GEOS Publ., 2000. 227 p.
7. Fujita K., Cambray F.W., Velbel M.A. Tectonics of the Laptev Sea and Moma rift systems, Northeastern USSR // Marine Geology. 1990. V. 93. P. 95–118.

8. *Imaev L.P., Kolodeznikov I.I., eds.* Seismotektonika severo-vostochnogo sektora Rossiiskoi Arktiki [Seismotectonics of the north-eastern sector of the Russian Arctic], Rus. Acad. Of Sciences, Sib. Branch, Institute of the Earth's crust, Institute of Geol. diamond and precious metals. Novosibirsk, Publishing House of the SB RAS, 2017. 136 p.
9. *Mackey K.G., Fujita K., Hartse H.E., Stead R.J., Steck L.K., Gunbina L.V., Leyshuk N., Shibaev S.V., Koz'min B.M., Imaev V.S., Gordeev E.I., Chebrov V.N., Masal'ski, Gileva N.A., Bormatov V.A., Voitenok A.A., Levin Y.N., Fokina T.A.* Seismicity map of Eastern Russia, 1960–2010 // Seismological Research Letters. 2010. V. 81, N 5. P. 761–768.
10. *Zemletryaseniya Rossii v 2003 godu* [Earthquakes of Russia in 2003], Obninsk, GS RAN Publ., 2006. 112 p.
11. *Nikolaev P.N.* Sistemnyi analiz tektonicheskikh napryazhenii i deformatsii [System analysis of tectonic stresses and strains], *Izv. Vuzov. Geol. i razv.* 1979. N 5. p. 35–42.
12. *Grachev A.F., Demenitskaya R.M., Karasik A.M.* Problemy svyazi Momskogo kontinental'nogo rifta so strukturoi sredinno-okeanicheskogo khrebta Gakkelya [Problems connections of the Momsky continental rift with the structure of the mid-oceanic ridge Gakkel]. *Geofizicheskie metody razvedki v Arktike.* Leningrad, NIIGA Publ. 1973. Issue 8. P. 56–75.
13. *Grachev A.F.* Osnovnye problemy noveishei tektoniki i geodinamiki Severnoi Evrazii [The main problems of modern tectonics and geodynamics of Northern Eurasia] // *Fizika Zemli* Publ. 1996. N 12. P. 5–36.
14. *Kristoffersen Y.* Eurasia Basin. The Geology of North America vol. L. The Arctic ocean region (edited A. Grantz, G.L. Johnson, J.F. Sweeney). Geological Society of America, Boulder, CO, 1990, P. 365–378.
15. *Artemov A.V., Ivanov I.Yu.* Geologicheskoe stroenie Momskogo kontinental'nogo rifta [Geological structure of the Momsky continental rift] // *Geotektonika.* 1988. N 2. P. 102–107.
16. *Avetisov G.P.* Seismoaktivnye zony Arktiki [Seismically active zones of the Arctic]. Saint-Petersburg: VNIIOkeangeologiya Publ., 1996. 185 p.
17. *Gramberg I.S., Demenitskaya R.M., Sekretov S.B.* Sistema riftogennykh grabenov shel'fa morya Laptevykh kak nedostayushchego zvena riftovogo poyasa khrebta Gakkelya - Momskogo khrebta [The system of rift grabens of the Laptev Sea shelf as a missing link in the rift belt of the Gakkel – Mom range] // *Dokl. AN SSSR.* 1990, Issue 311, N 3. P. 689–694.
18. *Lander A.V., Levshin A.L., Ratnikova A.I., Yakobson A.N.* Osobennosti glubinnogo stroeniya severa Evrazii po dannym poverkhnostnykh seismicheskikh voln [Features of the deep structure of the north of Eurasia according to surface seismic waves] // *Dokl. AN SSSR.* 1985. V. 286, N 4. P. 845–848.
19. *Franke D., Kruger F., Klinge K.* Tectonics of the Laptev Sea – Moma “Rift” Region: Investigation with Seismologic Broadband Data // *J. of Seismology.* 2000. N 4. P. 99–116.
20. *Mackey G.K., Fujita K., Ruff L.J.* Crustal thickness of Northeast Russia // *Tectonophysics.* 1998. V. 284. P. 283–297.
21. *Balobaev V.T.* Geotermiya merzloi zony litosfery Severa Azii [Geothermy of the frozen zone of the lithosphere of the North of Asia]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1991. 194 p.
22. *Suvorov V.D., Kornilova Z.A.* Moshchnost' zemnoi kory na yugo-vostoke Verkhoyano-Kolym'skoi skladchatoi oblasti [The crustal thickness in the southeast of the Verkhoyansk-Kolyma folded region] // *Tikhookeanskaya geologiya.* 1986. N 4. P. 32–35.
23. *Smirnov Ya.B.* Novye printsipy analiza dannykh teplovogo potoka na territorii SSSR i nekotorye aspekty izucheniya tektonicheskoi aktivnosti [New principles for analyzing heat flow data on the territory of the USSR and some aspects of the study of tectonic activity] // *Sovremennaya tektonicheskaya aktivnost' territorii SSSR.* M.: Nauka, 1984. P. 56–65.
24. *Imaeva L.P., Imaev V.S., Koz'min B.M.* Structural-dynamic model of the Chersky seismotectonic zone (continental part of the Arctic–Asian seismic belt) // *Journal of Asian Earth Sciences.* 2016. V. 116. P. 59–68. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jseaes.2015.11.010>
25. *Imaeva L.P., Gusev G.S., Imaev V.S., Mel'nikova V.I.* Neotectonic activity and parameters of seismotectonic deformations of seismic belts in the Northeast Asia // *Journal of Asian Earth Sciences,* 2017. V. 148. P. 254–264. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jseaes.2017.09.007>.
26. *Imaeva L.P., Koz'min B.M., Imaev V.S., Mackey K.C.* Structure of dynamic analysis of the epicentral zone of the Slin-Tas earthquake (14.02.2013. Ms 6. 9 // *J. of Seismology.* 2015. V. 19. P. 341–353. DOI: 10.1007/15110950-014-9469-5)
27. *Imaeva L.P., Imaev V.S., Smekalin O.P., Grib N.N.* A seismotectonic zonation map of Eastern Siberia: new principles and methods of mapping // *Open Journal of Earthquake Research,* 2015. V. 4. P. 115– 125. <http://dx.doi.org/10.4236/ojer.2015.44011>
28. *McLean M.S., Fujita K., Mackey K.G., Kleber E., Koz'min B.M., Imaev V.S.* The Ulakhan Fault System, Northeast Russia // 2000 Fall Meeting AGU. Abstracts. San-Fransisco: USA, 2000. P. F1164.
29. *Shakhtyrov V.G.* Razlomnye i sdvigovye morfostruktury Severo-Vostoka SSSR // *Morfostrukturnye issledovaniya. Teoriya i praktika* [Fault and shear morphostructures of the North-East of the USSR. Morphostructural studies. Theory and practice]. Moscow, Nauka Publ., 1985. P. 190–194.
30. *Mal'kov B.I.* Skhema razvitiya yugo-vostochnoi chasti Yano-Kolym'skoi geosinklinal'noi sistemy // *Mezozoiskii tektogenez: materialy 7-i sessii nauchnogo soveta po tektonike Sibiri i Dal'nego Vostoka.* Khabarovsk, ITiG DVO AN SSSR, 1971. P. 35–41.
31. *Merzlyakov V.M.* Stratigrafiya i tektonika Omulevskogo podnyatiya (Severo-Vostok SSSR) [Stratigraphy

and tectonics of the Omulevsky uplift (Northeastern USSR)]. Moscow, Nauka Publ., 1971. 152 p.

32. *Bocharov G.V., Gusev G.S., Esipova L.V.* Karta sovremennykh dvizhenii territorii Yakutskoi ASSR // *Geotektonika*. 1982. N 3. P. 60–63.

33. *Vazhenin B.P.* Paleoseismodislokatsii v seismicheskom poiyase Cherskogo // *Seismologicheskie i petrofi-*

zicheskie issledovaniya na severo-vostoke Rossii. Magadan: SVKNII DVO RAN, 1992. P. 79–102.

34. *Steblov G.M.* Vzaimodeistvie tektonicheskikh plit v Severo-Vostochnoi Azii // *Dokl. RAN*. 2004. V. 394, N 5. P. 689–692.

Поступила в редакцию 08.04.2019

Принята к публикации 28.06.2019

Об авторах

ИМАЕВ Валерий Сулейманович, доктор геолого-минералогических наук, академик Академии наук Республики Саха (Якутия), главный научный сотрудник, Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-6510-0526>, imaev@crust.irk.ru;

ИМАЕВА Людмила Петровна, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-8235-7112>, imaeva@crust.irk.ru;

КОЗЬМИН Борис Михайлович, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 39, Россия, <https://orcid.org/0000-0003-4270-1318>, b.m.kozmin@diamond.ysn.ru.

About authors

ИМАЕВ Valeriy Suleimanovich, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Academician of the Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia), Principal Researcher, Institute of the Earth's Crust, SB RAS, 128 Lermontova str., Irkutsk, 664033 Russia, <https://orcid.org/0000-0002-6510-0526>, imaev@crust.irk.ru;

ИМАЕВА Lyudmila Petrovna, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher, Institute of the Earth's Crust, SB RAS, 128 Lermontova str., Irkutsk, 664033, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-8235-7112>, imaeva@crust.irk.ru;

KOZMIN Boris Mikhailovich, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, Diamond and Precious Metal Geology Institute, SB RAS, 39 Lenina pr., Yakutsk, 677980, Russia, <https://orcid.org/0000-0003-4270-1318>, b.m.kozmin@diamond.ysn.ru.

Информация для цитирования

В.С. Имаев, Л.П. Имаева, Б.М. Козьмин. Геодинамические особенности сейсмоструктур центральной части зоны Черского (Северо-Восток России) // *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2019, том 24, № 2. С. 5–20. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-2-1>

Citation

V.S. Imaev, L.P. Imaeva, B.V. Koz'min. Geodynamic features of seismotectonic structures on central part of the Chersky Zone (North-East of Russia) // *Arctic and Subarctic natural resources*. 2019, vol. 24, No. 2. pp. 5–20. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-2-1>

Рудные брекчии – ключ к пониманию генезиса месторождений серебра и золота Западного Верхоянья

А.В. Костин

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

Аннотация. *Описаны генезис и эволюция рудных брекчий главных серебряных и золотых месторождений Западного Верхоянья, которые отвечают наиболее богатым типам руд. На примерах взаимоотношений руд с интрузивными образованиями и между собой продемонстрированы длительность рудного процесса и неоднозначность современных датировок рудообразования, основанных только на определении времени кристаллизации магматических пород. Для этого в течение многолетних полевых исследований собиралась, фотодокументировалась и изучалась коллекция наиболее представительных рудных брекчий. Начало процесса рудообразования месторождения Вертикальное относится ко времени после кристаллизации Эндыбальского интрузива и роя даек и включает не менее четырех стадий. Кис-Кюельское месторождение относится к внутриинтрузивному типу, формирование которого сопряжено с застыванием и растрескиванием кровли диорит-гранодиоритового интрузива. Амальгамы серебра Хачакчанского месторождения образовались в разломах северо-восточного простирания, секущих складчатые структуры. Руды Эндыбальской рудной горы отложились в серии разноориентированных трещин и межпластовых зонах срывов. Мы предполагаем, что последние проявления активности зон рудоконтролирующих разломов относятся к кайнозойскому периоду, а длительный процесс рудоотложения в многостадийных брекчиях мог занимать интервал времени от 102–98 млн лет до начала палеогена.*

Ключевые слова: рудные брекчии, серебро, золото, Западное Верхоянье.

Благодарности. *Статья подготовлена при финансовой поддержке проекта НИР № 0381-2019-0004 Института геологии алмаза и благородных металлов (ИГАБМ) СО РАН.*

DOI 10.31242/2618-9712-2019-24-2-2

Ore breccias as a key to understanding the genesis of silver and gold deposits in Western Verkhoyanye

A.V. Kostin

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

Abstract. *The genesis and evolution of ore breccias of the main silver and gold deposits in Western Verkhoyanye corresponding to the richest types of ores are described. The duration of the ore process and ambiguity of the modern dating of ore formation relying only on the determination of the crystallization time of igneous rocks are demonstrated by the examples of ore relationships with each other and with intrusive formations. For this purpose, during long-term field studies, a set of the most representative ore breccias was collected, photo-documented and studied. The start of ore formation at the Vertikalnoe deposit refers to the time after the crystallization of the Endybal intrusive and a cluster of dykes; it includes not less than four stages. The Kis-Kyuelskoe deposit belongs to the intra-intrusive type, its formation is associated with solidification and cracking of the roof of the diorite-granodiorite intrusive. Silver amalgams in the Khachakchanskoe deposit were formed in the faults stretching to the north-east, intersecting the folded*

structures. The ores of the Endybal ore mountain were deposited in a series of differently oriented cracks and interlayered zones of thrust faults. We assume that the last manifestations of activity in the zones of ore-controlling faults occurred in the Cenozoic, and the long-standing process of ore deposition in multi-stage breccias could take place since 102-98 million years till the beginning of the Paleogene.

Key words: ore breccia, silver, gold, Western Verkhoyanie.

Acknowledgements. The article was prepared with the financial support of research project No. 0381-2019-0004 of Diamond and Precious Metal Geology Institute (DPMGI) SB RAS.

Введение

В последние годы Западное Верхоянье активно осваивается недропользователями. По данным интерактивной электронной карты недропользователя РФ (<https://openmap.mineral.ru/>), основные лицензии площади включают месторождения серебра и золота: ЯКУ02613БП – Кимпиче (Ag), ЯКУ04454БП – Аркачан (Au), ЯКУ12692БП –

вателя РФ (<https://openmap.mineral.ru/>), основные лицензии площади включают месторождения серебра и золота: ЯКУ02613БП – Кимпиче (Ag), ЯКУ04454БП – Аркачан (Au), ЯКУ12692БП –

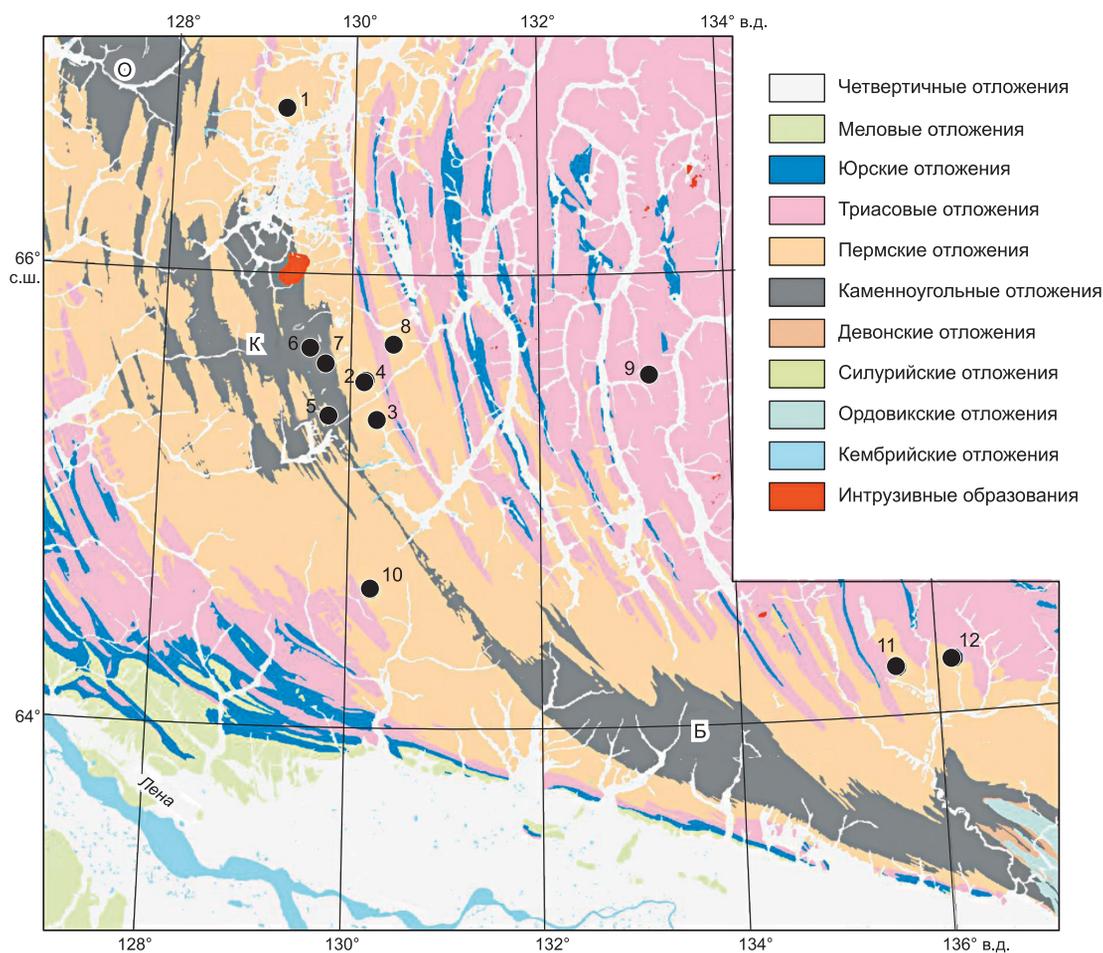


Рис. 1. Западно-Верхоянский сектор Верхоянского складчато-надвигового пояса с расположением главных месторождений серебра и золота (геологическая основа составлена и упрощена по картам м-ба 1:500 000 [1]).

Месторождения и перспективные площади: 1 – Кимпиче, 2 – Вертикальное, 3 – Кис-Кюельское, 4 – Эндыбальская рудная гора, 5 – Аркачанское, 6 – Чочимбальское, 7 – Ньюктаминская перспективная площадь (проявления Пентийум-1, Позолота, ГИС-1), 8 – Егор, 9 – Прогноз, 10 – Болбукское, 11 – Обоха, 12 – Хачакчанское. Буквами обозначены: О – Орулганский, К – Куранахский, Б – Бараинский антиклинорий; С – Сартангский синклиорий.

Fig. 1. West-Verkhoyansk sector of the Verkhoyansk fold-thrust belt with the location of the main deposits of silver and gold (the geological basis is made and simplified according to the maps of 1:500 000 [1]).

Deposits and perspective areas: 1 – Kimpiche, 2 – Verticalnoye, 3 – Kis-Kuelsky, 4 – Endybal ore mountain, 5 – Arkachansky, 6 – Chochimbalsky, 7 – Nuektaminsky promising area (with manifestations Pentium-1, Pozolota, GIS-1), 8 – Egor, 9 – Prognoz, 10 – Balbucksky, 11 – Obokha, 12 – Khachakchansky. Letters on a white background: O – Orulgansky, K – Kuranakhsy, B – Barainsky anticlinoria; C – Sartansky synclinoria.

Эндыбальская площадь (Au, Ag), ЯКУ03626БЭ – Вертикальное (Ag), ЯКУ05504БП – Егор (Ag), ЯКУ05451БЭ – Чочимбал (Au), ЯКУ14002БЭ – Прогноз (Ag), Болбук (Pb, Ag) разведывалось Якутской горно-технической конторой в период с 1928 по 1932 г., ЯКУ03578БП – Обоха (Ag), ЯКУ05384БП – Хачакчан (Ag). Ньюктаминская перспективная площадь ЯКУ05782БП включает серию проявлений серебра и золота: Пентиум-1, Позолота, ГИС-1 и др. (рис. 1). Главный интерес недропользователей – руды высокого качества, которые при отработке способны обеспечить долговременный высокий экономический эффект. Этому критерию удовлетворяют рудные брекчии, с которыми обычно связываются богатые рудные столбы.

В практике разведки и изучения месторождений благородных металлов рудным брекчиям уделяется большое внимание. Многие жильные месторождения серебра Martha (Аргентина), Shah Zard (Иран), месторождения Центральных Анд и др. [2–5] сложены многостадийными брекчиями. В месторождениях IOCG-типа Carajás (Бразилия), Wernecke (Канада), Cloncurry и Olympic Dam (Австралия) и др. рудные брекчии являются главным типом руд [6–10]. Для серебро-ртутных месторождений Имистер и Конгсберг [11; 12] с рудными брекчиями ассоциируют ультрабогатые руды. Интерес вызван тем, что зоны брекчий существенно увеличивают мощности рудных тел, зачастую образуя крупные рудные штокверки. Брекчии выполняют различные тектонические нарушения, но наиболее широко представлены в зонах растяжения (сбросах и сбрососдвигах). В целом рудные брекчии свидетельствуют о формировании руд в условиях растяжения. Обычно для таких рудных тел характерно отсутствие метасоматического преобразования вмещающих пород, поэтому границы рудных тел уверенно определяются визуально, а не по результатам опробования.

Изучение автором месторождений серебра и золота Западного Верхоянья в течение длительного периода позволило выделить две главные разновидности рудных брекчий: в интрузивных породах и в зонах разломов. В статье приводятся примеры рудных брекчий, которые позволяют решить такую важную проблему, как эволюция рудного процесса во времени. С другой стороны, это представительные типы богатых серебряных и золотых руд, на основе которых можно создавать поисковые критерии. Рудные брекчии

месторождений Вертикальное и Кис-Кюельское показывают место рудного процесса относительно магматических событий. Руды Хачакчанского месторождения и Эндыбальской рудной горы демонстрируют размещение богатой минерализации в разных типах разрывных нарушений.

Брекчии и интрузивные породы

Месторождение Вертикальное

Эндыбальский серебрянорудный узел пока – единственный в Якутии, где началось производство серебра из руд месторождения Вертикальное (<https://www.silverbearresources.com/news-and-events/>). Рудный узел расположен в бассейне р. Эндыбал, левого притока р. Аркачан и включает Мангазейское, Ясное, Нижнеэндыбальское, Верхнеэндыбальское, Бурное, Безымянное, Мухалканское, Стержневое, Забытое, Вертикальное, Граничное, Семеновское, Привет и Жильное серебряные месторождения и рудопроявления. Образование месторождений тесным образом связано с длительной тектономагматической эволюцией рудного узла, геологическое строение и минералогия руд которого рассматривалась нами ранее [13, 14].

Магматические образования рудного узла представлены Эндыбальским субвулканом и роем даек, большая часть которых ориентирована в долготном направлении. Основной объем субвулканического тела сложен брекчиями с постепенными переходами в субвулканические кварцевые порфиры. От центра субвулканического тела к его контактам наблюдается смена кварцевых порфиров эксплозивными брекчиями, сложенными преимущественно обломками магматических пород и фельзитовым цементом с примесью обломков терригенных пород. Эксплозивные брекчии представляют собой пестро окрашенную породу и в зависимости от соотношения в ней обломков светлоокрашенных магматических и более темных терригенных пород, а также насыщенности цемента тонкой сульфидной вкрапленностью, цвет изменяется от белого до темно-серого. Завершающая стадия становления Эндыбальского субвулкана сопровождалась тектоническими подвижками, связанными с растяжением его апикальной части и образованием радиальных трещин отрыва. К одной из них приурочены дайка базальтового трахиандезита и наложенная на нее более поздняя минерализация рудной зоны Вертикальная [14]. В целом по химическому составу выделяются дайки риолитов, дацитов, андезитов,

базальтов, базальтовых трахиандезитов, трахитов-трахидацитов и тефритов-базанитов.

Связь магматизма и серебряного оруденения Эндыбальского рудного узла – один из наиболее спорных и до конца не решенных вопросов. Значительный вклад в понимание времени формирования магматических образований был сделан А.В. Прокопьевым, А.С. Борисенко, Г.Н. Гамяниным и др. [15]. Для гранит-порфиров Эндыбальского субвулкана методом U-Pb SHRIMP-II датирования цирконов ими был получен возраст кристаллизации 100,2±1,2 млн лет, а для даек гранит-порфиров левого борта р. Сирилендже – 102,9±1,4 млн лет. Датирование серицита из грей-

зенов Эндыбальского субвулкана с Au-Bi минерализацией и рудоносных метасоматитов $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом показало 98,4±1,2 и 98,2±1,1 млн лет соответственно. Таким образом, возраст досеребро-рудных магматических образований – 102–98 млн лет, что хорошо согласуется с возрастными, полученными ранее А.С. Борисенко и др. [16].

Главные черты месторождения Вертикальное: 1) пространственная ассоциация с высокошошоновитовым типом дайкового магматизма, окислительно-восстановительный индекс ($\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$) в области ильменитовой серии пород; 2) рудное тело линейной конфигурации приурочено к долгоживущей разломной структуре растяжения, в

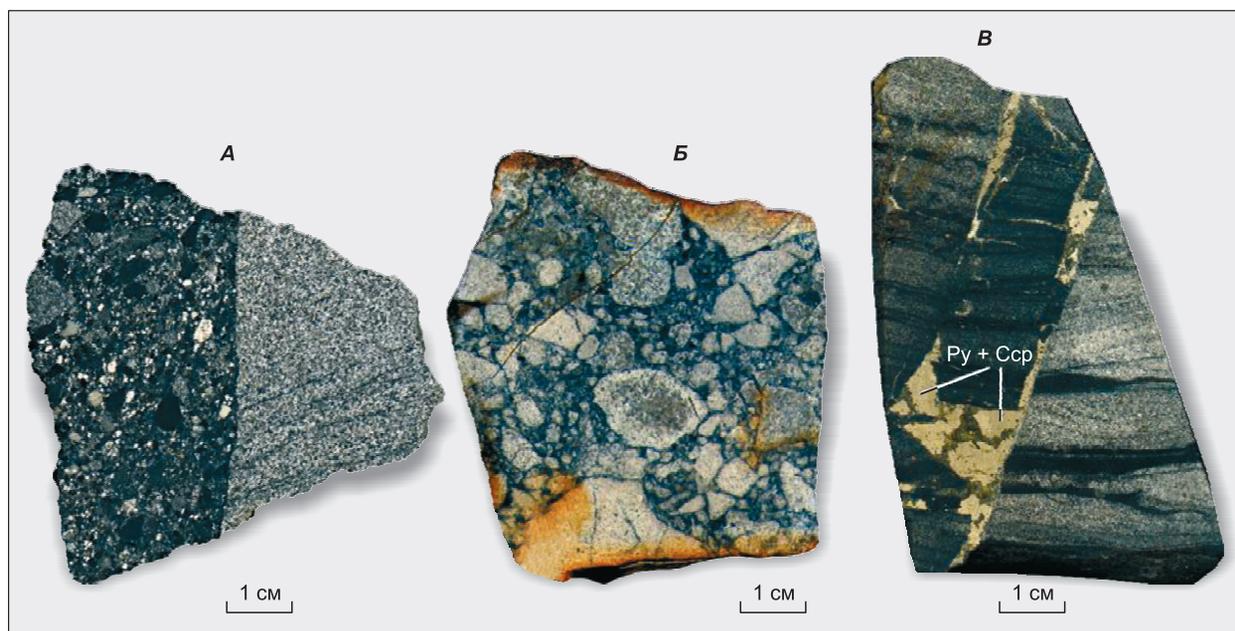


Рис. 2. Главные признаки рудных брекчий.

А – контакт брекчий и серых тонкослоистых песчаников (образец V07-001_96-5, коллекция автора). В обломочной части песчаники (серое), алевролиты (черное) и кварцевые порфиры (светлое). В цементе тонкая вкрапленность сульфидов. Во вмещающих песчаниках отмечается отсутствие каких-либо метасоматических преобразований. На контакте песчаников и брекчий отсутствуют крутопадающие зеркала скольжения с субгоризонтальными бороздами. **Б** – взрывная автомагматическая брекчия сложена округлыми и угловатыми обломками кварцевых порфиров. Цемент брекчии насыщен тонкой сульфидной вкрапленностью пирротина, пирита, халькопирита и блеклой руды (образец 5016-5, коллекция автора). **В** – первая стадия рудных брекчий месторождения Вертикальное: трещина отрыва со смещением слоев и пирит-халькопиритовым заполнением (образец V07_020_239, коллекция автора). Граница рудных брекчий отчетливая, во вмещающие породы рудная минерализация не проникает. Подобными структурными и минеральными типами руд сложены рудные тела Au-Cu месторождения Аркачан [17]. Py+Ccp – пирит-халькопиритовые сростания.

Fig. 2. Main features of ore breccia's.

A – contact breccias with grey thinly bedded sandstones (sample V07-001_96-5, collection of the author). The debris of the sandstone (gray), siltstone (black) and quartz-porphyr (light). The cement of the fine disseminated sulphides. No any alteration in the host sandstones is noted. Steeply dipping fault planes with sub-horizontal striations marking the lateral strike slip along the fault are absent. **B** – explosive auto-breccias is composed of rounded and angular fragments of quartz-porphyr. Breccia cement is saturated with fine sulphide inclusions of pyrrhotite, pyrite, chalcopyrite and tetrahedrite (sample 5016-5, author's collection). **C** – the stage-I ore breccia of Verticalnoye deposit: fracture with pyrite-chalcopyrite infill shift layers (sample V07_020_239, collection of the author). The boundary of ore breccias is distinct; ore mineralization does not penetrate into the host rocks. Similar structural and mineral types of ores composes ore bodies of the Arkachan Au-Cu deposit [17]. Py+Ccp – pyrite-chalcopyrite intergrowths.

которую сначала внедрилась дайка базальтового трахиандезита. Рудное тело сформировалось после внедрения дайки в результате нескольких разделенных во времени этапов брекчирования; 3) в участках сбрососдвигов образуются многостадийные брекчии и богатые сереборудные столбы; 4) сереброносность руд увеличивается от ранних стадий брекчирования к поздним; 5) экономическая привлекательность руд: $Ag > 780$ г/т.

Рудные брекчии первого этапа (моложе 102–98 млн лет). Вмещающие Эндыбальский субвулкан песчаники кыгылтасской свиты S_3-P_1 катаклазированы вблизи контакта, повсеместно отмечается захват вмещающих пород эруптивной брекчией внешней зоны (рис. 2, А), брекчия внутренней зоны является автомагматической (рис. 2, Б). Контакт брекчий с вмещающими песчаниками характеризуется неровной поверхностью без признаков зеркал или борозд скольжения, что соответствует трещине отрыва. В темном тонкозернистом цементе брекчий присутствует рассеянная сульфидная минерализация, представленная пиритом, халькопиритом, сфалеритом, галенитом и блеклой рудой. По данным микрозондового анализа, содержание Ag в блеклой руде меняется от 2,65 до 4,53 %, для пирита характерно наличие примеси Ni от 2,52 до 3,2 %, что позволяет отнести эту ассоциацию минералов к ранней высокотемпературной стадии рудообразования. Вмещающие песчаники вблизи зоны брекчий также характеризуются наличием трещин отрыва, по которым происходит смещение слоев и последующее выполнение трещин пиритом и халькопиритом (рис. 2, В).

Дайка андезитобазальтов, к которой приурочено рудное тело месторождения Вертикальное (рис. 3, А), локализована в одной из радиальных трещин, образовавшихся в результате застывания Эндыбальского субвулкана [14]. Главный рудный минерал брекчий первого этапа (рис. 3, Б) – арсенипирит, и, вероятно, с ним ассоциирует ранняя $Au-Vi$ минерализация, которая была обнаружена, исследована и продатирована в рудоносных метасоматитах Эндыбальского субвулкана [15].

Рудные брекчии второго этапа. Большинство серебряных рудных тел Эндыбальского рудного узла расположены на значительном удалении от пояса даек и субвулканических гранит-порфиров. Только для месторождения Вертикальное установлено, что дайка андезитобазальтового состава брекчирована и сцементирована галенит-

сфалеритовыми рудами. Анализ большого количества кернового материала и проб с поверхности месторождения свидетельствует, что к началу второго этапа вся магматическая активность завершилась, а рудные брекчии были сформированы возобновлением тектонической и гидротермальной активности.

В брекчирование второго этапа были вовлечены и брекчии первого этапа, о чем свидетельствует обломочный материал, показанный на рис. 3, В. Состав цемента преимущественно сфалеритовый, реже галенитовый и тетраэдритовый с небольшим количеством станина и халькопирита. Жильные минералы: кварц (молочно-белый) и сидерит (желтый до светло-коричневого).

Рудные брекчии третьего этапа. С третьего этапа брекчирования начинают формироваться богатые серебряные руды месторождения Вертикальное. В них появляется существенное количество серебряных сульфосолей, но преобладают минералы с содержанием серебра 6 % (овихиит $Pb_7Ag_2Sb_6Bi_2S_{20}$), 12 % (андорит $PbAgSb_3S_6$) и редко 20 % (фрейеслебениит $AgPbSbS_3$) и 23 % (диафорит $Pb_2Ag_3Sb_3S_8$). Цемент брекчий кварцевый (рис. 3, Г), в котором игольчатые минералы серебра образуют тесные взаимные сростания и уверенно диагностируются только микрозондовыми исследованиями [13].

Рудные брекчии четвертого этапа. Четвертый этап брекчирования характеризуется образованием наиболее богатых серебряных руд месторождения Вертикальное. Преобладают минералы с содержанием серебра 40 % (фрейбергит $Ag_{7,2}Cu_{3,6}Fe^{2+}_{1,2}Sb_3AsS_{13}$), 59 % (пираргирит Ag_3SbS_3), 68 % (стефанит Ag_5SbS_4) и 100 % (серебро самородное). Руды карбонат-серебросульфосольной минеральной ассоциации слагают друзовидные агрегаты сидерита с крупными вкраплениями фрейбергита. В друзовых пустотах часто встречаются проволоки самородного серебра. Карбонат цементирует обломки более ранней кварц-серебросульфосольной ассоциации и вмещающих песчаников (рис. 3, Д).

Месторождение Кис-Кюельское

Кис-Кюельское проявление расположено в Западном Верхоянье (широта $65^{\circ}30'4.47''C$, долгота $130^{\circ}16'48.45''B$), южнее Эндыбальского рудного узла в восточном крыле Эндыбальской антиклинали, в ядре которой распространены выходы терригенных пород S_3-P_1 . Перспективная рудоносность Кис-Кюельского интрузива

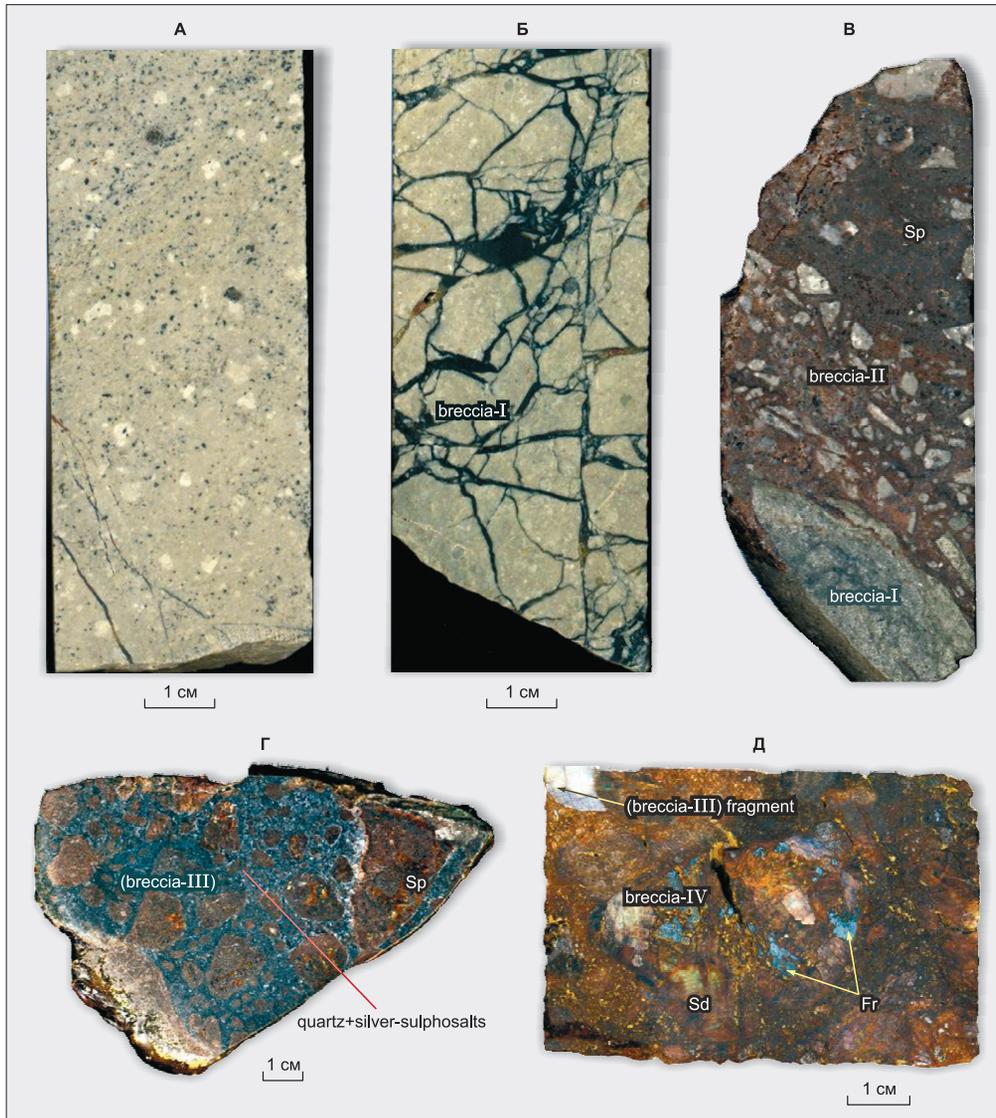


Рис. 3. Последовательность рудных брекчий месторождения Вертикальное.

А – досеребродная дайка андезитобазальтов без признаков брекчирования (возраст даек по А.В.Прокопьеву и др. [15] 102–98 млн лет), образец V07-014-178, коллекция автора; **Б** – первая стадия рудных брекчий месторождения Вертикальное: брекчированная дайка с кварц-сульфидным цементом (серый тонкозернистый кварц насыщен тонкой вкрапленностью арсенипирита), образец V07-014-179, коллекция автора. **В** – рудные брекчии второго этапа (breccia-II) сложены обломками брекчий первого этапа (брекчированная дайка с кварц-сульфидным цементом). Цемент брекчии сфалеритовый, реже встречаются галенит, тетраэдрит и серебросодержащие сульфосоли (образец V07-020-187, коллекция автора). Sp – сфалерит, breccia-I – обломки брекчий первого этапа. **Г** – брекчированная сфалеритовая руда (breccia-III) с кварц-серебросульфосольным цементом (образец 5311, коллекция автора). В обломочной части сфалеритовые руды, показанные на рис. 3, **В**. **Д** – частично окисленная карбонат-фрейбергитовая брекчия четвертой стадии (breccia-IV). Цемент брекчии – сидерит (частично окисленный) и фрейбергит. В обломочной части кварц-серебросульфосольные руды третьей стадии. Образец V07-003_105, коллекция автора. Sd – сидерит; Fr – фрейбергит.

Fig. 3. The sequence of ore breccia of the Verticalnoye deposit.

A – Before silver-ore dyke of andesite-basalts without any brecciation (the age of the dikes by A. V. Prokopiev, et al. [15] 102–98 mA), the sample V07-014-178, collection of the author. **B** – Ore breccia-I from Verticalnoye deposit: brecciated dyke with quartz-sulfide cement (grey fine-grained quartz saturated with a thin impregnation of arsenopyrite), sample V07-014-179, collection of the author. **B** – Ore breccias of the second stage (breccia-II) are composed of fragments of breccias of the first stage (brecciated dyke with quartz-sulphide cement). In the cement of the stage-II breccia sphalerite, rare galena, tetrahedrite and silver-bearing sulphosalts (sample V07-020-187, collection of the author). Sp – sphalerite; breccia-I – the fragments of the first stage breccia. **Г** – Brecciated sphalerite ore (breccia-III) with quartz-silver-sulphosalt cement (sample 5311, collection of the author). In the fragments the sphalerite ore shown in figure 3D. **Д** – Partially oxidized carbonate-freibergite breccia-IV. In breccia cement – siderite and freibergite. The fragments of the quartz –silver-sulphosalts (breccia-III). Sample V07-003_105, author’s collection. Sd – siderite; Fr – freibergite.

была впервые открыта в 2008 году сотрудниками ИГАБМ СО РАН А.В. Костиным и М.С. Желонкиной. Все рудные тела проявления локализованы непосредственно в контурах Кис-Кюельского штока площадью около 2 км². Строение штока неоднородное. Его южная часть сложена гранодиоритами, северная – диоритами. Шток слабо эродирован, на его кровле сохранились останцы ороговикованных песчаников.

Рудная минерализация расположена в пределах апикальной зоны диорит-гранодиоритового штока и представлена гематитом, гетитом, кварцем, реже халькопиритом, арсенопиритом, пиритом, самородным золотом и висмутом. Брекчиевый комплекс состоит из залежи типа «манто» неправильной формы с включенными массивами минерализованных жил и прожилков. В пределах комплекса установлены градации от измененных

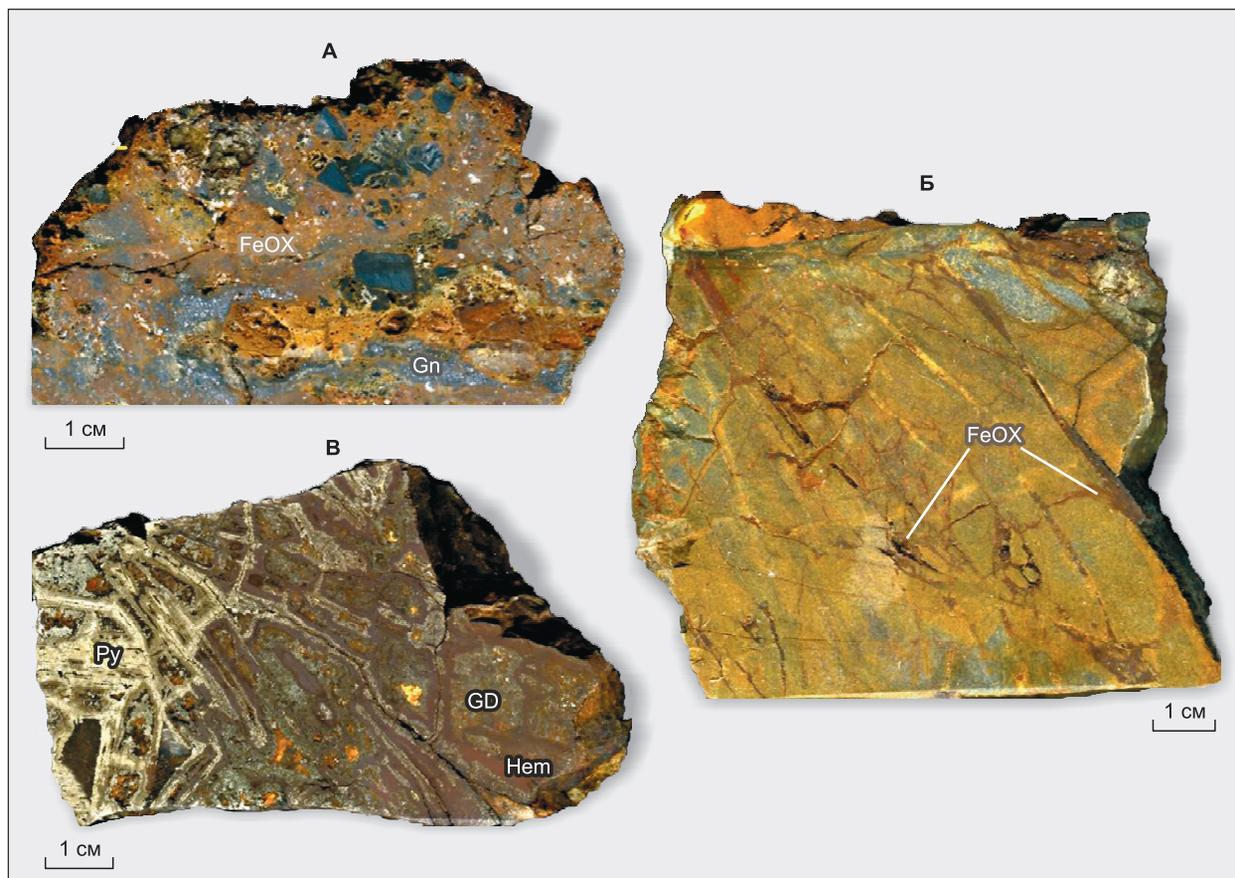


Рис. 4. Главные типы рудных брекчий месторождения Кис-Кюель.

А – на контакте интрузии и песчаников развита зона брекчий. Песчаники (черное) ороговикованы, брекчированы и сцементированы галенитом (Gn) и гидроксидами железа (FeOX). Образец 88051, коллекция автора: FeO_{total} – 28,6 %; Au – 16,81 г/т; Ag – 191,0 г/т. **Б** – измененный брекчированный песчаник в экзоконтакте Кис-Кюельского интрузива. Минерализация представлена разноориентированным прожилкованием от 1 мм до 5–7 см толщиной. В прожилках кварц желтоватого оттенка и разнообразные гидроксиды железа (FeOX). Интенсивность прожилкования различная, в среднем несколько тонких прожилков на 1 см. Образец 88070, коллекция автора: FeO_{total} – 25,68%; Au – 19,97 г/т; Ag – 111,0 г/т. **В** – кварц-гематит (Hem)-пиритовая (Py) руда цементирует обломки измененного гранодиорита (GD). Образец 88113В, коллекция автора: FeO_{total} – 50,8 %; Au – 37,18 г/т; Ag – 11,0 г/т.

Fig. 4. The main types of ore breccias from Kis-Kuel deposit.

A – At the contact of intrusion and sandstones the zone of ore breccias. Hornfielded sandstones (black) are brecciated and cemented by galena (Gn) and iron-oxides (FeOX). Sample 88051, author's collection: FeO_{total} – 28.6 %; Au – 16.81 g/t; Ag – 191.0 g/t. **B** – Altered brecciated sandstone in the exocontact of Kis-Kuelsky intrusive. Mineralization is represented by multidirectional veining from 1 mm to 5–7 cm thick. The veins consist of quartz yellowish hue and a variety of iron oxides (FeOX). The intensity of veining is different, on average several thin veinlets per one cm. Sample 88070, author's collection: FeO_{total} – 25.68 %; Au – 19.97 g/t; Ag – 111.0 g/t. **B** – Quartz-hematite (Hem)-pyrite (Py) ore cements fragments of altered granodiorite (GD). Sample 88113B, author's collection: FeO_{total} – 50.8 %; Au – 37.18 g/t; Ag – 11.0 g/t.

гематитом и гетитом гранодиоритов и в меньшей степени диоритов до брекчий с гематит-гетитовым цементом.

Fe-оксидная-Cu-Au и сопряженная медно-порфировая с Au-Bi-Cu содержащими кварцевыми жилами и массивами листоватых кварцевых жил минерализация ассоциирует со стадией интенсивного брекчирования и часто включает обломки гранодиоритов различных размеров, которые сцементированы гематитом, гетитом и пиритом. Редкие сульфиды частично окислены, а тонкие трещинки во вмещающих породах могут быть заполнены скородитом, малахитом и азуритом. Свинцово-серебряные жилы или рудные брекчии с дополнительной ИОСГ-минерализацией локализованы как в гранодиоритах, так и диоритах. Вблизи галенитовых жил в диоритах по тонким трещинам отмечаются вторичные минералы меди – малахит и азурит, которые являются надежными поисковыми признаками руд.

Главные черты Кис-Кюельского месторождения: 1) ассоциация с высоко-К известково-щелочным типом рудогенерирующего диорит-гранодиоритового интрузива, окислительно-восстановительный индекс (Fe_2O_3/FeO) в области ильменитовой серии пород; 2) весь объем руды расположен внутри интрузива, за его контурами в области измененных вмещающих пород интенсивность оруденения затухает; 3) интенсивное брекчирование кровли рудовмещающего интрузива; 4) преобладание оксидов железа в цементе ИОСГ-брекчий, низкое количество сульфидов; 5) положительная корреляция между Au и Fe_2O_3 в ИОСГ руде; 6) экономическая привлекательность руд: FeO_{total} – от 13,58 до 63,24 %; Cu – от 0 до 3,57 %; Au – от 12,93 до 64,48 г/т; Ag – от 2,7 до 830 г/т.

Рудные брекчии зоны экзоконтакта. На контакте гранодиоритов и алевропесчаников развита зона рудных брекчий, в которых вмещающие породы ороговикованы, брекчированы и сцементированы гидроксидами железа и галени-том (рис. 4, А).

Порфировая Cu-Au руда состоит из рассеянных в породах минералов меди, прожилков, брекчий и ассоциирующей кварц-молибденитовой минерализации. Рентгенофазовым анализом в рудах обнаружены артурит: $CuFe_2((H_2O)_4(OH)_2(AsO_4)_2)$, ярозит: $(K_{0,95}(H_3O)_{0,05})Fe_3(SO_4)_2(OH)_6$ и скородит: $FeAsO_4(H_2O)_2$. В порфировом окружении с измененными породами пространственно связаны про-

жилки, мощностью 0,1–5 см, а их суммарный вклад не превышает 1–5 % от объема руд (рис. 4, Б).

Внутриинтрузивные рудные брекчии ИОСГ-типа. Fe-оксидная-Cu-Au и ассоциирующая медно-порфировая с Au-Bi-Cu-содержащими кварцевыми жилами и массивами листоватых кварцевых жил. Рудная минерализация ассоциирует со стадией интенсивного брекчирования и часто включает обломки гранодиоритов различных размеров, которые сцементированы гематитом, гетитом и пиритом (рис. 4, В). Редкие сульфиды частично окислены, а тонкие трещинки во вмещающих породах могут быть заполнены скородитом, малахитом и азуритом. Свинцово-серебряные жилы или рудные брекчии с дополнительной ИОСГ-минерализацией локализованы как в гранодиоритах, так и диоритах. Вблизи галенитовых жил в диоритах по тонким трещинам отмечаются вторичные минералы меди – малахит и азурит, которые являются надежными поисковыми признаками руд.

Рудные брекчии зон разломов

Зоны минерализованных брекчий являются частью систем рудоподводящих структур, выделение которых имеет большое значение. При относительно небольшой мощности (метры–первые десятки метров) они довольно протяженные и могут распространяться на большую глубину. Рудные брекчии Западного Верхоянья обычно пространственно ассоциируют со структурным парагенезисом генеральный сдвиг–сбрососдвиги. С последними связаны участки растяжения, благоприятные для образования брекчий. Участки рудных брекчий зон разломов формируются в ходе длительного времени, включающего несколько телескопированных друг в друга разновозрастных стадий минерализации, разделенных несколькими этапами брекчирования.

Месторождение Хачакчанское

По данным Г.В.Денисова и др. [18, 19], рудные тела Хачакчанского месторождения приурочены к зоне долгоживущей Томпо-Делиньинской глубинной структуры, которая выделяется по комплексу геолого-геофизических признаков, имеет северо-восточное простирание и состоит из трех основных разломов – Хунхадинского, Хенекичанского и Синьяминского. Ширина структуры около 30 км при протяженности более 150 км. Наиболее активно разлом проявил себя в

конце мела на завершающем этапе складчатости. Сдвиговые перемещения по нему привели к значительному растяжению и развороту складчатых структур с северо-западного до субдолготного простирания. Нарушения данной системы носят сдвиговый и сбрососдвиговый характер (правые сдвиги) с амплитудой горизонтальных перемещений от 0,6 до 7,0 км, а вертикальных – первые

сотни метров. Места расщепления главных разломов благоприятны для локализации рудных брекчий.

Месторождение расположено на северо-востоке Якутии в пределах южного окончания Сартагского синклинория на водоразделе рек Томпо и Хунхада, притоков р. Алдан, и относится к Томпо-Делиньинской рудной зоне. Месторожде-

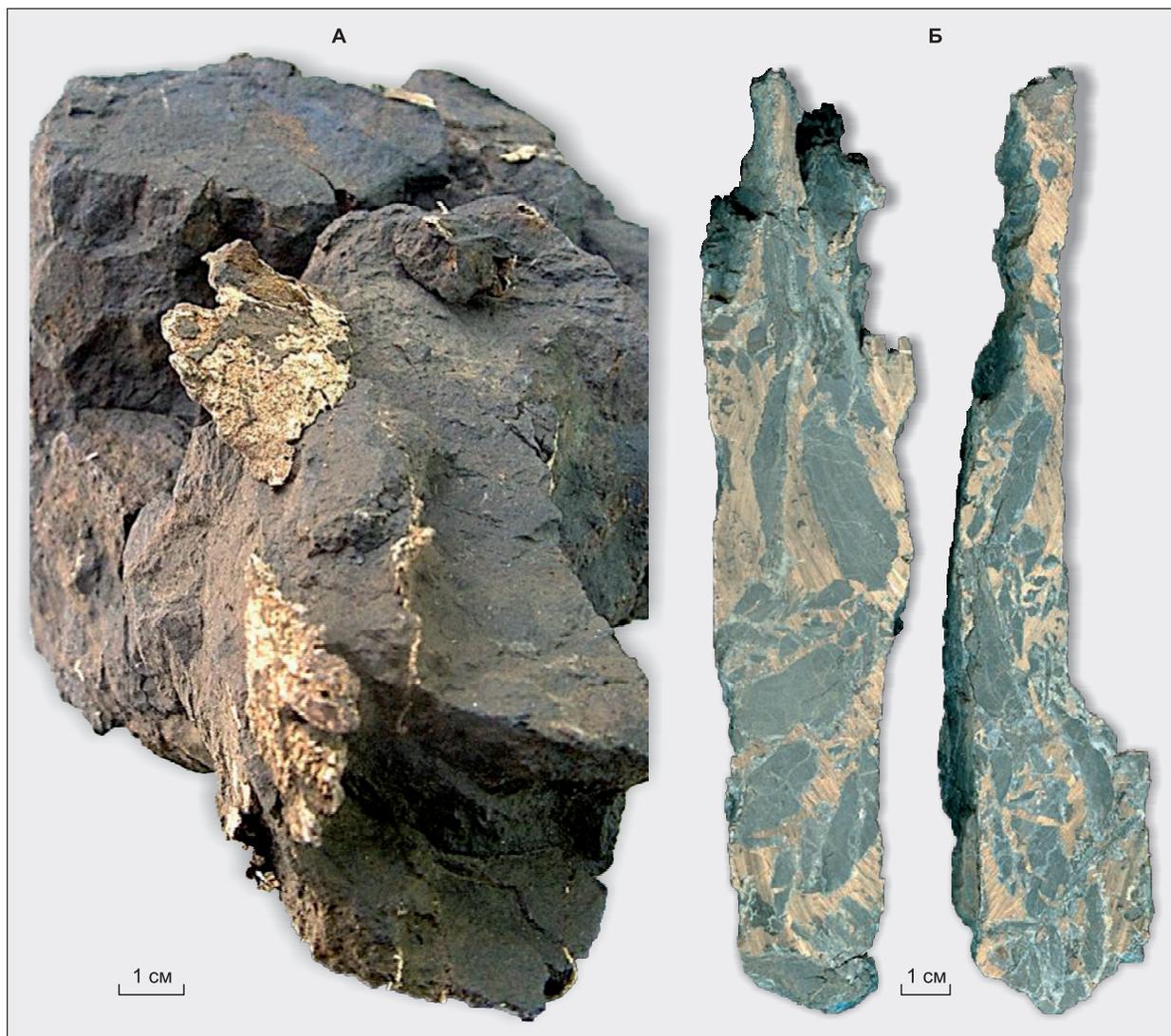


Рис. 5. Главные типы руд с амальгами серебра Хачакчанского месторождения.

А – минерализованная амальгамой серебра зона дробления в песчаниках. Амальгамы представлены пластинами, линзами и вкраплениями. Вес 1272 г. Музей ГУГПИ «Восточнаякутское», пос. Хандыга. **Б** – раздробленный темно-серый мелкозернистый песчаник, в котором обломки сцементированы амальгамой серебра. Хачакчанское месторождение, музей ГУП «Сахагеоинформ».

Fig. 5. The main types of ore with silver amalgams of Khachakchansky deposit.

A – mineralized with amalgam of silver the zone of crushing in sandstone. Amalgam presented with plates, lenses and disseminations. Weight 1272 gr. Khachakchansky deposit, museum of SMGE «Vostochnoyakutskoye». **B** – crushed dark gray fine-grained sandstone, where the fragments are cemented with silver amalgam. Khachakchansky deposit. Samlle from museum of SUE «Sakhageoinform».

ние может быть отнесено к послегранитоидной группе, которая, по данным Ю.П. Ивенсена и др. [20], не обнаруживает никакой пространственной и, скорее всего, генетической связи с магматизмом. Открыто в 1990 г. А.Е. Окуневым во время проведения общих поисков м-ба 1:10000.

Месторождение Хачакчан сформировано в терригенном структурном ярусе Верхоянского комплекса. Серия рудоподводящих разломов северо-восточного простирания является секущей по отношению к интенсивной складчатости, что в целом и формирует картину строения Алара-Сахского рудного поля, включающего серебряные месторождения Хачакчан, Ночное и Холоднинское. Вмещающие оруденение породы представлены отложениями теберденьской, дадойской и опуонской свит верхней перми, моноклинально залегающих на северо-восточном крыле Алара-Сахской антиклинали.

Месторождение сформировано в зоне расщепления Синьянского разлома. Пласты пород разорваны серией нарушений, которые, по данным Г.В. Денисова и др. [18], субвертикальные и в большинстве случаев безамплитудные, лишь по отдельным разломам северо-восточного простирания отмечаются правосдвиговые смещения до 20–120 м. Оруденение вмещают разрывные нарушения северо-восточного простирания. На площади месторождения выявлено более 40 потенциально сереброносных зон протяженностью от 250 м до 4,0 км, мощность меняется от 0,2 до 5,0 м, иногда увеличиваясь до 10 м. Встречаются участки дробления, где минерализация представлена только амальгамой серебра. Обычно это зоны дробления с обильными глинами трения и зеркалами скольжения, пронизанные тонкими прожилками с амальгамами серебра (рис. 5, А). Прожилки иногда образуют стволую зону брекчий, пропитывая вмещающие породы. Количество кварц-карбонатного материала в них составляет в среднем 10–20 %, но может уменьшаться почти до нуля. В этом случае зоны брекчий состоят нацело из амальгамы серебра, которая цементирует обломки песчаника (рис. 5, Б).

Главные черты Хачакчанского месторождения: 1) в рудах большинства рудных зон присутствуют амальгамы серебра – конгсбергит, аркверит, бордозит [21–23]. Размеры выделений от 1 мм² до 150 см², вес – до 1 кг; 2) содержания серебра в рудах с амальгамами серебра достигает 22 кг/т; 3) общая низкая сульфидность богатых серебряными руд. Содержание сульфидов в

сереброносных ассоциациях невысокое, не превышает 1–2 %, а на флангах месторождения наблюдаются галенит-сфалерит-карбонатные руды с содержанием сульфидов до 5–10 %. 4) экономическая привлекательность руд: Ag от 602 до 3293 г/т; Pb – 1,2 %; Zn – 0,08 %; Sn – 0,1 %; Hg – 0,27 %; Au отсутствует.

Эндыбальская рудная гора

Эндыбальская рудная гора объединяет несколько проявлений серебра и золота, являясь частью крупного Эндыбальского серебрянорудного узла Западного Верхоянья (Восточная Якутия). Основное рудное тело состоит из локальных зон брекчий с рудным цементом и многочисленных сближенных трещин, выполненных карбонатом, кварцем, сульфидами и серебряными сульфосолями (рис. 6, А). Руды представлены несколькими минеральными и структурными типами: 1) зоны брекчий и прожилково-вкрапленной сидерит-халькопирит-пиритовой минерализации, секущие галенитовые прожилки с линзами арсенопирита, марматита, пирита, сидерита и вкраплениями пираргирита; 2) пластовые сидерит-анкерит-серебросульфосольные прожилки с незначительной ролью галенита. Наличие в рудах золота в количестве до 6 г/т и прямая корреляционная связь с серебром позволяет считать руды золотосеребряными [24]. Обычно к межпластовым срывам приурочены пластовые прожилки, а их интенсивность составляет от одного до нескольких на метр разреза. В этом типе прожилков присутствует пирит-арсенопирит-доломит-овихитовая минерализация (рис. 6, Б). Между пластовыми жилами всегда отмечаются участки рудных брекчий (рис. 6, В).

Главные черты Эндыбальской рудной горы: 1) отсутствует пространственная ассоциация с магматизмом; 2) рудное тело штокверковой конфигурации приурочено к не вскрытой эрозией части Эндыбальского субвулкана; 3) главными носителями серебра в рудах являются фрейбергит и пираргирит, которые встречаются и в галенитовых, и в сфалеритовых минеральных типах руд; 4) по содержанию главных полезных компонентов руды представлены золотосеребряными и золотомедными разновидностями [24], их расположение контролируется разломами северо-восточного простирания; 5) для всех типов руд сохраняется положительная корреляция золота и серебра; 6) экономическая привлекательность руд: Ag от 16 до 10000 г/т; Au от 0 до 6,1 г/т; Cu от 0,02 до 2,98 %; Pb от 0,02 до 42,51 %; Zn от 0,07 до 7,65 %.

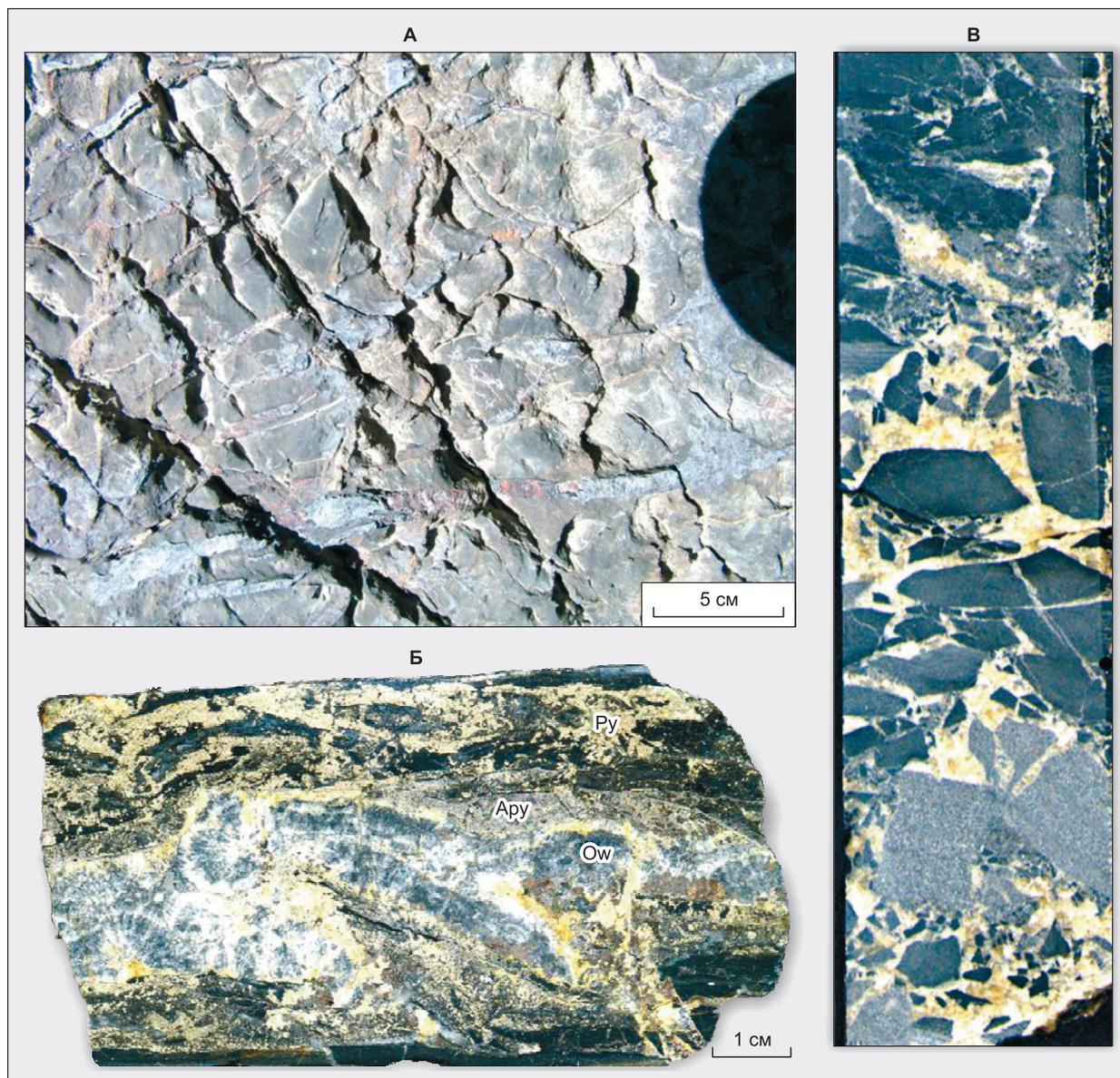


Рис. 6. Главные типы рудных брекчий Эндыбальской рудной горы.

А – разноориентированные и минерализованные пиритом, галенитом и пираргиритом трещины в скальных обрывах Эндыбальской рудной горы образуют крупнообъемное тело рудных брекчий, фотография автора. Лучшее рудное пересечение месторождения, опробованное автором в 1993–1995 в обрывах левого борта р. Сириландже, включает интервал 13,25 м, содержащий 864,5 г/т серебра. **Б** – складки волочения, образовавшиеся по доломит-овихитовому (Ow) пластовому прожилку. Более поздняя минерализация представлена пиритом (Py) и арсенопиритом (Apy). Образец 8810, коллекция автора: Ag – 952,0 г/т; Au – 2,5 г/т; Cu – 0,04 %; Pb – 1,52 %, Zn – 1,65 % (образец 88010). **В** – брекчирование черных и серых песчаников. Цемент сидеритовый с вкраплениями блеклой руды. Образец END-1-37, коллекция автора: Ag – 1120 г/т; Cu – 0,16 %; Pb – 0,24 %, Zn – 0,2 %.

Fig. 6. The main types of ore breccias from Endybal ore mountain.

A – multi-directional mineralized with pyrite-galena-ruby (pyrargyrite) fractures in rock outcrops of the Endybal ore mountain form a large-volume body of ore breccia's, the picture of the author. The best ore intersection of the deposit, sampled by the author in 1993–1995 on the left bank cliffs of Sirilendje river including 13.25 m interval with a grade of 864.5 g/t silver. **B** – folds lug formed on dolomite – owyheelite (Ow) stratabound veinlet. Later mineralization is represented by pyrite (Py) and arsenopyrite (Apy). Sample 8810, author's collection: Ag – 952.0 g/t; Au – 2.5 g/t; Cu – 0.04 %; Pb – 1.52 %, Zn – 1.65 %. **B** – brecciated black and grey sandstones. In breccia cement – siderite with freibergite inclusions. Sample END-1-37, author's collection: Ag-1120 g / t; Cu – 0.16 %; Pb – 0.24 %, Zn – 0.2 %.

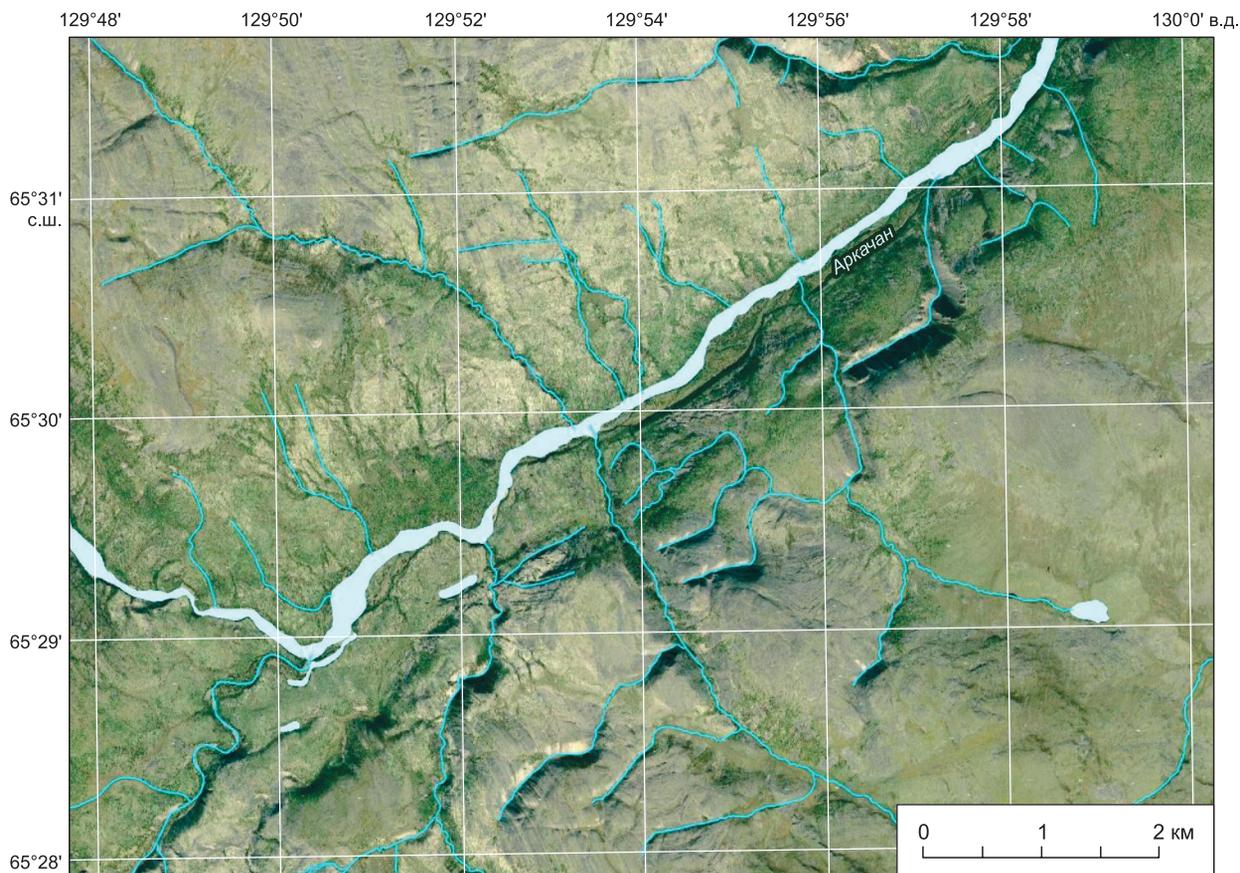


Рис. 7. Фрагмент Северо-Тирехтыхского северо-восточного регионального разлома на космическом снимке IKONOS + GeoEye, (сервис Яндекс.Карты: <http://maps.yandex.ru/>, обработка ООО «СКАНЭКС»). Отчетливо видно, как сбрососдвиговая система разломов кайнозойской активизации в правом борту р. Аркачан образует серию сопряженных тектонических рвов и смещает долины ручьев. Северо-восточное направление разломов совпадает с простиранием рудных тел месторождения Аркачан, север-северо-западное – с системой Ньюктаминского рудоконтролирующего разлома и главных рудных тел Эндыбальского рудного узла. Разломы северо-восточного простирания образуют серию уступов и линейных впадин, заполненных водой, и, вероятно, относятся к сбрососдвигам. Разломы север-северо-западного простирания также образуют сбрососдвиговые дислокации, причем западные края блоков приподняты, а восточные опущены, что подчеркивается специфической геометрией гидросети.

Fig. 7. A fragment of the North-Tirekhtyakh North-East regional fault on a space image of IKONOS + GeoEye, (service Yandex. Map: <http://maps.yandex.ru/>, processing, LLC «SCANEX»). One can clearly see how normal fault – strike-slip cenozoic activation fault system in the right side of the Arkachan river forms a series of conjugated tectonic moats displacing stream valleys. North-East direction of the faults coincides with the strike of the Arkachan deposit ore bodies, North-North-West – with Nuektaminskiy ore-controlling fault and main ore bodies at the Endybal ore cluster. The faults of the North-Eastern direction form a series of ledges and linear depressions filled with water and probably belong to the normal fault – strike-slip. The faults of the North – North-West trending, also form a fault-shear dislocations, where the Western edge of the blocks are raised, and the East is omitted, it is emphasized by the specific geometry of the drainage network.

Обсуждение результатов

Начало формирования рудных тел месторождения Вертикальное значительно моложе 102–98 млн лет и включает четыре стадии. Серебряность руд увеличивается от ранней к поздней стадии. Каждая из стадий включает процесс брекчирования и последующей цементации обломков рудным материалом. Время начала первой стадии брекчирования и период протекания каж-

дой из стадий минерализации и последующего брекчирования оценить не представляется возможным. При этом на площади рудного поля отчетливо выделяются системы тектонических нарушений кайнозойской активизации, простирание которых соответствует главным рудоконтролирующим разломам (рис. 7). В богатых серебряных рудах повсеместно присутствуют полости с друзами кристаллов кварца, фрейбергита, пир-

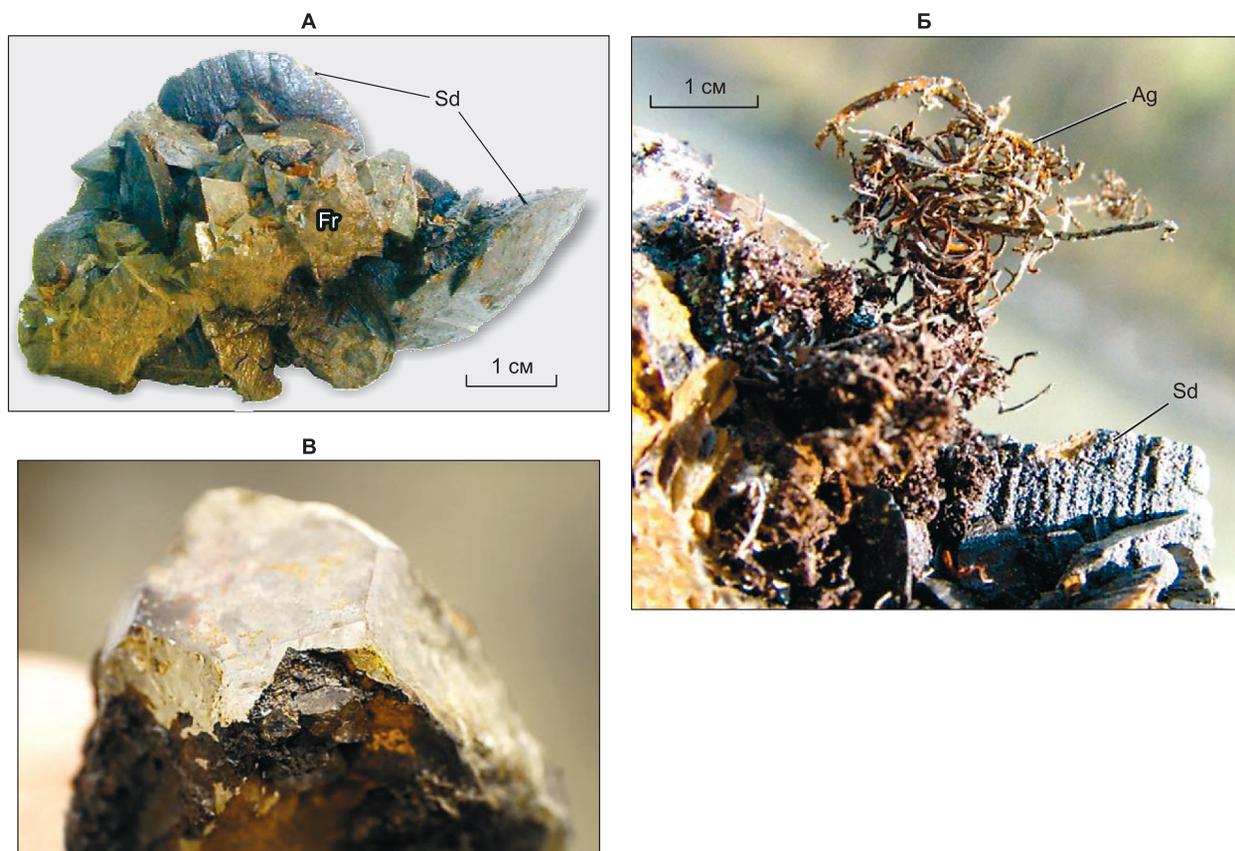


Рис. 8. Примеры рудных минералов, образовавшихся после прекращения тектонической активности рудоконтролирующих разломов.

А – фрейбергит (Fr) – сидеритовая (Sd) друза из полости в жиле Безымянного месторождения: образец 4312, коллекция автора. **Б** – проволоки самородного серебра (Ag) на друзе кристаллов сидерита (Sd) из полости в рудном теле месторождения Вертикальное: образец 5050, коллекция автора. **В** – кристалл кварца из золотосеребряных руд Эндыбальской рудной горы: образец 4312, коллекция автора. Хорошая сохранность кристаллов свидетельствует, что после их образования тектонических деформаций не было.

Fig. 8. Examples of ore minerals formed after the termination of tectonic activity of ore-controlling faults.

A – freibergite (Fr) – siderite (Sd) druse from the cavity in the vein of a Bezymiannoe deposit: sample 4312, the author's collection. **B** – wires of native silver (Ag) on the druse of siderite (Sd) crystals from the cavity in the ore body of the Verticalnoye deposit: sample 5050, the author's collection. **B** – quartz crystal in gold-silver ores from the Endybal ore mountain: sample 4312, author's collection. Good safety of crystals testifies that after their formation there were no tectonic deformations.

аргирита, проволоками самородного серебра, которые были бы разрушены и перетерты более поздними тектоническими событиями, если бы они состоялись. Неразрушенные кристаллы в рудных друзах (рис. 8) богатых серебряных руд Нижнеэндыбальского, Безымянного и Мангазейского месторождений свидетельствуют о молодом возрасте рудообразования, после которого тектоническая активность главных рудоконтролирующих структур прекратилась.

При анализе рудоконтролирующих разрывных структур Нижнеэндыбальского месторождения мы опираемся на последовательность геологических событий: складчато-надвиговые

дислокации → прорывающие складчатость магматические образования → наложенные на магматические образования тектонические зоны рудных брекчий. Из выделенных Ф.Ф. Третьяковым и др. временных структурных парагенезисов [25] для рудных брекчий более всего соответствует сдвиговое поле напряжений второго этапа деформаций. Это обосновывает хорошую сохранность рудных кристаллов в друзовых полостях месторождения.

Кис-Кюельские рудные брекчии расположены внутри интрузива и в ближней зоне экзоконтакта. Наиболее вероятно, что их образование по времени ассоциирует с застыванием массива. Пре-

обладание в составе брекчий гидроксидов железа указывает на характер эволюции магматического очага, при котором существенная часть железа не перешла в железосодержащие породообразующие силикаты, а реализовалась в гидротермальных растворах.

Образование серебро-ртутной минерализации Аллара-Сахского рудного поля трактуется исследователи по-разному. В.В. Крылова и Л.Н. Кичигин [21] относят их к эпitherмальным серебро-полиметаллическим месторождениям и подчеркивают возможную связь проявлений с гранитоидным магматизмом Агылки-Хунхадинской зоны. Месторождения являются или самыми поздними, или наиболее удаленными от гранитоидных массивов частями олово-серебряных вулканоплутонических систем. В.А. Амузинский и др. [22] относят их к телетермальному фрейбергитовому минеральному типу сурьмяно-ртутной рудной формации, сформировавшейся в поздне меловую-палеогеновую эпоху. Наличие в руде ртути характерно для большинства месторождений Дулгалахской ртутной зоны [26].

Эндыбальская рудная гора характеризуется сложным геологическим строением. Рудное тело является штокверком, состоящим из многочисленных разноориентированных прожилков. Его расположение над не вскрытой эрозией частью Эндыбальской субвулканической структуры обусловило обширное развитие брекчий. Автор предполагает, что в штокверковом рудном теле сложного строения золотосеребряные руды на глубине переходят в золотомедные, аналогами которых является Аркачанское золотомедное месторождение.

Заключение

Анализ современных детальных космических снимков однозначно свидетельствует о наличии в Западном Верхоянье кайнозойской тектонической активности. Присутствие в рудных месторождениях Западного Верхоянья друзовых пустот с кристаллами рудных и жильных минералов хорошей сохранности свидетельствует о том, что после их образования значительных тектонических подвижек не происходило, иначе кристаллы были бы разрушены. На этом основании можно предполагать, что и богатые серебряные руды образовались после затухания кайнозойской тектонической активизации.

Ключевым моментом изучения рудных брекчий на любом месторождении является установ-

ление количества их минеральных разновидностей и последовательности смены одних типов другими. После проведенных исследований совершенно очевидно, что время образования брекчий с богатыми серебряными рудами месторождения Вертикальное существенно моложе, чем возраст пространственно ассоциирующих магматических образований. Это приводит к выводу о целесообразности ревизии рудоносности разломов кайнозойской активизации.

Минерализация железоксидного медно-золотого (IOCG) типа на территории северо-востока России никогда не являлась предметом специальных поисков. Открытие внутриинтрузивного IOCG-типа рудной минерализации для Кис-Кюельского диорит-гранодиоритового массива с ультрабогатыми содержаниями золота является принципиально новым шагом для понимания главных высокопродуктивных этапов рудообразования складчатого обрамления восточной части Северо-Азиатского кратона. Автор предполагает наличие аналогичных IOCG-проявлений на территории Восточной Якутии в кровлях некоторых малых слабо эродированных интрузий.

Уникальность руд Хачакчанского месторождения заключается в крайне низкой активности серы в рудном процессе. Это привело к тому, что значительная часть серебра в рудах реализовалась в самородной форме. Рудообразование происходило в участках образования структур «конского хвоста», что привело к широкому развитию рудных брекчий.

Эндыбальская рудная гора – сложный геологический объект, история изучения и освоения которого началась еще в XVIII в. Объектами для отработки служили отдельные маломощные разноориентированные галенитовые жилы, из которых добывали свинец. После проведенных исследований очевидно, что главным промышленным типом руд являются не отдельные жилы, а брекчированный и минерализованный объем пород. Форма рудного тела – штокверк.

Литература

1. Прокопьев В.С., Урзов А.С., Буделева С.Ш. и др. Геологическая карта Якутии. Западно-Верхоянский блок. Масштаб 1:500000. СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 1999. 19 л.
2. Páez G.N., Ruiz R., Guido D.M., Jovic S.M., Schalamuk I.B. Structurally controlled fluid flow: High-grade silver ore-shoots at Martha epithermal mine, Deseado Massif, Argentina // *Journal of Structural Geology*. 2011. V. 33, N 5. P. 985–999. DOI: 10.1016/j.jsg.2011.02.007

3. *Hossein Kouhestani, Majid Ghaderi, Khin Zaw, Sebastien Meffre, Mohammad Hashem Emami.* Geological setting and timing of the Chah Zard breccia-hosted epithermal gold–silver deposit in the Tethyan belt of Iran // *Mineralium Deposita*. 2012. V. 47, N 4. P. 425–440. DOI: 10.1007/s00126-011-0382-3
4. *Fontboté L.* Ore Deposits of the Central Andes // *Elements*. 2018. V. 14, N 4. P. 257–261. DOI: 10.2138/gselements.14.4.257
5. *McPhie J., Cas R.* Volcanic successions associated with ore deposits: Facies characteristics and ore–host relationships // *The Encyclopedia of Volcanoes*. Academic Press, 2015. P. 865–879. DOI: 10.1016/B978-0-12-385938-9.00049-3
6. *Monteiro L.V.S., Roberto Perez Xavier, Murray W. Hitzman, Caetano Juliani, Carlos Robertode Souza Filho, Emerson de R. Carvalho.* Mineral chemistry of ore and hydrothermal alteration at the Sossego iron oxide–copper–gold deposit, Carajás Mineral Province, Brazil // *Ore Geology Reviews*. 2008. V. 34. №. 3. Pp. 317–336. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2008.01.003
7. *Bertelli M., Baker T.* A fluid inclusion study of the Suicide Ridge breccia pipe, Cloncurry district, Australia: Implication for breccia genesis and IOCG mineralization // *Precambrian Research*. 2010. V. 179, N 1–4. P. 69–87. DOI: 10.1016/j.precamres.2010.02.016
8. *David I.G., Frank P.B., Lawrence D.M., Murray W.H.* Iron oxide copper–gold (IOCG) deposits through Earth history: Implications for origin, lithospheric setting, and distinction from other epigenetic iron oxide deposits // *Economic Geology*. 2010. V. 105, N 3. P. 641–654. DOI: 10.2113/gsecongeo.105.3.641
9. *Hunt J. A., Baker T., Thorkelson D. J.* Wernecke Breccia: Proterozoic IOCG mineralised breccia system, Yukon, Canada // *Hydrothermal Iron Oxide Copper–Gold and Related Deposits: A Global Perspective–Advances in the Understanding of IOCG Deposits*. 2010. P. 345–356.
10. *Cristiana L.C., Benjamin P. Wade Nigel J. Cook, Andreas Schmidt Mumm, David G.* Uranium-bearing hematite from the Olympic Dam Cu–U–Au deposit, South Australia: A geochemical tracer and reconnaissance Pb–Pb geochronometer // *Precambrian Research*. 2013. V. 238. P. 129–147. DOI: 10.1016/j.precamres.2013.10.007
11. *Levresse G. et al.* Degassing as the main ore-forming process at the giant imiter Ag–Hg vein deposit in the Anti-Atlas Mountains, Morocco // *Mineral Deposits of North Africa*. Springer, Cham, 2016. P. 85–106. DOI: 10.1007/978-3-319-31733-5_2
12. *Jana K., Kåre K., Vladimír Š., Milan D., Radek Š.* The Kongsberg silver deposits, Norway: Ag–Hg–Sb mineralization and constraints for the formation of the deposits // *Mineralium Deposita*. 2018. V. 53, N 4. C. 531–545. DOI: 10.1007/s00126-017-0757-1
13. *Костин А.В., Зайцев А.И., Шошин В.В., Ганевев А.Ш., Лобанов С.П.* Сереброносная провинция Западного Верхоянья. Якутск: Изд-во СО РАН, 1997. 155 с.
14. *Костин А.В.* Новые данные о геологии Эндыбальского сереборудного узла (Западное Верхоянье, Якутия) // *Отечественная геология*. 2008. № 5. С. 33–42.
15. *Прокопьев А.В., Борисенко А.С., Гамянин Г.Н., Фридовский В.Ю., Кондратьева Л.А., Анисимова Г.С., Трунилина В.А., Васюкова Е.А., Иванов А.И., Травин А.В., Королева О.В., Васильев Д.А., Пономарчук А.В.* Возрастные рубежи и геодинамические обстановки формирования месторождений и магматических образований Верхояно–Колымской складчатой области // *Геология и геофизика*, 2018. №10. С. 1542–1563. DOI: 10.15372/GiG20181004.
16. *Борисенко А.С., Спиридонов А.М., Изох А.Э., Прокопьев А.В., Лебедев В.И., Гаськов И.В., Зорина Л.Д., Костин А.В., Наумов Е.А., Третьякова И.Г.* Высокопродуктивные этапы базитового и гранитоидного магматизма Северной Азии, оценка их ресурсного потенциала, научное обоснование критериев прогноза и поисков крупных месторождений (Cu–Ni–Pt, Co, Au и редкие металлы) // *Проблемы минерации России (специальный выпуск электронного журнала Вестник ОНЗ РАН)*. М.: ГЦ РАН, 2012. С. 237–252. DOI: 10.2205/2012minerageny-2012.
17. *Костин А.В.* Зональность золотомедного месторождения Аркачан (Западное Верхоянье) // *Отечественная геология*. 2003. №. 6. С. 24–29.
18. *Денисов Г.В., Засимов М.Г., Окунев А.Е.* Геологическое строение и сереброносность Томпо–Делиньинской металлогенической зоны // *Серебряное оруденение Якутии: Сборник научных трудов*. Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1999. С. 28–35.
19. *Костин А.В., Денисов Г.В.* Крупные благороднометалльные рудно–магматические системы Западного Верхоянья // *Отечественная геология*. 2007. № 5. С. 17–25.
20. *Ивенсен Ю.П., Амузинский В.А., Невойса Г.Г.* Строение, история развития, магматизм и металлогения северной части Верхоянской складчатой зоны. Новосибирск: Наука, 1975. 322 с.
21. *Крылова В.В., Кичигин Л.Н.* Амальгамы серебра – основной рудоконцентрирующий минерал серебро–полиметаллического месторождения Якутии // *Тез. докл. год. сессии МО ВМО «Прикладные и экологические аспекты минералогии»*. М.: 1991. С. 135.
22. *Амузинский В.А., Андрианов Н.Г., Жданов Ю.Я., Лескова Н.В.* Природная амальгама серебра рудопроявления Хачакчанское (Мезозойды Западного Верхоянья) // *Редкие самородные металлы и интерметаллиды коренных и россыпных месторождений Якутии*. Якутск: ЯНЦ СО РАН. 1992. С. 69–77.
23. *Бабич А.П., Крылова В.В., Тихомиров А.В.* Новый тип серебросодержащих руд Восточного Верхоянья // *Руды и металлы*. 1993. № 3–6. С. 65–72.
24. *Костин А.В., Желонкина М.С., Саввинова Л.А.* Благороднометалльная минерализация Эндыбальской рудной горы (Западное Верхоянье, Россия) // *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2018. Т. 26, № 4. С. 31–45. DOI 10.31242/2618-9712-2018-26-4-30-44.

25. Третьяков Ф.Ф., Прокопьев А.В., Васильев Д.А. Тектонические структуры Мангазейского рудного узла (Западное Верхоянье, Восточная Якутия) // Отечественная геология. 2008. № 5. С. 42–49.

26. Константинов М. М., Костин А. В., Сидоров А.А. Геология месторождений серебра // Якутск: Сахаполиграфиздат, 2003.

References

1. Prokopiev V.S., Urzov A.S., Budeleeva S.Sh. et al. Geological map of Yakutia. West-Verkhoyansk block. Scale 1: 500000. SPb.: Kartfabrik VSEGEI, 1999, 19 p.

2. Páez G.N., Ruiz R., Guido D.M., Jovic S.M., Schalamuk I.B. Structurally controlled fluid flow: High-grade silver ore-shoots at Martha epithermal mine, Deseado Massif, Argentina // Journal of Structural Geology. 2011. V. 33, N 5. P. 985–999. DOI: 10.1016/j.jsg.2011.02.007

3. Hossein Kouhestani, Majid Ghaderi, Khin Zaw, Sebastien Meffre, Mohammad Hashem Emami. Geological setting and timing of the Chah Zard breccia-hosted epithermal gold–silver deposit in the Tethyan belt of Iran // Mineralium Deposita. 2012. V. 47, N 4. P. 425–440. DOI: 10.1007/s00126-011-0382-3

4. Fontboté L. Ore Deposits of the Central Andes // Elements. 2018. V. 14, N 4. P. 257–261. DOI: 10.2138/gselements.14.4.257

5. McPhie J., Cas R. Volcanic successions associated with ore deposits: Facies characteristics and ore–host relationships // The Encyclopedia of Volcanoes. Academic Press, 2015. P. 865–879. DOI: 10.1016/B978-0-12-385938-9.00049-3

6. Monteiro L.V.S., Roberto Perez Xavier, Murray W. Hitzman, Caetano Juliani, Carlos Robertode Souza Filho, Emerson de R. Carvalho. Mineral chemistry of ore and hydrothermal alteration at the Sossego iron oxide–copper–gold deposit, Carajás Mineral Province, Brazil // Ore Geology Reviews. 2008. V. 34. №. 3. Pp. 317–336. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2008.01.003

7. Bertelli M., Baker T. A fluid inclusion study of the Suicide Ridge breccia pipe, Cloncurry district, Australia: Implication for breccia genesis and IOCG mineralization // Precambrian Research. 2010. V. 179, N 1–4. P. 69–87. DOI: 10.1016/j.precamres.2010.02.016

8. David I.G., Frank P.B., Lawrence D.M., Murray W.H. Iron oxide copper-gold (IOCG) deposits through Earth history: Implications for origin, lithospheric setting, and distinction from other epigenetic iron oxide deposits // Economic Geology. 2010. V. 105, N 3. P. 641–654. DOI: 10.2113/gsecongeo.105.3.641

9. Hunt J. A., Baker T., Thorkelson D. J. Wernecke Breccia: Proterozoic IOCG mineralised breccia system, Yukon, Canada // Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold and Related Deposits: A Global Perspective-Advances in the Understanding of IOCG Deposits. 2010. P. 345–356.

10. Cristiana L.C., Benjamin P. Wade Nigel J. Cook, Andreas Schmidt Mumm, David G. Uranium-bearing hematite from the Olympic Dam Cu–U–Au deposit, South Australia: A geochemical tracer and reconnaissance Pb–

Pb geochronometer // Precambrian Research. 2013. V. 238. P. 129–147. DOI: 10.1016/j.precamres.2013.10.007

11. Levresse G. et al. Degassing as the main ore-forming process at the giant imiter Ag–Hg vein deposit in the Anti-Atlas Mountains, Morocco // Mineral Deposits of North Africa. Springer, Cham, 2016. P. 85–106. DOI: 10.1007/978-3-319-31733-5_2

12. Jana K., Kåre K., Vladimír Š., Milan D., Radek Š. The Kongsberg silver deposits, Norway: Ag–Hg–Sb mineralization and constraints for the formation of the deposits // Mineralium Deposita. 2018. V. 53, N 4. C. 531–545. DOI: 10.1007/s00126-017-0757-1

13. Kostin A.V., Zaitsev A.I., Shoshin V.V., Ganeev A.S., Lobanov S.P. Silver province of West Verkhoyanye. Yakutsk: SO RAN, 1997. 155 p.

14. Kostin A.V. New data on geology of Endybal silver cluster (West Verkhoyanye, Yakutia) // Otechestvennaya geologia. 2008. N 5. P. 33–42.

15. Prokopiev A.V., Borisenko A.S., Gamyarin G.N., Pavlova G.G., Fridovsky V.Yu., Kondrat'eva L.A., Anisimova G.S., Trunilina V.A., Ivanov A.I., Travin A.V., Koroleva O.V., Vasiliev D.A., Ponomarchuk A.V. Age constraints and tectonic settings of metallogenic and magmatic events in the Verkhoyansk–Kolyma folded area // Russian Geology and Geophysics. 2018. 59 (2018) P. 1237–1253. DOI: 10.1016/j.rgg.2018.09.004.

16. Borisenko A.S., Spiridonov A.M., Izokh A.E., Prokopiev A.V., Lebedev V.I., Gas'kov I.V., Zorina L.D., Kostin A.V., Naumov E.A., Tret'yakova I.G. Highly productive stages of basite and granitoid magmatism in North Asia, assessment of their resource potential, scientific substantiation of criteria for prediction and search of large deposits (Cu–Ni–Pt, Co, Au and rare metals). Minerageny problems of Russia Publ. GC RAS Moscow, 2012. 534 p. DOI: 10.2205/2012minerageny-2012.

17. Kostin A.V. Zoning of Arkachan copper-gold deposits (West Verkhoyanye) // Otechestvennaya Geologiya. 2003. N 6. P. 24–29.

18. Denisov G.V., Zasimov M.G., Okunev A.E. Geological structure and silver of the Tompo-Dilin'inskii metallogenic zone // Silver mineralization of Yakutia: Collection of scientific papers. Yakutsk: YCC SB RAS, 1999. P. 28–35.

19. Kostin A.V., Denisov G.V. Major precious-metal ore-magmatic systems of the Western Verkhoyanie // Otechestvennaya Geologiya. 2007. N 5. P. 17–25.

20. Ivensen Y.P., Amuzinskiy V.A., Nevoisa G.G. Structure, history of development, magmatism and metallogeny of the Northern part of the Verkhoyansk folded zone. Novosibirsk: Science, 1975. 322 p.

21. Krylova V.V., Kichigin L.N. Amalgams of silver – the main ore-concentrating mineral of silver-polymetallic deposits of Yakutia // Abstracts of the annual session of WMO MO «Applied and environmental aspects of Mineralogy». M., 1991. P. 135.

22. Amuzinskiy V.A., Andrianov N.G., Zdanov Y.Ya., Leskova N.V. Natural amalgam of silver ore manifestation Khachachansky (Mesozoic Western Verkhoyanie) // Rare

РУДНЫЕ БРЕКЦИИ – КЛЮЧ К ПОНИМАНИЮ ГЕНЕЗИСА МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕРЕБРА И ЗОЛОТА

native metals and intermetallides of lode and placer deposits of Yakutia. Yakutsk: YNC SB RAS, 1992. P. 69–77.

23. Babich A.P., Krylova V.V., Tikhomirov A.V. A new type of silver-bearing ores of Eastern Verkhoyanye // Ores and metals. 1993. N 3–6. P. 65–72.

24. Kostin A.V., Zhelonkina M.S., Savvinova L.A. Hosting precious metal mineralization of the Endybal Ore Mountain // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2018. V. 26, N 4. P. 31–45. DOI 10.31242/2618-9712-2018-26-4-30-44

25. Tret'yakov F.F., Prokopiev A.V., Vasiliev D.A. Tectonic structures of Mangazeiskoe ore cluster (Western Verkhoyanye, Eastern Yakutia) // Otechestvennaya Geologiya. 2008. N 5. P. 42–49.

26. Konstantinov M.M., Kostin A.V., Sidorov A.A. Geology of silver deposits. Yakutsk: sakhapoligraphizdat, 2003.

Поступила в редакцию 25.03.2019

Принята к публикации 25.05.2019

Об авторе

КОСТИН Алексей Валентинович, доктор геолого-минералогических наук, зав. лабораторией, Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 39, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-5778-6505>, kostin@diamond.ysn.ru

About author

KOSTIN Aleksey Valentinovich, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Head of Laboratory, Diamond and Precious Metal Geology Institute, SB RAS, 39 Lenina pr., Yakutsk, 677980, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-5778-6505>, kostin@diamond.ysn.ru

Информация для цитирования:

Костин А.В. Рудные брекции – ключ к пониманию генезиса месторождений серебра и золота Западного Верхоянья // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2019, том 24, № 2. С. 21–36. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-2-2>

Citation

Kostin A.V. Ore breccias as a key to understanding the genesis of the silver and gold deposits in Western Verkhoyanye. Arctic and Subarctic natural resources. 2019, vol. 24, No. 2: pp. 21–36. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-2-2>

Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение

УДК 504.06 (571.56)

DOI 10.31242/2618-9712-2019-24-2-3

Экологический мониторинг в районах падения отделяющихся частей ракетносителя «Союз-2» на территории Якутии

Л.С. Волкова¹, В.Н. Макаров^{2,*}

¹Министерство охраны природы Республики Саха (Якутия), Якутск, Россия

²Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск, Россия

*vnmakarov@mpi.ysn.ru

Аннотация. *Анализируются результаты экологического геохимического мониторинга в районах падения отделяющихся частей ракет-носителей (РП ОЧРН) «Союз-2». В районах, расположенных на территории Республики Саха (Якутия), было выполнено экологическое обследование на мониторинговых площадках: оценка состояния окружающей среды до пуска и после падения отделяющихся частей ракет-носителей. По результатам химико-аналитических исследований снега и почвы установлены локальные загрязнения снежного покрова и почв тяжелыми металлами и нефтепродуктами, превышающие фоновые концентрации, которые соответствуют допустимому или низкому уровню загрязнения.*

Ключевые слова: экология, районы падения отделяющихся частей ракет-носителей, окружающая среда, снежный покров, почва, нефтепродукты, микроэлементы.

DOI 10.31242/2618-9712-2019-24-2-3

Ecological monitoring in the regions where the separating parts of the Soyuz-2 rocket carrier fall at the territory of Yakutia

L.S. Volkova¹, V.N. Makarov^{2,*}

¹Ministry of Nature Protection of the Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Russia

²P.I. Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk, Russia

*vnmakarov@mpi.ysn.ru

Abstract. *The results of the ecological geochemical monitoring in the regions where the separating parts of Soyuz-2 rocket carriers fall are analyzed. Ecological survey was carried out at monitoring sites at the territory of the Republic of Sakha (Yakutia): the state of environment was evaluated before the launch of the separating parts of rocket carriers and after their fall. Chemical analytical examination of snow and soil revealed local pollution of the snow cover and soil with heavy metals and petroleum products at a level exceeding the background concentrations and corresponding to the permissible or low level of pollution.*

Key words: ecology, regions in which the separating parts of rocket carriers fall, environment, snow cover, soil, petroleum products, trace elements.

Введение

Одним из приоритетов современного общества является обеспечение экологической безопасности человека. Проблемам обеспечения

экологической безопасности ракетно-космической деятельности посвящен ряд исследований последних лет [1–6]. Падение отделяющихся частей ракетносителя «Союз-2» с космодрома

«Восточный» на территории Вилюйского, Алданского и Кобяйского районов вызывает закономерную тревогу общественности Якутии.

Трасса для выведения космических аппаратов на солнечно-синхронную орбиту с наклоном 98° при пусках с космодрома «Восточный» проходит над Амурской областью и Республикой Саха (Якутия). На территории Якутии эпизодически используются три района падения (РП) отделяющихся частей ракетносителя (ОЧРН) «Союз-2»: РП 983 для приема головного обтекателя в Алданском районе и РП 985 для приема центрального блока и хвостового отсека третьей ступени ракетносителя на территории Вилюйского и Кобяйского районов (рис. 1).

Район падения РП 983 – Алданский, представляет собой эллипс с размерами большой полуоси – 45 км, малой – 25 км; РП 985 – Вилюйский, соответственно 75 и 50 км, Кобяйский – 100 и 60 км (рис. 2).

В 2018 г. Республиканским информационно-аналитическим центром экологического мониторинга Министерства охраны природы Республики Саха (Якутия) проведено предпусковое и послепусковое экологическое обследование в районах падения ОЧРН «Союз-2». В экологических исследованиях принимали участие научные учреждения республики и Институт водных и экологических проблем СО РАН, представители муниципальных образований и Общественного экологического комитета «Вилюй».



Рис. 1. Районы падения фрагментов ракет на территории РС(Я):

1 – Алданский (РП 983), 2 – Вилюйский (РП 985), 3 – Кобяйский (РП 985).

Fig. 1. Areas of falling of fragments of rockets on the territory of the RS (Y):

1 – Aldan (RP 983), 2 – Vilyuisky (RP 985), 3 – Kobyaisky (RP 985).

В районах падения ОЧРН проведено геохимическое опробование снежного покрова и почв. Общее количество геохимических проб, отобранных в январе–феврале и мае–июне 2018 г., приведено в табл. 1.

Материалы и методы

Аналитические исследования проведены в аккредитованных лабораториях ГБУ РС(Я) «РИА-

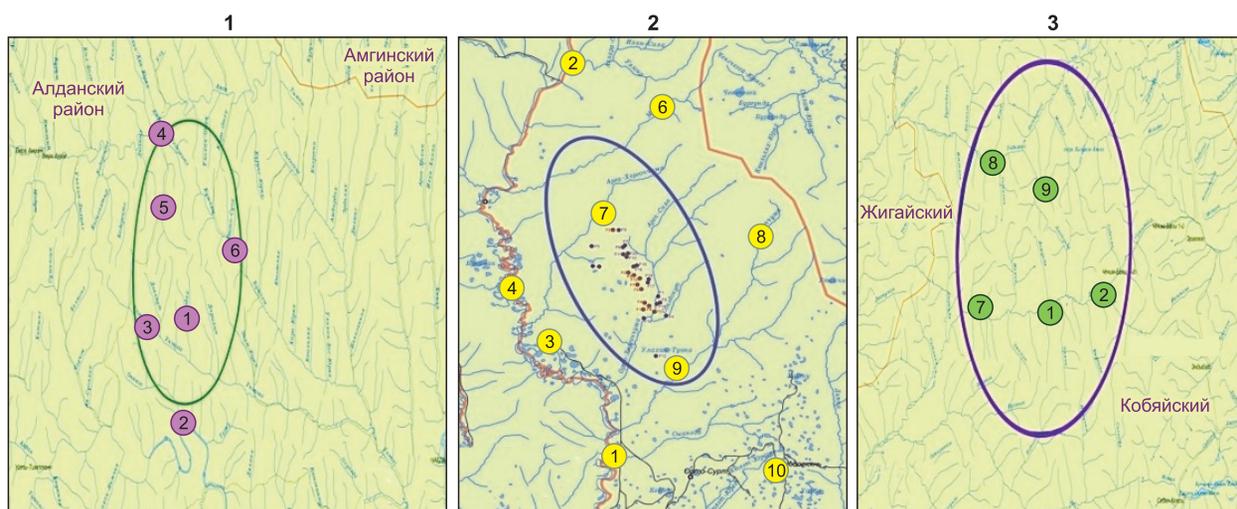


Рис. 2. Мониторинговые площадки в районах падения отделяющихся частей ракетносителя.

Fig. 2. Monitoring sites in the areas of falling of separated parts of the launch vehicle.

Геохимические пробы, отобранные в районах падения ОЧРН (2018 г.)

Geochemical samples taken in the areas of the fall of EPR (2018)

Снежный покров				
Район	До пуска		После падения	
	Кол-во проб	Дата	Кол-во проб	Дата
Алданский (РП 983)	9	26.01	22	01–06.02
Виллойский (РП 985)	8	29.01	11	01–06.02
Кобяйский (РП 985)	-	-	6	08–13.02
Почвы				
Виллойский (РП 985)	Кол-во проб			Дата
	Фоновый участок	Фрагменты	Всего проб	
	18	17	35	25.05–01.06

ЦЭМ» и ИМЗ СО РАН. Кроме того, для многокомпонентных анализов часть проб были исследованы в лаборатории Института проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН (г. Черноголовка, Московская обл.).

Состав контролируемых показателей талой воды (снегового покрова) включал: макрокомпоненты, биогенные элементы (фосфаты, аммоний, нитрит- и нитрат-ионы), железо общее, рН, Eh; органические загрязнители – нефтепродукты (НП), фенолы (Ф), бенз(а)пирен (БП); микроэлементы – Sr, Li, F, Cu, Zn, Mn, Al, Cd, Ni, Pb.

Определение контролируемых геохимических показателей выполнялось современными методами (потенциометрический, капиллярный-электрофорез, фотометрический, флуориметрический, атомно-абсорбционный и жидкостной хроматографии), внесенными в Государственный реестр методик, допущенных для государственного и производственного экологического контроля.

Результаты и обсуждение

Снежный покров. Для снежного покрова всех типов мерзлотных ландшафтов, распространенных в районах исследований, характерно идентичное соотношение главных ионов, типичное для среднетаежных мерзлотных ландшафтов Якутии: $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^-$; $\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{K}^+$ [7]. Величина минерализации талой воды снежного покрова очень низкая – 4–9 мг/л. Величина рН колеблется в диапазоне 5,35–7,01 и соответствует кислотности незагрязненных атмосферных осадков [8].

Падение ОЧРН в Виллойском и Алданском районах не привело к трансформации макрокомпонентного состава снежного покрова на их территории, но вызвало существенное изменение концентрации органических соединений и большого спектра микроэлементов (табл. 2).

Состав геохимических аномалий, образовавшихся в снежном покрове после падения ОЧРН, и степень их контрастности обнаруживают в районах мониторинга как сходство, так и различия (табл. 3), что определяется различным составом фрагментов РП 983 (головной обтекатель) и РП 985 (центральный блок и хвостовой отсек).

Общим для районов мониторинга является повышение содержания в снежном покрове после пуска таких компонентов, как фенолы, Fe, Sr и Pb. Индивидуальные черты загрязнения отмечаются в возникновении аномалий фосфатов в Алданском районе (РП 983) и широкой гаммы компонентов Li, Al, Mn и, возможно, Cd в Виллойском районе (РП 985).

Качественные и количественные характеристики большинства аномальных компонентов, таких как фенолы, нефтепродукты и свинец, снижаются с удалением от фрагментов ОЧРН на 10 и 100 м.

Концентрация фенолов в снежном покрове у фрагментов ОЧРН 0,0031 мг/л, значительно выше фоновых значений (0,0013 мг/л), и остается постоянной на расстоянии в 10 – (0,0036) и 100 м (0,0028 мг/л). Если предположить, что содержание фенолов будет равномерно понижаться по мере удаления от места падения фрагментов, то

Таблица 2

Химический состав снежного покрова в районах мониторинга до и после падения ОЧРН

Table 2

The chemical composition of snow cover in the areas of monitoring before and after the fall of EPR

Компонент	Вилуйский район (фрагменты ракет)	Алданский район (РП 983)		Вилуйский район (РП 985)		Кобяйский район
	05.02.18	До пуска	После падения	До пуска	После падения	После падения
		26.01.18	01.02.18	29–30.01.18	01–06.02.18	13.02.18
pH	5,80	5,86	5,78	6,01	6,00	6,6
Eh	589	571	558	572	572	He опр.
M	7,88	6,21	6,34	7,69	7,20	4,0
Sr	0,020	0,002	0,008	0,008	0,013	0,29
Li	0,0010	0,0012	0,0016	0,0010	0,0010	<0,25
F	0,019	0,018	0,020	0,036	0,016	0,76
P	0,093	0,004	0,079	0,158	0,072	<0,5
Ca	1,32	0,85	0,79	1,09	0,98	0,118
Mg	0,57	0,57	0,53	0,71	0,68	1,25
Na	0,43	0,30	0,32	0,37	0,32	0,38
K	0,20	0,13	0,08	0,14	0,13	0,75
NH ₄	0,09	0,11	0,04	0,09	0,08	<0,02
HCO ₃	7,92	5,42	5,61	7,23	6,93	0,277
SO ₄	0,40	0,36	0,25	0,36	0,32	<0,25
Cl	0,305	0,39	0,29	0,47	0,30	<0,01
NO ₂	0,025	0,02	0,01	0,02	0,02	He опр.
NO ₃	0,595	0,62	0,44	0,59	0,61	<0,05
Ф	0,0031	0,0009	0,0018	0,0013	0,0025	0,066
НП	0,064	0,026	0,036	0,023	0,029	0,0017
Fe	<0,050	<0,050	0,055	<0,050	0,054	0,0065
Cu	0,0021	0,0012	0,0015	0,0013	0,0016	0,007
Zn	0,045	0,0045	0,0031	0,0057	0,0037	0,0505
Mn	0,0118	0,0066	0,0048	0,004	0,0117	<0,0001
Al	0,028	0,011	0,0126	<0,010	0,0166	0,0016
Cd	0,00096	0,00007	0,00005	<0,0001	<0,0001	0,0020
Ni	0,0025	0,00141	0,0016	0,0014	0,0016	0,0027
Pb	0,073	0,00088	0,0021	0,0022	0,0027	0,029
БП	0,00087	He опр.	0,00104	He опр.	0,0004	<0,0001

Примечание: БП – бенз(а)пирен ; Ф – фенолы; НП – нефтепродукты.

Таблица 3

Изменение содержания микрокомпонентов и контрастности аномалий в снежном покрове

Table 3

Changes in the content of microcomponents and contrast of anomalies in snow cover before and after the crash

Район	Контрастность аномалий (после пуска/до пуска)				
	10n	5	5–2	1,5–1,1	0,n
Алданский (РП 985)	P	Fe	Ф, Pb	Sr, Al, Ni, НП	Zn, Mn, Li, БП
Вилуйский (РП 985)	Li	Fe	Al, Mn, Ф, Cd?	Sr, НП, Cu, Pb, Ni	Cl, P, F, Zn
Кобяйский (РП 983)	-	Fe	Ф	Pb, Sr	Li, P, N, Mn, Al, НП

Примечание: БП – бенз(а)пирен; Ф – фенолы; НП – нефтепродукты; Кобяйский район – ориентировочно.

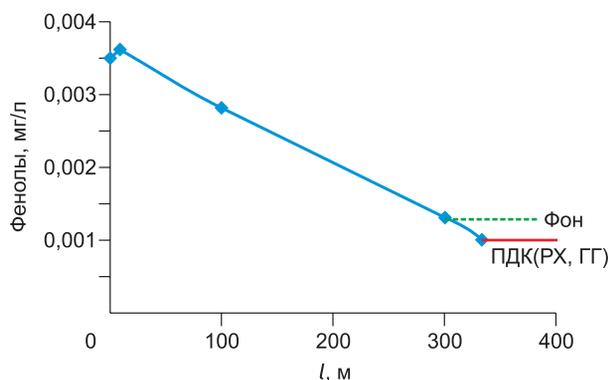


Рис. 3. Изменение концентрации фенолов в снежном покрове на удалении от фрагментов ОЧРН (РП 985).

Fig. 3. Changes in the concentration of phenols in the snow cover at a distance from fragments OCHRN (RP 985).

уровень значений фона и выход за пределы санитарных норм будет достигнут на расстоянии 300–350 м (рис. 3).

Концентрация нефтепродуктов в снежном покрове резко понижается с удалением от фрагментов ОЧРН: у обломков – 0,064, на расстоянии 10 м – 0,047, 100 м – 0,028 мг/л. Однако и на расстоянии 100 м концентрация нефтепродуктов еще остается высокой и достигнет фоновых значений – 0,023 мг/л на удалении около 220 м от фрагментов ОЧРН (рис. 4).

Экологическое влияние падения ОЧРН на снежный покров ограничено. Непосредственно у фрагментов концентрация нефтепродуктов превышает рыбохозяйственные санитарные нормы ($ПДК_{рх}$), однако уже на расстоянии 10 м становится ниже $ПДК_{рх}$.

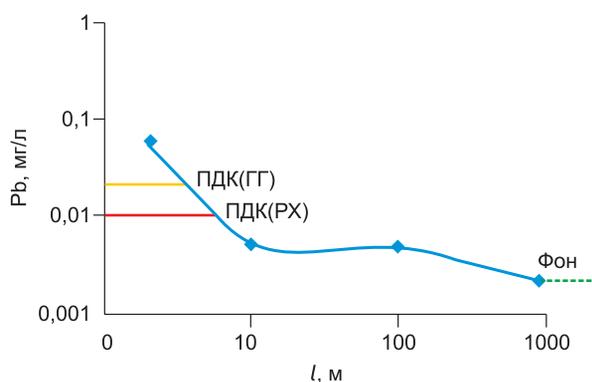


Рис. 5. Изменение концентрации Pb в снежном покрове на удалении от фрагментов ОЧРН (РП 985).

Fig. 5. Change in Pb concentration in snow cover at a distance from fragments OCHRN (RP 985).

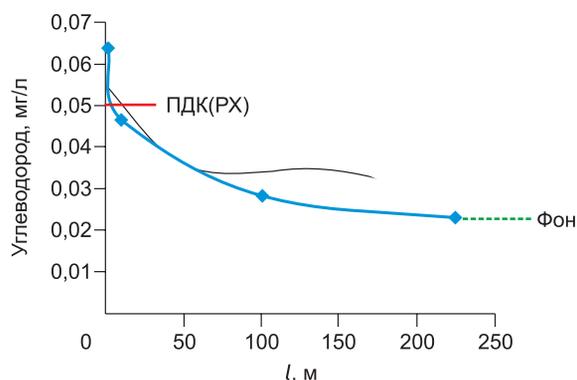


Рис. 4. Изменение концентрации нефтепродуктов в снежном покрове на удалении от фрагментов ОЧРН (РП 985).

Fig. 4. Changes in the concentration of petroleum products in the snow cover at a distance from fragments OCHRN (RP 985).

Максимальные значения концентрации свинца (0,059 мг/л) в снежном покрове наблюдаются непосредственно у фрагментов ОЧРН, где они в 2–6 раз превышают как гигиенические ($ПДК_{гг}$), так и рыбохозяйственные ($ПДК_{рх}$) нормы для природных вод и в 27 раз выше фоновых значений. В 10 м от фрагмента ОЧРН содержание Pb снижается почти на порядок, до 0,0052 мг/л, и остается практически на этом уровне, слабо понижаясь до 0,0049 мг/л в 100 м от обломков ракеты. По расчетам, концентрация Pb может снизиться до фоновому уровню примерно в 900 м от фрагмента ОЧРН (рис. 5).

В экологическом отношении непосредственно под фрагментами в снежном покрове наблюдаются превышения гигиенических нормативов [9] по бенз(а)пирену (в 174 раза), по фенолам и свинцу (в 2–3 раза); по рыбохозяйственным ПДК – для Pb, Zn, Cu и фенолов (в 2–6 раз).

На расстоянии 100 м от фрагмента превышение $ПДК_{гг}$ наблюдается только по фенолам (в 2,8 раза); $ПДК_{рх}$ – также по фенолам (в 2,8 раз). Присутствие фенолов в снежном покрове, возможно, связано не только с техногенными, но и с природными процессами. К естественным источникам относится поступление фенола с частицами пыли и выделениями в атмосферу растительностью. Значительное загрязнение атмосферы фенолами происходит и при лесных пожарах.

Загрязнение снежного покрова (атмосферы) на участках падения фрагментов ракет в основном ограничивается радиусом около 100 м. Более обширные малоконтрастные техногенные аномалии с концентрацией загрязнителей ниже сани-

Содержание компонентов в почвах, отобранных из-под фрагмента (РН 985) и на фоновом участке (Вилуйский район), мг/кг

Table 4

The content of components in soils selected from under the fragment (РН 985) and in the background area (Vilyuy district), mg / kg

Компонент	ПДК	Фон, n = 20		Фрагменты (ФР), n = 20		Соотношение ФР/фон	
		$C_{\text{арифм}}$	$C_{\text{геом}}$	$C_{\text{арифм}}$	$C_{\text{макс}}$	$C_{\text{арифм}}$	$C_{\text{макс}}$
Нефтепродукты	2000	2,4	<20	535	9075	223	3630
Cl	–	57,8	54,8	64,9	127,0	1,12	2,5
SO ₄	–	82,7	79,2	74,3	182,0	0,90	2,3
NH ₄	–	3,6	3,3	3,9	10,0	1,08	2,9
K	–	11,7	9,9	15,8	58,0	1,35	5,8
Na	–	20,1	19,1	22,1	47,0	1,10	2,3
Mg	–	15,9	13,9	18,3	37,0	1,15	2,6
Ca	–	68,8	53,6	80,5	192,0	1,17	3,2
Ba	–	1141	1095	1234	2024,0	1,08	2
Sr	–	30,5	29,7	34,2	56,0	1,12	1,9
Pb	32	32,4	31,1	31,4	54,0	0,97	1,7
Mn	1500	214,6	164,4	244,8	599,0	1,14	3
Al	–	4317	4209	4106	5749,0	0,95	1,4
Cd	5	0,1	0,1	0,8	5,4	8,0	54

тарных норм, обусловленные выпадением свинца, фенолов и, возможно, бенз(а)пирена, распространяются на площади около 2 км².

Почвы. Почвы районов падения ОЧРН очень разнообразны. В Алданском районе распространены таежные палевые тяжелосуглинистые, слабоосолоделые, дерново-таежные мерзлотные и перегнойно-карбонатные мерзлотные почвы. В Вилуйском районе доминирующими типами являются палевые, аласные лугово-черноземные, аласные перегнойно-глеевые, дерново-глеевые, болотные и тукуланные почвы. В Кобяйском районе – преимущественно горно-таежные мерзлотные оподзоленные и таежные палевые мерзлотные слабоосолоделые.

Почвы основных типов ландшафтов центральной и восточной частей Лено-Вилуйского междуречья, по сравнению с кларком осадочных пород [10], обогащены La, Sc, Nb, Mn, Ag и дефицитны в основном литофильными элементами – В, Ni, V, Li, Ti, Y, Yb, Ga [11].

Почвенные пробы в Вилуйском районе мониторинга были отобраны непосредственно у фрагментов ОЧРН и на удалении 50, 70 и 100 м. Химический состав почв на фоновом участке и на месте найденных фрагментов, а также соот-

ношение содержания элементов (фрагменты/фон) приведены в табл. 4.

Почвы непосредственно под фрагментом ОЧРН обогащены по сравнению с фоновыми показателями комплексом металлов и органических соединений. По отношению $C_{\text{арифм}}$ (ФР/фон) и $C_{\text{макс}}$ (ФР/фон) максимальная контрастность характерна для нефтепродуктов – на 2–3 порядка выше фона, для кадмия – 8–54 и калия – 1,4–6. Для большинства макро- и микрокомпонентов максимальная величина отношения $C_{\text{макс}}$ (ФР/фон) остается в пределах 2–3.

Концентрация компонентов в почвенном покрове понижается по мере удаления от фрагментов ОЧРН (табл. 5).

Для Al и Pb характерно относительно равномерное понижение концентрации, формирование отрицательной аномалии на удалении в 70 м и возрастание концентрации в 100 м от фрагмента ОЧРН (рис. 6). Таким металлам, как Mn, Sr, Cd, и, возможно, нефтепродуктам свойственно равномерное падение концентрации по мере удаления от фрагмента ОЧРН (рис. 7).

Критерии экологической оценки изменения химического состава почв приняты по кратности превышения предельно допустимой концен-

Химический состав почв в месте падения и на удалении от фрагментов РП 985, Вилуйский район, мг/кг

Table 5

The chemical composition of the soil at the site of the fall and away from the fragments of RP 985, (Vilyuy district), mg / kg

Компонент	Фрагменты ($C_{\text{макс}}$), $n = 20$	Расстояние от фрагмента, м		
		50	70	100
НП	9075	Не обн	Не обн	10
Cl	127,0	57,7	63,6	43,5
SO ₄	182,0	84,1	76,4	91,0
NH ₄	10,0	3,9	3,1	3,8
K	58,0	11,4	12,8	11,0
Na	47,0	20,9	16,4	24,5
Mg	37,0	16,2	12,3	23,5
Ca	192,0	69,9	47,2	117,0
Ba	2024,0	1165	1050	1238
Sr	56,0	32,9	27,0	26,6
Pb	54,0	32,7	28,7	40,5
Mn	599,0	243,9	181,2	137,0
Al	5749,0	4338	3944	5139
Cd	5,4	0,088	0,036	0,039

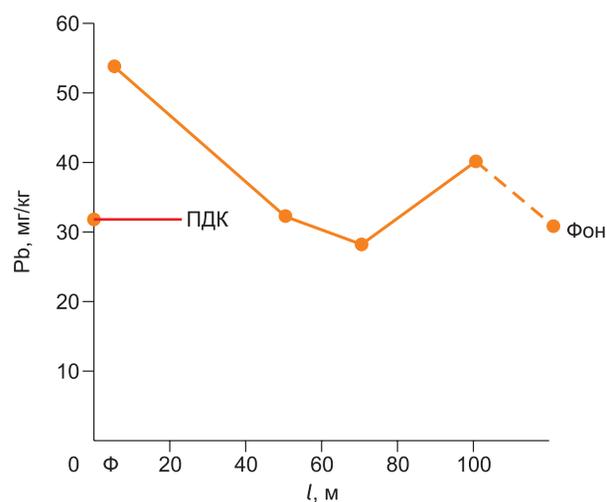
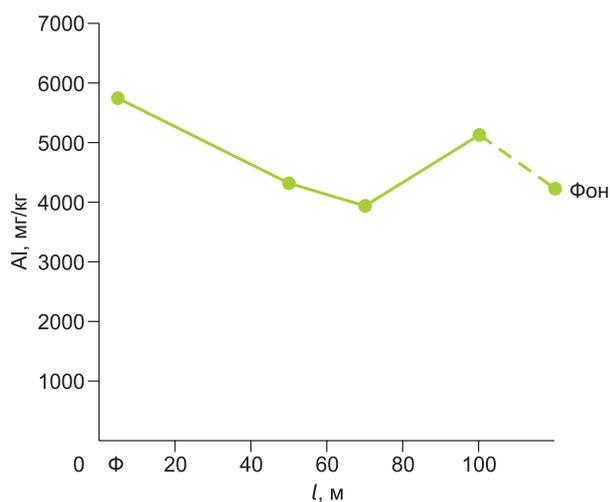


Рис. 6. Изменение концентрации Al и Pb в почвах на удалении от фрагментов ОЧРН (РП 985).

Fig. 6. Changes in the concentration of Al and Pb in soils at a distance from the fragments of EPRF (RP 985).

трации (ПДК_{почв}). Из большого комплекса проанализированных химических компонентов санитарные нормы соблюдаются для Pb, Mn, Cd [12] и нефтепродуктов [13]. Превышение уровня ПДК_{почв} по максимальным концентрациям в почвах под фрагментами ОЧРН, наблюдается у нефтепродуктов – в 4,5 раза, Pb – в 1,7 и Cd – в

1,08 раз. Содержание всех остальных компонентов непосредственно у фрагментов ОЧРН ниже ПДК_{почв} и резко снижается по мере удаления. Уже на расстоянии 50 м от обломков ступеней ракет превышение ПДК_{почв} свойственно только Pb.

Ряды контрастности, превышения максимального содержания в снежном покрове и почвах

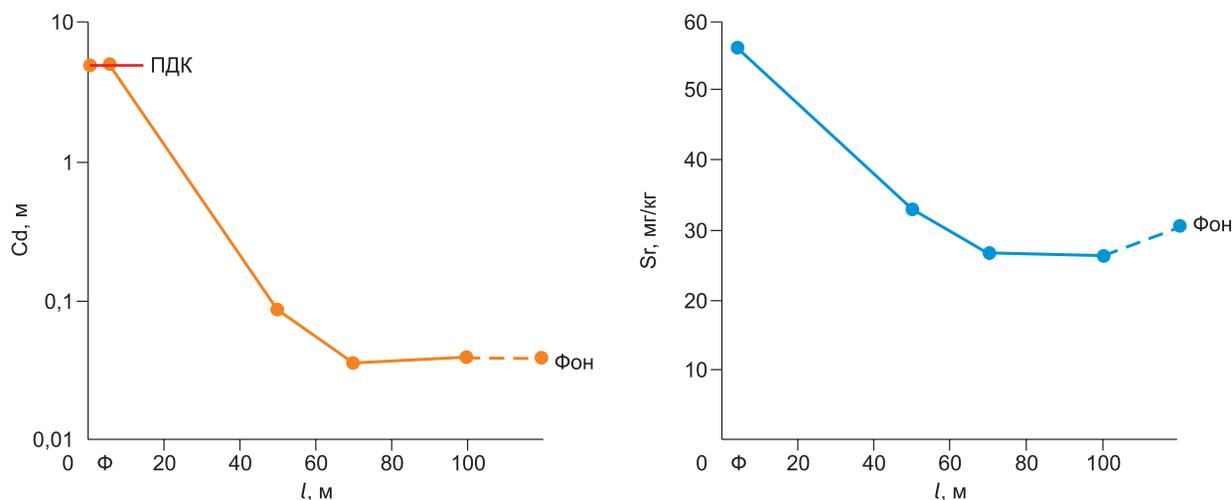


Рис. 7. Изменение концентрации Cd и Sr в почвах на удалении от фрагментов ОЧРН (ПП 985).

Fig. 7. Changes in the concentration of Cd and Sr in the soils at a distance from the fragments of EPRF (RP 985).

Таблица 6

Ряды контрастности геохимических аномалий в снежном покрове и почвах относительно фона и ПДК (РП 985)

Table 6

Contrast rows of geochemical anomalies in snow cover and soils relative to the background and MPC (RP 985)

Среда	Ряды контрастности ($C_{\text{макс}}/\text{фон}$)
Снег	НП, Cd (5000) > K(30) > Mn(20) > Ca(17) > Mg(13) > Sr, Cl(10) > Ba, N(8) > Al, Pb, S (0,9)
Почва	НП (n1000) > Cd (54) > K(6) > Ca, Mn, NH ₄ , Mg (3) > Na, Cl, Pb, S, Sr, Ba(2) > Al(1,4)
Ряды контрастности ($C_{\text{макс}}/\text{ПДК}$)	
Снежный покров	
ПДК _{ГТ}	Ф(3,1) > Pb(2) > Cd (0,96) > Al, Sr, Zn, Ni, НП (0,0n) > Mn, Cu (0,00n)
ПДК _{РХ}	Pb(5,9) > Zn(4,5) > Ф(3,1) > Cu(2,1) > НП (1,3) > Mn(0,8) > Ni(0,25) > K(0,004)
Почва	
ПДК _{почв}	Pb (1,7) > Mn (0,4) > Cd(0,1) > НП (0,01)

Примечание: в скобках контрастность аномалий.

Note: in brackets the contrast of anomalies.

вблизи фрагментов ОЧРН, по сравнению с фоновыми показателями и санитарными нормами показаны в табл. 6.

Наиболее обширный комплекс аномальных компонентов и максимальная их контрастность свойственны снежному покрову. Однако, основная масса запаса растворимых форм химических элементов в снежном покрове при таянии не попадает в почвы, а стекает по еще мерзлomu почвенному покрову [14,15] в конечные водоемы стока: озера и реки. При таянии снега непосредственно перед разрушением снежного покрова

вымываются 30–70 % ионов. Поэтому в почвах под фрагментами отделяющихся частей ракет не образуется контрастных и многокомпонентных техногенных литохимических аномалий. В водоемах и водотоках возможно формирование малоконтрастных и мало протяженных гидрогеохимических аномалий, не представляющих угрозы окружающей среде [1, 2].

Негативные воздействия на природную среду отделяющихся частей ракетносителя «Союз-2» (РП 983 и РП 985) в районах падения, на территории Алданского, Вилуйского и Кобьайского райо-

нов максимальны для снежного покрова, но не представляют существенной опасности для окружающей среды и здоровья населения. Этот вывод совпадает с данными долгосрочного (2006–2014 гг.) экологического мониторинга падения отделяющихся частей ракет-носителей «Союз» на территории Северного Урала [16].

Выводы

По химическому составу снежный покров в Алданском, Вилуйском и Кобьайском районах РС(Я) за пределами падения ОЧРН гидрокарбонатный, с очень низкими значениями минерализации (4–9 мг/л). После падения ступеней ракет общий химический состав снежного покрова в этих районах остался гидрокарбонатным, но произошло изменение в составе микрокомпонентов. На территории Алданского района наблюдается превышение фоновых показателей в снежном покрове по Fe, Pb и фенолам, а Вилуйского – по Li, Fe, Al, Mn и фенолам, что определяется различным составом РП 983 и РП 985.

Снег непосредственно под фрагментом ОЧРН (РП 985) обогащен комплексом металлов и органических соединений. Непосредственно у фрагмента в снежном покрове наблюдаются аномальные концентрации по 14 компонентам. Их качественные и количественные характеристики быстро снижаются с удалением от фрагментов ОЧРН. В экологическом отношении непосредственно под фрагментами (РП 985) в снежном покрове наблюдаются превышения гигиенических нормативов по фенолам и свинцу (в 2–3 раза) и рыбохозяйственных предельно допустимых концентраций по Pb, Zn, Cu и фенолам (в 2–6 раз).

Загрязнение атмосферы на участках падения ступеней ракет (РП 983 и 985) в основном ограничивается радиусом влияния до 100 м. Более обширные малоконтрастные техногенные аномалии связаны с выпадением Pb (на площади около 2 км²), фенолов и, возможно, бенз(а)пирена.

Непосредственно под фрагментами ОЧРН (РП 985) почвенный покров обогащен нефтепродуктами и комплексом макро- и микрокомпонентов. В почвах под фрагментами отмечается максимальное превышение над фоновыми показателями для углеводородов (на 2–3 порядка), Cd (в 54 раза), K, Ca, Mn, NH₄, Mg, Na, Cl, Pb, S, Sr, Ba (в 2–6 раз).

Санитарные нормы для почвенного покрова под фрагментами превышены только по макси-

мальным концентрациям Pb (в 1,7 раза). Содержание всех остальных нормируемых компонентов значительно ниже ПДК_{почв}.

Основная масса запаса растворимых форм химических элементов при таянии снега стекает по мерзлому почвенному покрову в конечные водоемы стока (озера и реки). Поэтому в почвах под фрагментами отделяющихся частей ракет не образуется контрастных техногенных литохимических аномалий. Несмотря на относительно высокое содержание органических соединений и ряда токсичных элементов вблизи фрагментов ракет, незначительное их количество в контуре аномалий не представляет угрозы водным системам. В конечных водоемах стока будут формироваться малоконтрастные и мало протяженные техногенные гидрогеохимические аномалии.

В целом негативные воздействия на природную среду отделяющихся частей ракет-носителя «Союз-2» (РП 983 и РП 985) в районах падения, на территориях Алданского, Вилуйского и Кобьайского районов РС(Я) незначительны и не представляют существенной опасности для окружающей среды и здоровья жителей.

Литература

1. Балыкин С.Н. Эколого-геохимическая оценка РП 985 до и после пуска РН «Союз-2.1а» с космодрома «Восточный» // Приоритетные задачи обеспечения безопасности и экологического сопровождения пусков РН типа «Союз», направления их реализации. Барнаул: ИВЭП СО РАН, 2017. С. 99–108.
2. Волкова Л.С., Богомолова И.В., Ушницкий В.Е., Яковлев С.И. Результаты экологического исследования в районах падения отделяющихся частей ракет-носителя «Союз-2» на территории Республики Саха (Якутия). // Приоритетные задачи обеспечения безопасности и экологического сопровождения пусков РН типа «Союз», направления их реализации. Барнаул: ИВЭП СО РАН, 2017. С. 90–98.
3. Кожевников А. Ю., Боголицын К. Г., Косяков Д. С., Ульяновский Н. В., Кошелева А.Е. Экологический мониторинг районов падения отделяющихся частей ракет в арктических и субарктических территориях // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Сер.: Естественные науки. Науки о Земле. 2013. № 3. С. 24–32.
4. Кондратьев, А. Д., Кречетов П. П., Королева Т. В. Обеспечение экологической безопасности эксплуатации районов падения отделяющихся частей ракет-носителей. М: Пеликан, 2007. С. 5–60.
5. Пузанов А.В., Рождественская Т.А., Трошкова И.А., Бабошкина С.В., Балыкин С.Н., Ельчино-

ва О.А. Кадмий в экосистемах районов падения ОЧРН // Приоритетные задачи обеспечения безопасности и экологического сопровождения пусков РН типа «Союз», направления их реализации. Барнаул: ИВЭП СО РАН, 2017. С. 188–196.

6. *Экологический мониторинг ракетно-космической деятельности. Принципы и методы* / Н. С. Касимов и др. М.: РЕСТАРТ, 2011. 469 с.

7. *Макаров В.Н.* Геохимия снежного покрова таежных и горных мерзлотных ландшафтов Якутии // Лед и снег. 2014. №1 (125). С. 73–80.

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

9. *Контроль качества воды*. М.: СТАНДАРТИН-ФОРМ, 2010. 944 с.

10. *Виноградов А.П.* Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры / Виноградов А. П. // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571.

11. *Алексеев В.П., Кривошапкин В.Г., Макаров В.Н.* Атлас: География вилуйского энцефаломиелимита. Atlas: Geography of Viliusk encephalomyelitis. Якутск: Изд-во ДНиСПО, 2000. 107 с.

12. *Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06.* Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. М., 2006.

13. *Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2042-06.* Ориентировочно-допустимые концентрации содержания химических веществ в почве. М., 2006.

14. *Нормативно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные, части 1–6. Вып. 24. Якутская АССР. Кн. 1.* Л.: Гидрометеиздат, 1989. 607 с.

15. *Маркова С.А., Макаров В.Н.* Трансформация химического состава снежного покрова в зимний период // Снежный покров, атмосферные осадки, аэрозоли: технология, климат и экология. Иркутск: Изд-во ИРНТУ, 2018. С. 46–50.

16. *Большаков В.Н., Кузнецова И.А.* Экологический мониторинг в районе падения отделяющихся частей ракет-носителей «Союз» на территории Северного Урала // Биосфера. 2015. Т. 7, № 2. С. 169–180.

References

1. *Balykin S.N.* Ecological and geochemical assessment of RP 985 before and after the launch of the Soyuz-2.1a rocket launcher from the Vostochny cosmodrome // Priority Tasks of Ensuring Safety and Environmental Support of Rocket Launchers of the Soyuz-type, Directions for Their Implementation. Barnaul: IWEP SB RAS, 2017. P. 99–108.

2. *Volkova L.S., Bogomolova I.V., Ushnitsky V.E., Yakovlev S.I.* The results of environmental studies in the

areas of falling separated parts of the Soyuz-2 rocket in the Republic of Sakha (Yakutia) // Priority Tasks of Ensuring Safety and Environmental Support of Launches of the Soyuz-type Launch Vehicle, Directions for Their Implementation. Barnaul: IWEP SB RAS, 2017. P. 90–98.

3. *Kozhevnikov A.Yu., Bogolitsyn K.G., Kosyakov D.S., Ulyanovsky N.V., Kosheleva A.E.* Ecological monitoring of areas of falling of separated parts of rockets in the Arctic and Subarctic territories // Bulletin of the Northern (Arctic) Federal University. Series: Natural Sciences. Earth Sciences. 2013. P. 24–32.

4. *Kondratyev A.D., Krechetov P.P., Koroleva T.V.* Ensuring the environmental safety of the operation of areas of falling of separating parts of launch vehicles. M: Pelikan, 2007. P. 5–60.

5. *Puzanov A.V., Rozhdestvenskaya T.A., Troshkova I.A., Baboshkina S.V., Balykin S.N., Elchininova O.A.* Cadmium in the ecosystems of the areas of the decline of EOM // Priority Tasks of Ensuring Safety and Environmental Support of Launches of the Soyuz-type Launch Vehicle, Directions for Their Implementation. Barnaul: IWEP SB RAS, 2017. P. 188–196.

6. *Environmental monitoring of rocket and space activities. Principles and methods* / N. S. Kasimov et al. M.: RESTART, 2011. 469 p.

7. *Makarov V.N.* Geochemistry of snow cover of taiga and mountainous frozen landscapes of Yakutia // Ice and snow. 2014. N 1 (125). P. 73–80.

8. *Geochemistry of the snow cover of Yakutia* / V.N. Makarov, N. F. Fedoseev, V. I. Fedoseeva. Yakutsk: Inst. of Permafrost, SB AS of the USSR. 1990. 152 p.

9. *Water Quality Control*. M.: Standartinform, 2010. 944 p.

10. *Vinogradov A. P.* The average content of chemical elements in the main types of igneous rocks of the earth's crust // Geochemistry. 1962. N 7. P. 555–571.

11. *Alekseev V.P., Krivoshapkin V.G., Makarov V.N.* Atlas: Geography of Viluy encephalomyelitis. Yakutsk: Publishing House of the National Social and Pedagogical Society of Law, 2000. 107 p.

12. *Hygienic Standards GN 2.1.7.2041-06.* Maximum Permissible Concentration (MPC) of Chemicals in the Soil. M., 2006.

13. *Hygienic Standards GN 2.1.7.2042-06* Approximate-permissible concentration of the content of chemicals in the soil. M., 2006.

14. *Normative-applied Reference Book on Climate of the USSR. Series 3. Perennial data, parts 1–6. Release. 24 Yakut ASSR. Book 1.* L.: Gidrometeizdat, 1989. 607 p.

15. *Markova S.A., Makarov V.N.* The transformation of the chemical composition of snow cover in the winter // Snow Cover, Precipitation, Aerosols: Technology, Cli-

mate and Ecology. Irkutsk: Publishing house INRTU, 2018. P. 46–50.

Soyuz launch vehicles on the territory of the Northern Urals // Biosphere. 2015. V. 7, N 2. P. 169–180.

16. *Bolshakov V.N., Kuznetsova I.A.* Environmental monitoring in the area of the fall of separating parts of the

Поступила в редакцию 14.12.2018

Принята к публикации 30.01.2019

Об авторах

ВОЛКОВА Лена Семеновна, директор ГБУ «Республиканский информационно-аналитический центр экологического мониторинга», Министерство экологии Республики Саха (Якутия), 677000, г. Якутск, ул. Дзержинского, 3/1, riacem@mail.ru;

МАКАРОВ Владимир Николаевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории подземных вод и геохимии криолитозоны, Институт мерзлотоведения им. П.И.Мельникова СО РАН, 677010, г. Якутск, ул. Мерзлотная, 36
ORCID 0000-0002-6086-886X,
Makarov@mpi.ysn.ru

About authors

VOLKOVA Lena Semenovna, Director of State Budget Institution “Republican Information and Analytical Center for Environmental Monitoring”, Ministry of Ecology of the Republic of Sakha (Yakutia); 3/1 Dzerzhinskogo str., Yakutsk, 677000, Russia, riacem@mail.ru;

MAKAROV Vladimir Nikolaevich, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Principal Researcher, Laboratory of Groundwater and Cryocolithozone Geochemistry, P.I. Melnikov Permafrost Institute. SB RAS; 36 Merzlotnaya str., Yakutsk, 677000, Russia, ORCID 0000-0002-6086-886X, Makarov@mpi.ysn.ru

Информация для цитирования:

Волкова Л.С., Макаров В.Н. Экологический мониторинг в районах падения отделяющихся частей ракетносителя «Союз-2» на территории Якутии // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2019, том 24, № 2. С. 38–48. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-2-3>

Citation

L.S. Volkova, V.N. Makarov Ecological monitoring in the regions where the separating parts of the Soyuz-2 rocket carrier fall at the territory of // Arctic and Subarctic natural resources. 2019. Vol. 24, No. 2. pp. 38–48. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-2-3>

Статистика удельного электрического сопротивления мерзлых рыхлых отложений и осадочных пород долины реки Лена «Туймаада»

Л.Г. Нерадовский

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск, ул. Мерзлотная, 36, Россия
leoner@mpi.ysn.ru

Аннотация. Представлены результаты статистического анализа значений удельного электрического сопротивления мерзлых рыхлых отложений и осадочных пород левобережной части долины р. Лены в среднем ее течении в застроенной окрестности г. Якутск. Знание вероятностных законов и обобщенных значений удельного электрического сопротивления – одной из базовых электрофизических характеристик мерзлых геологических образований Земли, позволяет быстро, недорого и экологически чисто решать задачи инженерной геологии и криолитологии. А именно, методом вертикального электрического зондирования на постоянном токе без дорогостоящих буровых работ или с минимальным их объемом с заданной достоверной вероятностью и приемлемой ошибкой определять среднюю глубину залегания осадочных пород, слагающих коренное основание долины р. Лена. Это имеет важное значение при производстве проектно-изыскательских работ в ходе продолжающегося освоения территории долины р. Лены.

Ключевые слова: «Туймаада», рыхлые отложения, осадочные породы, буровые работы, вертикальное электрическое зондирование, удельное электрическое сопротивление, средние значения, ошибка.

DOI 10.31242/2618-9712-2019-24-2-4

Statistics of the resistivity of frozen loose sediments and sedimentary rocks in the Tyumaada valley of the Lena river

L.G. Neradovskii

P.I. Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk, Russia,
leoner@mpi.ysn.ru

Abstract. The results of the statistical analysis of the resistivity of frozen loose sediments and sedimentary rocks in the left-bank part of the Lena river valley in its middle reach in the built-up suburbs of Yakutsk are presented. Resistivity is one of the basic characteristics of frozen geological formations on the Earth, and knowledge of the probabilistic laws and generalized values of resistivity allows rapid, inexpensive and environmentally friendly solutions to the problems of engineering geology and cryolithology. In particular, the average depth of the occurrence of sedimentary rocks comprising the basement of the Lena river valley may be determined by means of vertical direct-current sounding without expensive drilling or with its minimal amount, with a required confidence probability and acceptable error. This is essential for the design and survey works during the continuing development of the Lena river valley.

Key words: «Tuymaada», loose sediments, sedimentary rocks, drilling operations, vertical electrical sounding, resistivity, average values, error.

Введение

Изучение геологической среды всегда требует привязки результатов геофизических работ к данным горно-буровых, каротажных и лабораторных работ. Это обусловлено как имманентной природной геологической неоднозначностью геофизических результатов, так и математической некорректностью решения обратных задач геофизики, заключающихся в количественной оценке параметров моделей геологической среды. В этом аспекте в настоящее время рыночных отношений с господством идеологии сиюминутной сверхприбыли особое значение приобретает априорное знание петрофизических параметров моделей, позволяющее в пределах изученного участка или района работ применять методы геофизики без привлечения или с минимальным использованием данных геологических методов. Цель статьи – показать, что при знании обобщенных значений удельного электрического сопротивления ($VЭС$) появляется ценная возможность решать методом электрического зондирования на постоянном токе ($ВЭЗ$) важную задачу инженерной геологии и геокриолитологии. А именно, без дорогостоящего бурения скважин или при минимальном их количестве с заданной вероятностью и приемлемыми для практики ошибками достоверно оценивать средние значения мощности мерзлой толщи рыхлых отложений (далее – рыхлых отложений) долины р. Лена в окрестности г. Якутск. То есть той толщи, которая используется как грунтовое основание при строительстве инженерных сооружений на висячих свайных фундаментах.

Краткие сведения по району работ

Район работ находится в левобережной части долины р. Лена¹ протяженностью около 70 км между Кангаласским (на севере) и Табагинским мысом (на юге).

Данные по геоморфологическому строению долины «Туймаада», являющейся частью Центрально-Якутской низменности, противоречивы. По схемам В.С. Гриненко и др. [1], построенным на представлениях П.А. Соловьева [2] и принятых к повсеместному научно-практическому употреблению, а также по результатам исследований С.С. Коржуева [3] долина «Туймаада» состоит из вложенных друг в друга речных террас. Это

¹ Местное якутское население издревле называет эту часть долины р. Лена «Туймаада».

террасы голоценового возраста низкой и высокой поймы с протоками и старицами и две надпойменные террасы со сложным строением микрорельефа. Первая надпойменная терраса голоценового возраста называется «Якутской», а более высокая вторая терраса голоценового или позднего неоплейстоценового возраста называется «Сергелляхской». Существует также точка зрения о существовании не имеющей названия еще более высокой третьей надпойменной террасы неоплейстоценового возраста, возвышающейся над межленным урезом воды р. Лена на 18–22 м [4]. В современных представлениях В.В. Спектора и др. [5], построенных на детальных исследованиях стратиграфии аллювиальных отложений, долина «Туймаада» представлена одной надпойменной террасой дриас-голоценового возраста с разными абсолютными отметками денудационно-аккумулятивной поверхности. Несмотря на разные геоморфологические представления, мощность аллювиальных и озерно-болотных отложений² в целом закономерно возрастает от русла долины р. Лена к выходу на дневную поверхность ее коренного основания (осадочных пород юрского возраста – песчаников, алевролитов). Этот выход наблюдается в виде уступа эрозионной поверхности Приленского плато (Мыранновой гряды) высотой 100–120 м над долиной «Туймаада» [6].

В наиболее изученной части долины «Туймаада» (окрестности г. Якутск), высотные отметки рельефа поймы в среднем равны 88,3 м при вариациях 85,6–92,2 м. Высотные отметки рельефа надпойменной Якутской и Сергелляхской террас изменяются в диапазоне 92,8–100,4 м при среднем значении 96,3 м.

Осадочные породы в пойме и на надпойменных террасах преимущественно залегают на глубине 12,4–14,5 и 16,2–22,7 м.

По данным ртутных термометров и полупроводниковых датчиков, применяемых в методе скважинной термометрии, температура рыхлых отложений долины «Туймаада» в нижней части слоя годовых теплооборотов на глубине 10–15 м изменялась от –1,4 до –7,2 °С (на участках старой застройки г. Якутск) при среднем значении

² Их общий разрез сверху вниз закономерно меняется по литологии от глинистых разностей (суглинков и супесей) на песчаные разности (пески пылеватые, мелкие, средние, крупные). Ниже, на границе с осадочными породами, расположен маркерный горизонт крупнообломочных разностей (гравия и гальки).

–3,4 °С. При такой температуре отложения в целом находились в прочном твердомерзлом состоянии.

Методы и материал исследований

Материал исследований носит петрофизический характер и представлен значениями УЭС нельдистых рыхлых отложений с преимущественно массивной криогенной текстурой и залегающих под ними осадочных пород коренного основания долины «Туймаада». Значения УЭС определены методом ВЭЗ в 484 точках бурения инженерно-геологических скважин¹ при производстве геолого-геофизических работ, выполненных в 70–90-х годах прошлого века Якутским трестом инженерно-строительных изысканий на проектируемых и эксплуатируемых площадках и трассах линейных сооружений промышленного, гражданского и сельскохозяйственного назначения в долине «Туймаада».

Работы методом ВЭЗ выполнялись симметричной 4-электродной установкой Шлюмберже с длиной питающей линии от 0,6–3,2 до 440–940 м и двух приемных линий 0,2 и 6,0 м. Методика работ изложена в РСН 43-74 [7] и инструкции по применению методов электроразведки в поисково-разведочной геологии [8]. Измерение напряжения и силы электрического постоянного тока в приемной и питающей цепи установки ВЭЗ выполнялось прибором АЭ-72². Источником постоянного тока служил комплект из четырех последовательно соединенных сухих анодных батарей «АМЦГ-У-160».

Значения УЭС рыхлых отложений и осадочных пород определялись по кривым ВЭЗ³ графическим способом с использованием трех слойных и вспомогательных палеток А.М. Пылаева [9] и привязывались, в соответствии с принципом эквивалентности поперечной или продольной электропроводности слоев геоэлектрического разреза,

к данным бурения скважин (глубине залегания осадочных пород).

Изучение вероятностной структуры и статистик УЭС выполнялось комплексом методов математической статистики с помощью программ «Microsoft Excel» и «Stadia» [10].

Результаты статистического анализа

В ходе анализа решались три задачи: 1) проверка гипотез распределений значений УЭС рыхлых отложений и осадочных пород по теоретическому нормальному закону; 2) вычисление описательных статистик значений УЭС; 3) изучение корреляции значений УЭС рыхлых отложений и осадочных пород. Дополнительно изучались ошибки определения глубины залегания осадочных пород по средним значениям УЭС рыхлых отложений.

Рассмотрим по порядку результаты решения обозначенных задач.

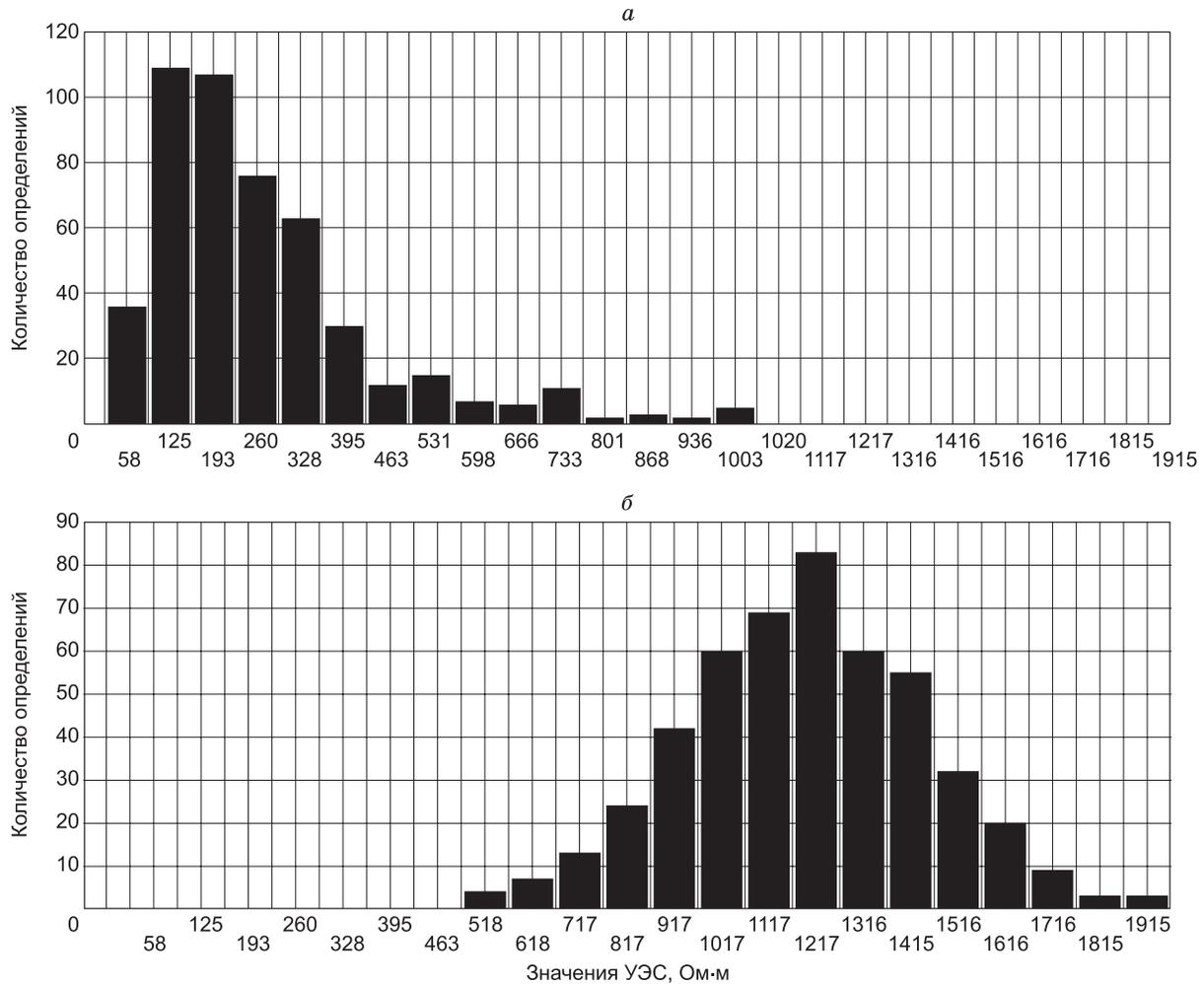
Проверка гипотез выполнялась по критериям Колмогорова, омега-квадрат, хи-квадрат. По этим критериям результат проверки оказался одинаковым. А именно, значения УЭС нельдистых рыхлых отложений с массивной криогенной текстурой распределены по нормальному (гауссовому) закону, а распределение значений УЭС осадочных пород этому закону не подчиняется. Получается, что нормальный закон равновероятностного случайного распределения значений УЭС не расчлененных по литологии и гранулометрическому составу рыхлых отложений наследует результат сложнейших в своей пространственной динамике и длительном по геологическим меркам времени процессов осадконакопления, промерзания и экзогенного метаморфизма, происходивших в долине «Туймаада» под воздействием множества непредсказуемых природных факторов.

Разумеется, и осадочные породы, слагающие коренное основание долины «Туймаада», прошли сложный и еще более длительный путь своей непростой истории в формировании геологического строения и криогенного состояния под воздействием эндогенных, тектонических, метаморфических, геохимических, гидрологических и криогенных процессов. Тем не менее, признак неравновероятного распределения УЭС со сдвигом в сторону низких значений указывает на тенденцию или пространственную закономерность в строении консолидированных осадочных пород. Закономерность состоит в том, что в

¹ Не всех скважин, количество которых исчисляется тысячами, а только тех немногих скважин, которые вскрыли коренное основание долины «Туймаада».

² В прошлом веке этот прибор вместе с прибором ЭСК-1 был чуть ли не единственным в трестах инженерно-строительных изысканий НПО «Стройизыскания» Госстроя РСФСР простым и эффективным по геолого-экономическим показателям техническим средством измерения электрического поля на постоянном токе.

³ Совокупность значений кажущегося электрического сопротивления геоэлектрического разреза долины «Туймаада» в зависимости от половины длины (полуразноса) питающей и приемной линий установки ВЭЗ.



Гистограммы распределения 484 значений УЭС мёрзлой толщи рыхлых отложений (а) и осадочных пород (б) коренного основания долины «Туймаада».

The histograms of the distribution of 484 values of the electrical resistivity of the frozen stratum of loose sediments (а) and sedimentary rocks (б) of the bedrock of the «Tuymaada» valley.

долине «Туймаада» в пределах глубины изучения методом ВЭЗ (до 150 м) более распространены псаммиты – песчаные разности (песчаник, алевролит, реже, мергель), нежели пелиты – глинистые разности осадочных пород (собственно глины, алевроиты) и в незначительной мере органогенные породы (известняк, доломит). Отмеченные особенности вероятностного распределения значений УЭС рыхлых отложений и осадочных пород долины «Туймаада» со всей очевидностью иллюстрируются гистограммами (см. рисунок), построенными по выборочной совокупности фактического материала работ методом ВЭЗ.

Обратим внимание на особенности гистограмм, имеющие значение для понимания геологической природы значений УЭС. Относительно низкие значения УЭС рыхлых отложений не пре-

вышающие 900 Ом·м и составляющие 13,2 % от общего количества определений (см. рисунок, б), по результатам сопоставления с инженерно-геологическим разрезом изыскательских скважин соответствует глинистым разностям в виде суглинков, супесей и пылеватых песков, в разной мере засоленных легкорастворимыми солями. Относительно высокие значения УЭС рыхлых отложений, превышающие 1600 Ом·м и составляющие незначительную долю (4,5 %) от общего количества определений (см. рисунок, б), по тем же геологическим данным соответствуют чисто песчаным разностям в виде мелко-средне-крупнозернистых и, реже, крупных песков. Маломощный маркерный слой крупнообломочных отложений (гравия и гальки), расположенный на границе с осадочными породами, практически не оказывает

влияние на суммарное значение УЭС дисперсных отложений (глинистых и песчаных разностей).

В 82,2 % случаев среднее арифметическое значение УЭС нельдистых рыхлых отложений с массивной криогенной текстурой с вероятностью 95 % занимает доверительный интервал 1213–1248 Ом·м. С округлением получаем обобщенную оценку УЭС около 1200 Ом·м, которую рекомендуется применять для определения средней глубины залегания осадочных пород в долине «Туймаада». Так как значения УЭС осадочных пород распределены не по нормальному теоретическому закону, то пользоваться в качестве обобщенной статистической оценки средним арифметическим нельзя. В таких случаях используются непараметрические оценки среднего – медиана или мода с максимальным числом встречающихся значений (максимум гистограммы). В 74,8 % случаев их значения для псаммитов статистически не отличимы и равны 217 и 214 Ом·м.

Важно отметить, что рыхлые отложения и псаммиты осадочных пород долины «Туймаада» по порядку средних значений УЭС близки к мерзлым аллювиальным отложениям Центрально-Якутской низменности (УЭС = 1200–2700 Ом·м) [11, с. 25] и псаммитам осадочных пород Южной Якутии (УЭС = 100 Ом·м) [12, с. 14]. В этой близости полученная статистика по УЭС не только усиливается в своей объективности, но и приобретает более устойчивый характер региональной петрофизической закономерности.

Описательная статистика значений УЭС, полученная по всей совокупности фактического материала из 484 определений в точках скважин, представлена в таблице.

Из таблицы следует, что стохастическое поведение в долине «Туймаада» УЭС рыхлых отложений, оцененное по коэффициенту вариации, существенно менее изменчиво, нежели осадочных пород. При этом между значениями УЭС рыхлых отложений и осадочных пород нет корреляции. Все вместе взятое, включая разные вероятностные законы распределений значений УЭС, еще раз говорит о том, что формирование мерзлой толщи осадочных пород и перекрывающих их рыхлых отложений происходило по своим законам, не имеющим между собой никакой причинно-следственной связи.

В 84,7 % случаев УЭС рыхлых отложений выше УЭС осадочных пород в 2–13 раз со средним значением 5–6. При таком соотношении

Статистика УЭС долины «Туймаада»

Statistics of electrical resistivity of «Tuymaada» valley

Показатель	1	2
Среднее арифметическое значение (AP)	1194	268
Стандартная ошибка AP значения	12,0	8,0
Среднее медианное значение	1201	217
Среднее модальное значение	887	214
Стандартное отклонение	254	182
Коэффициент вариации, %	21,3	67,8
Минимальное значение	468	24
Максимальное значение	1965	1037
Количество определений (по скважинам)	484	484
Доверие AP значения на уровне 95 %	23,0	16,0

Примечание: 1 и 2 – УЭС рыхлых отложений и осадочных пород соответственно, Ом·м.

Note. 1 and 2 represents electrical resistivity of loose sediment and sedimentary rocks in ohmmeters.

обобщенный геоэлектрический разрез долины «Туймаада» относится к типу «К», который благоприятен с точки зрения более точной количественной интерпретации кривых ВЭЗ. Такой разрез состоит из трех слоев: 1) слой с минимальными значениями УЭС – глинистые разности (суглинки, супеси) сезонно-талого слоя; 2) слой с максимальными значениями УЭС – не расчлененные по составу мерзлые глинисто-песчаные разности (супеси, пески разной зернистости, гравий и галька); 3) слой с пониженными значениями УЭС – мерзлые осадочные породы.

Посмотрим, с какой ошибкой будет определяться по этому разрезу глубина залегания коренного основания долины «Туймаада» с применением современных технологий компьютерной цифровой обработки данных метода ВЭЗ, опираясь на знание обобщенных значений УЭС рыхлых отложений и осадочных пород, равных 1200 и 200 Ом·м. Эти значения позволяют при заданной вероятности 95 % определять глубину залегания осадочных пород со средней абсолютной и относительной ошибкой $2,6 \pm 0,7$ м и 14,8 %.

В 70 % случаев¹ разброс частных абсолютных и относительных ошибок заключен в интервале 1,1–3,5 м и 3,2–24,1 %. Такая погрешность

¹ Уровень доверительной вероятности, принятый в геологии для наземных методов геофизики.

приемлема для изучения мощности рыхлых отложений в застраиваемой долине «Туймаада» методом ВЭЗ. Примечательно, что и в совершенно иных геоэлектрических условиях, например на Северо-Востоке России, средние относительные ошибки определения по данным метода ВЭЗ глубины залегания коренного основания речных долин мало чем отличаются от аналогичных ошибок в долине «Туймаада», изменяясь от 6,4 до 20,9 % и чаще всего составляя 12,3 % [13, с. 196–197].

Заключение

Результаты статистического анализа данных метода ВЭЗ говорят о разных вероятностных законах и основных статистиках распределения значений УЭС мерзлой толщи рыхлых отложений и осадочных пород в долине «Туймаада» в среднем течении р. Лена. При необходимости обобщенные средние значения УЭС толщи мерзлых рыхлых отложений, которая используется в качестве грунтового основания фундаментов инженерных сооружений, могут быть использованы для быстрого определения ее средней мощности методом ВЭЗ без проведения или при минимальном объеме дорогостоящих, трудно организуемых и зачастую вредных для экологии окружающей среды буровых работ. Такой подход эффективен по геолого-экономическим параметрам при решении инженерно-геологических задач промышленно-гражданского и сельскохозяйственного строительства в ходе продолжения освоения долины «Туймаада». С позиции теории природно-технических систем обобщенные значения УЭС важны тем, что описывают частную реакцию геологических образований долины «Туймаада» на искусственное возбуждение с поверхности Земли электрическим полем постоянного тока. Знание этой реакции в условиях действия наложенных на климатические факторы техногенных и антропогенных факторов обеспечивает правильный взгляд на строение геоэлектрического разреза и уточняет его обобщенную физико-геокриологическую модель застраиваемой территории долины «Туймаада».

Литература

1. *Гриненко В.С., Камалетдинов В.А., Щербаков О.И.* Геологическая карта Якутии. Масштаб 1 : 500 000. Центрально-Якутский блок. СПб.: ВСЕГЕИ, 1993.
2. *Соловьев П.А.* Криолитозона северной части Лено-Амгинского междуречья. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 144 с.

3. *Коржуев С.С.* Геоморфология долины средней Лены и прилегающих районов. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1959. 151 с.

4. *Гриненко В.С., Камалетдинов В.А., Сластенов Ю.Л., Щербаков О.И.* Геологическое строение Большого Якутска // Региональная геология Якутии. Якутск: Изд-во Якутского гос. ун-та, 1995. С. 3–20.

5. *Спектор В.В., Бакулина Н.Т., Спектор В.Б.* Рельеф и возраст аллювиального покрова долины р. Лены на «Якутском разбое» // Геоморфология. 2008. № 1. С. 87–94.

6. *Петров С.Б., Безрук Л.Н.* Отчет по изучению, детальному картированию и прогнозированию развития экзогенных геологических процессов на территории Большого Якутска в 1983–1985 гг. Т. I (текст отчета) / ПГО «Якутскгеология», инв. № 6848. 223 с.

7. *Инструкция по применению электроразведки при инженерных изысканиях в строительстве.* Постоянный ток и естественное поле. Республиканские строительные нормы. РСН 43-74. М.: Изд-во Госстроя РСФСР, 1975. 120 с.

8. *Инструкция по электроразведке / под ред. Г.С. Франтова.* Л.: Недра, 1984. – 534 с.

9. *Пылаев А.М.* Руководство по интерпретации вертикальных электрических зондирований. Изд. 2-е, испр. М.: Недра, 1968. 148 с.

10. *Кулаичев А.П.* Методы и средства комплексного анализа данных. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во ФОРУМ; ИНФРА-М, 2006. 512 с.

11. *Мельчинов В.П., Башкуев Ю.Б., Ангархаева Л.Х., Буянова Д.Г.* Электрические свойства криолитозоны Востока России в радиодиапазоне. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2006. 258 с.

12. *Гриб Н.Н., Самохин А.В.* Физико-механические свойства углевмещающих пород Южно-Якутского бассейна. Новосибирск: Наука, 1999. 240 с.

13. *Якупов В.С.* Исследование мерзлых толщ методами геофизики. Якутск: Изд-во ЯФ СО РАН, 2000. 336 с.

References

1. *Grinenko V.S., Kamaletdinov V.A., Shcherbakov O.I.* Geologicheskaya karta Yakutii. Masshtab 1 : 500 000. Tsentralno-Yakutskiy blok, St. Petersburg, 1993.

2. *Solovyev P.A.* Kriolitizona severnoy chasti Leno-Amginskogo mezhdurechia. M.: Izd-vo AN SSSR, 1959. 144 p.

3. *Korzhuiev S.S.* Geomorfologiya doliny sredney Leny i prilgayushchikh rayonov. M.: Izdatelstvo Akademii nauk SSSR, 1959. 151 p.

4. *Grinenko V.S., Kamaletdinov V.A., Slastenov Yu.L., Shcherbakov O.I.* Geologicheskoye stroeniye Bolshogo Yakutsk // Regionalnaya geologiya Yakutii. Yakutsk, Izd-vo Yakutskogo gos. un-ta, 1995. P. 3–20.

5. *Spektor V.V., Bakulina N.T., Spektor V.B.* Geomorfologiya. 2008. N 1. P. 87–94.

7. *Instruktsiya po primeneniyu elektrorazvedki pri inzhenernykh izyskaniyakh v stroitelstve.* Postoyanny tok i

СТАТИСТИКА УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МЕРЗЛЫХ РЫХЛЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

estestvennoye pole. Respublikanskiye stroitelnyye normy. RSN 43-74. M.: Izd-vo Gosstroya RSFSR, 1975. 120 p.

6. *Petrov S.B., Bezruk L.N.* Otchet po izucheniyu, detalnomu kartirovaniyu i prognozirovaniyu razvitiya ekzogennykh geologicheskikh protsessov na territorii Bolshogo Yakutska v 1983-1985 gg. T. I. Tekst otcheta. Yakutsk, PGO Yakutskgeologiya, inv. № 6848, 223 p.

8. *Instruktsiya po elektrorazvedke* / Ed. G.S. Frantov. Le.: Izd-vo Nedra, 1984. 534 p.

9. *Pylayev A.M.* Rukovodstvo po interpretatsii vertikalnykh elektricheskikh zondirovaniy. Izd. vtoroye, isprav. M.: Izd-vo Nedra, 1968. 148 p.

10. *Kulaichev A.P.* Metody i sredstva kompleksnogo analiza dannykh, 4-e izd. M.: Izd-vo FORUM; INFRA-M, 2006. 512 p.

11. *Melchinov V.P., Bashkuyev Yu.B., Angarkhayeva L.Kh., Buyanova D.G.* Elektricheskiye svoystva kriolitozony Vostoka Rossii v radiodapazone. Ulan Ude: Izd-vo BNTs SO RAN, 2006. 258 p.

12. *Grib N.N., Samokhin A.V.* Fiziko-mekhanicheskiye svoystva uglevmeshchayushchikh porod Yuzhno-Yakutskogo basseyna, Novosibirsk, Nauka, 1999, 240 p.

13. *Yakupov V.S.* Issledovaniye merzlykh tolshch metodami geofiziki. Yakutsk: Izd-vo YaF SO RAN, 2000. 336 p.

Поступила в редакцию 27.05.2019

Принята к публикации 21.06.2019

Об авторе

НЕРАДОВСКИЙ Леонид Георгиевич – доктор технических наук, старший научный сотрудник лаборатории инженерной геокриологии, Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, 677010, Якутск, ул. Мерзлотная, 36, leoner@mpi.ysn.ru, L031950N@yandex.ru

About author

NERADOVSKII Leonid Georgievich, Doctor of Technical Sciences, Senior Reseacher, P.I. Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 36 Merzlotnaya str., Yakutsk, 677010, Russia, leoner@mpi.ysn.ru

Информация для цитирования

Нерадовский Л.Г. Статистика удельного электрического сопротивления мерзлых рыхлых отложений и осадочных пород долины реки Лены «Туймаада» // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2019, том 27, № 2. С. 49–55. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-2-4>

Citation

Neradovskii L.G. Statistics of the resistivity of frozen loose sediments and sedimentary rocks in the Tyumaada valley of the Lena river // Arctic and Subarctic natural resources. 2019, vol. 24, No. 2. pp. 49–55. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-2-4>

Геотехнология, обогащение полезных ископаемых

УДК 622.73

DOI 10.31242/2618-9712-2019-24-2-5

Экспериментальные исследования по интенсификации процессов измельчения в ступенчатой центробежной мельнице

А.И. Матвеев, В.Р. Винокуров

*Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, Якутск, Россия
vaviro@mail.ru*

Аннотация. Приведены результаты экспериментальных исследований процессов измельчения при многократном динамическом воздействии, реализованном в центробежной ступенчатой мельнице конструкции ИГДС СО РАН. Для повышения эффекта измельчения предложена установка дополнительных отбойных элементов на рабочих органах мельницы, что, однако, не всегда решает проблему, сказывается негативное влияние формирующихся воздушных потоков в рабочем пространстве между верхними и нижними рабочими органами. Опытными конструкторскими работами установлено рациональное количество дополнительных отбойных элементов, определяемое критическим значением скорости воздушного потока в рабочей камере лабораторной ступенчатой мельницы до 10 м/с. При соблюдении этих условий достигается значительное повышение степени измельчения в сравнении с базовым вариантом лабораторной центробежной ступенчатой мельницы без отбойных элементов.

Ключевые слова: центробежные мельницы, конструкция, измельчение, рабочие органы, эффективность измельчения, скорости вращения, частицы, измельченный материал, экспериментальные исследования.

DOI 10.31242/2618-9712-2019-24-2-5

Experimental studies on the intensification of grinding processes in a step centrifugal mill

A.I. Matveev, V.R. Vinokurov

*N. V. Chersky Mining Institute of the North, SB RAS, Yakutsk, Russia
vaviro@mail.ru*

Abstract. Results of the experimental studies of grinding processes under multiple dynamic impact in a centrifugal step mill designed at the MIN SB RAS are reported. To enhance the grinding effect, it is proposed to mount additional baffle elements at the movable bodies of the mill. However, this is not always a solution of the problem because there is a negative effect of air flows formed in the working space between the upper and lower movable bodies. A rational number of additional baffle elements, determined by the critical air flow rate in the working chamber of the laboratory step mill which should be up to 10 m/s was determined in research and development works. Under these conditions, a substantial increase in grinding degree is achieved, in comparison with the basic version of the laboratory centrifugal step mill without baffle elements.

Key words: centrifugal mill, design, grinding, working bodies, grinding efficiency, rotation speed, particles, crushed material, experimental studies.

Введение

Процессы измельчения являются самыми распространенными и очень энергоемкими операциями в технологических процессах. На измельчение ежегодно тратится не менее 4 % всей производимой энергии в мире. Для конкретных горных предприятий доля энергии, затрачиваемая на измельчение исходного сырья, составляет существенную величину – до 50 % и выше. Такая большая доля в общем энергетическом балансе подчеркивает важность данного передела, и вопрос совершенствования измельчительного оборудования всегда был и остается важной задачей, требующей новых решений и подходов [1–5]. В настоящее время многие исследования направлены на разработку малогабаритных и высокоэффективных измельчителей, наибольшее распространение среди которых получили центробежные измельчители ударного действия [6–11]. Это связано с тем, что они наименее энергозатратны, просты по конструкции и имеют небольшие габаритные размеры при относительно высокой производительности.

Большинство существующих ударных мельниц для измельчения в своих конструктивных решениях не учитывают многообразие физико-механических свойств измельчаемого сырья и реализуют ограниченные одно-двухактные механические воздействия, недостаточные для эффективного разрушения геоматериала. Повышение эффективности измельчения невозможно без новых решений в центробежных измельчителях, в частности, без совершенствования конструкций рабочих органов и определения рациональных технологических параметров работы измельчительных установок.

Большое влияние на эффективность работы центробежных ударных мельниц, кроме физико-механических свойств разрушаемого геоматериала [12, 13], оказывают многие технологические параметры измельчительных установок, такие как геометрические размеры, конструктивные особенности [14] и окружная скорость вращения рабочих органов, а также скорость формирующегося воздушного (аэродинамического) потока в рабочей камере мельницы, зависящая от рабочих режимов центробежной мельницы [15, 16].

В данной работе приведены результаты экспериментальных исследований по определению влияния установки дополнительных отбойных элементов и скорости воздушного потока на эф-

фективность измельчения в центробежной ступенчатой мельнице. Центробежная ступенчатая мельница разработана в лаборатории ОПИ ИГДС СО РАН [17–19], в ней реализован способ организации многократного ударного динамического воздействия на разрушаемый материал [20–23]. Целью нашей работы является определение рациональных конструктивных и технологических параметров центробежной ступенчатой мельницы для повышения эффективности измельчения.

Материалы и методика экспериментальных исследований

Центробежная ступенчатая мельница ударно-отражательного действия (рис. 1) состоит из герметичного цилиндрического разборного корпуса 1, верхняя загрузочная часть которого выполнена в виде утопленной втулки 2 по оси, с бункером 3, с фиксированным электродвигателем 4 на верхней поверхности так, чтобы привод 5 находился внутри корпуса, с разгрузочными отверстиями 6 на днище корпуса.

Внутренняя поверхность верхнего ротора выполнена ступенчатой формы, на вертикальной окружной стенке каждой ступени под углом расположены отбойные элементы. Верхний рабочий

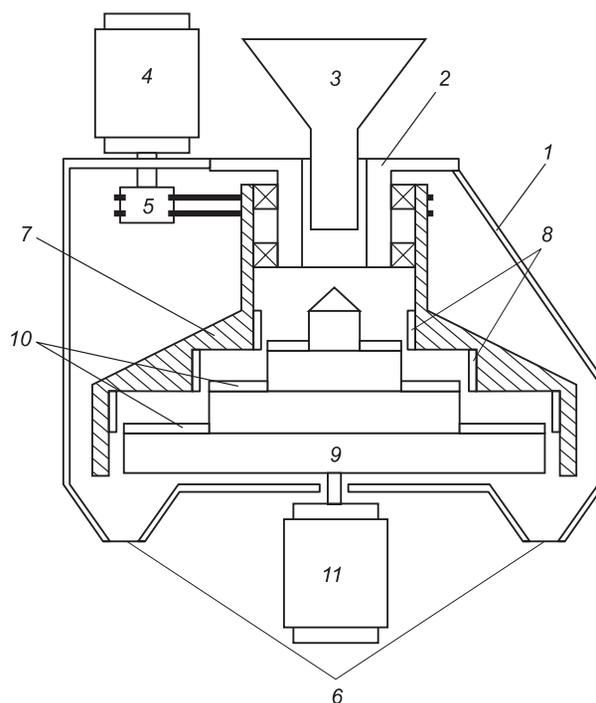


Рис. 1. Принципиальная конструкция ступенчатой центробежной мельницы.

Fig. 1. The basic design of a stepped centrifugal mill.

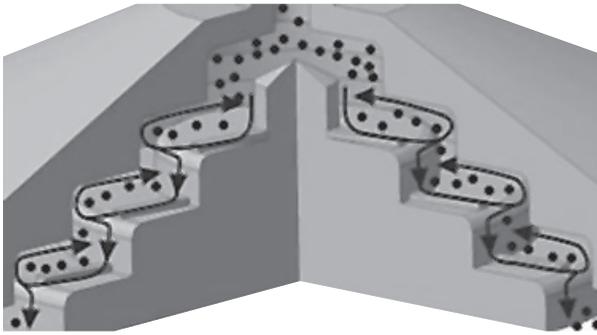


Рис. 2. Рабочая камера центробежной ступенчатой мельницы.

Fig. 2. Working chamber of a centrifugal speed mill.

орган вращается от привода верхнего электродвигателя.

Нижний рабочий орган 9 представляет собой ступенчатый конус с отбойными элементами 10 на каждой ступени и вращается противоположно по отношению к верхнему рабочему органу от двигателя 11, установленного по оси на нижней части корпуса. Верхний и нижний рабочие органы установлены соосно таким образом, что уровни кромок ступеней в них примерно совпадают и за счет разности наружного диаметра ступени нижнего ротора и внутреннего диаметра ступени верхнего ротора образуют рабочую камеру (рис. 2).

В процессе работы исходная дезинтегрируемая порода загружается в приемный бункер 3 и поступает в мельницу через загрузочную втулку корпуса 2 на верхнюю ступень вращающегося нижнего рабочего органа 9, где куски породы при помощи радиально установленных отбойных элементов приобретают максимальную радиальную скорость в крайней точке ступени и, выбрасываясь от нее, испытывают вероятные жесткие нормальные удары о вставные отбойные плиты 8, закрепленные на внутренней стенке ступени противоположно вращающегося верхнего рабочего органа 7.

Нераздробленные куски породы отскакивают, и снова получают удары о ребра разгонного диска и возвращаются обратно до тех пор, пока не раздробятся, а раздробленные частицы за счет потери импульса выпадают на вторую ступень разгонного диска, от которого выстреливаются и встречают удар об отбойные плиты соответствующей ступени верхнего рабочего органа. Процесс продолжается, пока не разгрузится дезинтегрированная порода под воздействием центробежных сил

с последней ступени нижнего рабочего органа и не удалится через разгрузочные отверстия на днище корпуса. Корпус герметизируется для предотвращения выброса пыли наружу.

При экспериментальных исследованиях в лабораторной ступенчатой мельнице с диаметром нижнего рабочего органа 180 мм и верхнего рабочего органа 200 мм использовались навески черносланцевой руды массой 150 г и крупностью $-3+2,5$ мм. Измельчение происходило в мельнице с установкой разного количества дополнительных съемных отбойных элементов на каждой ступени нижнего рабочего органа. Для регулировки частоты вращения рабочих органов мельницы использовались лабораторные автотрансформаторы, частоты вращения замерялась тахометром АДС-лаб. Замеры скорости воздушных потоков при разной окружной скорости вращения рабочих органов мельницы производились в точках разгрузки мельницы с помощью анемометра АТТ-1004. Для обработки измельченных проб применялся ситовый анализатор со стандартной методикой определения гранулометрического состава.

Результаты исследований и их обсуждение

При экспериментальных исследованиях по определению влияния скорости воздушного потока на эффективность измельчения в базовом варианте лабораторной центробежной ступенчатой мельнице без отбойных элементов получены следующие результаты.

В табл. 1 показано возрастание скорости воздушного потока при увеличении окружной скорости вращения нижнего рабочего органа в сту-

Таблица 1

Значения скоростей воздушного потока при неподвижном верхнем рабочем органе

Table 1
Values of airspeed while stationary top working body

Частота оборотов, об/мин	Скорость воздушного потока, м/с
1000	2,78
2000	4,56
3000	5,75
4000	6,98
5000	8,19
6000	11,26
7000	14,21

Таблица 2

Значения скоростей воздушного потока при разной окружной скорости вращения верхнего рабочего органа

Table 2

Values of airspeed at different peripheral speeds rotation of the upper working body

Частота оборотов, об/мин	Скорость возд. потока, м/с
500	8,22
1000	8,89
1500	9,14
2000	9,49
2500	10,11
3000	11,42

пенчатой мельнице с неподвижным верхним рабочим органом.

В табл. 2 представлены значения скоростей воздушного потока при разной окружной скорости вращения верхнего рабочего органа в ступенчатой мельнице с наиболее рациональной частотой вращения нижнего рабочего органа 5000 об./мин.

Выход контрольного класса крупности $-0,071$ мм с частотой вращения нижнего рабочего органа 5000 об./мин и верхнего рабочего органа в диапазон с 500 об./мин до 3000 об./мин представлен на рис. 3.

Установлено (см. рис. 3), что при увеличении числа оборотов начиная с 1500 об./мин происходит повышение измельчения, характеризующееся увеличением выхода класса крупности $-0,63 + 0,315$ мм. При этом после более 2000 об./мин повышения эффективности измельчения практически не происходит. Такой предел эффективности измельчения происходит из-за увеличения скорости воздушного потока в рабочей камере ступенчатой мельницы, который выносит из зоны измельчения неразрушенные частицы геоматериала.

Таким образом, экспериментальным путем определены рациональные окружные скорости вращения рабочих органов ступенчатой мельницы и предел скорости воздушного потока в рабочей камере лабораторной ступенчатой мельницы до 10 м/с, при превышении которого нарушаются условия образования циркуляции потоков измельчаемых частиц, вследствие чего эффективность измельчения снижается.

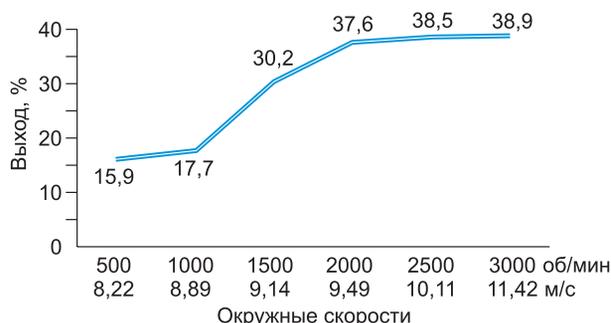


Рис. 3. Выход контрольного класса крупности $-0,071$ мм при разной окружной скорости верхнего рабочего органа.

Fig. 3. The output of the control class size -0.071 mm with different peripheral speed of the upper working body.

Далее были проведены экспериментальные исследования влияния установки дополнительных отбойных элементов на эффективность измельчения в лабораторной центробежной ступенчатой мельнице. Исследования проводились без и с разным количеством дополнительных отбойных элементов в нескольких вариантах от 4 до 10 отбойных элементов на каждый ступени нижнего рабочего органа, при наиболее рациональных скоростях вращения верхнего рабочего органа 2000 об./мин и нижнего 5000 об./мин.

На рис. 4 представлены два варианта рабочих органов: без установки отбойных элементов; с восемью отбойными элементами на каждой ступени.

На рис. 5 представлены сравнительные результаты измельчения в лабораторной ступенчатой мельнице с разными вариантами отбойных элементов.



Рис. 4. Рабочие органы ступенчатой мельницы с дополнительными отбойными элементами: *a* – без отбойных элементов; *б* – с установкой 8 отбойных элементов.

Fig. 4. Working bodies of a step mill with additional fender elements: *a* – Without fender elements; *б* – with the installation of 8 fender elements.

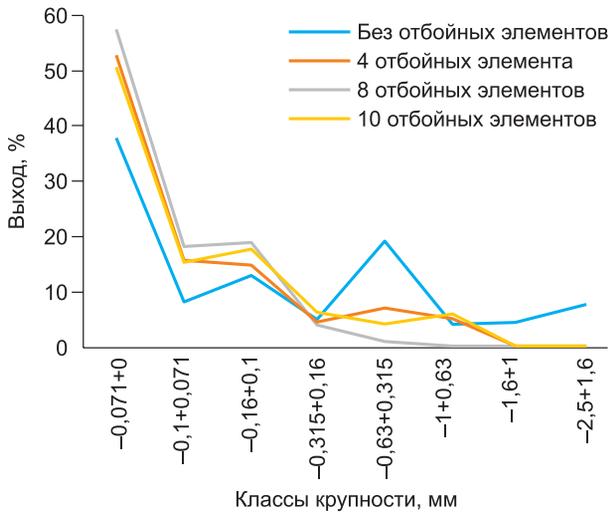


Рис. 5. Сравнительные результаты измельчения в лабораторной ступенчатой мельнице.

Fig. 5. Comparative results of grinding in the laboratory step mill.

По результатам измельчения видно, что при измельчении с установкой восьми отбойных элементов по сравнению с другими вариантами в продуктах измельчения практически отсутствует класс крупности +0,315 мм, с переходом его в более мелкие классы крупности, за счет чего происходит значительное повышение степени измельчения (см. рис. 5).

В табл. 3 представлены полученные значения скоростей воздушного потока в рабочей камере ступенчатой мельницы без и с установкой отбойных элементов. В табл. 4 приведены сравнительные данные по степени измельчения и выходу контрольного класса крупности -0,071 мм.

По таблицам 3 и 4 видно, что при установке и увеличении числа отбойных элементов меняются аэродинамические характеристики вращающихся рабочих органов ступенчатой мельницы при одних тех же наиболее рациональных скоростях вращения верхнего рабочего органа 2000 об./мин и нижнего 5000 об./мин, из-за чего происходит постепенное возрастание скорости воздушного потока в рабочей камере установки, также повышаются степень измельчения и выход контрольного класса крупности 0,071 мм. Установка отбойных элементов позволяет избежать проскока неразрушенных частиц и создает необходимые условия для циркулирования частиц на уровне каждой ступени в режиме самоизмельчения и динамических нагрузок. Однако после увеличения количества отбойных элементов более восьми начинает сказываться негативное влияние образующегося воздушного потока, критический уровень которого составляет 10 м/с, при превышении данного уровня показатели измельчения снижаются.

Таким образом, экспериментальным путем было определено рациональное количество от-

Таблица 3
Значения скоростей воздушного потока с установкой разного количества отбойных элементов

Table 3
Values of airspeed with the installation of a different number of breaker elements

Количество отбойных элементов	Скорость возд. потока, м/с
—	9,4 м/с
4	9,7 м/с
8	10,2 м/с
10	11,9 м/с

Таблица 4
Сравнение продуктов измельчения по степени измельчения и выхода контрольного класса крупности

Table 4
Comparison of grinding products according to the degree of grinding and exit control class size

Рабочие органы	Степень измельчения ($i = d_H/d_K$)	Выход контрольного класса крупности 0,071 мм, %
Без отбойных элементов	2	37,6
С 4 отбойными элементами	4,2	52,27
С 8 отбойными элементами	9,5	57,31
С 10 отбойными элементами	3,7	50,2

бойных элементов, определяемое критическим значением скорости воздушного потока в рабочей камере лабораторной ступенчатой мельницы до 10 м/с.

Заключение

Экспериментальными исследованиями установлено значительное повышение степени измельчения в лабораторной центробежной ступенчатой мельнице многократного ударного действия за счет установки и определения рационального количества дополнительных отбойных элементов, необходимых для организации рациональных условий интенсификации динамических контактов разрушаемых частиц с рабочими органами. Также экспериментально установлена зависимость эффективности измельчения геоматериалов в лабораторной центробежной ступенчатой мельнице от скорости воздушного потока в рабочей камере при разных окружных скоростях вращения рабочих органов мельницы позволяет определить наиболее рациональные рабочие режимы работы и повысить эффективность работы ступенчатой центробежной мельницы.

Литература

1. Кафаров В.В., Дорохов И.Н., Арутюнов С.Ю. Состояние и перспективы комплексных системных исследований процессов измельчения сыпучих материалов // Журнал ВХО им. Д.И. Менделеева. 1988. Т. XXXIII. № 4. С. 362.
2. Кулебакин В.Г. Применение механохимии в гидрометаллургических процессах. Новосибирск: Наука, 1988. 271 с.
3. Смирнов Н.М. Совершенствование процессов и оборудования для ударного измельчения материалов различной абразивности: Дис. д-ра техн. наук. Иваново, 1997. 390 с.
4. Смирнов Н.М. Пути совершенствования измельчителей ударного действия // Межд. конф. «Теоретические и экспериментальные основы создания нового оборудования».
5. Царицин В.В. Технологическое разрушение горных пород. Киев: Техника, 1964. 68 с.
6. Барон Л.И., Коняшин Ю.Г. Научные основы рациональных режимов разрушения горных пород механическими способами при динамическом приложении нагрузки. М.: Ин-т горного дела им. Скочинского, 1986. 57 с.
7. Барон Л.И., Веселова Г.М., Коняшин Ю.Г. Экспериментальные исследования горных пород ударом. М.: АН СССР, 1962. 219 с.
8. Власов О.Е., Смирнов С.А. Сравнение показателей работ различных измельчителей // Теор. основы хим. технологии. 1986. Т. 2, № 4. С. 831–837.
9. Гуюмджян П.П. Закономерности разрушения одиночных частиц ударом // Сб. трудов Ивановской государственной архитектурно-строительной академии. Иваново: ИГАСА, 1999. С. 38–41.
10. Ладаев Н.М., Ваганов Ф.А., Гуюмджян П.П. О давлении, возникающем в хрупком материале при ударе // Информационная среда вуза. XV Международная научно-техническая конференция. Иваново, 2008. С. 833–836.
11. Ладаев Н.М., Гуюмджян П.П., Жбанова Е.В. О критерии разрушения одиночных частиц хрупких материалов ударом // Информационная среда вуза. XV Международная научно-техническая конференция Иваново. 2008. С. 837–839.
12. Oliveira J.F.G., Silvab R.J., Duoc C., Hashimoto's F. Manufacturing Technology // Industrial Challenges in Grinding. 2009. V. 58, Iss. 2. P. 663–680.
13. Buss B. Uber die Einzelkornprall zerkleinerung von Steinsalz und anderen Stoffen, Bergakademie. 1980. V. 22, № 10. P. 592–598.
14. Hoon Lee, Heechan Cho, Jihoe Kwon. Powder Technology. Using the discrete element method to analyze the breakage rate in a centrifugal/vibration mill/ Department of Energy Systems Engineering, Seoul National University, South Korea. Seoul. 2010. V. 198, Iss. 3. P. 364–372.
15. Abiljanuly T.A., Abilzhanov D.T., Alshurina A.S. To determining air flow rate in a forage shredders // Scientific proceedings II International scientific and Technical conference “Agricultural machinery”. Varna, Bulgaria, 2014. P. 30–34.
16. Потапов В.Я., Ляпцев С.А. Математическое описание поведения рудных частиц в воздушном потоке разделительных аппаратов // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 1. С. 7–10. URL: www. Scienceducation.ru/101-5493.
17. Патент №2150323 7 В 02 С 13/20. Центробежный измельчитель встречного удара / Матвеев А.И., Григорьев А.Н., Филиппов В.Е. / Ин-т горн. дела Севера СО РАН. Заявл. 28.10.97; Опубл. 10.06.2000 // Изобретения. Полезные модели. 2000. № 16, ч. 2. С. 268.
18. Матвеев А.И., Львов Е.С., Винокуров В.Р. Новое в рудоподготовке – аппараты дробления и измельчения многократного ударного действия // Горн. информ.-аналит. бюл. 2016. № 8 (спец. выпуск № 21). С. 242–252.
19. Патент № 2198028, 7 В 02 С 13/20. Центробежный измельчитель. Матвеев А.И., Григорьев А.Н., Винокуров В.Р. / Ин-т горн. дела Севера СО РАН. Заявл. 11.01.01; Опубл. 10.02.2003 // Изобретения. Полезные модели. 2003. № 4, ч. 2. С. 338.
20. Ревнивцев В.И., Гапонов В.Г., Загоратский Л.П. и др. Селективное разрушение минералов. М.: Недра, 1988. 286 с.
21. Газалеева Г.И., Цыпин Е.Ф., Червяков С.А. Рудоподготовка. Дробление, грохочение, обогащение. Екатеринбург: ООО «УЦАО», 2014. 914 с.

22. *Saravacos G., Kostaropoulos Ath.E.* Handbook of Food Processing Equipment/Part of the series Food Engineering Series Date: 30 December 2015/Mechanical Processing Equipment, 2015. P. 149–232.

23. *Хопунов Э.А.* Новый взгляд на процессы переработки минерального сырья// Современная техника и технологии. 2015. № 3 [Электронный ресурс]. URL: <http://technology.snauka.ru/2015/03/5944>

References

1. *Kafarov V.V., Dorohov I.N., Arutyunov S.Yu.* Sostoyanie i perspektivy kompleksnyh sistemnyh issledovaniy processov izmel'cheniya sypuchih materialov // Zhurnal VHO im. D.I. Mendeleeva. 1988. V. XXXIII. N 4. P. 362.

2. *Kulebakin V.G.* Primenenie mekhanohimii v gidrometallurgicheskikh processah, Novosibirsk, Nauka. 1988. P. 271.

3. *Smirnov N.M.* Sovershenstvovanie processov i oborudovaniya dlya udarnogo izmel'cheniya materialov razlichnoj abrazivnosti: dis. d-ra tekhn. nauk. Ivanovo, 1997. P. 390.

4. *Smirnov N.M.* Puti sovershenstvovaniya izmel'chitelej udarnogo dejstviya // Sb. dokladov III Mezhd. konf. "Teoreticheskie i eksperimental'nye osnovy sozdaniya novogo oborudovaniya". Ivanovo: IGHTA. 1997. P. 98.

5. *Caricin B.B.* Tekhnologicheskoe razrushenie gornyh porod Kiev: Tekhnika. 1964. P. 68.

6. *Baron L.I., Konyashin Yu.G.* Nauchnye osnovy racional'nyh rezhimov razrusheniya gornyh porod mekhanicheskimi sposobami pri dinamicheskom prilozhenii nagruzki M.: / In-t gornogo dela im. Skochinskogo, 1986. P. 57.

7. *Baron L.I., Veselova G.M., Konyashin Yu.G.* Eksperimental'nye issledovaniya gornyh porod udarom. M.: AN SSSR. 1962. P. 219.

8. *Власов О.Е., Смирнов С.А.* Сравнение показателей работ различных измельчителей // Теор. основы хим. технологии. 1986. Т. 2, № 4. С. 831–837.

9. *Guyumdzhyan P.P.* Zakonomernosti razrusheniya odinochnykh chastic udarom // Sb. trudov Ivanovskoy gosudarstvennoy arhitekturno-stroitel'noj akademii. Ivanovo, IGASA. 1999. P. 38–41.

10. *Ladaev N.M., Vaganov F.A., Guyumdzhyan P.P.* O davlenii, vznikayushchem v hrupkom materiale pri udare. Informacionnaya sreda vuza, XV Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferenciya — Ivanovo, 2008. P. 833–836.

11. *Ladaev, N.M., Guyumdzhyan P.P., Zhanova E.V.* O kriterii razrusheniya odinochnykh chastic hrupkih materialov udarom. Informacionnaya sreda vuza, XV Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferenciya Ivanovo, 2008. P. 837–839.

narodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferenciya Ivanovo, 2008. P. 837–839.

12. *Oliveira J.F.G., Silvab R.J., Duoc C., Hashimoto's F.* Manufacturing Technology // Industrial Challenges in Grinding. 2009. V. 58, Iss. 2. P. 663–680.

13. *Buss B.* Uber die Einzelkornprall zerkleinerung von Steinsalz und anderen Stoffen, Bergakademie. 1980. V. 22, № 10. P. 592–598.

14. *Hoon Lee, Heechan Cho, Jihoe Kwon.* Powder Technology. Using the discrete element method to analyze the breakage rate in a centrifugal/vibration mill/ Department of Energy Systems Engineering, Seoul National University, South Korea. Seoul. 2010. V. 198, Iss. 3. P. 364–372

15. *Abiljanuly T.A., Abilzhanov D.T., Alshurina A.S.* To determining air flow rate in a forage shredders // Scientific proceedings II International scientific and Technical conference "Agricultural machinery". Varna, Bulgaria, 2014. P. 30–34.

16. *Potapov V.Ya., Lyapcev S.A.* Matematicheskoe opisanie povedeniya rudnykh chastic v vozduzhnom potoke razdelitel'nykh apparatov // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2012. N 1. P. 7–10. URL: www.Scienceducation.ru/101-5493.

17. *Patent №2150323 7 V 02 S 13/20.* Centrobezhnyj izmel'chitel' vstrechnogo udara /Matveev A I, Grigor'ev A.N., Filippov V.E. /In-t gorn. dela Severa SO RAN. Zayavl. 28.10.97; Opubl. 10.06.2000 // Izobreteniya. Poleznye modeli. 2000. N 16, Ch. 2. P. 268.

18. *Matveev A.I., L'vov E.S., Vinokurov V.R.* Novoe v rudopodgotovke – apparaty drobleniya i izmel'cheniya mnogokratnogo udarnogo dejstviya // Gorn. inform.-analit. byul. 2016. N 8 (special'nyj vypusk N 21). P. 242–252.

19. *Patent №2198028, 7 V 02 S 13/20.* Centrobezhnyj izmel'chitel' / Matveev A.I., Grigor'ev A.N., Vinokurov V.R. /In-t gorn. dela Severa SORAN. Zayavl. 11.01.01; Opubl. 10.02.2003 //Izobreteniya. Poleznye modeli. (2003) N 4. Ch. 2. P. 338.

20. *Revnivcev V.I., Gaponov V.G., Zagoratskij L.P.* Selektivnoe razrushenie mineralov. M.: Nedra. 1988. P. 286.

21. *Gazaleeva G.I., Cypin E.F., Chervyakov S.A.* Rudopodgotovka. Droblenie, grohochenie, obogashchenie. Ekaterinburg: OOO «UCAO», 2014. P. 914.

22. *Saravacos G., Kostaropoulos Ath.E.* Handbook of Food Processing Equipment/Part of the series Food Engineering Series Date: 30 December 2015/Mechanical Processing Equipment, 2015. P. 149–232.

23. *Хопунов Э.А.* Novyj vzglyad na processy pererabotki mineral'nogo syr'ya// Sovremennaya tekhnika i tehnologii. 2015. N 3 [Elektronnyj resurs]. URL: <http://technology.snauka.ru/2015/03/5944>

Поступила в редакцию 08.05.2019

Принята к публикации 23.05.2019

Об авторах

МАТВЕЕВ Андрей Иннокентьевич, доктор технических наук, главный научный сотрудник, Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, 677980, Якутск, проспект Ленина, 43, <https://orcid.org/0000-0002-4298-599>, andrei.mati@yandex.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

ВИНОКУРОВ Василий Романович – младший научный сотрудник лаборатории «Обогащение полезных ископаемых», Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, 677980, Якутск, проспект Ленина, 43,
<https://orcid.org/0000-0001-5698-7922>, vaviro@mail.ru

About authors

MATVEEV Andrey Innokentievich, Doctor of Technical Sciences, Principal Researcher, N.V. Chersky Mining Institute of the North, SB RAS, 43 Lenina pr., Yakutsk, 677980, Russia,
<https://orcid.org/0000-0002-4298-599>, andrei.mati@yandex.ru

VINOKUROV Vasily Romanovich, Research Assistant, N. V. Chersky Mining Institute of the North, SB RAS, 43 Lenina pr., Yakutsk, 677980, Russia,
<https://orcid.org/0000-0001-5698-7922>, vaviro@mail.ru

Информация для цитирования:

А.И. Матвеев, В.Р. Винокуров. Экспериментальные исследования по интенсификации процессов измельчения в ступенчатой центробежной мельнице // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2019, том 24, № 2. С. 56–62. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-2-5>

Citation:

A.I. Matveev, V.R. Vinokurov. Experimental studies on the intensification of grinding processes in a step centrifugal mill // Arctic and Subarctic natural resources. 2019, vol. 24, No. 2, pp. 56–62. (In Russ.). <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-2-5>

Принципы ресурсосберегающего управления качеством при поставках угля в труднодоступные районы Северо-Востока России

Н.С. Батугина^{1,*}, В.Л. Гаврилов^{2,**}, С.М. Ткач²

¹Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, Якутск, Россия,
*batuginan@mail.ru

²Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, Новосибирск, Россия,
**gvlugorsk@mail.ru

Аннотация. Показано, что при поставках угля в труднодоступные районы недостаточно внимания уделяется вопросам обеспечения необходимого уровня его потребительских свойств, что приводит к экономическим потерям. Основные причины такого положения состоят в том, что современные подходы к менеджменту качества продукции используются лишь частично, а сложность и специфика цепочек длительной и многозвенной логистики учитывается в недостаточной степени. Особенности труднодоступных районов Северо-Востока России предопределяют целесообразность применения новых подходов и методов при изучении и оценке широко представленных угольных месторождений, отрабатываемых или планируемых к отработке, как правило, предприятиями небольшой мощности. На основе экспертной оценки рассчитан уровень использования принципов комплексного управления качеством угля с учетом его трансформации при разведке, добыче, обогащении и поставках в северные районы Якутии. Его низкое значение, равное 0,31, подтверждает вербальные выводы о недостаточности понимания и применения в научной и практической работе общих и локальных принципов при обеспечении качественным углем труднодоступных потребителей. Это определяет важность поиска решений, улучшающих процессы ресурсосберегающего управления, в основе которых могут быть сформулированные подходы к учету количественных и качественных изменений в потоках угля при их движении от разрезов до потребителей.

Ключевые слова: принцип, уголь, управление качеством, комплексность, удаленность, труднодоступность, экспертная оценка, уровень использования.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Республики Саха (Якутия) в рамках научного проекта № 18-45-140048 р_а.

Principles of resource-saving management of quality for coal supply to the hard-to-reach regions of the North-East of Russia

N.S. Batugin^{1,*}, V.L. Gavrilo^{2,**}, S.M. Tkach²

¹N.V. Chersky Mining Institute of the North, SB RAS, Yakutsk, Russia,
*batuginan@mail.ru

²N.A. Chinakal Institute of Mining, SB RAS, Novosibirsk, Russia,
**gvlugorsk@mail.ru

Abstract. It is shown that insufficient attention is paid to the assurance of the necessary coal quality level during coal delivery to hard-to-reach regions, which causes economic losses. The major reasons of this situation include only partial use of the modern approaches to quality management, while the complexity and specificity of the chains of long and multi-chain logistics are taken into account inadequately. The features of hard-to-reach regions of the North-East of Russia predetermine the reasonableness of the new approaches and method in the studies and evaluation of a wide range of coal deposits, under development

or planned to be developed, as a rule, by the enterprises of not very high capacity. On the basis of expert evaluation, the level of the involvement of integrated coal-quality management principles is calculated taking into account coal transformation during exploration, mining, cleaning, and delivery to the northern regions of Yakutia. The low value of this level, equal to 0,31, confirms the verbal conclusions concerning insufficient understanding and application of the general and local principles of coal delivery to hard-to-reach consumers. This defines the importance of the search for the solutions to improving the processes of resource-saving management, which may be based on the formulated approaches subject to of quantitative and qualitative changes in coal fluxes during their transportation from open-pit mines to consumers.

Key words: principle, coal, quality management, complexity, remoteness, hard-to-reach, expert evaluation, utilization level.

Acknowledgements. *The research was supported financially by Russian Foundation for Basic Research and Republic of Sakha (Yakutia) (Project No. 18-45-140048 p_a)*

Введение

Особенности труднодоступных районов Северо-Востока России предопределяют целесообразность применения новых подходов и методов при изучении и оценке широко представленных угольных месторождений, отрабатываемых или планируемых к отработке, как правило, предприятиями небольшой мощности. По сравнению с крупными средние и малые разрезы имеюткратно меньшие возможности для устойчивого развития. Их технико-экономические показатели в целом хуже, чем у более мощных структур. Уменьшение рисков при реализации проектов возможно путем более тщательного изучения и последующего использования базовых и частных принципов управления качеством на разных уровнях, которыми следует руководствоваться таким предприятиям при проектировании и разработке месторождений в полярной зоне России для удовлетворения потребностей реальных или потенциальных покупателей. Применение такого комплекса при подготовке и принятии решений позволяет хотя бы частично снизить влияние усложняющих и удорожающих производство «северных» факторов.

Цель и методы исследования

Выявить уровень и степень использования принципов комплексного ресурсосберегающего управления качеством угля при разведке, добыче, переработке и потреблении в труднодоступных районах, рассмотренных и обобщенных нормативных и справочных документах, опубликованных научных статьях, докладах и монографиях в рамках обозначенной выше проблемы и отражающих мнения их авторов, а также учитывающих результаты анализа существующего фактического положения в действующих цепочках поставок топлива.

При выполнении работы рассмотрены и проанализированы накопленные знания о принципах комплексного управления качеством, дополнительно использован анкетный опрос экспертов, отличающийся от обычно применяемых тем, что для получения оценок наряду с непосредственно экспертами (сотрудники академических институтов и высших учебных заведений Якутска горно-технического, горно-экономического профиля) использованы мнения авторов опубликованных статей, докладов и монографий.

Результаты исследования и их обсуждение

В современных быстро изменяющихся условиях развитие систем управления качеством предприятий и выпускаемой ими продукции должно представлять непрерывный процесс, требующий постоянной адаптации служб к научным, техническим, организационным и экономическим изменениям. Базовые принципы такого управления лежат на опыте и теориях, имеющих общеметодологическое и межотраслевое значение. Без знания используемых основных положений, подходов и средств невозможно построить эффективную и устойчиво работающую систему управления качеством на каждом отдельном предприятии, независимо от направления его деятельности.

В настоящее время имеется ряд толкований философского понятия «принцип» (от лат. *prīncipiūm* – основа, начало): основное, исходное положение какой-нибудь теории, учения, науки, предпосылка (принцип мышления); руководящее положение, установка в какой-нибудь деятельности; убеждение, взгляд на вещи; основная особенность в устройстве чего-либо [1–3]. В объективном смысле принцип можно рассматривать как исходный пункт, самое первое, основополагающее теоретическое знание, не являющееся ни доказуемым, ни требующим доказательства, либо как основополагающая этическая норма.

Базовые принципы управления качеством продукции

Table 1

Basic principles of product quality management

Наименование принципа	Характеристика принципа
Ориентация на потребителя (Customer focus)	Организации зависят от потребителей и должны понимать их текущие и будущие потребности, выполнять требования и стремиться превзойти их ожидания
Лидерство руководителя (Leadership)	Руководители обеспечивают единство цели и направления деятельности организации. Им следует создавать и поддерживать внутреннюю среду, в которой работники могут быть полностью вовлечены в решение задач организации
Вовлечение работников (Engagement of People)	Работники всех уровней составляют основу организации, их полное вовлечение дает возможность организации с выгодой использовать их способности
Процессный подход (Process approach)	Желаемый результат достигается эффективнее, когда деятельностью и ресурсами управляют как процессом
Постоянное улучшение (Improvement)	Постоянное улучшение деятельности организации в целом следует рассматривать как ее неизменную цель
Принятие решений, основанных на фактах (Evidence-based decision making)	Эффективные решения основываются на анализе данных и информации
Управление взаимоотношениями (Relationship management).	Для результата работы организации важны взаимоотношения с заинтересованными сторонами и управление этими взаимоотношениями. Управлять нужно и отношениями с поставщиками, и связями со всеми заинтересованными лицами для контроля их влияния на состояние организации и увеличение вероятности ее устойчивого успеха. Такие организации воспринимают внешние и внутренние контакты как партнерство, а не как отношения с поставщиком

Семь базовых принципов управления качеством определены международными стандартами ISO 9001:2015 (табл. 1) [4–5; и др.]. ISO 9000:2005 [5] определяет восьмой принцип, говорящий о «взаимовыгодных отношениях с поставщиками (mutually beneficial supplier relationships)». Этот принцип необходимо реализовывать по отношению как к внешним, так и к внутренним поставщикам.

В основе современного подхода к управлению качеством должна лежать системная ориентация всех подразделений предприятия на оправдание ожиданий потребителей и получение максимальной прибыли или эффекта. Такой подход отражается в стратегии и тактике развития организации (маркетинг, проектирование, закупки, контракты). Для каждой из составляющих проводятся анализ, оценка и планирование, направленные на улучшения.

Под управлением качеством продукции понимается планомерная и постоянная деятель-

ность по воздействию на факторы и условия, ведущие к соответствию характеристик создаваемой продукции заданным или ожидаемым требованиям. В теории и практике данной области знаний выделяется ряд последовательных этапов развития моделей (см. рисунок), где каждая последующая более сложная модель включает в себя все возможности предыдущих.

Современные подходы к управлению качеством базируются на том, что деятельность в этом направлении не может быть эффективной после того, как продукция произведена, эта деятельность должна осуществляться в ходе производства и логистики продукции. Важна и деятельность по обеспечению качества, которая предшествует производству. Качество определяется действием многих случайных, местных и субъективных факторов. Для предупреждения их влияния необходима соответствующая система управления, включающая совокупность мер постоянного воздействия на процесс создания продукта [7–10, и др.].

ПРИНЦИПЫ РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРИ ПОСТАВКАХ УГЛЯ

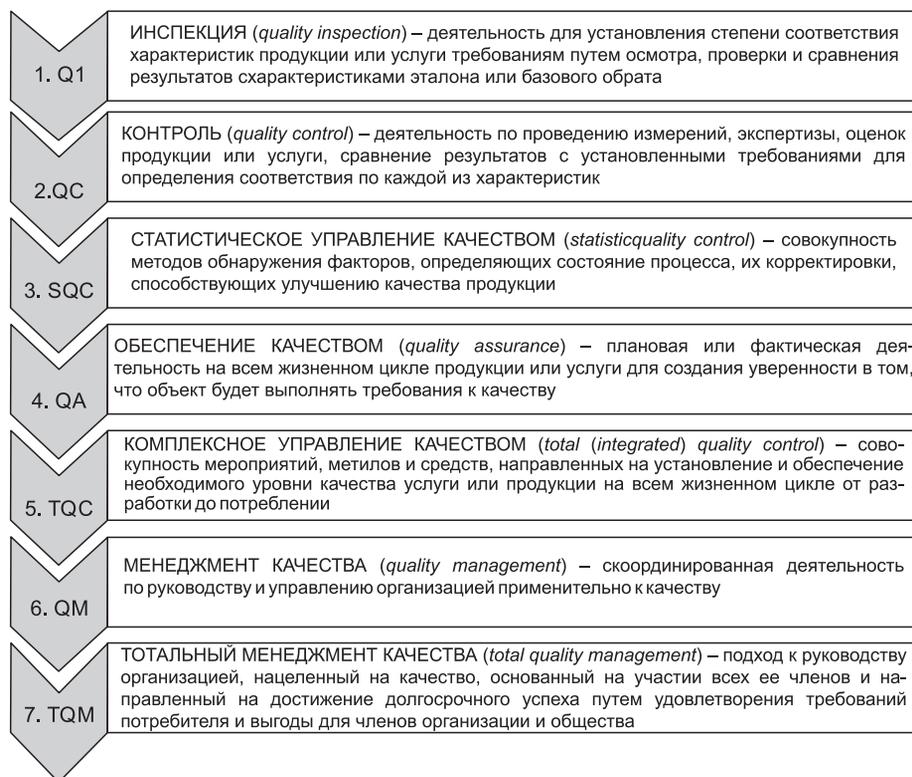


Рис. Этапы и модели развития деятельности по управлению качеством [6].

Fig. Stages and models of development of quality management activities [6].

Тотальное управление качеством входит в число критериев оценки эффективности работы передовых компаний. На Западе, как правило, считается, что сначала надо спроектировать и построить совершенное предприятие (бизнес), а затем грамотно его эксплуатировать для достижения планируемого успеха. В странах Восточной Азии такой подход не отвергают, но полагают, что спроектировать совершенный бизнес возможно только на какой-то фиксированный момент. Даже самый совершенный бизнес, стоит его только построить, сразу же требует совершенствования, чтобы быть устойчиво конкурентным. Поэтому необходимо с самого начала предусмотреть подход, который бы обеспечивал реализацию механизма непрерывного совершенствования, например, в соответствии с масштабно реализованной в японской экономике концепции «кайдзен» [11], которую можно и нужно добавить завершающим этапом в рис. 1. Кайдзен – это не эквивалент всеобщего менеджмента на основе качества. Задача менеджмента связать качество с конкурентоспособностью через триаду: качество, цена, дисциплина поставки, задача

кайдзен — непрерывно улучшать эту триаду с учетом заданных приоритетов.

Анализ существующих подходов к менеджменту качества позволяет рассмотреть его с системных позиций и поэтапно, в логической взаимосвязи «от общего к частному» перейти на уровень конкретной отрасли и предприятия с учетом их особенностей при совершенствовании или создании реально действующих систем управления.

Вопросам разработки основных принципов, которые могут и должны использоваться при управлении качеством угля, посвящены труды многих авторов [12–17; и др.]. В них с использованием различных приемов разработаны методики планирования вскрышных и добычных работ, управления различными показателями качества угля, забойного нормирования потерь и разубоживания, новые геотехнологии и их элементы, алгоритмы решения задач по стабилизации и усреднению качества угля в потоках и с применением различных накопительных емкостей, изучению предварительной углеподготовки на местах ведения горных работ как самостоятельного технологического процесса. В угольной промышленности

парадигма «качество во всем» может реализовываться последовательно: качество добываемых углей – качество переработки – качество использования – качество окружающей среды – качество жизни человека на планете [12].

В каждом элементе этой цепочки свои принципы, технологии и методы управления. Обзор иностранных источников по управлению качеством полезных ископаемых, в первую очередь зольностью угля, показал, что решению данных вопросов уделяется также много внимания. Горные предприятия имеют определенные правила обеспечения качества извлекаемого минерального сырья и применяют следующие основные подходы: невмешательства (*laissez-faire*), использования любой возможности (*catch-as-catch-can*) и систематического управления [13]. Основаны они, как правило, на стандартах ISO.

Методика комплексного процессного управления качеством угля должна предусматривать анализ ключевых квалиметрических показателей при разведке и разработке месторождений, изучение основных технологических процессов, начиная от планирования горных работ и выемки угля в забое до его потребления удаленными потребителями. В ее основе могут лежать описанные в современной литературе различные концепции менеджмента качества: система качества (Quality System); гарантия продукции (Product Assurance); всеобщий производственный менеджмент (Total Manufacturing Management); передовой производственный опыт (Good Manufacturing Practices); система управления производственными условиями (Environmental Management System); система «обеспечение ответственности лиц» (Responsible Care); всеобщий менеджмент качества в сфере охраны окружающей среды (Environmental TQM); интегрированный менеджмент процессов (Integrated Process Management); полное (сквозное, тотальное) управление качеством и производительностью (Total Quality and Productivity Management); система внедрения непрерывных улучшений (Continuous Improvement Implementation System); полное преобразование качества (Total Quality Transformation) и др. [14]. Их рациональное использование, в том числе комбинирование по различным вариантам, должно осуществляться исходя из условий функционирования конкретных цепочек поставок угля и возможностей их отдельных элементов.

Поставка угля в труднодоступные удаленные районы Якутии в заполярной зоне характе-

ризуется большими расстояниями перевозки (до 2–3 тыс. км), неосвоенностью территории, малой плотностью населения, сложной и длительной логистикой (доставка с несколькими перевалками может длиться 2,0–2,5 года), ограниченностью сроков перевозок водным и автомобильным транспортом и малым количеством потребляемого отдельными районами топлива (5–50 тыс. т в год) [18]. Во всех звеньях действующих схем возникают большие количественные и качественные потери, в целом оцениваемые в десятки процентов. Использование в котельных со слоевыми технологиями сжигания переизмельченного угля с измененным в сторону ухудшения в процессе длительной логистики качеством дополнительно снижает показатели работы цепочек поставок [19].

При добыче угля, его доставке и потреблении в удаленных районах обозначенные принципы управления качеством практически не используются, хотя формально могут обозначаться или провозглашаться. В недостаточной степени учитывается вся сложность доставки твердого топлива потребителям в удаленные и труднодоступные районы Крайнего Севера. Механический перенос принципов управления качеством в эти районы России в большинстве случаев затруднен или оказывает лишь кратковременное положительное влияние. Стандартные подходы, как правило, не дают дополнительных конкурентных возможностей, так как уже широко применяются в других регионах с более комфортными условиями для решения аналогичных задач. Из-за отсутствия нормального научно-технического сопровождения виды, значения и вес отдельных элементов технологических цепочек, возможные синергетические эффекты от объединения интересов всех участников цепочек поставок, логистические и энергетические выгоды при расчете коммерческой, бюджетной и социальной эффективности не определяются. Как следствие, требуется разработка мер, направленных если не на полное преодоление объективных сложностей, то хотя бы на их частичную нейтрализацию.

Остановимся на малой части общих и частных принципов, применимых к управлению качеством при инновационном освоении месторождений полярной зоны, синтезированных из концептуальных положений, развиваемых мировой и российской наукой [20]. Основное внимание сконцентрируем на их использовании предприятиями средней и малой мощности, преобладаю-

щими в «северных» цепочках поставок твердого топлива. Акцент связан с тем, что у данных организаций по сравнению с крупным бизнесом возможности самостоятельной корректировки принципов в рамках подготовки локальных программ развития из-за причин организационного, кадрового и финансового характера ограничены.

Общим принципом природопользования должно стать максимально возможное опережающее изучение природной среды, учет ее особенностей и закономерностей в стратегических и тактических проектах и действиях. Эколого-экономический принцип природопользования связан с максимально полным применением извлеченных полезных ископаемых при их минимальных потерях во всех технологических процессах.

Принцип экономической политики природных ресурсов: важно избегать распространенного представления об однородности ресурса, запас которого строго определяется его объемом. При анализе следует помнить, что минеральные ресурсы обычно представлены широким спектром, как правило, недостаточно изученных качественных характеристик, зависящих от геологических особенностей месторождений. В свою очередь технологические и экономические условия определяют, какие свойства ресурса являются наиболее привлекательными для разработки и использования [21] в текущий момент. Принцип системологии [17]: динамическая устойчивость и развитие горно-технических систем возможны в среде, обладающей определенным сочетанием благоприятных и неблагоприятных параметров подсистем «георесурс», «технологическое преобразование георесурса в продукты и потенциальные ресурсы», «результат», «продукт», «эффекты разного происхождения».

Первостепенную роль в комплексных исследованиях проблем освоения минеральных ресурсов, объектов и территорий играют информационные принципы, охватывающие весь жизненный цикл любого проекта. Информационный этап включает целевое накопление данных об условиях и порядке вовлечения участков недр в эксплуатацию, а также весь период их разработки. При этом направленный на информационное освоение новой территории научно-исследовательский потенциал должен быть пропорционален их ресурсному потенциалу, а не концентрации промышленного производства [22]. Освоение территорий и участков недр должно быть увязано с современными средствами компьютериза-

ции с учетом междупредметного комплексирования и кооперации. Должны использоваться и менее общие, но важные принципы информационного освоения недр [15]: принцип аналогии, означающий, что методика изучения нового участка недр избирается с учетом работ по схожим объектам, а при их отсутствии или недостаточности степени аналогии опыт не переносится без изменений; принцип последовательного приближения, означающий разбиение процесса разведки и оценки недр на стадии, в которых изучение проводится со все возрастающей детальностью; принцип выборочной детализации, заключающийся в дополнительном изучении отдельных, как правило, более сложных участков.

Особо стоит выделить принцип необходимой и достаточной точности, детальности и комплексности изучения недр в целом. Категория «необходимой и достаточной» точности часто не имеет обоснованных решений до настоящего времени, хотя исследования в этом направлении и выполняются. Проводится количественная оценка достоверности запасов угольных месторождений, уровня изученности показателей качества на основе коэффициента пространственно-информационной изменчивости и стабильности информации [16, 23].

Особые условия сложились в систематическом запаздывании в модернизации и адаптации горной техники и геотехнологий под непрерывно ухудшающиеся горно-геологические условия и вынужденный переход к отработке месторождений в новых, как правило, худших условиях. Этот принцип исследован недостаточно, что проявляется в ошибках при обосновании стратегий научно-технической политики природопользования. Принципы совершенствования и разработки новых эффективных геотехнологий должны учитывать: растущие темпы истощения месторождений традиционных видов сырья; неопределенность сценариев их альтернативного замещения; недостаточное внимание к фундаментальным исследованиям и прогнозируемым направлениям развития горной техники.

Реализация «концепции всеобщего управления качеством», охватывающей весь процесс производства от забоев до эффективного сжигания угля потребителями в труднодоступных районах предполагает совершенствование методических подходов к определению и достижению планируемого рационального уровня качества угля. Для изучения степени использования в научно-

Фрагмент анкеты для оценки уровня использования принципов управления качеством продукции

Table 2

Fragment of the questionnaire to assess the level of use of the principles of product quality management

Принцип	Да (a)	Скорее да, чем нет (b)	Не знаю (c)	Скорее нет, чем да (d)	Нет (e)
Ориентация на потребителя					
Лидерство руководителя					
Вовлечение работников					
Процессный подход					
Постоянное улучшение					
Принятие решений, основанное на фактах					
Управление взаимоотношениями					
Взаимовыгодные отношения с поставщиками					

исследовательской и практической деятельности рассмотренных принципов управления качеством угля с учетом его трансформации в цепочках поставок потребителям была составлена анкета (табл. 2). В нее был включен ряд вопросов, в том числе «Используются ли все отраженные в стандартах ISO [4, 5] восемь принципов комплексного управления качеством угля с учетом его трансформации при разведке, добыче, обогащении и поставках потребителям в научных исследованиях или практической деятельности?».

Экспертами выступили ученые и специалисты горно-технического, горно-экономического профиля из академических институтов и высших учебных заведений Якутска, а также авторы статей и монографий по данному профилю [12–17; и др.]. Полученные в результате прямого (эксперты) или косвенного (данные из публикаций) анкетирования данные обобщались для определения общего показателя степени использования основных принципов управления качеством продукции по формуле:

$$P = (a \times 1 + b \times 0,5 + c \times 0 - d \times 0,5 - e \times 1) / (n \times N),$$

где a – число положительных ответов; b – число ответов, близких к положительным; c – число нейтральных ответов; d – число ответов, близких к отрицательным; e – число отрицательных ответов; n – число вопросов в анкете; N – количество анкет.

Коэффициент P может изменяться в пределах от -1 до $+1$. Чем ближе он к единице, тем выше степень использования основных принципов управления качеством при освоении минерально-

сырьевых ресурсов в научных исследованиях и практической деятельности.

На основе индивидуальных показателей экспертной оценки уровня использования принципов комплексного управления качеством угля с учетом его трансформации при разведке, добыче, обогащении и поставках потребителям был получен общий показатель экспертной оценки, который оказался равным $0,31$. Это значение говорит о недостаточно высоком уровне использования в научных исследованиях и практике рассмотренных принципов управления качеством угля, что согласуется с ранее сделанными выводами. Индивидуальные оценки по отдельным вопросам анкеты или в целом по всей анкете могут существенно различаться. Для оценки степени согласованности мнений вычисляется дисперсия индивидуальных оценок. Большая дисперсия показателя свидетельствует о высокой степени несогласованности мнений. Причина несогласованности может быть в разном понимании вопроса, в разном отношении к вопросу, в неоднородности экспертов.

Принцип комплексного ресурсосберегающего управления качеством угля при поставках в труднодоступные транспортно- и энергоизолированные районы, том числе Якутии, может быть использован как основной при создании соответствующих систем для малых угольных разрезов. Условия функционирования как систем, так и добывающих предприятий должны быть согласованы со всеми участниками цепочек поставок местного угля, а все они должны работать как единые топливно-энергетические комплексы с

общими критериями эффективности независимо от форм собственности и ведомственной принадлежности. При этом должны в полной мере учитываться требования каждого конечного потребителя, вырабатывающего тепловую и/или электрическую энергию, а не интересы поставщиков угля и их посредников.

Заключение

Путем поэтапного движения от общих принципов менеджмента качества к принципам управления качеством минерального сырья выполнен переход к локальным задачам, связанным с комплексным управлением потребительскими свойствами твердого топлива при его поставках в удаленные и труднодоступные районы. Рассмотрена специфика таких процессов и показано, что международные и учитывающие их российские принципы управления качеством угля используются не в полной мере и не в полной мере учитывают всю сложность и специфику длительной доставки твердого топлива потребителям.

На основе индивидуальных показателей экспертной оценки рассчитан уровень использования принципов комплексного управления качеством угля с учетом его трансформации при разведке, добыче, обогащении и поставках потребителям, который равен 0,31. Это подтверждает ранее сделанные выводы о недостаточности использования в научных исследованиях и практической работе современных методов менеджмента качества при обеспечении углем труднодоступных районов Республики Саха (Якутия).

Улучшение уровня комплексного ресурсосберегающего управления качеством угля при обеспечении им труднодоступных районов возможно на основе сформулированных принципов, их использование повысит эффективность работы цепочек поставок твердого топлива и возможности управления потоками угля с учетом их трансформации, начиная от разведки и добычи и заканчивая потреблением.

Литература

1. Лопатин В.В., Лопатина Л.Е. Русский толковый словарь / В.В. Лопатин, Л.Е. Лопатина. М.: Эксмо, 2005. 928 с.
2. Ушаков Д.Н. Толковый словарь русского языка. М.: Альфа-Принт, 2005. 1216 с.
3. Новая философская энциклопедия: В 4 томах / Ред. совет: Степин В.С., Гусейнов А.А., Семигин Г.Ю.,

Огурцов А.П. и др. М.: Мысль, 2010. Т. 1. 744 с.; Т. 2. 634 с.; Т. 3. 692 с.; Т. 4. 736 с.

4. *Quality management systems – fundamentals and vocabulary*. International Standard. ISO 9001:2015 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iso.org/ru/iso-9001-quality-management.html> (дата обращения: 6.11.2018).

5. *Quality management systems – fundamentals and vocabulary*. International Standard. ISO 9000:2015. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iso.org/standard/45481.html> (дата обращения: 6.11.2018).

6. Гаврилов В.Л. Подходы к управлению качеством в инновационном развитии предприятия // «Инновационная политика хозяйствующего субъекта: цели, проблемы, пути совершенствования»: Матер. I Междунар. науч.-практ. конф. в рамках Международной специализированной выставки «Станкостроение–2011». М., 2011. С. 100–108.

7. Экономика качества. Основные принципы и их применение / Под ред. Д. Кампанеллы / Пер. с англ. М., 2005. 232 с.

8. Эванс Дж.Р. Управление качеством: учебное пособие / Пер. с англ. М.: Юнити, 2007. 671 с.

9. Деминг Э. Выход из кризиса: Новая парадигма управления людьми, системами и процессами / Пер. с англ. М.: Альпина Паблишер, 2007. 370 с.

10. Качество в XXI веке. Роль качества в обеспечении конкурентоспособности и устойчивого развития. М.: Стандарты и качество, 2004. 280 с.

11. Масааки Имаи. Кайдзен: ключ к успеху японских компаний / Масааки Имаи; Пер. с англ. М.: «Альпина Бизнес Букс», 2006. 274 с.

12. Фрейдина Е.В., Ботвинник А.А., Дворникова А.Н. Системный подход к развитию управления качеством угольной продукции // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2017. № 6. С. 13–24. DOI: 10.26730/1999-4125-2017-6-13-24

13. Zasadzien M., Midor K. Innovative application of quality management tools in a hard coal mine // 15th International Multidisciplinary Scientific Geoconference. 2015. Albena, Bulgaria, 2015. P. 415–422. DOI: 10.5593/SGEM2015/B13/S3.054

14. Щадов М.И., Фрейдина Е.В., Ботвинник А.А., Дворникова А.Н. Система управления качеством углей при открытой разработке месторождения // Уголь. 2003. № 2. С. 40–46.

15. Гриб Н.Н., Кузнецов П.Ю. Оценка изученности показателей качества угля Эльгинского месторождения // Уголь. 2016. № 9 (1086). С. 72–77. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2016-9-72-77>

16. Рогова Т.Б., Шаклеин С. В. Достоверность запасов угольных месторождений. Количественная оценка и мониторинг. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2011. 502 с.

17. Батугин С.А., Ткач С.М., Батугина Н.С., Гаврилов В.Л. Повышение эффективности освоения место-

рождений полезных ископаемых на основе системного подхода // Горн. информ.-аналит. бюл. 2012. С. 104–114.

18. Батугина Н.С., Гаврилов В.Л., Шенелева Е.Г. Малые угледобывающие предприятия в заполярных районах Якутии // ЭКО. 2017. № 2. С.134–145. DOI: <http://dx.doi.org/10.30680/ECO0131-7652-2017-2-134-145>

19. Ткач, С.М., Гаврилов В.Л. О влиянии технологических цепей «георесурс – потребитель» на потери угля при обеспечении полярных районов Якутии // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2016. № 3. Т. 1. С. 213–218.

20. Gavrilov V., Khoyutanov Ye., Batugina N. Concerning the principles of development of mineral resources in the polar zone of Russia by small enterprises // E3S Web of Conferences Conf. 56, 04014 (2018). VII International Scientific Conference “Problems of Complex Development of Georesources” (PCDG 2018). DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20185601013>.

21. Эндрес А., Квенер И. Экономика природных ресурсов. 2-е изд. СПб.: Питер, 2004. 256 с.

22. Четвериков, Л.И. Теоретические основы разведки недр. М.: Недра, 1984. 249 с.

23. Батугин С.А., Черный Е. Д. Теоретические основы опробования и оценки запасов месторождений Новосибирск: Наука. Сиб. предприятие РАН, 1998. 344 с.

References

1. Lopatin V.V., Lopatina L.E. Russkij tolkovyj slovar'. M.: Eksmo, 2005. 928 p.

2. Ushakov D.N. Tolkovyj slovar' russkogo yazyka. M.: Al'ta-Print, 2005. 1216 p.

3. Novaya filosofskaya enciklopediya: V 4 t. / Red. sovet: Stepin V.S., Gusejnov A.A., Semigin G.YU., Ogurcov A.P. i dr. M.: Mysl', 2010. V. 1. 744 p.; V. 2. 634 p.; V. 3. 692 p.; V. 4. 736 p.

4. Quality management systems – fundamentals and vocabulary. International Standard. ISO 9001:2015 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iso.org/ru/iso-9001-quality-management.html> (дата обращения: 6.11.2018).

5. Quality management systems – fundamentals and vocabulary. International Standard. ISO 9000:2015. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iso.org/standard/45481.html> (дата обращения: 6.11.2018).

6. Gavrilov, V.L. Podhody k upravleniyu kachestvom v innovacionnom razvitii predpriyatiya // «Innovacionnaya politika hozyajstvuyushchego sub'ekta: celi, problemy, puti sovershenstvovaniya»: materialy 1 Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii v ramkah Mezhdunarodnoj specializirovannoj vystavki «Stankostroenie–2011». M., 2011. P. 100–108.

7. Ekonomika kachestva. Osnovnye principy i ih primeneniye / Pod. red. D. Kampanelly / Per. s angl. M., 2005. 232 p.

8. Evans Dzh.R. Upravlenie kachestvom: uchebnoe posobie / Per. s angl. M.: YUniti, 2007. 671 p.

9. Deming E. Vyhod iz krizisa: Novaya paradigma upravleniya lyud'mi, sistemami i processami / Per. s angl. M.: Al'pina Pablisher, 2007. 370 p.

10. Kachestvo v XXI veke. Rol' kachestva v obespechenii konkurentosposobnosti i ustojchivogo razvitiya. M.: Standarty i kachestvo, 2004. 280 p.

11. Masaaki Imai. Kajdzhen: klyuch k uspekhu yaponskih kompanij / Masaaki Imai; Per. s angl. M.: «Al'pina Biznes Buks», 2006. 274 p.

12. Frejdina, E. V., Botvinnik A.A., Dvornikova A. N. Sistemnyj podhod k razvitiyu upravleniya kachestvom ugol'noj produkcii // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2017. N 6. P. 13–24. DOI: [10.26730/1999-4125-2017-6-13-24](https://doi.org/10.26730/1999-4125-2017-6-13-24)

13. Zasadzien M., Midor K. Innovative application of quality management tools in a hard coal mine // 15th International Multidisciplinary Scientific Geoconference. 2015. Albena, Bulgaria, 2015. P. 415–422. DOI: [10.5593/SGEM2015/B13/S3.054](https://doi.org/10.5593/SGEM2015/B13/S3.054)

14. Shchadov M.I., Frejdina E.V., Botvinnik A.A., Dvornikova A.N. Sistema upravleniya kachestvom uglej pri otkrytoj razrabotke mestorozhdeniya // Ugol'. 2003. N 2. p. 40–46.

15. Grib, N.N., Kuznecov P.Yu. Ocenka izuchennosti pokazatelej kachestva uglja El'ginskogo mestorozhdeniya // Ugol'. 2016. N 9 (1086). P. 72–77. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2016-9-72-77>

16. Rogova T.B., Shaklein S.V. Dostovernost' zapasov ugol'nyh mestorozhdenij. Kolichestvennaya ocenka i monitoring. Saarbrucken : Lambert Academic Publishing, 2011. 502 p.

17. Batugin, S.A., Tkach S.M., Batugina N.S., Gavrilov V.L. Povysheniye effektivnosti osvoeniya mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh na osnove sistemnogo podhoda // Gorn. inform.-analit. byul. 2012. N 9. P. 104–114.

18. Batugina N.S., Gavrilov V.L., Shepeleva E.G. Malye ugledobyvayushchie predpriyatiya v zapolyarnyh rajonah Yakutii // EKO. 2017. N 2. p. 134–145. DOI: <http://dx.doi.org/10.30680/ECO0131-7652-2017-2-134-145>

19. Tkach S.M., Gavrilov V.L. O vliyanii tekhnologicheskikh cepej «georesurs – potrebitel'» na poteri uglja pri obespechenii polyarnyh rajonov Yakutii // Fundamental'nye i prikladnye voprosy gornyh nauk. 2016. N 3. V. 1. P. 213–218.

20. Gavrilov V., Khoyutanov Ye., Batugina N. Concerning the principles of development of mineral resources in the polar zone of Russia by small enterprises // E3S Web of Conferences Conf. 56, 04014 (2018). VII International Scientific Conference “Problems of Complex Development of Georesources” (PCDG 2018). DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20185601013>.

21. *Endres A., Kvener I.* Экономика природных ресурсов. 2-е изд. СПб.: Питер, 2004. 256 p.

22. *Chetverikov, L.I.* Teoreticheskie osnovy razvedki neдр. М.: Nedra, 1984. 249 p.

23. *Batugin S.A., Chernyj E.D.* Teoreticheskie osnovy opробovaniya i ocenki zapasov mestorozhdenij. Novosibirsk: Nauka, 1998. 344 p.

Поступила в редакцию 22.04.2019

Принята к публикации 17.06.2019

Сведения об авторах

БАТУГИНА Наталья Сергеевна, доктор экономических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского СО РАН, 677980, Россия, г. Якутск, пр. Ленина, 43 <https://orcid.org/0000-0002-1367-9062>, batuginan@mail.ru;

ГАВРИЛОВ Владимир Леонидович, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, 630091, Новосибирск, Красный проспект, 54, <https://orcid.org/0000-0002-2401-455X>, gvlugorsk@mail.ru;

ТКАЧ Сергей Михайлович, доктор технических наук, и. о. директора, Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского СО РАН, 677980, Россия, г. Якутск, пр. Ленина, 43 <https://orcid.org/0000-0002-4345-901X>

About authors

BATUGINA Natalia Sergeevna, Doctor of Economical Sciences, Assistant Professor, Leading Researcher, N.V. Chersky Mining Institute of the North, SB RAS, 43 Lenina pr., Yakutsk, 677980, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-1367-9062>, batuginan@mail.ru;

GAVRILOV Vladimir Leonidovich, Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, N.V. Chersky Mining Institute of the North, SB RAS, 43 Lenina pr., Yakutsk, 677980, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-2401-455X>;

TKACH Sergei Michailovich, Dr. Sci. in Technology, Director, N. A. Chinakal Institute of Mining, SB RAS, 54 Krasnyi pr., Novosibirsk, 630091, Russia, gvlugorsk@mail.ru

Информация для цитирования

Батугина Н.С., Гаврилов В.Л., Ткач С.М. Принципы ресурсосберегающего управления качеством при поставках угля в труднодоступные районы Северо-Востока России Верхоянья // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2019, Т. 24, № 2. С. 64–73. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-2-6>

Citation

Batugina N.S., Gavrilov V.L., Tkach S.M. Principles of resource-saving management of quality for coal supply to the hard-to-reach regions of the North-East of Russia // Arctic and Subarctic natural resources. 2019, vol. 24, No. 2. pp. 64–73. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-2-6>

ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ

Ботаника, почвоведение

УДК 58.006:634.7[581.1+581.543]
DOI 10.31242/2618-9712-2019-24-2-7

Реализация потенциальной продуктивности смородины черной в условиях криолитозоны

Т.С. Коробкова

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия
korobkova_t@list.ru

Аннотация. Изучены компоненты продуктивности, расчетную и фактическую урожайность, зимостойкость, скороплодность сортов восьми генетических групп смородины черной в период 1990–2015 гг. Выявлено, что потенциальная продуктивность гибридов сибирского подвида смородины черной (*Ribes nigrum* ssp. *sibiricum* E. Wolf) и дикуши (*R. dikuscha* Fischer ex Turczaninow) была наибольшей (511,4 ц/га у Дубровской, 467,1 ц/га – Сеянца Голубки). Фактическая урожайность составляла менее 10 % от потенциальной в первые годы культивирования. Хотя потенциальная продуктивность местных видов и сортов была ниже (242,7 ц/га – сорт Сардаана), реализация ее достигала 48 %. Основные причины низкой фактической урожайности – недостаточная зимостойкость, обусловленная генотипом, а также недостаток тепла во время цветения и плодоношения, вследствие чего теряется до 45 % урожая. Местные виды смородины черной, а также сорта 4-, 5-, 8-й генетических групп зимостойки (зимостойкость 1 балл), сорта сибирского подвида – 2 балла. Общее потепление климата Центральной Якутии привело к увеличению фактического урожая. Реализация потенциальной продуктивности повысилась до 33–40 %. Установлена сильная положительная корреляция между урожайностью и количеством ягод в кисти ($r = 0,803$, $P = 0,04$), и массой ягоды ($r = 0,811$, $P = 0,05$).

Ключевые слова: Якутия, смородина черная, сорта, генетические группы, компоненты продуктивности, потенциальная и реальная продуктивность, урожайность.

DOI 10.31242/2618-9712-2019-24-2-7

Realization of the potential productivity of black-currant under the conditions of cryolithozone

T.S. Korobkova

Institute for Biological Problems of Cryolithozone, SB RAS, Yakutsk, Russia,
korobkova_t@list.ru

Abstract. Productivity components, calculated and actual productivity, winter resistance, ability to early maturing were studied for the varieties of eight genetic groups of black-currant during the years 1990–2015. It was revealed that the potential productivity of the hybrids of the Siberian sub-species of black-currant *Ribes nigrum* ssp. *sibiricum* E. Wolf and *R. dikuscha* Fischer ex Turczaninow was the highest (511,4 centners/ha for Dubrovskaya, 467,1 centners/ha for Seyanets Golubki). The actual productivity was less than 10 % of the potential level during the first years of cultivation. The productivity of local species and varieties was lower (242,7 centners/ha – Sardaana variety), its realization reached 48 %. The main reasons of low actual productivity are insufficient winter resistance due to the genotype, and the lack of heat during

blossoming and fruiting; as a consequence, up to 45 % of the yield is lost. The local species of black-currant, as well as the varieties of the 4th, 5th, 8th genetic groups, are winter-resistant (winter resistance: 1 point), the varieties of the Siberian sub-species are characterized by winter resistance of 2 points. General warming of the climate in Central Yakutia caused an increase in actual yield. Realization of the potential productivity increased to 33–40 %. A strong positive correlation between the productivity and the number of berries in a bunch was established ($r = 0,803$, $P = 0,04$), and the mass of a berry ($r = 0,811$, $P = 0,05$).

Key words: Yakutia, black currants, cultivars, genetic groups, potential and real productivity, yield, productivity components.

Введение

Якутия относится к региону со сплошным распространением многолетних мерзлых грунтов, исключение составляют лишь подрусловые талики р. Лена. Мощность мерзлоты неоднородна, на надпойменных террасах в районе г. Якутск достигает 180–240 м. Глубина сезонного протаивания почвогрунтов составляет от 2 (мерзлотные черноземы) до 0,7–1 м (мезопонижения). Активные температуры (выше 10 °С), как правило, проникают на глубину не больше 40 см и действуют кратковременно. Фиксируются они только в верхнем горизонте почвы на протяжении лишь трех месяцев. При этом ниже 40 см среднемесячные температуры всегда ниже 10 °С. Влияние мерзлоты на растения неоднозначно. Положительное влияние мерзлота оказывает на накопление воды в надмерзлотном, деятельном почвенном слое [1, 2]. В то же время отрицательные температуры мерзлоты сдерживают почвенно-биологические процессы, особенно в весенний период, приводят к деформации почвогрунтов. Вечная мерзлота является фактором, усиливающим суровость и континентальность климата. В зимнее время от подпочвенных горизонтов в приземные слои воздуха практически не поступает тепло, а в летний период тепло тратится на таяние мерзлоты, почва слабо нагревается и отдает мало тепла. Вследствие этого в ясные летние ночи возможны заморозки на почве, увеличивается разница ночных и дневных температур. В целом, климат Якутии характеризуется как резко-континентальный умеренно холодный аридный.

Якутия относится к I термической области, отличающейся следующими агроклиматическими показателями: сумма средних суточных температур > 0 °С – 1600°; $t_{\text{июля}}$ – 17,5 °С; сумма средних суточных температур > 10 °С – 1400°; продолжительность периода со средней суточной температурой > 10 °С – 94 дня; продолжительность безморозного периода – 86 дней; сумма осадков за май–сентябрь – 210 мм [3]. За последние 30 лет годовая температура приземного

воздуха в Центральной Якутии повышалась на 0,5–0,7 °С каждые 10 лет. За холодный период сумма температур повысилась на 3 °С, теплого периода – на 0,8, температура января – на 5,1 °С, самого теплого месяца, июля на 0,6 °С. Среднее количество осадков вегетационного периода увеличилось до 234,3 мм [4].

В таких жёстких климатических условиях набор сельскохозяйственных культур ограничен. Фрукты поступают из других регионов страны, ягодами же республика вполне может обеспечить себя. Среди ягодных культур предпочтение отдается видам, произрастающим в природной флоре Якутии. После брусники самой востребованной и широко распространенной в Якутии культурой является смородина, представленная семью видами – *Ribes dikuscha* Fisch. ex Turc., 1797, *R. pauciflorum* Turc. ex Pojark. (*R. nigrum* Lin. C., 1753), *R. procumbens* Pal., 1788, *R. fragrans* Pal., 1797, относящиеся к подроду смородина черная, *Eucoreosma* Jancz. G.. Кроме того, повсеместно встречается смородина красная, подрод *Ribesia* (Berl.) Jancz. G., *R. glabellum* (Traut. et Mey.) Hedl. J.T., 1901, *R. palczewskii* (Jancz. G.) Pojark. (*R. rubrum* var. *palczewskii* (Jancz. G.), 1907, *R. triste* Pal., 1797 [5].

На основе местных видов смородины выведены 4 сорта смородины черной (Якутская, Хара Кыталык, Мюрючана, Эркээни), которые включены в «Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию», 2003 г.; по комплексу признаков (урожайность, длиннокистность, повышенное содержание витамина С) выделены гибриды смородины черной и см. красной [6].

Современные сорта смородины черной должны иметь стабильную урожайность не ниже 120 ц/га, красной – не ниже 80–100 ц/га. У отдельных сортов этот показатель может достигать для красной смородины 500 ц/га, смородины черной – 10–12 т/га [7].

В реальных условиях урожайность смородины ниже, так как реализация его является следствием взаимодействия генома с условиями среды.

Генотип вида или сорта, определяющий потенциальную продуктивность особи, проявляется на фоне других биотических факторов, например, возраст куста, поражаемость вредителями и болезнями; и зависит от абиотических факторов, таких как не только погодные условия во время формирования урожая, но и условия, предшествующие вегетации, реакция на почву и удобрения, агротехники возделывания. По мнению ряда исследователей, реальная или полевая продуктивность смородины значительно ниже потенциальной и реализуется на 25–66 % [8, 9].

Целью наших исследований было выявление основных причин, влияющих на снижение потенциальной продуктивности смородины в Центральной Якутии.

Материалы и методы

Работы проводили на открытом участке плодово-ягодного питомника Якутского ботанического сада (далее ЯБС), расположенного в 7 км от г. Якутска, в течение 1990–2015 гг. Согласно агроклиматическому районированию земледельческой зоны Якутской АССР [10], этот район (IVa) характеризуется как засушливый, где все сельскохозяйственные культуры возделываются только на фоне орошения.

Схема посадки: рядковая 3 × 1.5 м, при пересчете на 1 га высаживалось 3500 растений. Почва опытного участка – мерзлотная лугово-черноземная малогумусная низко обеспеченная подвижными формами калия и азота и высоко – фосфора. Объектами исследования являлись дикорастущие виды и сорта смородины черной. Сорта различной давности создания объединены в восемь групп в зависимости от происхождения:

1 группа. *Ribes nigrum* ssp. *europaeum* – Омская, Десертная, Уралочка, Лия плодородная.

2 группа. *R. nigrum* ssp. *sibiricum*: западно-сибирский экотип – Бурая, алтайский экотип – Алтайская, восточно-сибирский экотип – Игарка, Бирусинка, Сардаана, Хара Кыталык (южно-якутская раса), Надежда, Таежная, Минусинка.

3 группа. *R. nigrum* ssp. *europaeum* × *R. nigrum* ssp. *sibiricum* (Бурая, Минская, Бердская черная).

4 группа. *R. nigrum* ssp. *europaeum* × *R. dikuscha* (Приморский чемпион, Голубка, Черная Лисавенко).

5 группа. *R. nigrum* ssp. *europaeum* × ssp. *sibiricum* × *R. dikuscha*: Сеянец Голубки, Дубровская, Дымка, Леденец Дальневосточный, Минай Шмырев.

6 группа. *R. pauciflorum* × *R. nigrum* ssp. *sibiricum* – Эркээни.

7 группа. *R. nigrum* ssp. *sibiricum* × *R. procumbens* – Мирючаана.

8 группа - *R. dikuscha* × *R. procumbens* – Якутская.

У изучаемых растений отмечали сезонный ритм, рост и развитие, зимостойкость, компоненты продуктивности [11,12]. Урожайность измеряли покустно, не менее шести кустов одного сорта. Фактическую урожайность вычисляли как реальную урожайность, собранную с одного куста и пересчитанную в ц/га. Продуктивность можно рассматривать как произведение средней массы ягод на их число на растении. Потенциальная урожайность определяется количеством генеративных почек на одном погонном метре ветвей при условии 100%-го перехода зачатков цветков в плоды.

Максимально возможная урожайность в значительной степени зависит от потенциальных возможностей сорта. Фактическая урожайность зависит от складывающихся погодных условий и условий агротехники. Растения выращивались на едином агрофоне в одинаковых условиях обеспеченности влагой. Для характеристики погодных условий исследуемых периодов использовали данные УГМС РС (Я) по г. Якутск с корректировкой по собственным датчикам ТРВ-2К (<https://www.gismeteo.ru>). Математическую обработку данных проводили по методике Г.Н. Зайцева (1984) [13] с использованием программного обеспечения Microsoft Office Excel. Уровень изменчивости признака соответственно коэффициенту вариации определяли по шкале С.А. Мамаева (1973), где очень низкий уровень изменчивости – при коэффициенте вариации равном или меньше 7 %, низкий – 8–12, средний 13–20, высокий 21–40, очень высокий – более 40 % [17].

Результаты и обсуждение

Потенциальная продуктивность сортов определялась по пятигодичным приростам, у которых измеряли длину и проводили подсчет зачатков ягод перед созреванием. Затем взвешивали навеску 100 зрелых ягод и пересчитывали на куст и 1 га. Прирост в первый год посадки саженцев существенно различался по сортам и был выше контроля. Самый большой прирост отмечали у сортов Дубровская и Лия плодородная (табл. 1).

Максимальный прирост плодоносящей древесины наблюдался на третьем году высадки у

Потенциальная урожайность смородины черной в ЯБС (1991-1995 гг.)

Table 1

The potential productivity and yield of black currants at Yakutsk botanical garden (1991-1995 years)

Сорта (посадка 1991 г.)	Σ длин приростов, м/куст		Кол-во ягод на 1 п.м* прироста		Потенциальная урожайность				Факт. урожайность, ц/га	
	1994 г.	1995 г.	1994 г.	1995 г.	кг/куст		ц/га		1994 г.	1995 г.
					1994 г.	1995 г.	1994 г.	1995 г.		
(К) <i>R. pauciflorum</i>	3,0±0,3	8,5±0,2	96±9,0	125±10,1	0,30	0,91	85,8	260,7	35,4	30,5
Сеянец Голубки	4,8±0,5	10,1±0,4	127±12,4	158±16,5	0,63	1,64	178,0	467,1	11,2	8,3
Дубровская	4,9±0,3	10,9±0,4	121±10,1	149±15,8	1,35	3,12	385	511,4	14,5	8,0
Лия плодородная	3,9±0,27	9,0±0,4	165±14,3	149±16,0	1,5	1,09	292,5	311,4	21,5	16,1
Сардаана	4,1±0,3	7,8±0,15	166±17,4	148±15,0	0,68	1,3	242,7	347,5	131	106
Бердская черная	5,2±0,41	7,5±0,23	66±6,23	98±9,3	0,53	1,22	150	371,4	33,7	31,8
Бурая дальневосточная	14,2±0,5	8,7±0,3	163±13,2	120±10,0	0,65	0,76	185,3	218,6	6,8	3,5

Примечание. * п.м. – погонный метр. Указаны средние значения признаков и стандартная ошибка.

Footnote. * The mean and standard error.

местного сорта Сардаана и см. малоцветковой, *R. pauciflorum*. По количеству ягод на 1 п.м. прироста выделились сорта Сеянец Голубки, Дубровская, Лия плодородная. В 1994 г. на 1 м прироста сорта Сардаана заложены в среднем 166 ягод, Лии плодородной – 165 шт., потенциальная продуктивность составила 0,68 и 1,3 кг/куст соответственно. В 1995 г. число ягод было примерно одинаковым, расчетный урожай был выше у Сардааны – 1,3 кг с куста против 1,09 кг. Несмотря на то что максимальная масса ягод была выше у сорта европейского подвида смородины (Лия плодородная – 0,92 г), одномерность менее крупных ягод Сардааны (0,51 г) способствовала повышению фактической урожайности сорта. Расчетная урожайность в эксперименте 1995 г. была высокой и составила у сортов Дубровская – 511 ц/га, Сеянец Голубки – 467 ц/га. Эти сорта отнесены нами к 5 группе, сложные гибриды, сочетающие геномы европейского, сибирского подвидов смородины и дикуши. Эти же сорта показали наибольший прирост плодоносящих побегов в 5-летнем возрасте.

Фактическая урожайность была значительно ниже. Реализовалось менее 10 % потенциального урожая, за исключением сорта Сардаана, выделенного на основе восточно-сибирского экотипа сибирского подвида смородины черной. Реализация урожайности ее составила от 30 до 48 % потенциальной. Потенциальная урожайность окультуренных дикорастущих видов, на

примере *R. pauciflorum*, значительно ниже, чем у сортов, однако реализация ее в тех же самых условиях выше, 12–40 %. Это свидетельствует о высокой степени приспособленности местных видов и сортов к климатическим условиям среды.

Определяющим свойством генотипа в резко-континентальном холодном климате является зимостойкость, позволяющая переносить не только морозы, но и другие неблагоприятные зимние условия. Реализация потенциала зимостойкости зависит от того, как растение реагирует на условия среды изменением роста, развития, сдвигами фаз морфогенеза; насколько эти изменения соответствуют ритму изменения погодных условий. Местные виды смородины черной, а также сорта групп 4, 5, 8, производные от скрещивания с дикушей, зимостойки (1 балл). Якутские сорта Хара Кыталык, Эркээни и Мюрючана, гибриды с сибирским подвидом смородины, также зимостойки, хотя в отдельные годы у них подмерзают верхушки однолетних побегов (зимостойкость 1–2 балла). Сорта производные европейского подвида (1 группа) наименее морозостойки. Зимостойкость их оценивается в 3б баллов, т. е. повреждается многолетняя древесина, состояние всего растения ухудшается, восстановления куста весной не происходит. Старинный европейский сорт Кент после суровой зимы 1987 г. обмерз до уровня корневой шейки и погиб.

На продуктивность сортов оказывает влияние свойство генотипа – скороплодность. Она

**Продуктивность (г) разновозрастных побегов смородины черной
(закладка опыта 2000 г., * группа по генотипу)**

Table 2

Productivity (gr.) of uneven-aged black currants branches (the beginning from 2000 year)

Возраст ветви	Сорт	Статистические данные		
		$M \pm m$	$P, \%$	$V, \%$
1-летний	Якутская (2)*	$92,4 \pm 1,68$ 85,4 – 110,0	1,82	8
	Надежда (8)	0	0	0
2-летний	Якутская (2)	$139,4 \pm 1,21$ 125,5 – 148,3	0,87	4
	Надежда (8)	$20,2 \pm 1,0$ 12,5 – 50,1	5	12
3-летний	Якутская (2)	$152 \pm 1,30$ 137,5 – 170,0	0,75	3
	Надежда (8)	$139,2 \pm 1,70$ 120,7 – 183,5	1,22	5
4-летний	Якутская (2)	$98,0 \pm 1,74$ 87,5 – 120,1	1,78	8
	Надежда (8)	$145,8 \pm 1,59$ 125,6 – 200,0	1,09	5

Примечание. В числителе – среднее значение и стандартная ошибка, в знаменателе – минимальное и максимальное значение признаков; P – точность опыта, V – коэффициент вариации.

Footnote. ** genotype group. Numerator – mean and standard error, at denominator – minimum and maximum; P – standard error of mean/mean*100 %, V – standard deviation/mean*100%

присуща якутским дикорастущим видам, сортам 4–8 групп, с генотипом см. дикуши и сибирского подвида. Растения этих групп начинают плодоносить уже на второй год, достигают максимального урожая на 4–5-й год (табл. 2).

На 4-летней ветви смородины Якутской отмечали уменьшение продуктивности (98 г), а продуктивность Надежды (145 г) была максимальной за годы наблюдения. При позднем вступлении в плодоношение долголетняя обрастающая древесина позволяет иметь хороший тип растения при укрытии их снегом в течение 10–12 лет. Без укрытия снегом сорта групп 2, 3, 8 подмерзают до уровня снегового покрова, а сорта 1 группы (европейский подвид) подмерзают и под снегом. При длительном культивировании сортов сибирской селекции их недостаточная зимостойкость приводит к оголению ветвей, плодоношение смещается в нижнюю и периферическую часть куста. Приросты на стареющей древесине становятся слабыми и короткими. 5, 6-летние скелетные ветви смородины европейских сортов имеют годичный прирост – не более

3–5 см. На них закладываются короткие кисти с мелкими ягодами. Происходит снижение урожая.

Длина кисти, число ягод на кисть, масса ягоды являются составными частями урожайности. Установлена сильная положительная корреляция между количеством ягод в кисти, масса ягод – урожайность с куста ($r = 0,803, P = 0,04; r = 0,811 P = 0,05$, соответственно). Корреляция между признаками «длина кисти – урожайность» была средней ($r = 0,4, P = 0,04$). Между собой компоненты продуктивности могут иметь и отрицательную корреляцию. Корреляция между количеством ягод в кисти и средней массой ягоды составила – 0,3–0,4, $P = 0,05$. Коэффициент корреляции этих компонентов с урожайностью положителен и составил по группе изученных сортов 0,4–0,8.

Сравнение компонентов продуктивности в 1990–1995 и 2013–2015 гг. показало, что минимальные и максимальные значения длины кисти различных сортов уменьшились, т.е. кисть стала короче, уменьшилось число закладываемых ягод, а масса ягоды увеличилась (табл. 3).

Реальная продуктивность смородины в условиях Якутского ботанического сада

Black currants productivity (gr.) in Yakutsk botanical garden

Сорт, генетическая группа	1990-1995 гг.				2013-2015 гг.			
	Пределы			Урожай, кг/куст	Пределы			Урожай, кг/куст
	Длина кисти, см	Кол-во ягод в кисти, шт.	Масса ягоды, г		Длина кисти, см	Кол-во ягод в кисти, шт.	Масса ягоды, г	
Якутская (8)	5,9–12,5	7–18	0,34–0,81	4,9	5,5–10,8	5–12	0,6–2,1	5,8
Сардаана (2)	2,5–4,1	5–15	0,3–0,51	1,9	2,2–3,8	4–8	0,5–0,8	3,7
Десертная (5)	4,2–8,7	5–9	0,6–0,87	1,3	2,8–5,8	3–4	0,8–2,1	3,2
Дубровская (5)	5,6–11,3	6–13	0,71–1,35	0,6	4,9–10,8	6–8	0,81–1,5	3,8
Минская (3)	3–7,3	3–9	0,62–1,5	0,4	2,2–6,4	3–7	0,6–0,95	0,5
Надежда(2)	4,1–7,8	4–9	1,1–2	2,6	2,8–4,9	3–6	1,1–2,5	3,1
Омская (1)	3–6,9	6–12	0,56–0,9	1,9	2,7–5,5	3–8	0,7–2,3	3,5
Сеянец Голубки (5)	3,5–8	5–8	1–1,93	1,75	3,2–6,9	4–7	1,1–2,4	4,5

Особенно часто это наблюдалось у сортов сибирского подвида – группы 2, 3, 5 (частота встречаемости 62,5 %). Коэффициент вариации длины кисти сибирского подвида составил 34,6 %, массы ягоды – 19,6 % (высокий и средний уровень изменчивости). Изменчивость длины кисти сортов производных от дикуши (8 группа) имела низкий уровень варьирования, $8\% \pm 0,20$ массы ягоды – 21,7 %, средний уровень изменчивости.

Фактический урожай с куста также увеличился. Реальная продуктивность Сардааны выросла почти в два раза, с 1,9 до 3,7 кг, Сеянца Голубки – в 2,5 раза, с 1,75 до 4,5 кг. У сорта Дубровская урожайность увеличилась почти в 6 раз, с 0,6 до 3,8 кг. Реализация потенциальной продуктивности повысилась у сортов до 33–40 %.

Увеличение урожайности инорайонных сортов может быть связано, с одной стороны, с адаптацией сортов к условиям произрастания, повышением их зимостойкости; с другой стороны, следует учитывать, что последние десятилетия наблюдается изменение погодных условий Центральной Якутии. Уменьшилась продолжительность крайне морозной (ниже $-45,2\text{ }^{\circ}\text{C}$) и жестко-морозной (от $35,5$ до $42,4\text{ }^{\circ}\text{C}$) погоды, увеличился безморозный период. Начало вегетации сортов смородины черной в настоящее время отмечается в более ранние сроки, в конце апреля – начале мая. Фазы цветения, созревания ягод проходят при более высоких суммах температур. Так, в период 1990–1995 гг. сумма активных температур на начало цветения составила

451° , на начало завязывания ягод – 1329° . В период 2013–2015 гг. эти суммы были выше, 483 и 1725° соответственно.

Местные виды и сорта смородины начинают вегетацию очень рано. Потребность в активных температурах невелика. Так, сорт Якутская начинает вегетацию при среднесуточных положительных температур $2,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, для начала вегетации им требуется от 68 до $89\text{ }^{\circ}\text{C}$ тепла. Раннее начало вегетации приводит к тому, что от возвратных заморозков весной могут гибнуть плодовые почки. В 1993 г. урожай смородины Якутской составил в среднем $0,33$ кг/куст. В течение недели с 11 по 14 мая были отмечены заморозки силой $-4, -5, -7,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Последний сопровождался выпадением снега, который пролежал почти 12 ч. Погибло более 80 % плодовых почек, сохранились лишь базальные почки, прикрытые прошлогодней листвой. Повторяемость весенних заморозков $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ в Якутске составляет 10–12 %. Весенние заморозки особенно губительны для местных сортов, инорайонные сорта зацветают в период, маловероятный для заморозков. Так, в период исследований, проведенных в Якутском ботаническом саду в 1977–1979 гг., коэффициент корреляции урожайности от заморозков, приходящихся на период цветения местного сорта Якутская, составил $0,90$, тогда как для сорта Омская (1 группа) – $0,39$.

Урожайность смородины черной также находится в прямой корреляционной зависимости и от глубины снежного покрова. Особенно тесной

эта связь оказалась в начале зимы, в декабре и январе зависимость была ниже. В весеннее время значение снежного покрова вновь увеличивается. Особенно сильно зависит от этого урожай у инорайонных сортов.

Несмотря на некоторое увеличение среднегодовой суммы выпадающих осадков, засушливость вегетационного периода года в Центральной Якутии усилилась за последнее десятилетие, что также влияет на формирование компонентов продуктивности. Так, за 19 лет исследований, 1999–2017 гг., в июне 10 лет, июле, августе 12 лет выпало осадков ниже среднемноголетних значений, в вегетационный период 6 лет выпало осадков на уровне среднемноголетних значений и лишь в 3 года – выше 6-тилетних значений [14]. Более ранние наши данные показывают, что в засушливое лето 1994 г. средняя длина кисти сорта Якутская составила 12,5 см [15]. В 2013 г. количество осадков в вегетационный период было выше нормы почти в два раза, 290 мм против 120 мм. Средняя длина кисти составила 15,8 см. Летом 2014 г. отмечалась высокая атмосферная и почвенная засуха, вследствие чего сформировались короткие кисти (4,5–9,5 см).

Первые потери урожая смородины происходят во время периода перезимовки растений и связаны с гибелью почек и вымерзанием побегов. Второй пик потерь наблюдается во время завязывания плодов. Степень завязывания ягод, вычисляемая как отношение спелых ягод на кисти к количеству цветков, различна у сортов и зависит от складывающихся погодных условий вегетации (табл. 4).

Наиболее обеспеченными теплом оказались фазы цветения и созревания ягод в 2010, 2013, 2015 гг. Эти же годы характеризуются наибольшей степенью завязывания ягод на кистях, 73–79,2 %. Недостаток тепла способствует опадению

цветков, усыханию апикальной части кистей. Местные сорта закладывают плоды, созревание ягод идет при меньшей сумме температур. Так, в 2010 г. сумма температур на начало цветения составила 224°, созревания – 1141 °С, у сорта Якутская завязалось 75–80 % ягод. Потери урожая местных видов и сортов см. черной часто вызваны высокими летними температурами (до 35 °С) и возникающей атмосферной засухой. Ягода «спекается» на кусте, кисти сохраняются лишь на нижних ветвях. Потери инорайонных сортов в этот период незначительны.

Заключение

В условиях развитой агротехники возделывания смородины в Центральной Якутии определяющую роль в развитии промышленного садоводства, основанного на высокой урожайности культур, имеет сорт, его происхождение. Сложные гибриды смородины черной, сочетающие геномы европейского, сибирского подвидов и дикуши, отличались максимальной потенциальной продуктивностью. Однако реализация потенциального урожая в местных климатических условиях составляла 10–30 % в зависимости от сорта и обусловлена недостаточной зимостойкостью сорта. Максимальная реальная продуктивность отмечена у местных сортов, имеющих в геноме дикушу. Она может составлять более 6 кг с куста. Несмотря на то что расчетная продуктивность местных видов и сортов была ниже, чем у сортов сибирской селекции, фактическая урожайность их была значительно выше. Реализация урожайности сортов Сардаана, Якутская составила 30–48 % от потенциальной. На потенциальную урожайность влияют наследственные качества, определяющие биологические особенности сортов смородины (самоплодность, скороплодность). Реализация потенциала продуктивно-

Таблица 4

Завязываемость ягод смородины черной сорта Бердская черная в Якутском ботаническом саду

Table 4

The fructification of black currant grade Berdskay chernaya in Yakutsk botanical garden

Показатель	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2015 г.
Завязалось ягод, %	73,3	54,8	66	79,2	73
Σ активных температур >10 °С на фазу цветения	323,9	311,9	248,8	362,2	330,4
Σ активных температур >10 °С на фазу созревания ягод	1344,1	687,3	611,7	1356	1158,7

сти находится в прямой зависимости от погодных условий вегетационного периода, теплообеспечения периодов цветения и закладки генеративных почек будущего урожая, периода перезимовки. Если на местные сорта и виды влияют в большей степени весенние заморозки, почвенная и атмосферная засуха, то снижение урожайности интродуцированных сортов смородины черной вызывает длительное воздействие сильных морозов, недостаточная высота снежного покрова, укороченный период вегетации, не позволяющий пройти все фазы развития в полной мере.

Статья выполнена в рамках гос. задания ИБПК СО РАН по проекту регистрационный номер: АААА-А17-117020110056-0.

Литература

1. Гаврильев П.П. Оценка реакции геосистем ледового комплекса Севера при глобальном потеплении климата и антропогенном воздействии // Обзор состояния и тенденций изменения климата Якутии. Якутск: Препринт, 2003. С. 23–29.
2. Зольников В.Г. Почвы Восточной половины Центральной Якутии и их использование // Материалы о природных условиях сельского хозяйства Центральной Якутии. М.: Изд-во АН СССР, 1954. С. 55–221.
3. Гаврилова М.К. Агробиологические ресурсы Якутской АССР. Якутск, 1973. 118 с.
4. Кириллина К.С. Современные тенденции изменения климата Республики Саха (Якутия) // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. СПб., 2013. № 30. С. 69–77.
5. Флора Сибири. Т. 7. Berberidaceae–Grossulariaceae / Л.И. Малышева, Г.А. Пешкова. Новосибирск: Наука, 1994. 312 с.
6. Коробкова Т.С., Сабарайкина С.М., Сорокопудов В.Н. Красная смородина в Якутии (систематика, география, изменчивость, интродукция): монография. Белгород: Изд-во БелГУ, 2008. 176 с.
7. Сазонов Ф.Ф., Даньшина О.В. Селекционные возможности создания сортов и форм смородины черной для машинной уборки урожая // Садоводство и виноградарство. 2016. № 2. С. 22–26
8. Родюкова О.С. Изучение адаптивного и продукционного потенциалов смородины как исходного материала для селекции и улучшения сортимента: автореф. дис... канд. биол. наук. Мичуринск, 2009. 23 с.
9. Сазонов Ф.Ф. Селекционный потенциал продуктивности смородины черной и реализация его в новых сортах // АгроXXI. 2011. № 1–2. С. 20–23
10. Зональная система земледелия Якутской АССР. Якутск, 1982. 253 с.
11. Бейдеман И.Н. Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ. Новосибирск: Наука, 1974. 153 с.

12. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. Орел, 1999. 119 с.

13. Зайцев Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1984. 424 с.

14. Коробкова Т.С. Оценка интродукции древесных дальневосточных видов в ЯБС в связи с изменениями погодных условий климата // Мат. VIII науч. конф.: Растения в муссонном климате. Антропогенная и климатогенная трансформация флоры и растительности. Благовещенск, 2018. С. 87–92.

15. Коробкова Т.С. Интродукция смородины черной в Центральной Якутии: Автореф. дис... канд. биол. наук. Новосибирск. 2001. 16 с.

References

1. Gavriliev P. P. Ocenka reakcii geosistem ledovogo kompleksa Severa pri globalnom potepnenii klimata i antropogennom vozdejstvii / Obzor sostoyaniya i tendencij izmeneniya klimata Yakutii. Yakutsk: Publ., 2003. P. 23–29.
2. Zolnikov V.G. Pochvy Vostochnoj poloviny of Central Yakutia ih ispolzovanie // Titie of the Report “Materialy o prirodnyh usloviyah selskogo hozyajstva Central Yakutia”. Moscow, Academy of Science Publ., 1954. P. 55–221.
3. Gavrilova M.K. Agrobiologicheskie resursy Yakutskoj ASSR, Yakutsk, 1973. 118 p.
4. Kirillina K.S. Sovremennye tendentsii izmeneniya klimata respubliki Saha(Yakutiya) // Uchenye zapiski gidrometeorologicheskogo universiteta. SPb., 2013. N 30. P. 69–77.
5. Flora Sibiri. Vol. 7. Berberidaceae–Grossulariaceae / ed. L.I. Malyshev, G.A. Peshkova. Novosibirsk, Nauka Publ., 1994. 312 p.
6. Korobkova T.S., Sabarajkina S.M., Sorokopudov V.N. Krasnaya smorodina v Yakutii (sistematika, geografiya, izmenchivost, introdukciya. Belgorod, BelGU Publ, 2008. 176 p.
7. Sazonov F.F., Danshina O.V. Breeding possibilities of creation varieties and forms of blackcurrant for machine harvesting // Horticulture and Viticulture. 2016. N 2. P. 22–26.
8. Rodyukova O.S. Izuchenie adaptivnogo i produkcionnogo potencialov smorodiny kak ishodnogo materiala dlya selekcii i uluchsheniya sortimenta: Dr philos.sci. diss. Michurinsk, 2009. 23 p.
9. Sazonov F.F. Seleksionnyj potentsial produktivnosti smorodiny chernoj i realizatsiya ego v novyh sortah // AgroXXI. 2011. N 1–2. P. 20–22.
10. Zonalnaya sistema zemledeliya Yakutskoj ASSR. Yakutsk, 1982. 253 p.
11. Beideman I.N. Manual on Study of Phenology of the Plants and Their Communities. Novosibirsk: Nauka Publ., 1974. 153 p.
12. Programma i metodika sortoizucheniya plodovyh, yagodnyh i orehoplodnyh kultur. Orel, 1999. 119 p.
13. Zajcev G.N. Matematicheskaya statistika v eksperimentalnoj botanike. Moscow: Nauka Publ., 1984. 424 p.

Т.С. КОРОБКОВА

14. *Korobkova T.S.* Otsenka introduktsii drevesnykh dal'nevostochnykh vidov v YABS v svyazi s izmeneniyami pogodnykh uslovij klimata //Mat. VIII nauch. konf.: Rasteniya v mussonnom klimate. Antropogennaya i kli-

matogennaya transformatsiya flory i rastitel'nosti. Blagoveshhensk, 2018. P. 87–92.

15. *Korobkova T.S.* Introdukciya smorodiny chernoj v Central Yakutia. Dr philos.sci. diss. Novosibirsk, 2001. 16 p.

Поступила в редакцию 19.02.2019

Принята к публикации 17.03.2019

Об авторе

КОРОБКОВА Татьяна Сергеевна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, зав. ботаническим садом ФГБНУ Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН (ФГБНУ ИБПК СО РАН), 677980, Якутск, пр. Ленина, д. 41, <https://orcid.org/0000-0002-6950-3429>, korobkova_t@list.ru

About author

KOROBKOVA Tatyana Sergeevna, Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Head of Botanical Garden, Institute for biological problems of cryolithozone, SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk, 677980, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-6950-3429>, korobkova_t@list.ru.

Информация для цитирования

Korobkova T.S. Реализация потенциальной продуктивности смородины черной в условиях криолитозоны//Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2019, том 24, № 2. С. 74–82. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-2-7>

Citation

Korobkova T.S. Realization of the potential productivity of black-currant under the conditions of cryolithozone. 2019, vol. 24, No. 2. pp. 74–82. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-2-7>

Типы прорастания семян растений Центральной Якутии

Д.Н. Андросова

*Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия
darija_androsova@mail.ru*

Аннотация. На основе изучения свежесобранных семян 187 видов растений Центральной Якутии выделены по характеру прорастания три группы, включающие 11 подгрупп. В основе шкалы типов прорастания семян лежат такие показатели, как начало, длительность, скорость прорастания, всхожесть и энергия прорастания семян. Отмечено, что свежесобранные семена изученных 52 видов прорастают ускоренно (I группа), замедленно (группа II) – 57, не прорастают и/или имеют слабое прорастание (группа III) – 78 видов. Для семян видов III группы предложены пути преодоления их покоя: воздушно-сухое хранение в течение 5–7 месяцев в комнатных условиях и стратификация в климатокамере при пониженных температурах 0–3 и 5 °С. В результате сухого хранения семена 23 видов прорастали ускоренно (подгруппа IIIА), 14 видов замедленно (подгруппа IIIБ), семена 27 видов показали слабое прорастание, всхожестью от 2 до 24 % (подгруппа IIIВ), и семена 14 видов с нулевой всхожестью (подгруппа IIIГ).

Ключевые слова: прорастание семян, лабораторная всхожесть семян, характер прорастания семян, стратификация семян, Центральная Якутия.

Благодарности. Работа выполнена в рамках проекта VI.52.1.8. Фундаментальные и прикладные аспекты изучения разнообразия растительного мира Северной и Центральной Якутии (0376-2019-0003; рег. Номер АААА-А17-117020110056-0).

DOI 10.31242/2618-9712-2019-24-2-8

Types of seed germination for the plants in Central Yakutia

D.N. Androsova

*Institute for Biological Problems of Cryolithozone, SB RAS, Yakutsk, Russia,
darija_androsova@mail.ru*

Abstract. On the basis of the studies of freshly collected seeds of 187 plant species in Central Yakutia, three groups including 11 subgroups were distinguished on the basis of germination features. The scale of seed germination types is based on such parameters as the start, duration, rate of germination, germinating capacity, and seed germination energy. It was detected that freshly collected seeds of the studied 52 species exhibit accelerated germination (I group), 57 species exhibit slow germination (II group), while 78 species do not germinate and/or germinate only weakly (III group). For the seeds of the species included in group III, the methods to overcome their dormancy are proposed: storage in dry air for 5–7 months under room conditions and stratification in a climatic chamber at decreased temperatures 0–3 and 5 °C. As a result of dry storage, the seeds of 23 species exhibited accelerated germination (subgroup IIIA), 14 species germinated slowly (subgroup IIIB), the seeds of 27 species exhibited weak germination, with the germination capacity 2 to 24 % (subgroup IIIC), and the seeds of 14 species revealed zero germination capacity (subgroup IIID).

Key words: seed germination, laboratory seed germination capacity, seed germination features, seed stratification, Central Yakutia.

Acknowledgements. This work was partially supported by VI.52.1.8. grant № 0376-2019-0003

Введение

Характеру прорастания семян посвящено не так много работ. В качестве критериев при группировке семян по характеру прорастания авторы указывают на скорость прорастания (быстрое или медленное) или их порционность прорастания [1–9].

М.А. Филимонов [1] объединил в пять групп семена культурных растений (сем. злаковые и бобовые) по началу прорастания, но с учетом длительности и максимума прорастания. Исследования В.В. Вихиревой-Васильковой [2] позволили выделить пять типов прорастания семян арктических растений по характеру прорастания в зависимости от всхожести и длительности прорастания. Три типа прорастания семян предложил Е. Salisbury [3]: одновременное прорастание (униmodalный тип с невысоким коэффициентом вариации); непрерывное (униmodalный тип с высоким коэффициентом вариации) и прерывистое многовершинное прорастание семян. И.В. Вайнагий [6] на примере семян арктических растений выделил группы семян по длительности прорастания и приуроченности максимума прорастания семян к началу или концу его. В классификации А.В. Попцова [4, 5] представлены два типа: нормальное (без покоя) и затрудненное прорастание семян. Шкала З.Г. Беспаловой и др. [7] включает три типа по длительности, скорости и энергии прорастания. Основываясь на этих работах, И.В. Борисова [8] на примере степных и пустынных растений Казахстана и Монголии выделила девять типов прорастания свежесобранных и хранившихся семян. Первые два типа объединяют семена с ускоренным прорастанием – взрывным и быстрым, четыре типа – семена с замедленным прорастанием (различающиеся разной приуроченностью максимальной порции в ходе прорастания к началу, середине или концу его, а также равномерным (порционным) прорастанием и три типа – со слабым прорастанием или совсем не прораставшие в свежесобранном состоянии. Е.А. Андриянова [9] на основе изучения семян растений Северо-Востока Азии выделила шесть типов, пять подтипов прорастания семян по срокам начала и окончания прорастания и характера прорастания, за основу классификации ею берется покой семян.

Целью статьи является изучение характера прорастания семян травянистых растений Центральной Якутии.

Материалы и методы исследования

Объектом наших исследований являются свежесобранные семена многолетних травянистых видов флоры Центральной Якутии. Семена для изучения были собраны в коллекции природной флоры Якутии Ботанического сада ИБПК СО РАН в 2013–2018 гг.

Изучение прорастания семян проводилось в соответствии со стандартной методикой [10] при температуре 23 ± 1 °С и естественном освещении, в чашках Петри (диаметр 9 см), в четырех повторностях по 50–100 штук (в зависимости от запаса семенного материала и размера семян) на бумажном ложе, без какой-либо предварительной обработки. Семена ставились на проращивание в день сбора, повторно – после 5–7 мес. сухого хранения. Увлажнитель – дистиллированная вода, семена увлажнялись по мере необходимости через 1–2 дня. Семя считали проросшим при наличии корешка, размер которого равен длине семени. Подсчеты проросших семян проводились ежедневно от начала до конца прорастания. Опыт считали завершенным по истечении 30 дней от последнего прорастания семени.

При слабом прорастании и отсутствии такового в лабораторных условиях семена были подвергнуты стратификации (в течение 30 дней) в климатокамере в условиях длинного дня (16 ч свет : 8 ч темнота) при температурах 0–3 и 5 °С, влажности 40 %, на влажной фильтровальной бумаге.

Для выделения типов прорастания семян нами была модифицирована классификация З.Г. Беспаловой и др. [7] и И.В. Борисовой [8]. В ходе опыта определились следующие критерии для определения характера прорастания: период до начала прорастания семян (от начала опыта до прорастания семян), продолжительность периода прорастания (от начала прорастания первого семени), всхожесть семян и энергия прорастания, дружность прорастания семян. Всхожесть оценивали по отношению количества проросших семян к количеству заложенных на проращивание, выраженному в процентах. Энергию прорастания определяли как долю (в %) семян, проросших в первые 5 дней от начала прорастания [11]. Дружность прорастания семян подсчитывали по формуле И.Г. Строна [12].

Названия видов приведены в соответствии с «Конспектом флоры Азиатской России» [13].

Результаты и обсуждение

В эксперимент были включены семена 187 видов, относящиеся к 38 семействам и 129 родам. Данные, полученные в результате лабораторного эксперимента, позволили систематизировать свежесобранные семена по всхожести и характеру прорастания на следующие группы и подгруппы

Группа I. Семена с ускоренным прорастанием, объединены в три подгруппы.

Подгруппа IA. Семена с взрывным характером прорастания. У семян отсутствует первичный покой, период до начала прорастания составляет 1–3 дня. Отличаются небольшой длительностью прорастания от 4 до 9–10 дней, с малой общей продолжительностью прорастания 6–9 (10–12) дней и очень высокой всхожестью (80–100 %) и энергией прорастания от 70 до 100 %. Дружность прорастания 10–32 % семян в день.

Таким характером прорастания обладают свежесобранные семена 17 видов (*Ephedra monosperma* С.А.Мей., *Gypsophila altissima* L. (рис. 1, а), *Viola gmeliniana* Schult., *Lepidium densiflorum* Schrad., *Potentilla multifida* L., *Chamerion angustifolium* (L.) Holub (рис. 1, б), *Plantago major* L., *Dracocephalum nutans* L., *A. vulgaris* L. (рис. 1, в), *Artemisia dracunculus* L., *Aster alpinus* L., *Chrysanthemum zawadskii* Herbich, *Heteropappus biennis* (Ledeb.) Tamamsch. ex Grub., *Jacobaea vulgaris* Gaertn., *Leontopodium ochroleucum* Beauv. subsp. *campestre* (Ledeb.) V. Khan., *Scorzonera radiata* Fisch. ex Ledeb., *Taraxacum dissectum* (Ledeb.) Ledeb.).

Наши данные по ряду видов совпадают с результатами авторов, работавших в других регионах. Быстрое и дружное прорастание семян видов полыни преимущественно из подрода *Artemisia* и *Dracunculus* отмечали авторы [14–16]. Ускоренный (взрывной) характер прорастания свежесобранных семян отмечены у *Aster alpinus* в степях Казахстана и Монголии [8] и на Колыме у *Chrysanthemum zawadskii*, *Gypsophila altissima* и *Scorzonera radiata* [9]. А.П. Стешенко [15] указывает на быстрое прорастание семян *Potentilla multifida*, произрастающей на лугах Памира. Она отмечает, что высокая всхожесть и энергия прорастания свежесобранных семян *P. multifida* (до 82 %) при высокой интенсивности освещения на Памире позволяет предположить, что в естественных условиях семена, опавшие в ранние сроки, могут прорасти сразу же в конце лета. Возможно, в связи с этим в июле–начале августа на

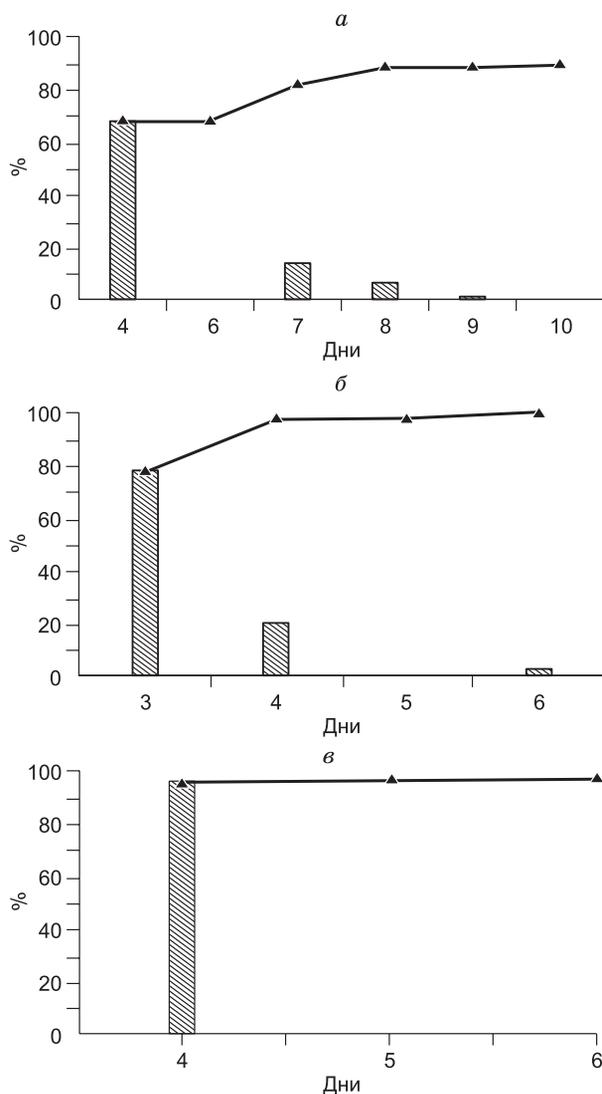


Рис.1. Семена с взрывным характером прорастания (подгруппа IA).

а – *Gypsophylla altissima*, б – *Chamerion angustifolium*, в – *Artemisia vulgaris*.

По оси ординат: % проросших семян. По оси абсцисс – дни прорастаний. Диаграммой показано число проросших семян в день наблюдений, сплошной линией – ход прорастания (% проросших семян).

Fig.1. Seeds with the explosive nature of germination (subgroup IA).

Here and in the following tables: y-axis: % of germinated seeds. On the abscissa axis – days of germination. The diagram shows the number of germinated seeds on the day of observation, the solid line shows the course of germination (% of germinated seeds).

а – *Gypsophylla altissima*, б – *Chamerion angustifolium*, в – *Artemisia vulgaris*.

влажных участках лугов в период опадения плодов наряду с другими видами появляются обильные всходы *P. multifida*. Но по некоторым видам имеются расхождения, например, по семенам

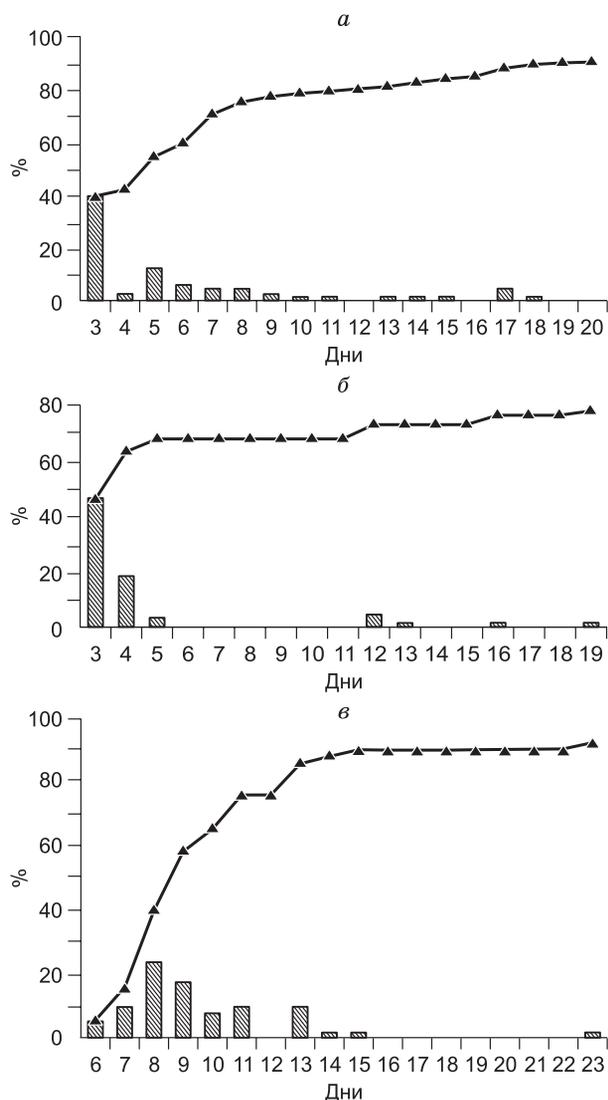


Рис. 2. Семена с быстрым прорастанием и лабораторной всхожестью 70–100 % (подгруппа ИБ). а – *Dianthus versicolor*, б – *Dracocephalum jacutense*, в – *Lilium pensylvanicum*.

Fig. 2. Seeds with rapid germination and laboratory germination of seeds 70–100 % (subgroup ИБ) а – *Dianthus versicolor*, б – *Dracocephalum jacutense*, в – *Lilium pensylvanicum*.

Ephedra monosperma. В отличие от якутских семян, которые характеризуются взрывным характером прорастания, у семян казахской популяции *E. monosperma* И.В. Борисова [8] отмечает замедленное равномерное, порционное прорастание.

Подгруппа ИБ. Семена с быстрым прорастанием и лабораторной всхожестью 70–100 %. Семена прорастают без первичного покоя, период до начала прорастания семян составляет 2–4 дня,

реже 5–6 (лишь у *Aquilegia parviflora*, *Lilium pilosiusculum* – 8 дней и *Pulsatilla dahurica* – 9). Семена отличаются небольшой длительностью прорастания, до 25 дней, общей продолжительностью прорастания не более 30 дней. Энергия прорастания семян от 20 до 96 %, дружность прорастания составляет 4–9 % семян в день.

Такие семена свойственны 24 видам: *Aquilegia parviflora* Ledeb., *Delphinium grandiflorum* L., *Pulsatilla dahurica* (Fisch.) Sprengel., *Krascheninnikovia lenensis* (Kuminova) Tzvelev, *Dianthus versicolor* Fisch. Ex Link (рис. 2, а), *Gastrolychnis gracilis* (Tolm.) Czer., *Alyssum obovatum* (C.A. Mey.) Turcz., *Sedum telephium* L., *Saxifraga bronchialis* L., *Potentilla nivea* L., *Sanguisorba officinalis* L., *Eri-trichium sericeum* (Lehm.) DC., *Veronica incana* L., *Dracocephalum jacutense* Peschkova (рис. 2, б), *Schizonepeta multifida* (L.) Briq., *Artemisia jacutica* Drob., *A. tanacetifolia* L., *Taraxacum ceratophorum* (Ledeb.) DC., *Lilium pensylvanicum* Ker. – Gawl. (рис. 2, в), *L. pilosiusculum* (Freyn) Misch., *Allium prostratum* L., *A. ramosum* L., *A. splendens* L., *Festuca rubra* L.

Прорастание свежесобранных семян *Delphinium grandiflorum* изучала в Амурской области Т.В. Ступникова [17]. Семена этого вида показали стабильно высокие показатели качества (80–100 %) за все годы наблюдений, но, в отличие от якутских семян, они характеризуются замедленным прорастанием, период их прорастания составляет 45–60 дней, срок до начала прорастания может затягиваться от 8 до 30 дней.

Подгруппа ИББ. Семена с быстрым прорастанием, лабораторной всхожестью 40–69 %. Энергия прорастания от 20 до 69 %. По этому подтипу прорастают свежесобранные семена 11 видов – *Anemone sylvestris* L., *Papaver jacuticum* Peschkova, *Goniolimon speciosum* (L.) Boiss. (рис. 3, а), *Alyssum lenense* Adams, *Valeriana alternifolia* Ledeb., *Lappula squarrosa* (Retz.) Dumort., *Myosotis imitata* Serg., *Thymus sibiricus* (Serg.) Klok. et Shost., *Allium senescens* L. (рис. 3, б), *A. schoenoprasum* L., *Agropyron cristatum* (L.) Beauv.

Данная подгруппа близка к предыдущей и является переходной к следующей группе II.

Группа II. Семена с замедленным прорастанием (II), объединяет четыре подгруппы прорастания свежесобранных семян.

Подгруппа IIА. Семена с медленным прорастанием, за первые 5 дней прорастает большая часть семян, остальные небольшими порциями

ТИПЫ ПРОРАСТАНИЯ СЕМЯН РАСТЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

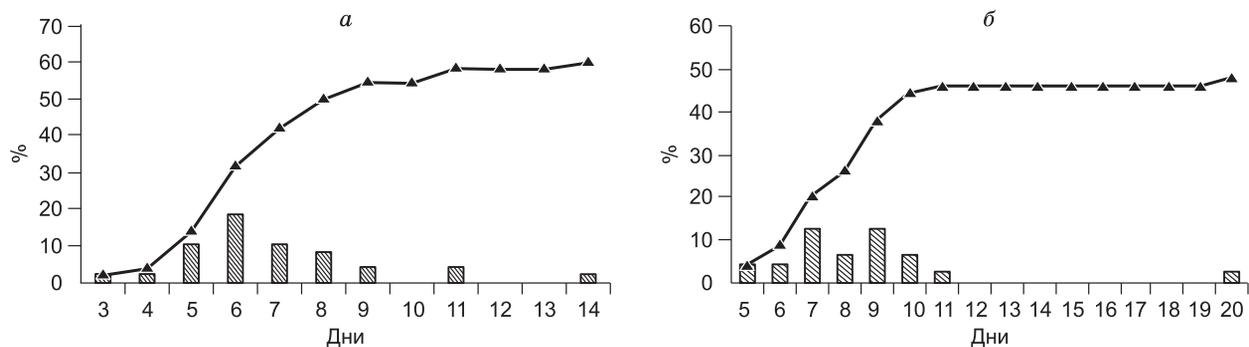


Рис.3. Семена с быстрым прорастанием и лабораторной всхожестью 40–69 % (подгруппа ИББ).
а – *Goniolimon speciosum*, б – *Allium senescens*.

Fig.3. Seeds with rapid germination and laboratory germination of seeds 40–69 % (subgroup ИББ)
а – *Goniolimon speciosum*, б – *Allium senescens*.

в течение 1–2 месяцев (один пик прорастания в начале и несколько мелких волн). Данная подгруппа характеризуется семенами с высокой всхожестью (70–100 %). Семена этих видов прорастают без первичного покоя, период до начала прорастания составляет 1–4 (реже 5–6) дней (лишь у *Geum aleppicum* – 8 дней). Длительность прорастания семян более 25 дней. Энергия прорастания семян от 40 до 92 %. Дружность прорастания составляет 1–3 % семян в день.

Подобным характером прорастания обладают свежесобранные семена 25 видов (*Pulsatilla angustifolia* Turcz., *Thalictrum foetidum* L., *Dianthus superbus* L. (рис. 4, а), *Eremogone saxatilis* (L.) Ikonn., *Oberna behen* (L.) Ikonn., *Silene repens* Patrin, *Acetosa thyrsoflora* (Fingerh.) Á.Löve et D. Löve, *Parnassia palustris* L., *Geum aleppicum* Jacq., *Potentilla pensylvanica* L., *Patrinia sibirica* (L.)

Juss., *Astragalus inopinatus* Boriss., *Melilotus albus* Medik. (рис. 4, б), *Linum komarovii* Juz., *Galium verum* L., *Gentiana decumbens* L., *Plantago depressa* Willd., *Phlomis tuberosa* L., *Achillea millefolium* L., *Artemisia commutata* Besser, *A. frigida* Willd., *A. remotiloba* Krasch. ex Poljak., *Crepis tectorum* L., *Hieracium umbellatum* L., *Zigadenus sibiricus* (L.) A. Gray.

Прорастание семян *Artemisia frigida*, *Phlomis tuberosa* в Центральной Якутии и в степях Казахстана и Монголии [7] проявляет одинаковый характер – замедленный с максимумом проросших семян в начале опыта (IIА).

Подгруппа IIА. Семена с медленным прорастанием, за первые 5 дней прорастает большая часть семян, остальные небольшими порциями в течение 1–2 месяцев (одна крупная волна и несколько мелких волн прорастания). Подгруп-

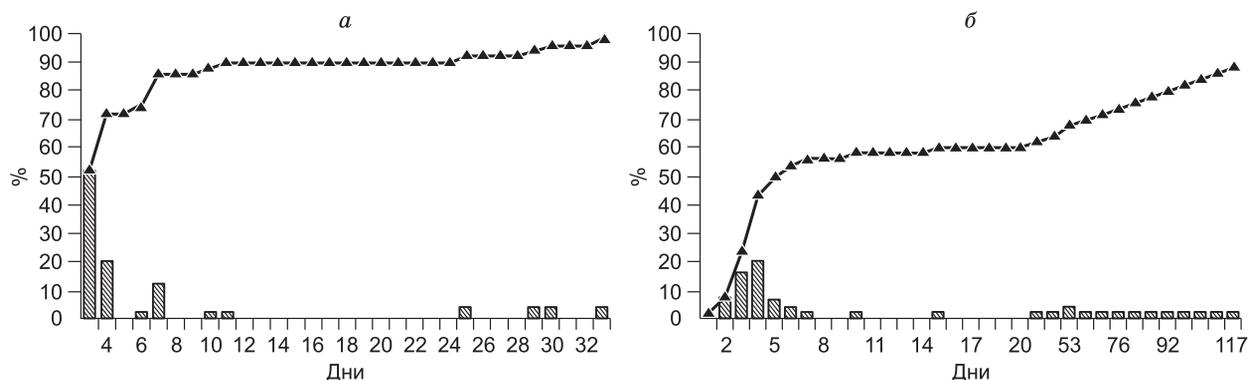


Рис. 4. Семена с медленным прорастанием и максимальным количеством проросших семян в начале прорастания (подгруппа IIА).
а – *Dianthus superbus*, б – *Melilotus albus*.

Fig. 4. Seeds with slow germination and maximum number of germinated seeds at the beginning of germination (subgroup IIА).
а – *Dianthus superbus*, б – *Melilotus albus*.

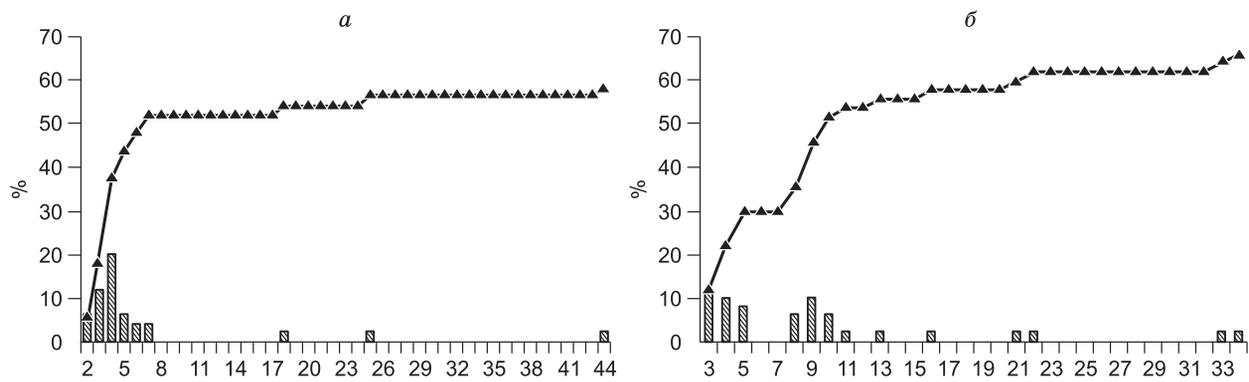


Рис. 5. Семена с медленным прорастанием и максимальным количеством проросших семян в начале прорастания (подгруппа ПАА).
a – *Melilotus suaveolens*, *б* – *Tanacetum vulgare*.

Fig. 5. Seeds with slow germination and maximum number of germinated seeds at the beginning of germination (subgroup ПАА).
a – *Melilotus suaveolens*, *б* – *Tanacetum vulgare*.

па отличается от предыдущей более низкими всхожестью (40–69 %) и энергией прорастания семян (от 20 до 48 %).

К этой подгруппе относятся семена 10 видов (*Pulsatilla turzcaninonii* Krylov et Serg., *Draba sibirica* (Pall.) Thell., *Potentilla stipularis* L., *Melilotus suaveolens* Ledeb. (рис. 5, *a*), *Patrinia rupestris* (Pall.) Duf., *Aster sibiricus* L., *Tanacetum vulgare* L. (рис. 5, *б*), *Cleistogenes squarrosa* (Trin.) Keng, *Hordeum brevisubulatum* (Trin.) Link, *Stipa capillata* L.).

По данным Т.В. Ступниковой [17], свежесобранные семена *Pulsatilla turzcaninonii* в Амурской области прорастают также замедленно, но в отличие от якутской популяции показывают низкую всхожесть – 5–6 %, при жизнеспособности 35–90 %. Также амурские семена отличаются от якутских задержкой срока до начала прорастания.

Подгруппа ПБ. Семена с медленным равномерным, мелкопорционным прорастанием и высокой лабораторной всхожестью 70–100 %. Данная подгруппа прорастания отличается отсутствием ярко выраженной максимальной порции прорастающих семян. Прорастание идет более или менее равномерно мелкими порциями. Период прорастания семян начинается на (3–4) 6–9 (13–23) день. Длительность прорастания семян более 25 дней, общая продолжительность прорастания семян более 1–6 месяцев. Энергия прорастания семян составляет от 14 до 44 %, дружность прорастания – 1–3 % семян в день.

К этой подгруппе относятся свежесобранные семена 16 видов (*Leptopyrum fumarioides* (L.) Reichenb., *Ranunculus propinquus* C.A. Mey. (рис. 6), *R. turneri* subsp. *jacuticus* (Ovcz.) Tolm., *Thalictrum contortum* L., *Chelidonium majus* L., *Cerastium maximum* L., *Armeria scabra* Pall. Ex Schult., *Androsa-*

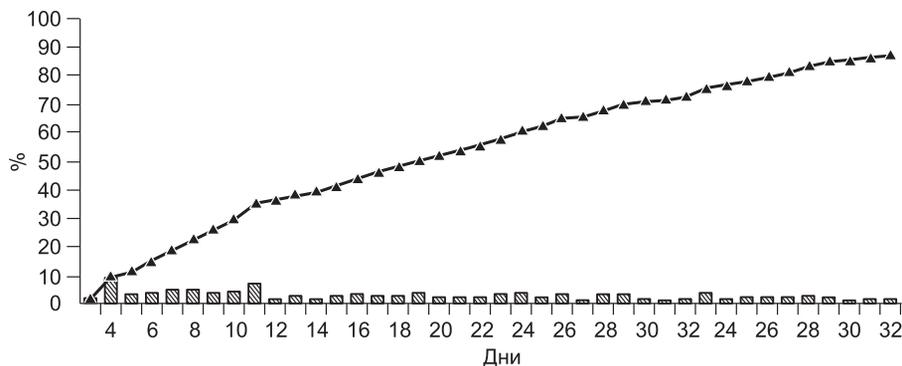


Рис. 6. Медленное и равномерное прорастание семян *Ranunculus propinquus* (подгруппа ПБ).

Fig. 6. Slow and uniform germination of *Ranunculus propinquus* seeds (subgroup ПБ).

ТИПЫ ПРОРАСТАНИЯ СЕМЯН РАСТЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

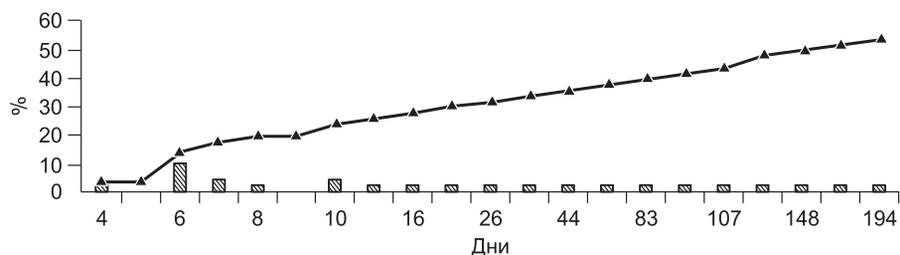


Рис. 7. Медленное и равномерное прорастание семян *Lupinaster pentaphyllus* (подгруппа ПББ).

Fig. 7. Slow and uniform germination of *Lupinaster pentaphyllus* seeds (subgroup ПББ).

ce incana Lam., *A. septentrionalis* L., *Redowskia sophiifolia* Cham. et Schlecht., *Lathyrus palustris* L., *Oxytropis pilosa* (L.) DC., *Vicia amoena* Fisch., *Geranium pratense* L., *Phlox sibirica* L., *Serratula marginata* Tausch).

Подгруппа ПББ. Семена с медленным равномерным, мелкопорционным прорастанием и средней лабораторной всхожестью 40–69 %. Период до начала прорастания длится от 1 до 10 дней. Энергия прорастания семян составляет от 8 до 36 %, дружность прорастания семян – от 1 до 2 % семян в день, все семена прорастают в течение более месяца и более.

Данным характером прорастания семян обладают свежесобранные семена шести видов (*Asragalus lenensis* Shemetova, Schaulo et Lomon., *A. suffruticosus* DC., *Lupinaster pentaphyllus* Moench (рис. 7), *Oxytropis candicans* (Pall.) DC., *Campanula glomerata* L., *Solidago dahurica* Kitag.).

Группа III. Семена с низкой всхожестью (1–39 %) или отсутствием его. Группа объединяет четыре подгруппы прорастания. Относятся

семена 78 видов, которые обладают первичным покоем разной длительности (более месяца) и прорастают после созревания, или им свойственна физиологическая гетерокарпия – разная скорость прорастания, неоднородность глубины покоя, длительность сохранения жизнеспособности и др.

Подгруппа IIIА. Семена не прорастающие или слабо прорастающие в свежем состоянии, но быстро прорастающие после хранения. Семена этой подгруппы после сухого хранения становятся сходными с семенами I группы прорастания.

К этой подгруппе относятся семена 23 изученных видов. Лабораторная всхожесть свежесобранных семян 18 видов (*Hypericum attenuatum* Choisy, *Androsace maxima* L., *Viola dissecta* Ledeb., *V. mauritii* Tepl., *Arabis pendula* L., *A. sagittata* (Bertol.) DC., *Descurainia sophia* (L.) Webb ex Prantl., *Clausia aprica* (Steph.) Korn.-Tr., *Hesperis sibirica* L., *Thlaspi arvense* L., *Gentiana macrophylla* Pall., *Veronica longifolia* L., *Plantago cane-*

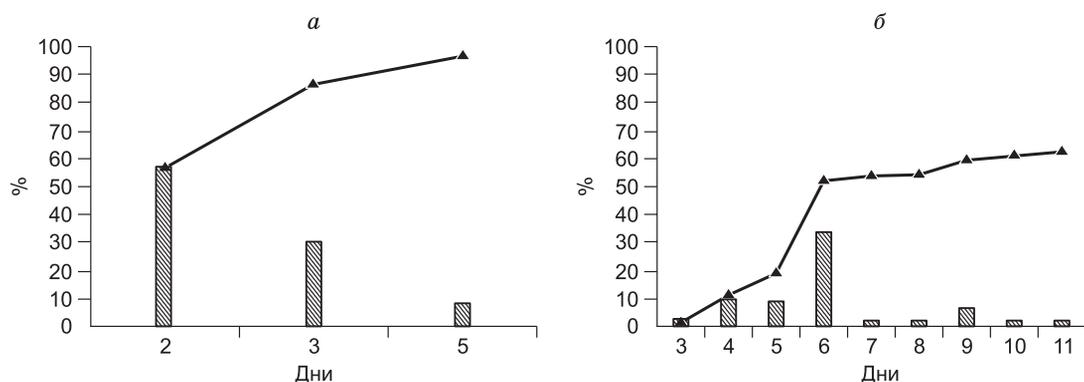


Рис. 8. Семена, не прорастающие или слабо прорастающие в свежем состоянии, но быстро прорастающие после хранения (подгруппа IIIА).

а – *Descurainia sophia*, б – *Androsace maxima*.

Fig. 8. Seeds are not germinating or weakly germinating in the fresh state, but quickly germinating after storage (subgroup IIIA). а – *Descurainia sophia*, б – *Androsace maxima*.

scens Adams, *P. media* L., *Campanula punctata* Lam., *Arnica iljinii* (Maguire) Iljin, *Saussurea amara* (L.) DC., *Sonchus arvensis* L.) составила от 2 до 39 %, не прорастали семена пяти видов (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik., *Potentilla anserina* L., *Erodium cicutarium* (L.) L'Hér., *Leonurus deminutus* V. Krecz., *Gagea pauciflora* Turcz. ex Ledeb.). После 5–7-месячного хранения семена 11 видов прорастают «взрывно» по типу IA. Так, всхожесть семян *Thlaspi arvense* в течение 3 дней составила 99 %, *Descurainia sophia* в течение 4 дней – 96 % (рис. 8, а), *Hesperis sibirica* в течение 5 дней – 94 %, и т. д., быстро с высокой всхожестью по типу IB прорастали семена шести видов (*Gentiana macrophylla* – 70 %, *Gagea pauciflora* – 97 % и др.). По типу ИББ – быстро, но со средней всхожестью прорастали семена семи видов: *Androsace maxima* в течение 10 дней проросло 62 % семян (рис. 8, б), *Arabis pendula* в течение 7 дней – 59 %, *Capsella bursa-pastoris* в течение 8 дней – 67,5 % и др.

К этой подгруппе относятся многие из числа исследованных однолетних и одно-двулетних растений. В свежем состоянии их семена невсхожие или имеют очень низкую всхожесть. По данным И.В. Борисовой [8], семена *Androsace maxima* (Казахстан) проявляют себя таким же образом – не прораставшие в свежем состоянии после хранения обнаруживают взрывной характер прорастания.

Отсутствие прорастания свежесобранных семян *Capsella bursa-pastoris* и низкую всхожесть *Descurainia sophia* – 12 %, *Erodium cicutarium* – 2 % отмечают в Средней Азии [18,19]. Семена *Capsella bursa-pastoris* и *Descurainia sophia* в Молдавии после 1 года хранения имеют всхожесть 76 и 75 % соответственно [20].

Подгруппа IIБ. Семена, не прорастающие или слабо прорастающие в свежем состоянии, но замедленно прорастающие со всхожестью более 30 % после хранения.

К данной подгруппе относятся семена 14 видов. Свежесобранные семена (*Euphorbia esula* L., *Geranium pseudosibiricum* J. Mayer, *Alopecurus arundinaceus* Poir., *Calla palustris* L.) не прорастают, а после созревания, через 5–7 месяцев, прорастают медленно, в течение 56–87 дней, и имеют невысокую всхожесть (33–37 %). У слабо прорастающих свежесобранных семян *Aconitum barbatum* Pers. (28 %), *Delphinium cheilanthum* Fisch. (4 %), *Pulsatilla multifida* (G. Pritz.) Juz. (5 %), *Thalictrum simplex* L. (36 %), *Potentilla*

bifurca L., *Medicago falcata* L. (9 %), *Onobrychis arenaria* (Kit.) DC. (32 %), *Elytrigia repens* (L.) Nevski (17 %) после хранения значительно увеличилась лабораторная всхожесть до 82 % *Aconitum barbatum*, 74 % у *Delphinium cheilanthum*, 69 % – *Onobrychis arenaria*, 67 % – *Pulsatilla multifida* и т. д.

Семена видов данной подгруппы после сухого хранения становятся сходными с семенами II группы прорастания, т. е. прорастают замедленно. По типу IIА, т.е. с максимальным пиком в начале прорастания семян и высокой всхожестью от 70–100 % прорастают хранившиеся семена *Aconitum barbatum* и *Delphinium cheilanthum* (рис. 9, а). Более низкой всхожестью от 37 до 69 % и максимумом прорастания семян в начале его (по типу IIАА) прорастают семена *Pulsatilla multifida*, *Thalictrum minus* L., *Geranium pseudosibiricum*, *Calla palustris*. Остальные виды *Alopecurus arundinaceus*, *Euphorbia discolor* (рис. 9, б), *Hedysarum dasycarpum* Turcz., *Medicago falcata* прорастают медленно и равномерно, с невысокой всхожестью от 30 до 69 % (по типу IIББ).

Подгруппа IIВ. Семена с низкой всхожестью в свежесобранном состоянии и после хранения (при комнатной температуре) и требующие для прорастания особых условий.

Относятся к этой подгруппе семена 27 видов (*Delphinium elatum* L., *Chenopodium album* L., *Rumex aquaticus* L., *Aruncus asiaticus* Pojark., *Filipendula palmata* (Pall.) Maxim., *F. ulmaria* (L.) Maxim., *Astragalus danicus* Retz., *Thermopsis lanceolata* R. Br. subsp. *jacutica* (Czefr.) Schreter, *Trifolium repens* L., *Vicia cracca* L., *Polygala hybrida* DC., *P. sibirica* L., *Bupleurum sibiricum* Vest, *Cnidium davuricum* (Jacq.) Turcz. ex Fisch. et C.A.Mey, *Phlojodicarpus sibiricus* (Fisch. ex Spreng.) K.-Pol., *Galium boreale* L., *Polemonium boreale* Adams, *Mertensia sibirica* (L.) G. Don, *Dracopetalum ruyschiana* L., *Galatella dahurica* DC., *Inula britannica* L., *Mulgedium sibiricum* Cass. ex Less., *Saussurea alpina* (L.) DC., *Iris setosa* Pall. ex Link, *Beckmannia syzigachne* (Steud.) Fernald, *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., *Hordeum jubatum* L.). Они показали невысокую всхожесть, от 2 до 24 %. Период до начала прорастания первого семени варьирует от 2 до 29 дней. Длительность прорастания семян также имеет большую разницу, от 1–4 дней (у *Filipendula ulmaria*, *F. palmata* и др.) до 148 дней у *Vicia cracca*.

Подгруппа IIГ. Семена не прорастают в свежесобранном состоянии и после 5–7 месяцев

ТИПЫ ПРОРАСТАНИЯ СЕМЯН РАСТЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

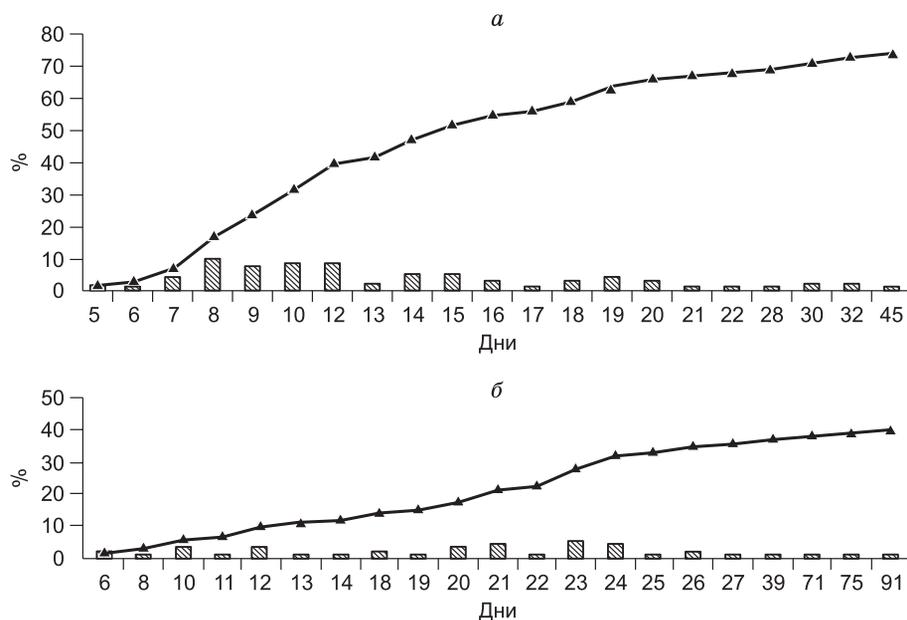


Рис. 9. Семена, не прорастающие или слабо прорастающие в свежем состоянии, но замедленно прорастающие со всхожестью более 30% после хранения (подгруппа IIIБ).

a – *Delphinium cheilanthum*, *б* – *Euphorbia discolor*.

Fig. 9. Seeds not germinating or weakly germinating in fresh condition but slowly germinating with germination of more than 30% after storage (subgroup IIIБ).

a – *Delphinium cheilanthum*, *б* – *Euphorbia discolor*.

хранения при температуре 23 ± 1 °С. К этой подгруппе относятся семена 14 видов (*Aconitum kusnezoffii* Reichb., *Actaea erythrocarpa* Fisch., *Adonis sibirica* Patr., *Anemonidium dichotomum* (L.) Holub, *Cimicifuga foetida* L., *Trollius sibiricus* Schipcz., *Comarum palustre* L., *Heracleum dissectum* Ledeb., *Nonea rossica* Steven, *Linaria acutiloba* Fisch. ex Reichenb. *Campanula dasyantha* Bieb., *Cacalia hastata* L., *Iris laevigata* Fisch. et C.A.Mey., *I. sanguinea* Donn.).

Причины затрудненного прорастания обусловлены структурными и физиологическими свойствами семян [21, 22]. Это состояние характеризуется сужением диапазона условий, при которых может осуществляться прорастание, что и ограничивает его возможность: выход из этого состояния – расширение диапазона возможных для прорастания условий. Универсальным фактором, устраняющим физиологический механизм торможения (ФМТ), является действие пониженной температуры на набухшие семена (холодная стратификация). Стратификационные изменения, приводящие к устранению глубокого покоя, т. е. влияния сильного ФМТ прорастания, обычно протекают при температуре не выше 0–7 °С, в течение 2–4 мес. У одних видов опти-

мальными условиями холодной стратификации является более низкая (0–4 °С), а у других – более высокая (5–7 °С) температура [23].

Для улучшения прорастания, семена некоторых видов группы III (*Aconitum kusnezoffii*, *Actaea erythrocarpa*, *Adonis sibiricus*, *Anemone dichotoma*, *Delphinium elatum*, *Cimicifuga foetida*, *Trollius sibiricus*, *Aruncus asiaticus*, *Comarum palustre*, *Filipendula ulmaria*, *Thermopsis lanceolata* subsp. *jacutica*, *Polygala sibirica*, *Heracleum dissectum*, *Galium boreale*, *Mertensia sibirica*, *Linaria acutiloba*, *Galatella dahurica*, *Inula britannica*, *Saussurea alpina*, *Iris laevigata*, *I. sanguinea*, *I. setosa*, *Beckmannia syzigachne*, *Phragmites australis*) подвергались стратификации при более низких температурах от 0 до 3 и 5 °С.

Наши исследования показали, что всхожесть семян зависит от видовых особенностей. Стратификация при температуре 5 °С в течение 1 месяца для семян большинства испытанных видов не оказала действия. Вероятно, для снятия покоя этих семян требуется более длительный период стратификации. Очень слабо проросли не всхожие при комнатной температуре семена *Aconitum kusnezoffii* и *Trollius sibiricus*, лабораторная всхожесть которых составила всего 5 и 1 % соот-

ветственно. Большинство плодов *Mertensia sibirica* и *Adonis sibirica* имеют некачественные (пустые) семена. У *Mertensia sibirica* после снятия околоплодника всхожесть семян составила 18 % (за 4 дня – 16 %) за 21 день, у *Adonis sibirica* – семена остались невсхожими. У семян *Rumex aquaticus* после стратификации всхожесть составила 46 % за 6 дней, *Galatella dahurica* – 14 %, (исходная – 2 %), у семян *Galium boreale* – 86 % проросли за 12 дней, более 50 % – в течение 3 дней).

При обычных условиях семена *Iris laevigata* не прорастают, прорастание осложняется наличием плотной кожуры. Стратификация при 5 °С выводит семена из состояния покоя, всхожесть повысилась до 70 %, семена проросли ускоренно в течение 7 дней, более 50 % семян в течение 3 дней). После стратификации при температуре 0–3 °С семена начинают проклевываться на 3-й день, в течение 12 дней лабораторная всхожесть достигла 94–96 %. Семена *Iris setosa* после стратификации при температуре 0–3 °С начинают прорасти на 4-й день и в течение 5 дней всхожесть достигает 76 %.

Выводы

Исследованные виды по характеру прорастания свежесобранных семян объединены в три группы, включающие 11 подгрупп. Покой семян у различных видов варьирует от практически не имеющих его (семена групп IA, IB и ПА, ПБ), физиологически неглубокого (подгрупп IBB, ПAA, ПBB, ПA, ПБ) до морфологического сложного глубокого (семена подгрупп ПB, ПГ).

Виды подгрупп I группы имеют «нормально» прорастающие семена, т. е. не нуждаются в каких-либо дополнительных факторах или воздействиях для своего прорастания, кроме влаги, кислорода и известного уровня температуры (в нашем случае комнатная температура 23±1 °С). Семена этих видов прорастают за короткий промежуток времени. К первой группе с ускоренным прорастанием относятся семена 52 (28 %) видов, из них 17 видов обладают взрывным (IA) и 24 вида – быстрым, с высокой всхожестью (IB) и быстрым, со средней всхожестью (IBB) – 11.

Ко второй группе с замедленным прорастанием относятся семена 57 (30 %) видов, которые распределились на подгруппы ПА – 25, ПAA – 10, ПБ – 16, ПBB – 6 видов.

В третью группу вошли виды, у которых свежесобранные семена имели затрудненное про-

растание (низкую всхожесть от 1 до 39 %) или не прорастали. К данной группе относится около половины изученных видов – 78 (42 %). У семян 37 видов покой преодолевается при воздушно-сухом хранении в комнатных условиях в течение 5–7 месяцев – характер прорастания семян идет по подгруппам I и II групп. Прорастание семян 41 вида после сухого хранения не меняется, т. е. сохраняется нулевая или низкая всхожесть от 1 до 24 %. Семена большинства видов стимулируются стратификацией. В дальнейшем необходимо испытание различных режимов стратификации семян.

Литература

1. Филимонов М.А. Особенности прорастания семян злаковых и бобовых кормовых культур // Бюлл. МОИП. Отд. биологии. 1954. Т. 59, вып. 2. С. 33–38.
2. Вихирева-Василькова В.В. О прорастании семян некоторых арктических растений // Бот. журн. 1958. Т. 43. №7. С. 1024–1029.
3. Жизнеспособность семян / Е.Г. Робертс, М.К. Кристенсен, Р.П. Мур и др.; Пер. с англ. Н.А. Емельяновой; Под ред. и с предисл. д. с.-х. н. М.К. Фирсовой. М.: Колос, 1978. 415 с.
4. Попцов А.В. Биология затрудненного прорастания семян: Докл. на соиск. уч. степ. д-ра биол. наук. М., 1965. 34 с.
5. Попцов А.В. Представление о типе нормального (незатрудненного) прорастания и значение его при изучении биологии прорастания семян интродуцентов // Качество семян в связи с условиями их формирования при интродукции. Новосибирск, 1971. С. 96–105.
6. Вайнагий И.В. О долговечности семян травянистых растений Карпат // Бюлл. Глав. Бот. сада. 1975. Вып. 96. С. 56–63.
7. Беспалова З.Г., Борисова И.В., Попова Т.А., Санжид Ж. Семенное возобновление растений // Пустынные степи и северные пустыни МНРЧ. I. Л., 1980. С. 154–175.
8. Борисова И. В. Типы прорастания семян степных и пустынных растений // Бот. журн. 1996. Т. 81, № 12. С. 9–22.
9. Андриянова Е.А. Биология семян растений Северо-Востока Азии: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Магадан, 2008. 32 с.
10. Фирсова М. К. Методы определения качества семян. М.: Сельхозгиз, 1959. 350 с.
11. Флоря В.Н. Интродукция и акклиматизация растений в Молдавии (лекарственные, витаминные, медоносные). Кишинев: Штиинца, 1987. 296 с.
12. Строна И.Г. Общее семеноведение полевых культур. М.: Колос, 1966. 464 с.
13. Конспект флоры Азиатской России: сосудистые растения. Новосибирск: Наука, 2012. 640 с.

14. Райкова И.А. К биологии прорастания и всхожести семян некоторых памирских растений // Научн. тр. Ташк. гос. унив. Биология. 1962. Вып. 210. С. 155–186.

15. Стешенко А.П. Биология свежесобранных семян у высокогорий Памира // Бот. журн. 1963. Т. 48, № 7. С. 965–978.

16. Беспалова З.Г., Борисова И.В., Санжид Ж. Всхожесть и характер прорастания некоторых семян некоторых видов полыни (*Artemisia* L.) Центрального Казахстана и Монголии // Бот. журн. 1982. Т. 67, № 10. С. 1321–1328.

17. Ступникова Т.В. Биологические особенности семян редких и исчезающих видов растений юга дальнего востока России // Раст. ресурсы. 2018. Т. 54, Вып. 1. С. 5–25.

18. Полковниченко А.Я. О периоде покоя семян, эфемеров // Труды Туркменского с/х института, 1956. Т. 8, С. 275–278.

19. Шацкая М.Г. Некоторые биологические особенности эфемеровых растений/ Акад. наук УзССР. Ин-т ботаники. Ташкент: Наука, 1965. 96 с.

20. Нестеренко В.Г. О всхожести семян при хранении их в лабораторных условиях // Бюлл. ГБС. 1968. Вып. 36. С. 99–103.

21. Попцов А.В., Некрасов В.И., Иванова И.А. Очерки по семеноведению. М.: Наука, 1981. 112 с.

22. Николаева М.Г., Лязгунова И.В., Поздова Л.М. Биология семян. СПб.: НИИ химии СПбГУ, 1999. 232 с.

23. Николаева М.Г., Разумова М.В., Гладкова В.Н. Справочник по проращиванию покоящихся семян. Л., 1985. 348 с.

References

1. Filimonov M.A. Osobennosti prorastaniya semyan zlakovyh i bobovyh kormovyh kul'tur // Byull. MOIP. Otd. Biologii. 1954. T. 59. Vyp. 2. P. 33–38.

2. Vihireva-Vasil'kova V.V. O prorastanii semyan nekotoryh arkticheskikh rastenij // Bot. Zhurn. 1958. V. 43. N 7. P. 1024–1029.

3. Zhiznesposobnost' semyan / E.G. Roberts, M.K. Kristensen, R.P. Mur i dr.; Per. s angl. N.A. Emel'yanovoj; Pod red. i s predisl. d. s.-h. n. M.K. Firsovoj. Moskva: Kolos, 1978. 415 p.

4. Popcov A.V. Biologiya zatrudnennogo prorastaniya semyan: Dokl. na Soisk. Uch. Step. D-ra Biol. Nauk. M., 1965. 34 P.

5. Popcov A.V. Predstavlenie o tipe normal'nogo (nezatrudnennogo) prorastaniya i znachenie ego pri izuchenii biologii prorastaniya semyan introducentov // Kachestvo Semyan v Svyazi s Usloviyami ih Formirovaniya Pri Introdukcii. Novosibirsk, 1971. P. 96–105.

6. Vajnjagij I.V. O dolgovechnosti semyan travyani-stykh rastenij Karpat // Byull. Glav. Bot. Sada. 1975. Vyp. 96. P. 56–63.

7. Bespalova Z.G., Borisova I.V., Popova T.A., Sanzhid Zh. Semennoe vozobnovlenie rastenij // Pustynnye Stepi i Severnye Pustyni MNR.CH.I. L., 1980. P. 154–175.

8. Borisova I.V. Tipy prorastaniya semyan stepnyh i pustynnyh rastenij // Bot. Zhurn. 1996. V. 81, N 12. P. 9–22.

9. Andriyanova E.A. Biologiya semyan rastenij Severo-Vostoka Azii: Avtoref. Dis. ... Kand. Biol. Nauk. Magadan, 2008. 32 p.

10. Firsova M. K. Metody Opredeleniya Kachestva semyan. M.: Sel'hozgiz, 1959. 350 p.

11. Florya V.N. Introdukcija i Akklimatizacija Rastenij v Moldavii (Lekarstvennye, Vitaminonosnye, Medonosnye). Kishinev: «Shtiinca», 1987. 296 p.

12. Strona I.G. Obschchee semenovedenie polevyh kul'tur. M: Kolos. 1966. 464 p.

13. Konspekt flory Aziatskoj Rossii: Sosudistye Rasteniya. Novosibirsk, 2012. 640 p.

14. Rajkova I.A. K biologii prorastaniya i vskhozhesti semyan nekotoryh pamiirskih rastenij // Nauchn. tr. Tashk. Gos. Univ. Biologiya. 1962. Iss. 210. P. 155–186.

15. Steshenko A.P. Biologiya svezhesobrannyh semyan u vysokogorij Pamira // Bot. Zhurn. 1963. V. 48. N 7. P. 965–978.

16. Bespalova Z.G., Borisova I.V., Sanzhid Zh. Vskhozhest' i harakter prorastaniya nekotoryh semyanok nekotoryh vidov polyni (*Artemisia* L.) Central'nogo Kazahstana i Mongolii // Bot. zhurn. 1982. V. 67, N 10. P. 1321–1328.

17. Stupnikova T.V. Biologicheskie osobennosti semyan redkih i ischezayushchih vidov rastenij yuga dal'nego vostoka Rossii // Rast. resursy. 2018. V. 54, Iss. 1. P. 5–25.

18. Polkovnichenko A. Ya. O periode pokoya semyan, ehfemerov // Trudy. Turkmenskogo s/h instituta. 1956. V. 8. P. 275–278.

19. Shackaya M.G. Nekotorye biologicheskie osobennosti ehfemerovyh rastenij / Akad. nauk UzSSR. In-t botaniki. Tashkent: Nauka, 1965. 96 p.

20. Nesterenko V.G. O vskhozhesti semyan pri hrane-nii ih v laboratornyh usloviyah // Byull. GBS. 1968. Iss. 36. P. 99–103.

21. Popcov A.V., Nekrasov V.I., Ivanova I.A. Ocherki po semenovedeniyu. M.: Nauka, 1981. 112 p.

22. Nikolaeva M.G., Lyazgunova I.V., Pozdova L. M. Biologiya semyan. SPb.: NII himii SPbGU, 1999. 232 p.

23. Nikolaeva M.G., Razumova M.V., Gladkova V.N. Spravochnik po prorashchivaniyu pokoyashchihsya semyan. L., 1985. 348 p.

Поступила в редакцию 17.05.2019
Принята к публикации 03.07.2019

Д.Н. АНДРОСОВА

Сведения об авторе

АНДРОСОВА Дария Николаевна, инженер-исследователь, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутский ботанический сад, 677980, г. Якутск, проспект Ленина, 41, Россия
<https://orcid/-0000-0003-1521-0556>, darija_androsova@mail.ru

About author

Androsova Daria Nikolaevna, Research Engineer, Institute for Biological Problems of Cryolithozone, SB RAS, Yakutsk, 41 Lenina pr., Yakutsk, 677980, Russia,
<https://orcid/-0000-0003-1521-0556>, darija_androsova@mail.ru

Информация для цитирования

Андросова Д. Н. Типы прорастания семян растений Центральной Якутии//Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2019, том 24, № 2. С. 83–94. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-2-8>

Citation

Androsova D.N. Types of seed germination for the plants in Central Yakutia // Arctic and Subarctic natural resources. 2019, vol. 24, No. 2. pp. 83–94. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-2-8>

Экология

УДК 619:616.981.51(571.51)

DOI 10.31242/2618-9712-2019-24-2-9

Эпизоотолого-эпидемиологический мониторинг сибирской язвы в арктической и восточной зонах Якутии

Г.Т. Дягилев^{1,*}, В.Ф. Чернявский³, И.Я. Егоров^{2,**},
О.Н. Софронова³, О.И. Никифоров^{2,**}

¹ФГБУН ФИЦ «Якутский научный центр Сибирского отделения РАН»
Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства
имени М.Г. Сафронова, Якутск, Россия

²ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в РС(Я)»

³Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, Якутск, Россия

*roiiooi@fbuz14.ru

**yniicx@mail.ru

Аннотация. В Сибири и на Дальнем Востоке на учете (1997 г.) состояло 5024 стационарно-неблагополучных пункта по сибирской язве (СНП СЯ). Среди всех арктических территорий Российской Федерации в Якутии находится значительное количество СНП СЯ, где в конце XIX и в начале XX вв. были зарегистрированы многочисленные эпизоотии сибирской язвы среди домашних северных оленей и диких животных. Первые письменные сообщения о сибирской язве упоминаются из донесений окружных, инородческих и волостных управ Колымского, Верхоянского округов и датируются 1811г. В памятной книжке Якутской области за 1896 г. приводятся данные об эпизоотиях болезни в Якутском, Вилюйском и Колымском округах.

Дислокация основной массы СНП СЯ (сибирязвенных скотомогильников) и мест случайных захоронений животных, павших от сибирской язвы, четко не обозначались и не включились в эпизоотологический учет. Реальная опасность исторических мест захоронения павших животных проявилась эпизоотиями сибирской язвы среди северных оленей в Таймырском регионе Российской Арктики в 1969 и 1977 гг., в Якутии – в 1988 г. Особое оживление зооноза зафиксировано в 1970 г. по берегам ряда рек, в 1993 г. – в окрестностях некоторых населенных пунктов. Дидактический характер носит эпизоотолого-эпидемиологическая ситуация 2016 г., имевшая место в Ямало-Ненецком АО.

Современные данные указывают на то, что в условиях Крайнего Севера отмечается высокий уровень выживания спор *B. anthracis* и существование почвенных очагов сибирской язвы. Их оживление (активность) регистрируется спустя десятки и более лет. Доказана возможность микроба проходить в мерзлотной почве полный жизненный цикл: спорообразование, инициация спор, их прорастания, размножение вегетативных клеток, споруляция. Отсутствие в Якутии официально зарегистрированных почвенных очагов не исключает их потенциально-реальную скрытность не только под покровом «морových полей», но и в палеонтологических останках (мамонты, пещерный лев, шерстистый носорог) и в выстилающих их почвах.

Ключевые слова: арктическая зона, сибирская язва (эпизоотология, эпидемиология), стационарные неблагополучные пункты по сибирской язве, почвенные очаги, палеонтология, мониторинг, профилактика.

Epizootological and epidemiological monitoring of anthrax in the Arctic and Eastern zones of Yakutia

G.T. Dyagilev^{1,*}, V.F. Chernyavsky³, I.Ya. Egorov^{2,**}, O.N. Sofronova³, O.I. Nikiforov, ^{2,**}

¹*Yakut Scientific Center, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
M.G. Safronov Yakut Scientific Research Institute of Agriculture, Yakutsk, Russia*

²*Center of Hygiene and Epidemiology in the Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Russia*

³*M.K. Ammosov North-Eastern Federal University,*

**yniicx@mail.ru*

***poiooi@fbuz14.ru*

Abstract. In 1997, 5024 steadily unfavorable sites for anthrax were registered in Siberia and in the Far East. Among all the Arctic territories of the Russian Federation, Yakutia contains a certain number of these sites, where numerous epizootics of anthrax among domestic reindeer and wild animals were recorded at the end of 19 century and at the beginning of the 20 century. According to archival documents, the first written evidence on anthrax appeared in the reports of district, alien and volost administrations of the Kolyma, Verkhoyansk districts, dating back to 1811. In the memorial book of the Yakutsk region for 1896, the data on the epizootic diseases in the Yakut, Vilyuisk and Kolyma districts are presented.

The locations of the main number of anthrax cattle burial grounds and the places of random burials of animals who died from anthrax were not clearly identified and were not included in the epizootological survey. The real danger of the historical burial places of dead animals was manifested by anthrax epizootic among reindeer in the Taimyr region of the Russian Arctic in 1969 and 1977, in Yakutia in 1988. A special revival of zoonosis was recorded in 1970 along river banks, in 1993 – in the vicinity of settlements. The epizootic-epidemiological situation of 2016, which took place in the Yamalo-Nenets Autonomous Territory, is didactic in its nature.

Modern data indicate that the survival of *B. anthracis* spores and the existence of anthrax soil foci under the climatic conditions of the Far North actually take place. Their recovery (activity) is recorded after several decades or more. The possibility of a microbe to survive through a full life cycle in permafrost soil (sporogenesis, spore initiation, germination, reproduction of vegetative cells, sporulation) was proved. The absence of officially registered soil foci in Yakutia does not exclude their potentially actual secrecy not only under the cover of "mor fields" but also in paleontological remains (mammoths, cave lion, woolly rhinoceros, and lining soils).

Key words: Arctic zone, anthrax (epizootology, epidemiology), history, statistics, steady sites unfavorable for anthrax, soil foci, paleontology, monitoring, prevention.

Цель исследования – провести эпизоотолого-эпидемиологический мониторинг сибирской язвы по стационарно неблагополучным пунктам в Арктической и Восточной зонах Республики Саха (Якутия), обозначив их ветеринарно-санитарную значимость, включая почвенные очаги и палеонтологические находки. На территории Оленекского улуса (Северо-западная арктическая зона) известны девять СНП СЯ (последняя эпизоотия отмечена в 1986 г.) и одна в Булунском (спорадический) районе. В Аллаиховском, Абыйском, Нижнеколыском, Оймяконском районах диагностированы их почвенные индикации (останки палеофауны, мерзлотные пробы). Дремлющий потенциал

подлежит изучению, картографированию по системе ГИС и мониторингованию данных, обуславливающих необходимость реализации опережающих, профилактических, комплексных, противосибирязвенных мер.

Введение

По официальным данным «Центра стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровья», сибирязвенные захоронения в различных зонах России регистрировались в 34 субъектах шести федеральных округов, где подворный убой скота периодически приводил к новым регистрациям заболева-

ний животных и людей, в том числе в Якутии [1–3]. Монографические знания сохраняют проблематичность, так как в современных условиях доказана сохранность в почве скотомогильников *B. anthracis*, обладающих всеми типичными для возбудителя сибирской язвы характеристиками [4–8]. Недооценка обозначенных фактов применительно к условиям Крайнего Севера [9], связанная с отсутствием на обследуемых территориях официально зарегистрированных почвенных очагов сибирской язвы, была усугублена возникновением в тундре Ямало-Ненецкого АО вспышки опасного зооноза [10]. Сибирская язва как особо опасная инфекция представляет потенциальную и реальную опасность во всех медико-географических зонах Якутии, и современная оценка ее в условиях антропогенного пресса и глобального изменения климата в самом холодном регионе Северо-Восточной Азии очень актуальна [4, 5, 11–14].

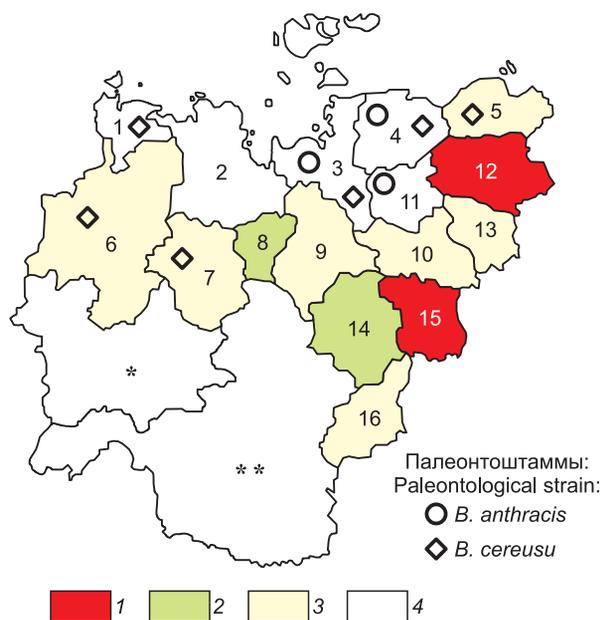
В работе представлены результаты системного эпизоотолого-эпидемиологического мониторинга сибирской язвы в следующих зонах Якутии: Западно-Вилуйской, Центральной, Южной, Северо-Западной, Арктической и Восточной [15–17]. В порядке медико-экологического, санитарно-гигиенического сопровождения формирования и эксплуатации промышленных объектов на территориях Жиганского, Оленекского, Анабарского и Булунского районов (о. Ляховский) за период 2005–2016 гг. отработано 17 фокусных инфраструктурных площадок: промобъекты, водотоки, площадки водохранилища, территории вахтовых поселков. Бактериологически исследовано 63 абиотических (почва, вода) и 73 биотических проб (мелкие мышевидные грызуны и др.). В результате выделено семь штаммов *B. cereus*, являющихся близкородственными к *B. anthracis*. Особое место занимают микроорганизмы, сохраняющиеся в условиях вечной мерзлоты, знания о которых стали достоянием науки и практики, включая понятие «польза–вред» [18, 19]. Дополнительные риски возникновения чрезвычайно опасных ситуаций, связанных с захоронениями в условиях вечной мерзлоты, создают и глобальные изменения климата, выражающиеся в высоких широтах трендами глобального потепления [13, 14, 19–22]. Научные подходы к решению задач по обеспечению санэпидблагополучия населения приобретают системно-пространственный и фокусный характер [3, 15, 16].

Материалы и методы исследования

При изучении эпизоотической ситуации по сибирской язве собраны и использованы данные официальной статистической отчетности с 1811 по 1993 г.: Управления ветеринарии Якутской области, годовые отчеты, служебные информации НКЗ Якутской АССР, Министерства сельского хозяйства и Департамента ветеринарии Республики Саха (Якутия) о сроках регистрации неблагополучных пунктов и случаях проявления болезни в них, а также материалы собственных исследований эпизоотических очагов сибирской язвы в ЯАССР (Республике Саха (Якутия)). Эпидемиологический анализ и оценка специфической ситуации основаны на отчетных материалах Управления Роспотребнадзора по РС(Я) и фондовых обследовательских, лабораторно-исследованных данных ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в РС(Я)». Использованы результаты углубленных научных разработок, проведенных на базах референс-центров и специализированных учреждений, включая совместные публикации.

Предметно-целевые, палеомикробиологические исследования были начаты с изучения останков юкагирского мамонта, когда определенное биоразнообразие извлеченных микроорганизмов поставило вопрос об их идентификации на предмет патогенности, вирулентности и потенциальной опасности [23, 24]. При микробиологическом исследовании палеоматериала мозга юкагирского мамонта выделены семь бактериальных морфотипов, в том числе бактерии рода *Bacillus*, один из которых имел полную идентичность по последовательности гена 16 S рРНК с *Bacillus anthracis* [25]. В разные годы из палеоматериала и проб почвы мамонтовой фауны идентифицировались бактерии рода *Bacillus*: *Bacillus anthracis* и близкородственные (*Bacillus cereus*, *Bacillus subtilis*). Определялись также мало изученные бактерии: *Bacillus sporotermomodurans*, *Bacillus sphaericus*, *Paenibacillus*, *Kurita sibirica* spp. [26–28].

Сохранение микробов в ископаемом состоянии – одна из актуальных проблем Арктической зоны, особенно применительно к роду *Bacillus*. Большая часть бактерий рода *Bacillus*, выделенных из изученных объектов, по морфологическим признакам и биохимическим реакциям дифференцирована как *B. cereus*, а также *B. sphericus* [29, 30]. Бактериологическая достоверность подтверждена исследованиями в рефе-



Арктическая зона / the Arctic part

1. Анабарский р-н / Anabarsky District
2. Булунский р-н / Bulunsky District
3. Усть-Янский р-н / Ust-Yansky District
4. Аллаиховский р-н / Allaykhovsky District
5. Нижнеколымский р-н / Nizhnekolymsky District
6. Оленекский р-н / Olenyoksky District
7. Жиганский р-н / Zhigansky District
8. Эвено-Бытантайский р-н / Eveno-Bytantaysky District
9. Верхоянский р-н / Verkhoyansky District
10. Момский р-н / Momsky District
11. Абыйский р-н / Abyisky District
12. Среднеколымский р-н / Srednekolymsky District
13. Верхнеколымский р-н / Verkhnekolymsky District

Восточная зона / the Eastern part

14. Оймяконский р-н / Oymyakonsky District
15. Томпонский р-н / Tomponsky District
16. Усть-Майский р-н / Ust-Maysky District

Уровень инцидентности и степень неблагополучия по сибирской язве территории Республики Саха (Якутия) за 1811–1993 гг.:

1 – высокий уровень инцидентности и неблагополучия (11–90 вспышек болезни); 2 – средний уровень инцидентности и неблагополучия (4–10 вспышек); 3 – низкий уровень инцидентности и неблагополучия (1–3 вспышки); 4 – зона, свободная от сибирской язви.

Anthrax incidence level and contamination degree in the territory of the Sakha Republic (Yakutia) from 1811 to 1993:

1 – high level of incidence and contamination (11–90 disease outbreaks); 2 – average level of incidence and contamination (4–10 outbreaks); 3 – low level of incidence and contamination (1–3 outbreaks); 4 – anthrax-free zone.

Примечание: *Западная зона [17], **Центральная и Южная зоны [18].

Footnote: * Western zone [17], ** Central and South zones [18].

ренс-центрах [31], особенно когда имело место выявление *B. anthracis* [32, 33]. Обозначенные подходы обусловлены новыми аспектами известной проблемы: впервые на территории зарегистрирована арофаренгиальная форма болезни и получены новые данные о близкородственных сибиреязвенному микробу видах и возможности выявления у *B. cereus* и других бацилл специфических факторов, вызывающих развитие «антропакподобных» заболеваний [11, 34].

Результаты и обсуждение

В статье приводятся материалы по эпизоотолого-эпидемиологическому мониторингу сибирской язви в Арктической и Восточной экономических зонах республики.

По показателям активности эпизоотического процесса, уровню инцидентности и степени неблагополучия по сибирской язве изучаемая территория (см. рисунок) разделена на четыре фрагментарные эпизоотологические зоны: зона высокого уровня инцидентности и неблагополучия (от 11 до 90 вспышек болезни), зона со средним уровнем инцидентности и неблагополучия (4–10 вспышек болезни), зона с низким уровнем инцидентности и неблагополучия (1–3 вспышки болезни) и зона, свободная от сибирской язви [6].

Представленную картографическую информацию [34] с аппликацией знаков выделения *Bacillus* рекомендуется рассматривать как начальный вариант геоинформационной оценки эпизоотолого-эпидемиологического риска в отношении сибирской язви по административным районам (улусам) Якутского сектора Российской Арктики. По обозначенному опыту будет создан растровый или векторный слой, отражающий уровни риска [34] возникновения вспышек болезни. Наложение полученной карты территории риска на карты населенных пунктов и зон хозяйственной деятельности [4–6, 9, 19, 22, 33, 34] позволит оценить степень обсуждаемого проблемного риска, в том числе с привязкой данных к кадастровой карте и наложением размеров санитарно-защитных зон.

За исследуемый период в районах, входящих в состав Арктической экономической зоны, зарегистрировано 117 эпизоотий сибирской язви в 28 СНП СЯ, в районах в составе Восточной экономической зоны – 41 эпизоотия сибирской язви в 19 СНП СЯ (см. таблицу). Анализ эпизоотолого-эпидемиологического мониторинга показал, что 158 очагов сибирской язви и 48 стационарно

Показатели проявления эпизоотического процесса сибирской язвы и падежа животных на территории Республики Саха (Якутия) с 1811 по 1993 г.

The index of the anthrax epizootic processes manifestation and the animals death rate on the territory of the Sakha Republic (Yakutia) from 1811 to 1993

Название экономических зон и районов / Economic zones and areas	Кол-во населенных пунктов / Settlements number	Кол-во неблагополучных населенных пунктов / Settlements with contaminated areas	Доля неблагополучных населенных пунктов, % / % of settle-ments with contaminated areas	Кол-во сиб. Язвы / Anthrax quantity	Число павших животных / Loss of animals				
					КРС / Cattle	Лошадь / Horses	Олени / Deer	Дикие живот. / Wild animals	Всего / Total
Арктическая зона / The Arctic part									
Анабарский район / Anabarsky District	3	0	0	0	0	0	0	0	0
Аллайховский район / Allaykhovsky District	7	0	0	0	0	0	0	0	0
Абыйский район / Abyisky District	7	0	0	0	0	0	0	0	0
Булунский район / Bulunsky District	10	0	0	0	0	0	0	0	0
Жиганский район / Zhigansky District	4	3	75	5	38	18	1871	0	1927
Оленекский район / Olenyoksky District	4	4	100	10	0	0	1096	10	1106
Усть-Янский район / Ust-Yansky District	10	0	0	0	0	0	0	0	0
Нижнеколымский район / Nizhnekolymsky District	13	2	15,2	2	4	21	0	0	25
Верхнеколымский район / Verkhnekolymsky District	6	2	33,3	4	34	55	0	0	89
Верхоянский район / Verkhoyansk District	29	3	10,3	6	140	227	850	0	1217
Момский район / Momsky District	7	2	28,5	4	0	6	351	0	357
Среднеколымский район / Srednekolymsky District	15	11	73,3	85	2625	9617	5459	0	17701
Эвено-Бытантайский район / Eveno-Bytantaysky District	4	1	25,0	1	0	0	12	0	12
Всего / Total	119	28	23,5	117	2841	9944	9639	10	22434
Восточная зона / The Eastern Part									
Оймяконский район / Oymyakonsky District	16	12	75,0	26	508	755	1109	0	2372
Томпонский район / Tomponsky District	14	4	28,5	8	1	3	882	0	886
Усть-Майский район / Ust-Maysky District	15	3	13,3	7	56	20	0	0	76
Всего / Total	45	19	42,2	41	565	778	1991	0	3334

неблагополучных пунктов, зарегистрированных на территории республики, отмечены на территории Арктической и Восточной экономических зонх.

На территории Якутии с 1811 по 1993 г. зарегистрировано 739 вспышек эпизоотий сибирской язвы в 244 неблагополучных населенных пунктах с падежом 78017 голов домашних и диких животных (КРС – 29480, лошадей – 35995, оленей – 12517, диких животных – 25). Из таблицы видно, что число павших животных в районах Арктической экономической зоны составляет 22434 голов (28,7 %), из них КРС 2841 (12,6 %), лошади 9944 (44,3 %), олени 9639 (42,9 %) и дикие животные 10 (0,04 %). В районах Восточной экономической зоны пало 3334 голов домашних животных (4,27 %), из них КРС 565 (16,9 %), лошади 778 (23,3 %) и олени 1991 (60 %) голов.

В СНП СЯ эпизоотии сибирской язвы регистрировались периодически через различные промежутки времени. В Арктической экономической зоне сибирская язва регистрировалась на протяжении ряда лет ежегодно в 88 СНП СЯ, в том числе в 21 – через 1 год, в одном – через 2 года, в двух – через 3 года, по одному случаю – через 4 года, в одном случае – через 5 лет, в трех – через 10 лет. В Восточной экономической зоне в 10 СНП СЯ эпизоотии сибирской язвы регистрировались на протяжении ряда лет ежегодно, в 18 – через 1 год, в двух – через 2 года, в двух – через 3 года, в шести – через 4 года, в трех – через 5 лет.

Повторяемости эпизоотий сибирской язвы в одном и том же населенном пункте выразились следующими показателями. В Арктической экономической зоне в 14 (43,7 %) населенных пунктах очаги сибирской язвы регистрировались однократно, в 9 (28,2 %) – два раза, в одном (3,2 %) – 3 раза, в трех (9,3 %) населенных пунктах – от 10 до 18 раз. В Восточной экономической зоне в 13 (68,5 %) населенных пунктах – однократно, в трех (15,9 %) – два раза, в одном (5,2 %) – 3 раза, в одном (5,2 %) – от 4 до 6 раз, в одном (5,2 %) населенном пункте – от 7 до 9 раз.

За исследуемый период сибирская язва выявлена в основном у крупного рогатого скота, лошадей, домашних и диких оленей. Основную часть падежа в Арктической и Восточной экономических зонах составляли олени 11630 (45,1 %), лошади 10722 (41,6 %), крупный рогатый скот 3406 (13,2 %), дикие животные 10 (0,04 %) от общего числа падежа 25768 голов. Анализ

эпизоотолого-эпидемиологического мониторинга сибирской язвы в Арктической и Восточной экономических зонах республики позволил выявить стационарно неблагополучные населенные пункты, где активно проявлялись эпизоотии сибирской язвы и массовый падеж среди домашних и диких животных.

Заключение

По результатам эпизоотолого-эпидемиологического мониторинга установлено, что из 35 административных районов республики эпизоотии сибирской язвы отмечены в 29 районах. Вспышки сибирской язвы зарегистрированы 739 раз в 244 неблагополучных населенных пунктах, где число павших голов домашних и диких животных составило 78017. На территории Арктической экономической зоны зарегистрировано 117 эпизоотий сибирской язвы в 28 стационарно неблагополучных населенных пунктах, число павших животных составило 22434 (28,7 % голов от общего числа животных), в том числе: КРС – 2841 голов (12,6), лошади – 9944 (44,3), олени – 9639 (42,9 %), дикие животные – 10 голов (0,01 %). В Восточной экономической зоне зарегистрирован 41 очаг сибирской язвы в 19 стационарно неблагополучных населенных пунктах с общим падежом домашних животных 3334 (4,27 %) голов: КРС 565 (16,9), лошади 778 (23,3), олени 1991 (60 %).

По результатам архивных исследований в Арктической экономической зоне выявлены неблагополучные населенные пункты: в Среднеколымском районе (села Кульдино, Кент-Кюель, Хатыннах, Аргахта, Эбах, Ойусардах, Сылгы-Ытар, Алеко-Кюель, Налымск, Сватай, г. Среднеколымск), в Верхнеколымском районе (села Нелемное и Усун-Кюель, пос. Зырянка), в Нижнеколымском районе (пос. Черский, с. Походск), в Момском районе (села Сасыр и Соболох), в Оленекском районе (села Оленек, Жилинда, Харыялах, Эйик), в Верхоянском районе (села Томтор и Сайды, г. Верхоянск), в Жиганском районе (пос. Жиганск, села Кыстатыам и Баханай), в Эвено-Быгантайском районе (с. Батагай-Алыта). Неблагополучные населенные пункты по районам в Восточной экономической зоне: в Оймяконском районе (поселки Нелькан и Усть-Нера, села Томтор, Оймякон, Ючюгей, Орто-Балаган, Хара-Тумул, Биэрэк-Урдэ, Терють), в Томпонском районе (пос. Теплый-Ключ, села Тополинное, Крест-Хальджай, Кэскил, Ары-Толон), в Усть-Майском районе (села Белькачи и Троицк).

Анализ последних вспышек сибирской язвы в Жиганском, Оленекском, Верхоянском, Эвено-Бытантайском районах показывает, что на территории всех районов Арктической и Восточной экономических зон эпизоотии сибирской язвы в последние 20-30 лет не проявлялись. Несмотря на это, существует высокая вероятность наличия значительного количества неучтенных сибирезязвенных захоронений, в которых, согласно записям архивных документов, ежегодно регистрировались очаги сибирской язвы в Колымском и Верхоянском округах Якутской области в конце XIX и начале XX вв. В настоящее время на территории северных районов республики сохраняется риск возникновения (оживление) почвенных очагов сибирской язвы вследствие паводков рек Яна, Индигирка, Колыма (затопление сибирезязвенных СНП СЯ, пастбищ и населенных пунктов) и крупномасштабных объемов земляных работ (добыча алмазов, золота, нефти, газа и другие виды недропользования).

Учитывая эпизоотологическую ситуацию по сибирской язве на территории Арктической и Восточной экономических зон, можно сделать вывод о недопустимости прекращения превентивных, профилактических мероприятий среди домашних животных вне зависимости от срока давности последних проявлений очагов сибирской язвы. Актуальной также остается задача предупредительной вакцинации декретированных групп людей (отдельных лиц, групп, профессиональных коллективов).

Литература

1. Самутин Н.М., Балагур Л.А. Сибирезязвенные скотомогильники как фактор экологической опасности // Материалы XII Всероссийского съезда гигиенистов и санитарных врачей. Т. I: М., 2017. С. 274–277.
2. Пакскина Н.Д., Попова И.В. Об организации эпизоотологического надзора за сибирской язвой на территории Российской Федерации // Обеспечение эпизоотологического благополучия: вызовы и решения / Материалы XI съезда ВНПОЭМиП. СПб., 2017. С. 31–32.
3. Решение рабочего совещания специалистов Госсанэпидслужбы субъектов РФ Восточной Сибири и Дальнего Востока по вопросам профилактики особо опасных инфекционных болезней // Журнал инфекционной патологии. 1977. № 3. С. 43–45.
4. Чернявский В.Ф., Карпов В.С., Каратаева Т.Д. Основные зооантропонозы в Якутии (эпизоотология и эпидемиология). Якутск, 1997. С.27–65.
5. Егоров И.Я., Марамович А.С., Ботвинкина А.Д. Эпиднадзор за особо опасными и природоочаговыми

инфекциями в условиях Крайнего Севера. Якутск: Кудук, 2000. 248 с.

6. Дягилев Г.Т., Неустроев М.П. Эпизоотологическая характеристика сибирской язвы с 1811 по 1993 гг. в Республике Саха (Якутия) // Актуальные вопросы ветеринарной биологии. 2012. № 1. С. 33–36.

7. Соркин Ю.И. Сибирская язва в Восточной Сибири (1860–1967 гг.): Автореферат дис. канд. мед. наук. Саратов, 1972. 29 с.

8. Маринин Л.И., Шишкова Н.А. Роль почвы в поддержании неблагополучия по сибирской язве // Материалы X Всероссийского съезда гигиенистов и санитарных врачей. Книга II. М., 2007. С. 742–745.

9. Карнаухов И.Г., Куклев В.Е., Плотникова Е.А., Куклев Е.В., Куличенко А.Н. К вопросу выживаемости спор *V. Anthracis* и существование почвенных очагов сибирской язвы в клинических условиях Крайнего Севера // Материалы IX съезда Всероссийского научно-практического общества эпидемиологов, микробиологов и паразитологов. Т. II. М., 2007. С. 211–213.

10. Дугаржапова З.Ф., Чеснокова М.В., Косилко С.А. Текущая ситуация по сибирской язве в некоторых субъектах Сибири и Дальнего Востока // Материалы XI съезда Всероссийского научно-практического общества эпидемиологов, микробиологов и паразитологов (г. Москва, 16–17 ноября 2017 г.). М., 2017. С. 203.

11. Плеханов А.Н. Сибирская язва – особо опасная инфекция в клинической практике // Якутский медицинский журнал. 2011. № 3. С. 61–64.

12. Чернявский В.Ф., Егоров И.Я., Никифоров О.И., Антонов Н.А., Софронова О.Н., Архипов Н.А., Еремеев В.И., Саргыдаев С.А., Макарова Л.И., Никитина А.А. Сибирская язва (стационарно-неблагополучные очаги) и их эпизоотолого-эпидемиологическая оценка / Медико-профилактическому факультету 80 лет. Традиции и современность. Иркутск, 2010. С. 127–132.

13. Чернявский В.Ф., Кершенгольц Б.М., Ретин В.Е., Никифоров О.И., Софронова О.Н., Беланов Е.Ф., Антонов Н.А. Современное состояние и эпидемиологический прогноз по природно-очаговым и особо опасным инфекциям на территории Якутии в условиях интенсивного промышленного освоения региона (мегапроекты) и глобального измерения климата // Вопросы региональной гигиены, санитарии, эпидемиологии и медицинской экологии. Якутск, 2009. С. 379–402.

14. Соломонов Н.Г., Егоров И.Я., Чернявский В.Ф., Кершенгольц Б.М., Ретин В.Е. Современное состояние и эпидемиологический прогноз по природно-очаговым и особо опасным инфекциям на территории Якутии в условиях интенсивного промышленного освоения региона (мегапроекты) и глобального изменения климата // Материалы IX Международного Симпозиума по развитию холодных регионов. Якутск, 2010. С. 110–111.

15. Дягилев Г.Т., Игнатьева М.Е., Чернявский В.Ф. Эпизоотологический мониторинг сибирской язвы в Виллойской зоне Республики Саха (Якутия) и его эпи-

демиологическая значимость // Наука и Образование. 2017. № 3 (87). С. 140–145.

16. Дягилев Г.Т., Чернявский В.Ф., Игнатъева М.Е., Софронова О.Н., Никифоров О.И. Эпизоотолого-эпидемиологический мониторинг сибирской язвы в Центральной и Южной зонах Якутии. Якутск, 2018. С. 96–100.

17. Чернявский В.Ф., Никифоров О.И., Софронова О.Н., Антонов Н.А., Романова И.А., Данилов Л.Л. Современная обстановка по природно-очаговым инфекциям на территории северо-западной Якутии // Материалы X съезда ВНПОЭМП, Москва, 12–13 апреля 2012 г. М., 2012. С. 176–177.

18. Репин В.Е., Пугачев В.Г. Потенциальная опасность микроорганизмов, пришедших из прошлого // Материалы IX съезда Всероссийского научно-практического общества эпидемиологов, микробиологов, паразитологов. 2007. Т. 2. С. 268.

19. Кершенгольц Б.М., Чернявский В.Ф., Репин В.Е., Никифоров О.И., Софронова О.Н. Влияние глобальных климатических изменений на реализацию потенциала инфекционных заболеваний населения в Российской Арктике (на примере Якутии) // Обзор. Экология человека. 2009. № 6. С. 34–39.

20. Титенко А.М., Чернявский В.Ф., Беланов Е.Ф. Угрозы возникновения чрезвычайных ситуаций, связанные с захоронениями в зоне вечной мерзлоты // Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций: Материалы IX науч.-практ. конф. М., 2009. С. 92–93.

21. Чернявский В.Ф., Пугачев В.Г., Таранов О.С., Никифоров О.И., Софронова О.Н., Репин В.Е. Микробиологические исследования ископаемых животных вечной мерзлоты // Перспективы сотрудничества государств – членов ШОС в противодействии угрозе инфекционных болезней. Матер. Междунар. науч.-практ. конф. Новосибирск, 2009. С. 170–172.

22. Ревич Б.А., Шапошников Д.А., Кершенгольц Б.М., Чернявский В.Ф., Никифоров О.И., Софронова О.Н., Репин В.Ф., Рубинштейн К.Г., Ткачук С.В., Харькова Т.Л., Кваша К.А., Тихонова Г.И., Горчакова Т.Ю. Климатические изменения как фактор риска здоровью населения Российской Арктики // ВКН.: Вклад России в Международный полярный год 2007/08 Serles: Contribution of Russia to International Polar Year 2007/08. Проблемы здравоохранения и социального развития Арктической зоны России. Ч. 1. Климат Арктики как фактор риска здоровью. М.; СПб., 2011. С. 8–65.

23. Repin V., Pugachev V., Taranov O., Totmenina O., Emelianova E., Torok T., and Belikov S. What secrets does Yukagir mammoth brain harbor? // International Symposium on Yukagir Mammoth: Recent Advance in Yukagir Mammoth Researches. Japan Association for the 2005 World Exposition. 2005. P. 17–19.

24. Репин В.Е., Пугачев В.Г., Таранов О.С., Тотменина О.Д., Беликов С.И., Орешкова С.Ф., Андреева И.С., Пучкова Л.И., Емельянова Е.К., Рябчикова Е.И., Игнатов И., Мокеева А. Биоразнообразие микроорга-

низмов, извлеченных из мозгов Юкагирского мамонта // Материалы IV Международной мамонтовой конференции. Якутск, 2007. С. 48–53.

25. Репин В.Е., Пугачев В.Г., Таранов О.С., Тотменина О.Д., Беликов С.И., Орешкова С.Ф., Мокеева А.А., Пучкова Л.И., Андреева И.С., Чернявский В.Ф., Емельянова Е.К. Потенциальная опасность, пришедшая из прошлого // Материалы IX съезда Всероссийского научно-практического общества эпидемиологов, микробиологов, паразитологов. 2007. Т. 2. С. 268.

26. Sofronova O.N., Kasyam I.A. et. al. Isolation of culture of a microbe of a *Bacillus* species from the trunk of the Oymyakon mammoth baby // Quaternaire international journal of the French Quaternary Association. Hors-serie-Numero 3-2010. P. 58.

27. Подтверждение трех штаммов *B. Anthracis* от палеонтологического материала Хронского мамонтенка // Письмо ФГУЗ Иркутского НИПЧИ Сибири и ДВ № 248 от 22.04.2010. Приложение. 4 с.

28. Ерофеевская Л.А., Софронова О.Н., Софронова В.М. Ископаемые и современные бактерии рода *Bacillus* и нефть // Мат. трудов 1-й международной телеконференции «Проблемы и перспективы современной медицины, биологии и экологии». Саратов, 2010. Том 1, № 1. С. 83–87.

29. Петерсон А.М., Глинская Е.В., Грива Г.И., Брушков А.В., Репин В.Е., Чернявский В.Ф., Софронова О.Н. Бактерии, выделенные из реликтовых мерзлых толщ Центральной Якутии // Якутский медицинский журнал. 2011. № 4. С. 70–76.

30. Репин В.Е., Саранина И.В., Пугачев В.Г., Таранов О.С., Брушков А.В., Грива Г.И., Чернявский В.Ф., Софронова О.Н., Романова И.А., Никифоров О.И., Антонов Н.А. Оценка бактериологической достоверности палеообразцов // Якутский медицинский журнал. 2010. № 3. С. 67–71.

31. Идентификация штамма ЛП-1,4-Д до вида с помощью анализа 16S РНК / ФГУП ГосНИИГенетика // Всероссийская коллекция промышленных микроорганизмов. Заключение.

32. Идентификация жизнеспособности спор возбудителя сибирской язвы и выделения 3-х штаммов возбудителя *B. Anthracis* // Заключение ФБУН «Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии». – № 1412/1167 от 12.03.2018 г.

33. Куличенко А.Н., Рязанова А.Г., Еременко Е.И., Куличенко И.И. Сибирская язва – новые аспекты известной проблемы // Материалы XI съезда ВНПОЭМП. Обеспечение эпидемиологического благополучия: вызовы и решения. СПб., 2017. С. 25.

34. Симонова Е.Г., Гулюкин М.И., Шабейкин А.А. Использование геоинформационных систем для оценки потенциальной эпизоотолого-эпидемиологической опасности почвенных очагов сибирской язвы // Обеспечение эпидемиологического благополучия: Роль эпидемиологии в сохранении здоровья нации. Материалы XI съезда ВНПОЭМП. М., 2017. С. 204.

References

1. *Samutin N.M., Balagur L.A.* Anthrax cattle cemetery as a factor of environmental danger. Materials of the XII All-Russian Congress of Hygienists and Sanitary Physicians, V. I: Moscow, 2017. P. 274–277.
2. *Pakskina N.D., Popova I.V.* On the organization of epidemiological surveillance of anthrax in the Russian Federation. Ensuring epidemiological welfare: challenges and solutions // Materials of the XI Congress of All-Russian Scientific and Practical Society of Epidemiologists, Microbiologists and Parasitologists. Saint Petersburg, 2017. P. 31–32.
3. *The decision* of the workshop of specialists from the State Sanitary-Epidemiological Service of the subjects of the Russian Federation of Eastern Siberia and the Far East on the prevention of especially dangerous infectious diseases. Journal of Infectious Pathology. 1977. N 3. P. 43–45.
4. *Chernyavsky V.F., Karpov V.S., Karataeva T.D.* The main zoonoses in Yakutia (epizootology and epidemiology). Yakutsk, 1997. P. 27–65.
5. *Egorov I.Y., Maramovich A.S., Botvinkina A.D.* Surveillance of especially dangerous and natural focal infections in the conditions of the Far North. Yakutsk: Kuduk, 2000. 248 p.
6. *Dyagilev G.T., Neustroev M.P.* Epizootological characteristics of anthrax from 1811 to 1993 in the Republic of Sakha (Yakutia). Actual problems of veterinary biology. 2012. N 1. P. 33–36.
7. *Sorkin Y.I.* Anthrax in Eastern Siberia (1860-1967): Thesis abstract on competition of a scientific degree of a candidate of medical sciences. Saratov, 1972. 29 p.
8. *Marinin L.I., Shishkova N.A.* The role of the soil in the maintenance of problems of anthrax // Materials of the X All-Russian Congress of Hygienists and Sanitary Physicians. Book II. Moscow, 2007. P. 742–745.
9. *Karnaukhov I.G., Kuklev V.E., Plotnikova E.A., Kuklev E.V., Kulichenko A.N.* On the question of the survival of B. anthracis spores and the existence of anthrax foci in the clinical conditions of the Far North // Materials of the IX Congress of All-Russian Scientific and Practical Society of Epidemiologists, Microbiologists and Parasitologists. V. II. Moscow, 2007. P. 211–213.
10. *Dugarzhapova Z.F., Chesnokova M.V., Kosilko S.A., Balakhonov S.V.* The current situation of the Siberian anthrax in some subjects of Siberia and the Far East // Materials of the XI Congress of the All-Russian Scientific and Practical Society of Epidemiologists, Microbiologists and Parasitologists. Moscow, 16–17 XI 2017. Moscow, 2017. P. 203.
11. *Plekhanov A.N.* Anthrax is a particularly dangerous infection in clinical practice // Yakut Medical Journal. 2011. N 3. P. 61–64.
12. *Chernyavsky V.F., Egorov I.Y., Nikiforov O.I., Antonov N.A., Sofronova O.N., Arkhipov N.A., Eremeyev V.I., Sargidaev S.A., Makarova L.I., Nikitina A.A.* Anthrax (stationary-disadvantaged foci) and their epizootic-epidemiological evaluation / Medical-prophylactic Faculty is 80 Years Old. Traditions and Modernity. Irkutsk, 2010. P. 127–132.
13. *Chernyavsky V.F., Kershengolts B.M., Repin V.E., Nikiforov O.I., Sofronova O.N., Belanov E.F., Antonov N.A.* The current state and epidemiological forecast of natural focal and especially dangerous infections in the territory of Yakutia in the context of intensive industrial development of the region (megaprojects) and global climate change // Issues of Regional Hygiene, Sanitation, Epidemiology and Medical Ecology. Yakutsk, 2009. P. 379–402.
14. *Solomonov N.G., Egorov I.Y., Chernyavsky V.F., Kershengolts B.M., Repin V.E.* The current state and epidemiological forecast for natural focal and especially dangerous infections in the territory of Yakutia in the context of intensive industrial development of the region (megaprojects) and global climate change // Materials of the IX International Symposium on the Development of Cold Regions. Yakutsk, 2010. P. 110–111.
15. *Dyagilev G.T., Ignatyeva M.E., Chernyavsky V.F.* Epizootological monitoring of anthrax in the Vilyui zone of the Republic of Sakha (Yakutia) and its epidemiological significance // J.: Science and Education. 2017. N 3 (87). P. 140–145.
16. *Dyagilev G.T., Chernyavsky V.F., Ignatyeva M.E., Sofronova O.N., Nikiforov O.I.* Epizootologic and epidemiological monitoring of anthrax in the central and southern zones of Yakutia. Yakutsk, 2018. P. 96–100.
17. *Chernyavsky V.F., Nikiforov O.I., Sofronova O.N., Antonov N.A., Romanova I.A., Danilov L.L.* The current situation on natural focal infections in north-western Yakutia // Materials of the 10th Congress of All-Russian Scientific and Practical Society of Epidemiologists, Microbiologists, Parasitologists, Moscow, April 12–13, 2012. Moscow, 2012. P. 176–177.
18. *Repin V.E., Pugachev V.G. et al.* The potential danger of microorganisms coming from the past. Materials of the IX Congress of the All-Russian Scientific and Practical Society of Epidemiologists, Microbiologists, Parasitologists, 2007. V. 2. P. 268.
19. *Kershengolts B.M., Chernyavsky V.F., Repin V.E., Nikiforov O.I., Sofronova O.N.* The impact of global climate change on the realization of the potential of infectious diseases of the population in the Russian Arctic (on the example of Yakutia) // Overview. Human Ecology, 2009. N 6. P. 34–39.
20. *Titenko A.M., Chernyavsky V.F., Belanov E.F.* Threats of emergencies associated with burials in the permafrost zone. Problems of Forecasting Emergencies: Proceedings of the IX Scientific and Practical Conference. Moscow, 2009. P. 92–93.
21. *Chernyavsky V.F., Pugachev V.G., Taranov O.S., Nikiforov O.I., Sofronova O.N., Repin V.E.* Microbiological studies of permafrost fossil animals. Prospects for cooperation of the SCO member states in countering the threat of infectious diseases. Materials of the International

Scientific and Practical Conference. Novosibirsk, 2009. P. 170–172.

22. *Revich B.A., Shaposhnikov D.A., Kershengolts B.M., Chernyavsky V.F., Nikiforov O.I., Sofronova O.N., Repin V.F., Rubinshtein K.G., Tkachuk S.V., Kharkova T.L., Kvasha K.A., Tikhonova G.I., Gorchakova T.U.* Climate change as a risk factor for the health of the population of the Russian Arctic. Series: Contribution of Russia to International Polar Year 2007/08. Problems of public health and social development of the Arctic zone of Russia. Part 1. The Arctic climate as a risk factor for health. Moscow; Saint Petersburg, 2011. P. 8–65.

23. *Repin V., Pugachev V., Taranov O., Totmenina O., Emelianova E., Torok T., and Belikov S.* What secrets does Yukagir mammoth brain harbor? // International Symposium on Yukagir Mammoth: Recent Advance in Yukagir Mammoth Researches. Japan Association for the 2005 World Exposition. 2005. P. 17–19.

24. *Repin V.E., Pugachev V.G., Taranov O.S., Totmenina O.D., Belikov S.I., Oreshkova S.F., Andreyeva I.S., Puchkova L.I., Emelyanova E.K., Ryabchikova E.I., Ignatov I., Mokeyeva A.* Biodiversity of microorganisms extracted from the brains of the Yukagir mammoth // Proceedings of the IV International Mammoth Conference. Yakutsk, 2007. P. 48–53.

25. *Repin V.E., Pugachev V.G., Taranov O.S., Totmenina O.D., Belikov S.I., Oreshkova S.F., Moeyeva A.A., Puchkova L.I., Andreyeva I.S., Chernyavsky V.F., Emelyanova E.K.* Potential danger come from the past. Materials of the IX Congress of All-Russian Scientific and Practical Society of Epidemiologists, Microbiologists, Parasitologists. 2007. V. 2. P. 268.

26. *Sofronova O.N., Kasym I.A. et. al.* Isolation of culture of a microbe of a Bacillus species from the trunk of the Oymyakon mammoth baby // Quaternaire international journal of the French Quaternary Association. Hors-serie-Numero 3-2010. P. 58.

27. *Confirmation* of three strains of *B. anthracis* from the paleontological material of the Chronsky young mammoth. Letter of the Federal State Healthcare Institution of

the Irkutsk Scientific and Research Institute of Siberia and Far East № 248 from 22.04.2010. Appendix. 4 p.

28. *Erofeyevskaya L.A., Sofronova O.N., Sofronova V.M.* Fossil and modern bacteria of the genus BACILLUS AND OIL // Materials of the 1st international teleconference “Problems and prospects of modern medicine, biology and ecology.”. Saratov, 2010. V. 1, N 1. P. 83–87.

29. *Peterson A.M., Glinskaya E.V., Griva G.I., Brushkov A.V., Repin V.E., Chernyavsky V.F., Sofronova O.N.* Bacteria isolated from the remact frozen strata of Central Yakutia // Yakut Medical Journal. 2011. N 4. P. 70–76.

30. *Repin V.E., Saranina I.V., Pugachev V.G., Taranov O.S., Brushkov A.V., Griva I., Chernyavsky V.F., Sofronova O.N., Romanova I.A., Nikiforov O.I., Antonov N.A.* Evaluation of bacteriological reliability of paleo samples. Yakutsk Medical Journal. 2010. N 3. P. 67–71.

31. *Identification* of strain LP-1.4-D to species by analysis of 16S RNA. State Research Institute of Genetics and Breeding of Industrial Microorganisms / All-Russian Collection of Industrial Microorganisms. Conclusion.

32. *Identification* of the viability of anthrax pathogen spores and the isolation of 3 strains of *B. anthracis* pathogen. Conclusions Federal Budgetary Institution of Science “State Scientific Center for Applied Microbiology and Biotechnology”. N 1412/1167 from 12.03.2018.

33. *Kulichenko A.N., Ryazanova A.G., Eremenko E.I., Kulichenko I.I.* Anthrax – new aspects of the well-known problem. Proceedings of the XI Congress of All-Russian Scientific and Practical Society of Epidemiologists, Microbiologists, Parasitologists. Ensuring epidemiological welfare: challenges and solutions. St. Petersburg, 2017. P. 25.

34. *Simonova E.G., Gulyukin M.I., Shabeikin A.A.* The use of geographic information systems to assess the potential epizootological and epidemiological risk of soil foci of anthrax // Ensuring epidemiological welfare: The role of epidemiology in maintaining the health of the nation. Materials of the XI Congress of All-Russian Scientific and Practical Society of Epidemiologists, Microbiologists and Parasitologists. Moscow, 2017. P. 204.

Поступила в редакцию 23.05.2019

Принята к публикации 19.07.2019

Об авторах

ДЯГИЛЕВ Григорий Тимофеевич, кандидат ветеринарных наук, заслуженный ветеринарный врач РС(Я), старший научный сотрудник лаб. ветеринарной биотехнологии ФГБНУ «Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова», 677001, Якутск, ул. Бестужева-Марлинского, 23/1, yniicx@mail.ru;

ЧЕРНЯВСКИЙ Виктор Федорович, кандидат медицинских наук, заслуженный врач РФ, врач-эпидемиолог ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в РС(Я)», консультант ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, 677000, Якутск, ул. Ойунского, 9, roiooi@fbuz14.ru;

ЭПИЗООТОЛОГО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СИБИРСКОЙ ЯЗВЫ

ЕГОРОВ Иван Яковлевич, доктор медицинских наук, заслуженный врач РФ и РС(Я), заведующий отделом научно-практической работы ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в РС(Я)», 677000, Якутск, ул. Ойунского, 9, yakutia@14.rospotrebnadzor.ru;

СОФРОНОВА Октябрина Николаевна, кандидат медицинских наук, заведующий лабораторией особо-опасных и природно-очаговых инфекций, врач-бактериолог высшей категории, доцент ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, 677027, Якутск, ул. Белинского, 58, sofronova56@mail.ru;

НИКИФОРОВ Олег Иннокентьевич, специалист по медицинской зоологии, ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в РС(Я)», 677000, Россия, Якутск, ул. Ойунского, д. 9, poiooi@fbuz14.ru.

About authors

DYAGILEV Grigory Timofeyevich, Candidate of Veterinary Sciences, Honored Veterinarian of the Republic of Sakha (Yakutia), Senior Researcher at the Laboratory of Veterinary Biotechnology, M. G. Safronov Yakut Scientific Research Institute of Agriculture, 23/1 Bestuzheva-Marlinskogo str., Yakutsk, 677001, Russia, yniicx@mail.ru;

CHERNYAVSKY Viktor Fedorovich, Candidate of Medical Sciences, Honored Doctor of the Russian Federation, Epidemiologist at the Center of Hygiene and Epidemiology in the Republic of Sakha (Yakutia), Consultant of the M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 9 Oyunskogo str., Yakutsk, 677000, Russia, poiooi@fbuz14.ru;

EGOROV Ivan Yakovlevich, Doctor of Medical Sciences, Honored Health Worker of the Russian Federation and the Republic of Sakha (Yakutia), Head of the Department of Scientific and Practical Work at the Center of Hygiene and Epidemiology in the Republic of Sakha (Yakutia), 9 Oyunskogo str., Yakutsk, 677000, Russia, yakutia@14.rospotrebnadzor.ru;

SOFRONOVA Oktyabrina Nikolaevna, Candidate of Medical Sciences, Head of the Laboratory of Natural Focal and Highly Dangerous Infections, Bacteriologist of the Highest Category, Associate Professor of the M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 58 Belinskogo str., Yakutsk, 677027, Russia, sofronova56@mail.ru;

NIKIFOROV Oleg Innokentyevich, Medical Zoology Specialist at the Center of Hygiene and Epidemiology in the Republic of Sakha (Yakutia). 9 Oyunskogo str., Yakutsk, 677000, Russia, poiooi@fbuz14.ru.

Информация для цитирования

Дягилев Г.Т., Чернявский В.Ф., Егоров И.Я., Софронова О.Н., Никифоров О.И. Эпизоотолого-эпидемиологический мониторинг сибирской язвы в Арктической и Восточной зонах Якутии//Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2019, том 24, № 2. С. 95–105. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-2-9>

Citation

Dyagilev, G.T., Chernyavsky, V.F., Egorov I.Ya. Sofronova, O.N., Nikiforov O.I. Epizootological and epidemiological monitoring of anthrax in the Arctic and Eastern zones of Yakutia // Arctic and Subarctic natural resources. 2019, vol. 24, No. 2. pp. 95–105. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-2-9>

Биологические ресурсы

УДК 597. 591

DOI 10.31242/2618-9712-2019-24-2-10

Рыбы водоемов северного Забайкалья

Е.П. Горлачева^{1,*}, А.В. Афонин^{1,**}, В.П. Горлачев²

¹Институт природных ресурсов экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия

²Забайкальский государственный университет, Чита, Россия

*gorl_iht@mail.ru

**alexgv@yandex.ru

Аннотация. Несмотря на то что север Забайкальского края расположен в зоне тайги, для региона характерно сочетание таежных ландшафтов с ландшафтами субарктической зоны. Это оказало существенное влияние на формирование ихтиофауны водоемов северных районов таежного Забайкалья, на территории которых в 2018 г. создан национальный парк «Кодар». В работе дается описание структуры ихтиоценозов разных водных экосистем. Показано уникальное сочетание рыб арктического, бореально-предгорного, бореально-равнинного комплексов. Приводится характеристика рыб р. Чара. В составе ихтиофауны реки доминировали представители бореально-предгорного комплекса и арктического. Наиболее часто встречался хариус, численность валька и тугуна незначительны. Приводятся материалы по росту и питанию хариуса, валька, тугуна р. Чара. Дается описание рыб глубоководных озер, которые по составу ихтиофауны делятся на гольцовые и сига-вые. В глубоководных озерах преобладают представители бореально-предгорного комплекса. Доминирование видов в озерах заметно различается, несмотря на близость их расположения. Дана характеристика роста и питания гольца, ленка, сига-пыжьяна. Приводятся материалы по видовому разнообразию Чкаловской группы озер. Анализируются причины, влияющие на изменения видового разнообразия рыб данной территории, связанные в первую очередь со строительством БАМа, загрязнением водных экосистем, усилением браконьерского лова.

Ключевые слова: Забайкалье, таежная зона, субарктика, ландшафты, ихтиофауна, фаунистические комплексы, линейно-весовые показатели, национальный парк «Кодар», БАМ.

Благодарности. Исследование выполнено при поддержке проекта IX.137. 1.1 «Биоразнообразии природных и природно-техногенных экосистем Забайкалья (Центральной Азии) как индикатор динамики региональных изменений климата».

DOI 10.31242/2618-9712-2019-24-2-10

Fish in the reservoirs of northern Transbaikalia

E.P.Gorlacheva^{1,*}, A.V. Afonin^{1,**}, V.P. Gorlachev²

¹Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, SB RAS, Chita, Russia

²Transbaikal State University, Chita, Russia

*gorl_iht@mail.ru

**alexgv@yandex.ru

Abstract. Although the northern part of the Transbaikal Territory is situated in the taiga zone, a combination of the taiga with the landscapes of the subarctic zone is a characteristic of the region. This fact had a substantial effect on the formation of ichthyofauna in water reservoirs of the northern regions of the taiga in Transbaikalia, where Kodar national park was established in 2018. A description of the structure of ichthyocenoses of various aquatic ecosystems is presented in the work. A unique combination of fish of the

Arctic, boreal-foothill, boreal-plain complexes is shown. Characterization of fish from the Chara river is presented. The representatives of the Boreal-foothill complex and the arctic complex were dominating in the ichthyofauna of the river. Grayling occurred most frequently. Round whitefish and tugun were rare. The data on the growth and nutrition of grayling, round whitefish, tugun in the Chara are reported. A description of fish in deep lakes is presented. The lakes relate to Salvelinus (Charr) and whitefish types according to the composition of the ichthyofauna. Representatives of the boreal foothill complex dominate in deep-water lakes. Species domination in lakes varies noticeably in spite of the close location of these lakes. The growth and nutrition of Brachymystax lenok, Salvelinus (Charr), humpback whitefish are characterized. The data on the species diversity for the Chkalovo group of lakes are presented. Reasons affecting the changes in the species diversity of fish at the territory under study are analyzed, first of all those connected with the construction of the BAM, pollution of water ecosystems, increased fish poaching.

Key words: Transbaikalia, the taiga zone, Subarctics, landscapes, ichthyofauna, faunistic complexes, linear weight indicators, Kodar National Park, BAM railway.

Acknowledgements. *The study was supported by project IX.137. 1. 1 «Biodiversity of natural and man-made ecosystems of Transbaikalia (Central Asia) as an indicator of regional climate change dynamic»*

Введение

Природа Северного Забайкалья уникальна. Для горных районов Севера Забайкалья, где выражена высотная поясность, характерны контрастность природных условий и разнообразие типов ландшафтов на небольших по площади территориях [1, 2]. Несмотря на то что север Забайкальского края относится к зоне тайги, для региона характерно наличие ландшафтов не только таежных, но и субарктической зоны. Это гольцовый пояс Кодара с современным горным оледенением, включающим более 40 висячих и каровых ледников [3], и предгольцовый пояс субарктического редколесья, участки лесотундры, ледниковые и водно-ледниковые формы рельефа, способствующие большому количеству озер ледникового и термокарстового происхождения.

Среднегодовая температуры воздуха в Каларском районе отрицательная. Во впадинах она составляет $-5 \div -7$ °С, в хребтах до -12 °С [4]. Практически весь Каларский район имеет толстый слой многолетней мерзлоты, что способствует формированию болот, марей. Заболоченные участки встречаются и выше границы леса на широких седловинах перевалов, даже на плоских вершинах плато. Географические и климатические условия, а также уникальный природно-ресурсный потенциал Каларского, Тунгиро-Олекминского и Тунгокоченского районов позволили включить данные территории в «Перечень районов, приравненных к районам Крайнего Севера»

Разнообразие ландшафтов оказывает существенное влияние на флору и фауну региона, в том числе и ихтиофауну, что вызывает повышенный интерес к ее изучению. Этот интерес возрос в

связи с созданием в 2018 г. в северных горных районах таежного Забайкалья национального парка «Кодар» площадью 500 га.

Таким образом, находясь в зоне тайги, значительная часть территории парка «Кодар», как и вся территория Каларского района, характеризуется и ландшафтами субарктического характера. Это позволяет считать, что элементы Субарктики проникают далеко на юг в зону тайги, и условием для этого является аazonальность ландшафтов горных образований, вызванных изменением уровня поступления энергии на поверхность рассматриваемой территории. По этому поводу академик А.А. Григорьев писал, что наблюдаемые смещения субарктического пояса в более высокие или более низкие широты связаны в первую очередь с характером изменения основных факторов, определяющих величину радиационного баланса в различные отрезки года, и соотношением этих балансов между собой [5].

В работе дана характеристика основных видов рыб водных экосистем данной территории. Показана структура ихтиоценозов разных водных экосистем, уникальное сочетание рыб арктического, бореально-предгорного, бореально-равнинного комплексов, их изменения в результате антропогенного воздействия, прежде всего прокладки трассы БАМ.

Материал и методика

В пределах исследуемой территории насчитывается около 570 озер площадью зеркала более 1 га. Озера расположены преимущественно в гольцовом поясе и имеют ледниковый генезис.

В данной статье приведены материалы по оценке и структуре ихтиоценозов, питанию, ли-

нейному и весовому росту ряда рыб из р. Чара, глубоководных озер Ничатка, Большое и Малое Леприндо, Леприндокан и других озер, находящихся в пределах национального парка «Кодар». Материалы собраны в разные годы в период строительства БАМа. Отлов рыб проводился ставными сетями размером ячеи 20–50 мм. У рыб измеряли абсолютную длину тела, длину по Смиуту и массу тела. Обработка материала проведена по стандартным методикам, применяемым при ихтиологических исследованиях.

Результаты их обсуждения

Степень изученности ихтиофауны водных объектов данной территории разнообразна. Первые рыбохозяйственные исследования озер Куандо-Чарского водораздела были проведены в 1932 г. экспедицией Сибирского отделения ВНИОРХа [6] и в 1948–1949 гг. экспедицией биолого-географического института при Иркутском государственном университете им. А.А. Жданова [7]. В разные сезоны года с 1963 по 1965 г. ихтиологические и паразитологические исследования проводились на озерах водораздела рек Куанда и Чара (Леприндокан, Большое и Малое Леприндо), а также истоках этих рек и р. Чара [8, 9]. В конце 80-х годов прошлого столетия, в связи с быстрым освоением территории, рассматривались вопросы рыбохозяйственного значения озер Чарской котловины и их рационального использования. Большое внимание уделялось биологии отдельных видов [10–14]. В этот же период была изучена ихтиофауна Чкаловской группы озер. В 1990 г. изучалась ихтиофауна озера Ничатка [15]. Значительное внимание уделялось изучению гольцов *Salvelinus alpinus complex*, которые в период строительства трассы БАМ оказались наиболее доступными для ловли населением.

Ихтиофауна реки Чара. Река Чара является левым притоком р. Олекма. Она зарождается на южном склоне хр. Удокан на высоте 975 м над уровнем моря. Принято считать, что она начинается с озера Бол. Леприндо, ее длина составляет 85 км, площадь водосборного бассейна 87,6 тыс. км². Река протекает по Чарской долине, пересекает Кодарский хребет, Патомское нагорье, Олекмо-Чарское плоскогорье. Русло сложено валунами и галькой. Берега гористые, по берегам часто встречаются курумы. Много порогов. В Чару впадает более 100 притоков, длина каждого из которых превышает 10 км. Наиболее

крупными из них на территории Забайкалья являются реки Апсат, Ингамакит, Бол. Икабья, Сень, Джелинда и др.

Ихтиофауна р. Чара представлена следующими видами рыб: тайменем *Huso taimen*, ленком *Brachymystax lenok*, хариусом *Thymallus arcticus pallasi*, сигом *Coregonus lavaretus pidschian*, вальком *Prosopium cylindraceum*, тугуном *Coregonus tugun*, плотвой *Rutilus rutilus*, окунем *Perca fluviatilis*, налимом *Lota lota*, гольяном Лаговского *Phoxinus lagovskii*, сибирским гольцом *Barbatula toni*, пестроногим подкаменщиком *Cottus poecilopus*. Таймень встречается в уловах крайне редко, ленок предпочитает глубоководные озера. Доминирующим видом в среднем течении р. Чара был хариус (рис. 1).

Восточно-сибирский хариус – *Thymallus arcticus pallasi Vallenciennes* встречается как в реках, так и озерах. В популяции хариуса р. Чара преобладали самцы, соотношение самцов и самок 3:1.

Половозрелым хариус р. Чара становится уже в возрасте 3+, при длине выше 22 см, однако массовая половозрелость рыб наступает в возрасте 3+, 4+. Средняя плодовитость около 2 тыс. икринок, что несколько ниже, чем у хариуса в р. Витим [16], который, как и Чара, относится к бассейну Лены.

В р. Чара хариус характеризуется медленным ростом в младших возрастных группах и ускорением роста в старших возрастах. Упитанность рыб колебалась незначительно и в среднем составила 1,22, что указывает на благоприятные кормовые условия. Если в р. Лена обитают две формы хариуса – карликовая и речная, то в р. Чара карликовая форма нами не встречалась, а линейно-весовой рост (рис. 2) несколько выше, чем у речной формы восточно-сибирского хариуса из Витима и Лены [16, 17].

Кроме хариуса в р. Чара отмечаются представители семейства сиговых – тугун и валец. Однако численность данных видов в водотоках севера Забайкальского края незначительна, и они являются одними из мало изученных видов сиговых рыб на территории края.

Тугун типично речная рыба, является эндемиком Сибири, населяет в основном реки, впадающие в Северный Ледовитый океан от Оби до Яны. Это самый мелкий представитель семейства сиговых рыб. По своей биологии тугун отличается от других видов сиговых рыб более коротким жизненным циклом, ранним половым созреванием. В р. Чара он водится на участках с

РЫБЫ ВОДОЕМОВ СЕВЕРНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

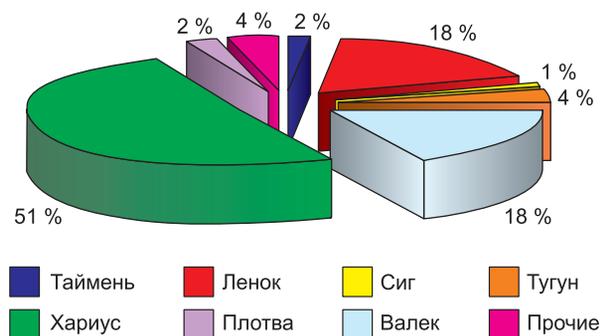


Рис. 1. Структура ихтиоценоза р. Чара.

Fig. 1. The structure of the ichthyocenosis of the river Chara.

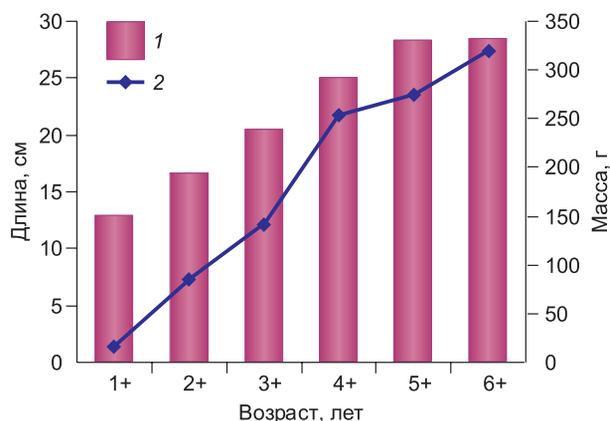


Рис. 2. Соотношение длины (1) и массы (2) разновозрастного хариуса р. Чара.

Fig. 2. The ratio of the length (1) and weight (2) of the grayling of the Chara river.

замедленным течением. В период нереста заходит в притоки с песчано-галечными грунтами. В отличие от р. Чара, в верхнем течении Лены и Витима тугун отмечается как в реках, так и в озерах. Тугун был представлен особями в возрасте 2+–7+. В уловах доминировали рыбы младших возрастов. В уловах преобладали особи длиной 10–15 см, массой 40–50 г.

Растет тугун р. Чара быстрее, чем в р. Витим (рис. 3). Это объясняется, по-видимому, лучшими условиями нагула. Упитанность рыб изменялась от 1,22 до 1,45. Рыбы младших возрастов имели меньшую упитанность. С возрастом она несколько возрастает.

Питается тугун личинками хирономид, водными жуками, клопами, личинками поденок. Очень велика доля в питании рыб личинок мошек. Высокий темп роста тугуна говорит о хороших кормовых условиях. Индекс наполнения тугуна р. Чара достигал 62,0–94 %.

Валек является немногочисленным видом водоемов Северного Забайкалья. Обитает как в реках, так и в некоторых озерах (Ничатка). Ареал распространения валька охватывает реки Чара, Курунг-Юрях, Ингамакит до притока р. Вагат. По данным рыбинспекции, нерестовые скопления валька отмечаются в р. Калар. Кроме р. Чара, данный вид обитает в притоках Джелинда, Торго

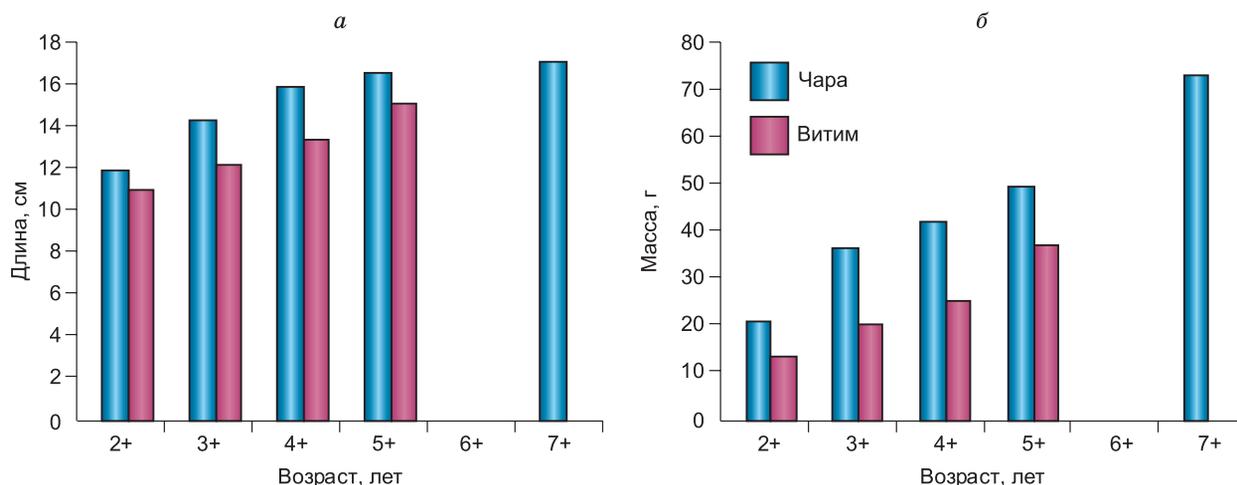


Рис. 3. Линейный (а) и весовой (б) рост тугуна в разных водотоках (Чара – собственные данные, Витим [16]).

Fig. 3. Linear (a) and weight (b) growth of Tugun in different watercourses (Chara – own data, Vitim [16]).

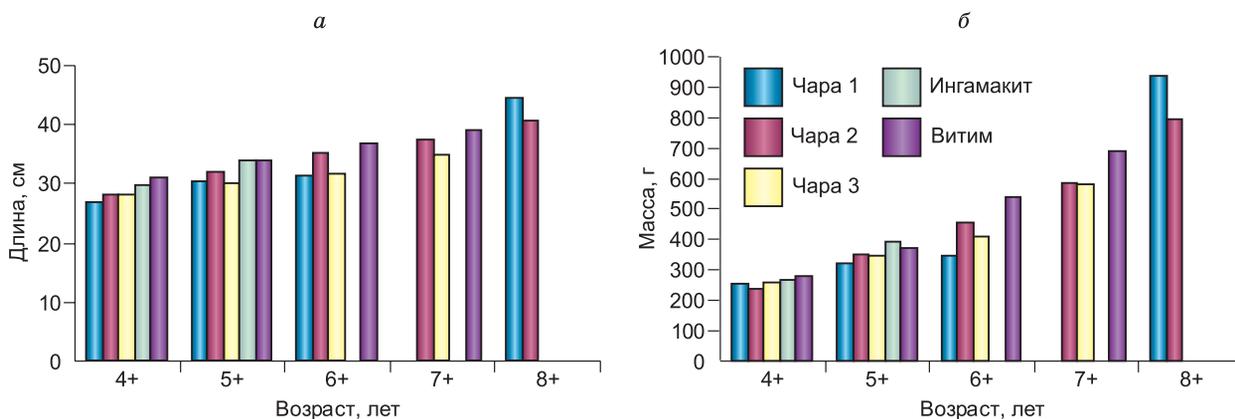


Рис. 4. Линейный (а) и весовой (б) рост валька в разных водотоках (Чара 1 – данные [21]; Чара 2 – [13], 1992); Чара 3 – наши данные; Витим – [16]).

Fig. 4. Linear (a) and weight (б) growth of the round whitefish (*Prosopium cylindraceum*) in different watercourses (Chara 1 – data [21]; Chara 2 – [13], 1992); Chara 3 – our data; Vitim – [16]).

и др. [13, 14]. Возрастная структура валька реки Чара представлена в основном рыбами в возрасте 4+–8+, однако она может изменяться в зависимости от условий нагула и антропогенной нагрузки. В литературе имеются сведения о том, что репродуктивная часть популяции валька постоянно обитает в притоках и не покидает их [18]. В реках Хантайка, Торго продолжительность жизни речного валька достигает 14 лет.

Рост валька р. Чара на протяжении ряда лет остается стабильным и определяется условиями развития кормовой базы. В реках Ингамакит и Витим валеки несколько превосходили по линейно-весовым характеристикам одновозрастных рыб р. Чара (рис. 4). С увеличением возраста упитанность валька возрастает от 1,15 до 1,26. В уловах р. Чара преобладали особи длиной 25–35 см, массой 350–400 г.

Питаются валеки в основном бентосными организмами. В пище доминируют личинки хирономид и ручейников. При этом индекс наполнения был невысоким и составил 44,2 %.

Половозрелым валеки становятся в 5–6 летнем возрасте, при длине выше 30 см и массе выше 350 г. Плодовитость невысокая от 2 до 10 тыс. икринок. Нерестится с конца сентября до середины октября.

Ихтиофауна глубоководных озер. Глубоководные озера аazonальной Субарктики Забайкалья богаты рыбой. Одно из самых крупных и глубоководных озер Северного Забайкалья – Ничатка расположено в ледниковом трого северного склона хребта Кодар. Площадь водной по-

верхности 40,5 км². Наибольшая глубина 117 м, минерализация воды не выше 100 мг/л. Само слово «Ничатка» означает – рыбное, что свидетельствует о бывшем обилии рыб в этом озере.

Озера Бол. и Мал. Леприндо являются современно-ледниковыми озерами, расположенными на высоте около тысячи метров. Площадь зеркала озера Бол. Леприндо 17,2 км², длина 12 км, ширина 1,5 км, максимальная глубина около 65 м. Площадь Мал. Леприндо 6,6 км², длина 7,0 км, максимальная глубина 62,5 м. Воды этих озер отличаются высокой прозрачностью и малой минерализацией, которая не превышает 50 мг/л. Озеро Леприндокан расположено на Кодарском хребте, на высоте 1056 м над уровнем моря. Площадь водной поверхности 11,7 км², длина 6,2 км, ширина 1,9 км, наибольшая глубина около 25 м. Озеро Даватчан имеет площадь 4,0 км², длину 5,5 км, ширину 1,6 км.

Суровые климатические условия Севера Забайкалья и ограниченные кормовые ресурсы высокогорных водоемов приводят к тому, что из 67 видов и подвидов рыб, отмеченных в водоемах Забайкальского края [18], ихтиофауна высокогорных озер представлена 13 видами, относящимися к 9 семействам. Наименьшее число видов (5) характерно для оз. Даватчан. Расширение видового разнообразия связано с увеличением площади озер, возрастанием подвижности водных масс, появлением новых биотопов, усложнением структуры кормовых сообществ.

Основу рыбных сообществ глубоководных озер составляют представители арктического

РЫБЫ ВОДОЕМОВ СЕВЕРНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

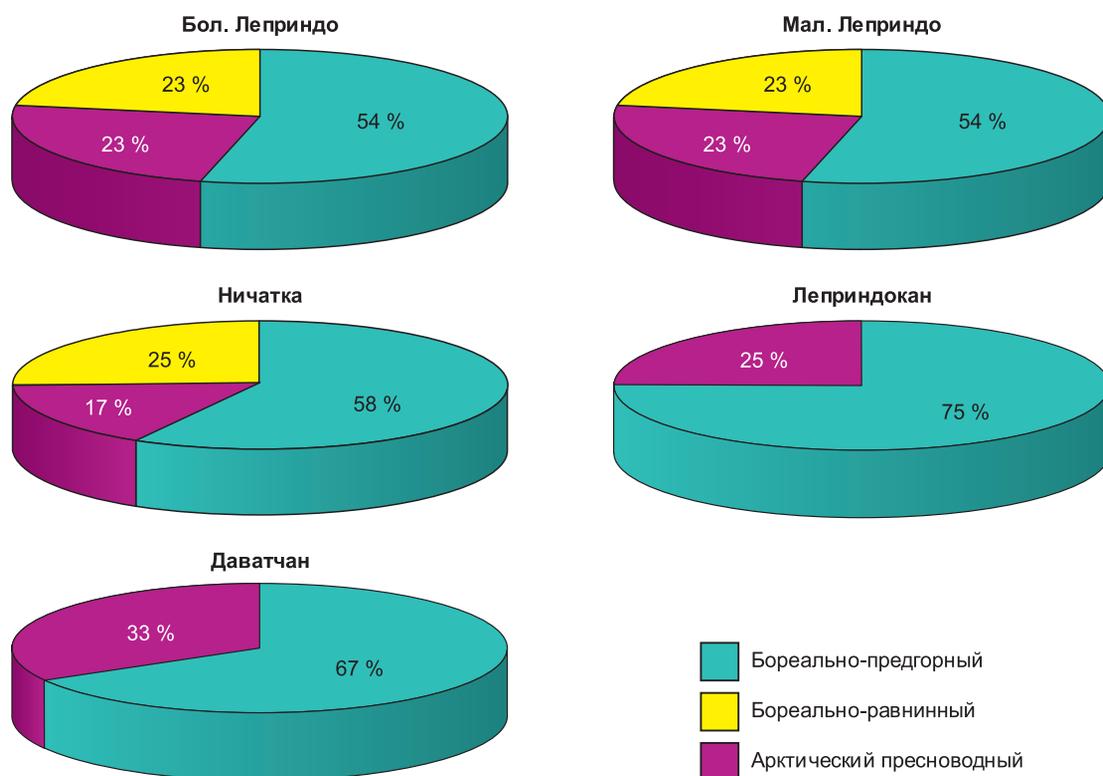


Рис. 5. Соотношение видов разных фаунистических комплексов в Куандо-Чарских озерах.

Fig. 5. Ratio of types of different faunistic complexes in Kuando-Charsky lakes.

пресноводного комплекса (голец-даватчан, сиг, налим), бореально-предгорного (хариус, ленок, таймень, голянь Лаговского, пестроногий подкаменщик), бореально-равнинного комплекса (окунь, плотва, карась). Озера Леприндокан и Даватчан характеризуются отсутствием представителей бореально-равнинного комплекса (рис. 5).

Если в озерах Бол. и Мал. Леприндо преобладал сиг-пыжьян, то в Леприндокане доминировали голец-даватчан, ленок, хариус и другие виды рыб.

По составу ихтиофауны глубоководные озера делятся на две группы: сиговые (Бол. и Мал. Леприндо, Ничатка) и голецовые (Леприндокан, Даватчан). Несмотря на значительное сходство структуры ихтиоценозов озер, имеются различия в доминировании и соотношении в уловах отдельных видов (рис. 6).

Наиболее ценным видом рыб субарктических водоемов Забайкалья является арктический голец. В Забайкалье арктический голец *Salvelinus alpinus* был обнаружен более 200 лет назад в оз. Фролиха [19]. В настоящее время в Забайкалье достоверно известны 17 популяций арктического гольца, всего их существует нескольких де-

сятков [19]. В Забайкалье голец населяет горные олиготрофные озера. Он отмечен в озерах Бол. и Мал. Леприндо, Гольцовое, Леприндокан, Даватчан, Бол. Намаракит. Однако, несмотря на значительное количество озер, в которых обнаружен даватчан, ареал его распространения весьма ограничен. В высокогорных озерах Забайкалья обитает особый подвид гольца – голец-даватчан *S. alpinus erythrinus* [19].

Гонец-даватчан, или красная рыба, является реликтом ледникового времени и одним из девяти подвидов гольца арктического. Ареал даватчана лежит далеко к югу от ареала основных видов гольца, что согласуется с условиями обитания, характерными для аazonального субарктического ландшафта на Севере Забайкалья.

Изучение гольца-даватчана, проведенное Н.М. Прониным [8] и другими исследователями горных озер Забайкалья, показало его значительную морфологическую изменчивость, что обусловлено как широкой пластичностью самого вида, так и субарктическими условиями обитания. По характеру питания даватчан – факультативный хищник, молодые особи питаются преи-

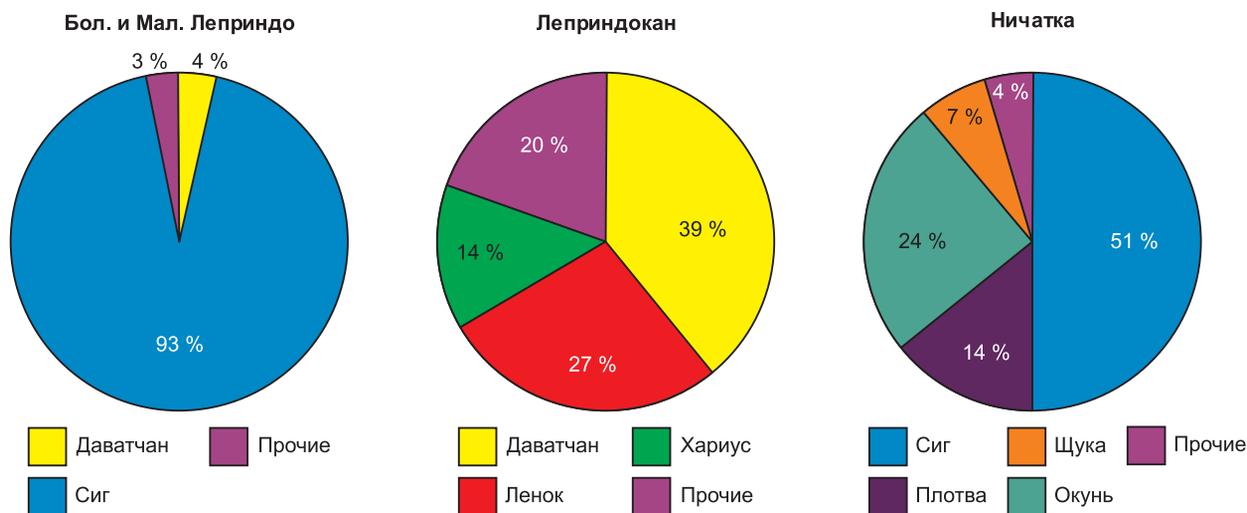


Рис. 6. Соотношение видов рыб в уловах разных озер.

Fig. 6. The ratio of fish species in the catches from the different lakes.

мощественно зообентосом – личинками поденок, стрекоз, хирономид, взрослые особи – рыбой. Показатели линейного и весового роста в различных водоемах заметно различаются (рис. 7).

Половозрелым даватчан становится в 5–7-летнем возрасте, плодовитость невысокая, в среднем около тысячи икринок у одной самки. Нерестится в сентябре–октябре в предустьевых участках, впадающих в озера небольших рек или на прибрежных грунтах.

Учитывая реликтовый характер вида, его слабую изученность и резкое сокращение численности, даватчан занесен в Красные книги Рос-

сийской Федерации, Читинской области и Агинского Бурятского автономного округа, Красную книгу Забайкальского края, Красную книгу Республики Саха (Якутия).

Ленок – один из наиболее характерных представителей ихтиофауны горных рек и озер Забайкалья, обитает даже в высокогорных ледниковых озерах. Летом широко расселяется по малым и большим горным рекам и озерам, придерживаясь в реках перекаатов и порогов, а в озерах – истоков рек и устьев притоков. Распространен ленок во всех озерах водораздела, но многочислен только в оз. Леприндокан. В озере обитает две формы ленка – озерная и речная.

Спектр питания ленка очень широк и представлен организмами зообентоса: личинками поденок, ручейников веснянок, хирономид, мошек и др. Половозрелым ленок Куандо-Чарского водораздела становится не раньше пяти-шестилетнего возраста. Размеры и вес ленка сильно колеблются в зависимости от района обитания. Ленок в оз. Леприндокан имел следующие показатели роста (рис. 8).

Как видно из рис. 8, ленок в оз. Леприндокан в возрасте 8+ достигал длины 40 см и массы 800 г. Однако это не высокие показатели. Так, по нашим данным, в р. Олекма в возрасте 6+ его средняя длина составляла 46 см, масса 1,05 кг [18], а в реках бассейна Витима ленок в возрасте 10+ имел вес 2,8 кг [16].

Наиболее часто встречающимся видом в глубоководных северных озерах Забайкалья является сиг-пыжьян *Coregonus lavaretus pidschian*,

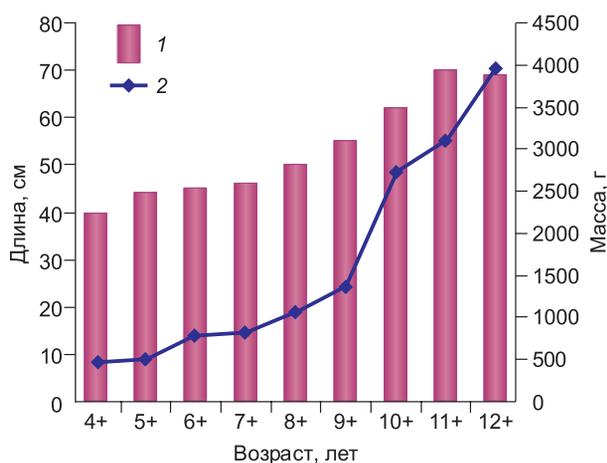


Рис. 7. Соотношение длины (1) и массы тела (2) разновозрастного гольца-даватчана оз. Б. Леприндо [8].

Fig. 7. The ratio of the length (1) and weight (2) of *Salvelinus alpinus erythrinus-davatchan*. Lake Big Leprindo [8].

РЫБЫ ВОДОЕМОВ СЕВЕРНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

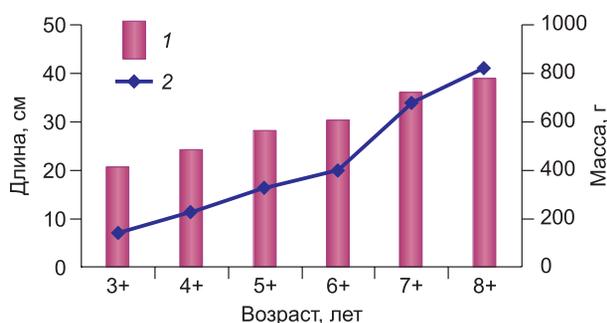


Рис. 8. Соотношение длины (1) и массы тела (2) разно-возрастного ленка оз. Леприндокан.

Fig. 8. The ratio of the length (1) and weight (2) of *Brachymystax lenok*. Lake Leprindokan.

который занимал доминирующее положение по обилию в озерах Бол. и Мал. Леприндо, Даватчан, Ничатка, хотя в реках встречался значительно реже. Сиг-пыжьян является малотычинковой формой обыкновенного сига и от типичной формы отличается меньшим количеством жаберных тычинок и высоким хвостовым стеблем.

Для пыжьяна характерна широкая изменчивость. Различия касаются числа поперечных рядов чешуи, количества жаберных тычинок, числа лучей в грудном и анальном плавниках и целого ряда других признаков. Эти различия позволяют выделить озерный, речной и озерно-речной экотипы сига-пыжьяна, среди которых преобладает озерный экотип [8, 20].

Темпы линейного и весового роста пыжьяна заметно различаются в разных водоемах, что связано с различиями в кормовой базе, доступности пищи, плотности стада и других факторах. Причем различия в темпах линейного и весового роста могут быть существенными даже в расположенных рядом водоемах. Так, по нашим наблюдениям, проведенным в 1963 году, пыжьян в оз. Большое Леприндо рос в 1,5–2 раза быстрее, чем в рядом расположенном озере Мал. Леприндо [20]. Высокий темп роста пыжьяна в оз. Большое Леприндо сохранился и в конце прошлого столетия, когда 12-летние особи достигали длины 35 см и веса более 700 г (рис. 9).

Темпы роста пыжьяна могут быть значительно выше. Например, по материалам Г.Л. Карасева [21], пыжьян в р. Нижняя Ципа (бассейн Витима) в шестилетнем возрасте достигал длины 40 см и массы более 1 кг, в то время как в оз. Большие Копыльчи он даже в пятнадцатилетнем возрасте не превышал длины 36 см и массы 650 г.

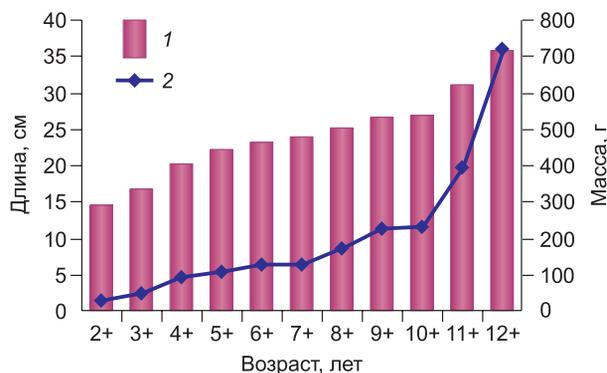


Рис. 9. Темпы линейного (1) и весового (2) роста сига-пыжьяна оз. Бол. Леприндо

Fig. 9. The rate of linear (1) and weight (2) growth of The humpback whitefish. Lake Big Leprindo.

Питается пыжьян преимущественно зоопланктоном, бокоплавами, хирономидами, моллюсками, молодь – преимущественно зоопланктоном. Другие группы водных беспозвоночных встречаются в рационе в незначительном количестве. Питается круглогодично, в том числе и во время миграции на икромет, поэтому миграции выступают как нерестово-нагульные. Нерестится пыжьян как в реках, имеющих высокую проточность, так и на песчано-галечных грунтах прибрежья озер на глубине 2–3 м. Нерест в реках в сентябре–октябре, в озерах позднее – в октябре–ноябре. Половозрелым пыжьян становится в 5–7-летнем возрасте при достижении массы более 400 г. Плодовитость относительно невысокая, составляет в среднем 10–25 тыс. икринок.

Сиг-пыжьян является важным объектом промысла жителей северных территорий Забайкалья.

Обычным в глубоководных озерах Северного Забайкалья был налим. В зимнее время 1963 г. его доля в уловах по массе в оз. Бол. Леприндо приближалась к 50 % веса всех выловленных рыб. В р. Чара он встречался реже. Наиболее активен налим в темное время суток при температуре, не превышающей +10 °С. Летом в озерах он обитает на глубине. Обычно на глубинах менее 5 м почти не встречался.

Темп роста налима не одинаков в разных водоемах. Если в оз. Б. Леприндо в возрасте 5+–6+ его вес составлял от 1300 до 2000 г, то в реке его масса в таком возрасте не превышала 600 г [16].

По характеру питания налим является типичным хищником, уже на втором году жизни в его рационе преобладает молодь рыб, в том числе и молодь ценных видов рыб, таких как сиг-пыжьян. Нередко в желудках отмечают и крупные особи.

Активно питается зимой, летом интенсивность питания снижается.

Половозрелым налимом становится в трех-четырёхлетнем возрасте при достижении длины 30–40 см. Нерест происходит в январе-феврале на песчано-галечных грунтах. При этом нередко половозрелые особи поедают свою икру.

Кроме ценных видов рыб в водных экосистемах зоны БАМа довольно многочисленными являются частичковые виды рыб (окунь, плотва, щука, карась). Однако чаще эти виды рыб встречались в Чкаловской группе озер. Группа Чкаловских озер расположена в верхнем течении р. Чара. В систему входит около 30 озер. Преобладают небольшие площадью менее 100 га. Озера относятся к водоемам мезотрофного типа, они имеют небольшую глубину и сильно зарастают.

Ихтиофауна этих озер представлена девятью видами: окунем, плотвой, гольяном, налимом, ершом, карасем. Доминируют в озерах плотва и окунь. В период большой воды в озера из реки Чара заходят сиг, хариус, ленок, таймень, тугун. В ихтиофауне Чкаловской группы озер преобладают представители бореально-равнинного комплекса, которые находят здесь наиболее благоприятные условия для нагула и нереста. Это мелководность озер, их высокая зарастаемость растительностью, хорошие кормовые условия и высокая прогреваемость озер в летний период. Рыбопродуктивность озер Чкаловской группы выше, чем глубоководных олиготрофных озер, в среднем 25–35 кг/га [22].

Заключение

Строительство Байкало-Амурской магистрали и дальнейшее развитие территории привели к значительному ухудшению качества вод. Строительство поселков и станций без своевременного ввода в эксплуатацию очистных сооружений привело к увеличению сброса неочищенных бытовых сточных вод и ухудшению среды обитания многих видов рыб. После строительства дороги по берегам р. Чара и многих озер были зарегистрированы многочисленные свалки мусора, которые также являлись поставщиками загрязняющих веществ. Кроме этого, при строительстве трассы карьеры по добыче ПГС располагались непосредственно в реке, а в период строительства БАМа был значительно развит браконьерский лов рыбы с применением взрывчатых и химических веществ [23].

Усиление антропогенной нагрузки привело к снижению биоразнообразия и изменению структуры рыбных сообществ, к сокращению числа ценных лососевых и сиговых рыб. Практически исчез в р. Чара таймень. За последние годы произошло резкое снижение численности гольца-даватчана, при этом пострадала крупная форма, уничтоженная полностью в озерах Бол. и Мал. Леприндо, в которых сохранилась только карликовая форма.

Резко сократилась численность ленка, хариуса, сига-пыжьяна, которые постоянно обитали в водоемах этого региона. Наблюдается снижение обилия ценных видов рыб не только арктического пресноводного и бореально-предгорного, но и бореально-равнинного комплекса. Поэтому создание национального парка «Кодар» является одной из своевременных, эффективных форм природоохранной деятельности, позволяющей принять реальные меры не только по сохранению, но и по восстановлению уникальных рыбных ресурсов Забайкальского Севера.

Литература

1. *Сочава В.Б.* Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1978. 320 с.
2. *Михеев В.С.* Верхнечарская котловина. Новосибирск: Наука, 1974. 144 с.
3. *Преображенский В.С.* Кодарский ледниковый район (Забайкалье). М.: Изд-во АН СССР, 1960. 75 с.
4. *Кулаков В.С., Рыжий В.С., Снегур А.Е.* География Каларского района. Чита: Поиск, 2002. 252 с.
5. *Григорьев А.А.* Субарктика: Опыт характеристики основных типов физико-географической среды. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1946. 170 с.
6. *Петров Г.П.* Отчет рыбохозяйственной экспедиции. Рукопись. Красноярск, 1933.
7. *Томилов А.А.* Материалы по гидробиологии некоторых глубоководных озер Олекмо-Витимской горной страны // Тр. Иркутского ун-та: сер. Биология. Т. XI. Л., 1954. 86 с.
8. *Пронин Н.М.* Паразиты рыб Чарской котловины (Забайкальский север): Автореф. дис... канд. биол. наук. Томск, 1968. 21 с.
9. *Пронин Н.М.* Рыбы Верхнечарской котловины (Забайкальский Север) // Тр. Бурят. ин-та естеств. наук. Вып. 15. Фаунистические и экологические исследования Забайкалья. Улан-Удэ, 1977. С. 110–140.
10. *Тугарина П.Я., Пронин Н.М.* Ленок и хариус Куандо-Чарского водораздела // Зап. ЧГПИ. Вопросы географии и биологии. Чита, 1966. С. 103–119.
11. *Горлачева Е.П., Афонин А.В.* Структурные особенности некоторых озер Севера Читинской области // Экологическое состояние континентальных водоемов

арктической зоны в связи с промышленным освоением северных территорий. Тез. докл. Междун. конф-ции, Архангельск, 21–25 июня 2005. СПб., 2005. С. 25–26.

12. Алексеев С.С., Пичугин М.Ю., Крысанов Ю.Е. Исследование гольцов *Salvelinus alpinus* (Salmonidae) Забайкалья, внесенных в Красную книгу РСФСР: симпатрические формы из озера Большой Намаракит (морфология, экология, кариология) // Вопр. ихтиологии. 1997. Т. 37, № 5. С. 588–602.

13. Зюсько А.Я., Русанов В.В., Черняев Ж.А. Особенности биологии валька *Prosopium cylindraceum* реки Чара // Вопросы ихтиологии. 1992. Т. 32, № 5. С. 68–71.

14. Горлачева Е.П., Афонин А.В. Материалы по биологии обыкновенного валька *Prosopium cylindraceum* и тугуна *Coregonus tugun* бассейна реки Чары // Биология, биотехника разведения и состояние запасов сиговых рыб: Матер. седьмого междунар. науч.-производ. совещания / Под общей редакцией А.И. Литвиненко, Ю.С. Решетникова. 2010. С. 101–104.

15. Горлачева Е.П., Афонин А.В. Ихтиофауна озера Ничатка // Экологическое состояние континентальных водоемов арктической зоны в связи с промышленным освоением северных территорий. Тез. докл. Междун. конф-ции, Архангельск, 21–25 июня 2005. СПб., 2005б. С. 24.

16. Калашиников Ю.У. Рыбы бассейна реки Витим. Новосибирск: Наука, 1978. 190 с.

17. Карантонис Ф.Э., Кириллов Ф.Н., Мухомедяров Ф.Б. Рыбы среднего течения р. Лены // Труды Института биологии Якутского филиала АН СССР. Вып. 2. Якутск, 1956.

18. Горлачев В.П., Горлачева Е.П. Рыбы Забайкальского края. Чита: Экспресс-изд-во, 2010. 128 с.

19. Алексеев С.С., Булдыгеров В.В., Пичугин М.Ю., Самусенко В.П. Распространение арктического гольца *Salvelinus alpinus* (Salmonidae) в Забайкалье // Вопр. ихтиологии. 1999. Т. 39, № 1. С. 48–55.

20. Шишкин Б.А., Горлачев В.П. Заметки о биологии и систематике сига-пыжьяна из оз. Бол. Леприндо // Уч. зап. Чит. Пед. ин-та. Чита, 1963. Вып. 10. С. 24–25

21. Карасев Г.Л. Рыбы Забайкалья. Новосибирск: Наука, 1987. 295 с.

22. Шашуловский В.А. Рыбохозяйственное значение озер Чарской котловины // Биопродуктивность, охрана и рациональное использование сырьевых ресурсов рыбохозяйственных водоемов Восточной Сибири. Улан-Удэ, 1989. С. 80–81.

23. Стрижова Т.А., Горлачева Е.П., Михеев И.Е., Афонин А.В. Результаты водно-экологических исследований водоемов Чарской котловины // Удокан: Подготовка территории к освоению. Чита, 1992. С. 125–130.

2. Mixeev V.S. Verxnecharskaya kotlovina. Novosibirsk: Nauka, 1974. 144 p.

3. Preobrazhenskij V.S. Kodarskij lednikovyj rajon (Zabajkal'e). M.: Izd-vo AN SSSR, 1960. 75 p.

4. Kulakov V.S. Ry`zhij V.S., Snegur A.Ye. Geografiya Kalarskogo rajona. Chita: Poisk, 2002. 252 p.

5. Grigor`ev A.A. Subarktika: Opyt karakteristiki osnovnyx tipov fiziko-geograficheskoj sredy. M.; L.: Izd-vo AN SSSR, 1946. 170 p.

6. Petrov G.P. Otchet ry`boxozyajstvennoj e`kspedicii. Rukopis`. Krasnoyarsk, 1933.

7. Tomilov A.A. Materialy po gidrobiologii nekotoryx glubokovodnyx ozer Olekmo-Vitimskoj gornoj strany // Tr. Irkutskogo un-ta: ser. Biologiya. T. XI. L., 1954. 86 p.

8. Pronin N.M. Parazity` ry`b Charskoj kotloviny` (Zabajkal'skij sever): Avtoref. dis... kand. biol. nauk. Tomsk, 1968. 21 p.

9. Pronin N.M. Ryby Verxnecharskoj kotloviny (Zabajkal'skij Sever) // Tr. Buryat. In-ta Estestv. nauk. Vyp. 15. Faunisticheskie i ekologicheskie issledovaniya Zabajkal'ya. Ulan-Ude, 1977. P. 110–140.

10. Tugarina P.Ya., Pronin N.M. Lenok i xarius Kuando-Charskogo vodorazdela // Zap. ChGPI. Voprosy Geografii i Biologii. Chita, 1966. P. 103–119.

11. Gorlacheva E.P., Afonin A.V. Strukturnye osobennosti nekotoryx ozer Severa Chitinskoj oblasti // Ekologicheskoe sostoyanie kontinental'nyx vodoemov arkticheskoy zony v svyazi s promyshlennym osvoeniem severnyx territorij. Tez. dokl. Mezhdun. konf-cii, Arxangel'sk, 21–25 iyunya 2005: SPb, 2005a. P. 25–26.

12. Alekseev S.S., Pichugin M.Yu., Krysanov Yu.E. Issledovanie gol'czov *Salvelinus alpinus* (Salmonidae) Zabajkal'ya, vnesennyx v Krasnuyu knigu RSFSR: simpatricheskie formy iz ozera Bol'shoj Namarakit (morfologiya, ekologiya, kariologiya) // Voпр. Ixtiologii. 1997. V. 37, N 5. P. 588–602.

13. Zyus`ko A.Ya., Rusanov V.V., Chernyaev Zh.A. Osobennosti biologii val'ka *Prosopium cylindraceum* reki Chara // Voprosy ixtiologii. V. 32, N. 5, 1992. P. 68–71.

14. Gorlacheva E.P., Afonin A.V. Materialy po biologii obyknovennogo val'ka *Prosopium cylindraceum* i tугуна *Coregonus tugun* bassejna reki Chary // Biologiya, Biotexnika Razvedeniya i Sostoyanie Zapasov Sigovyx ryb. Materialy sed'mogo mezhdunarodnogo nauchno-proizvodstvennogo soveshhanija. Pod obshhej redakciej A.I. Litvinenko, Yu.S. Reshetnikova. 2010. P. 101–104.

15. Gorlacheva E.P., Afonin A.V. Ixtiofauna ozera Nичатка // Ekologicheskoe sostoyanie kontinental'nyx vodoemov arkticheskoy zony v svyazi s promyshlennym osvoeniem severnyx territorij. Tez. dokl. Mezhdun. konf-cii, Arxangel'sk, 21–25 iyunya 2005: SPb, 2005b. P. 24.

16. Kalashnikov Yu.U. Ryby bassejna reki Vitim. Novosibirsk: Nauka. 1978. 190 p.

17. Karantonis F.E., Kirillov F.N., Mukhamedyarov F.B. Ryby srednego techeniya r. Leny` // Trudy Instituta Biologii Yakutskogo Filiala AN SSSR. Vyp. 2. Yakutsk, 1956.

References

1. Sochava V.B. Vvedenie v uchenie o geosistemax. Novosibirsk: Nauka, 1978. 320 P.

18. *Gorlachev V.P., Gorlacheva E.P.* Ryby Zabajkal'skogo kraja. Chita: Ekspres-izd-vo, 2010. 128 p.

19. *Alekseev S.S., Buldygerov V.V., Pichugin M.Yu., Samusenok V.P.* Rasprostranenie arkticheskogo gol' tsa *Salvelinus alpinus* (Salmonidae) v Zabajkal'e // *Vopr. Ixtiologii*, 1999. V. 39, N 1. P. 48–55.

20. *Shishkin B.A., Gorlachev V.P.* Zametki o biologii i sistematike siga-pyzyhana iz oz. Bol. Leprindo // *Uch. Zap. Chit. Ped. In-ta. Vy`p. 10*. Chita, 1963. P. 24–25.

21. *Karasev G.L.* Ryby Zabajkal'ya. Novosibirsk: Nauka, 1987. 295 p.

22. *Shashulovskij V.A.* Ryboxozyajstvennoe znachenie ozer Charskoj kotloviny // *Bioproduktivnost', Oхрана i Racional'noe ispol'zovanie syrevyx resursov ryboxozyajstvennyx vodoemov Vostochnoj Sibiri*. Ulan-Ude, 1989. P. 80–81.

23. *Strizhova T.A., Gorlacheva E.P., Mixeev I.E., Afonin A.V.* Rezul'taty vodno-ekologicheskix issledovanij vodoemov Charskoj kotloviny // *Udokan: Podgotovka territorii k osvoeniyu*. Chita, 1992. P. 125–130.

Поступила в редакцию 17.06.2019

Принята к публикации 30.07.2019

Об авторах

ГОРЛАЧЕВА Евгения Павловна, научный сотрудник, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, 672014, Чита, ул. Недорезова, 16 А
<https://orcid.org/0000-0003-3131-8727>, gorl_iht@mail.ru;

АФОНИН Алексей Владимирович, ведущий инженер, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, 672014, Чита, ул. Недорезова, 16 А
<https://orcid.org/0000-0002-2539-9842>, alexav@yandex.ru;

ГОРЛАЧЕВ Валерий Павлович, доктор педагогических наук, профессор, заведующий лабораторией прикладной экологии Забайкальского государственного университета, 672039, Чита, ул. Александров-Заводская, 30
valeriigorlachev@mail.ru.

About authors

GORLACHEVA Evgenia Pavlovna, Researcher, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, 16A Nedorezova str., Chita, 672014, Russia,
<https://orcid.org/0000-0003-3131-8727>, gorl_iht@mail.ru;

AFONIN Alexey Vladimirovich, Leading Engineer, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, 16A Nedorezova str., Chita, 672014, Russia
<https://orcid.org/0000-0002-2539-9842>, alexav@yandex.ru;

GORLACHEV Valery Pavlovich, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Head of Laboratory Transbaikalian State University, 30 Aleksandro-Zavodskaya str., Chita, 672039, Russia
valeriigorlachev@mail.ru.

Информация для цитирования

Е.П. Горлачева, А.В. Афонин, В.П. Горлачев. Рыбы водоемов Северного Забайкалья // *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2019, том 24, № 2. С. 106–116. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-2-10>

Citation

E.P. Gorlacheva, A.V. Afonin, V.P. Gorlachev. Fishes of reservoirs of northern Transbaikalia // *Arctic and Subarctic natural resources*. 2019, vol. 24, No. 2. pp. 106–116. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-2-10>

МЕТАЛЛУРГИЯ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ

Материаловедение

УДК 621.793.72

DOI 10.31242/2618-9712-2019-24-2-11

Формирование макроструктуры и пористости износостойких модифицированных порошковых покрытий

Н.Ф. Стручков, Г.Г. Винокуров

*Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН, Якутск, Россия
struchkov_n@rambler.ru*

Аннотация. Исследована макроструктура износостойких порошковых покрытий с модифицирующими добавками четырех видов – корунда Al_2O_3 , вольфрама W , тантала Ta и редкоземельного концентрата Томторского месторождения РС(Я). Характерной особенностью макроструктуры модифицированных порошковых покрытий является ее слоистое строение, которое существенно влияет на формирование открытой пористости. Методом гидростатического взвешивания оценены уровни открытой пористости модифицированных порошковых покрытий. Показано, что открытая пористость газотермического покрытия также зависит от технологических режимов его получения и содержания модификаторов. На основе статистического моделирования формирования слоистой макроструктуры порошковых покрытий предложено теоретическое распределение пористости порошкового покрытия на гладкой подложке.

Ключевые слова: порошковая проволока, порошковое покрытие, макроструктура, слои, пористость, гидростатическое взвешивание, статистическое моделирование

DOI 10.31242/2618-9712-2019-24-2-11

Formation of the macrostructure and porosity of the wearproof modified powder coatings

N.F. Struchkov, G.G. Vinokurov

*V.P. Larionov Institute of the Physical and Technical Problems of the North, SB RAS, Yakutsk, Russia
struchkov_n@rambler.ru*

Abstract. The macrostructure of wearproof powder coatings with the modifying additives of four types are investigated: corundum Al_2O_3 , tungsten W , tantalum Ta , and a rare-earth concentrate from the Tomtor-sky field in the Republic of Sakha (Yakutia). It is shown that a characteristic feature of the macrostructure of the modified powder coatings is their layered nature, which has a substantial effect on the formation of open porosity. The levels of open porosity of the modified powder coatings were estimated by means of hydrostatic weighing. It is shown that the open porosity of the gas-thermal coating is also dependent on the technological modes of its preparation and on the concentrations of modifying agents. A theoretical distribution of the porosity of powdered coating on a smooth substrate is proposed on the basis of the statistical modeling of the formation of layered macrostructure of powder coatings.

Key words: powder wire, powder coating, macrostructure, layers, porosity, hydrostatic weighing, statistical modeling.

Введение

Как показывает мировая практика, для упрочнения и восстановления деталей техники эффективно применяются технологии газотермического напыления порошковых покрытий [1–3]. При этом для получения износостойких покрытий в основном используются промышленные самофлюсующиеся сплавы на никелевой или кобальтовой основе, а также их смеси с модификаторами из тугоплавких металлов, карбидов, нитридов, оксидов и др. Данные порошковые материалы обеспечивают образование упрочняющих фаз и улучшают структуру покрытия. Поэтому модифицированные износостойкие покрытия характеризуются высокой степенью неоднородности структуры – выделениями избыточных дисперсных и коагулированных фаз, слоистым строением и пористостью.

Форма частиц и поровое пространство между ними составляют понятие *макроструктуры* порошкового покрытия. Одной из основных характеристик макроструктуры порошковых покрытий является их пористость с размерами пор в весьма широком диапазоне $\sim 10^{-8}$ – 10^{-4} м [1, 4–6]. В износостойких покрытиях высокий уровень пористости с крупными порами ухудшает характеристики прочности и твердости, что приводит к снижению износостойкости. С другой стороны, при трении скольжения смазочное вещество, заполняющее мелкие поры покрытия, равномерно распределяется по контактным поверхностям трения. Это приводит к положительному эффекту износостойкости – снижению коэффициента трения и интенсивности изнашивания. Таким образом, вышеприведенный широкий диапазон размеров пор обеспечивает большие возможности управления физико-механическими и триботехническими свойствами износостойких покрытий.

Этим определяется несомненная актуальность исследования формирования пористой макроструктуры порошкового покрытия. Для измерения открытой пористости порошковых материалов и покрытий широко применяется метод гидростатического взвешивания [7–11], основными достоинствами которого являются общая простота методики и доступность испытательного оборудования.

Целью данной работы является установление закономерностей формирования пористой макроструктуры износостойких порошковых покрытий с модифицирующими добавками.

Материалы и методика экспериментальных исследований

Объектами аналитического исследования в работе являются износостойкие покрытия, полученные при различных режимах электродуговой металлизации порошковой проволоки с тугоплавкими добавками корунда Al_2O_3 (разработка Института физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН) [12]. Также исследовались покрытия из опытных порошковых проволок с модифицирующими добавками трех видов: вольфрама W, тантала Ta и комплексного концентрата Томторского месторождения редкоземельных металлов Республики Саха (Якутия).

Порошковая проволока ИФТПС СО РАН, содержащая тугоплавкий оксид Al_2O_3 , состоит из стальной оболочки с шихтой из смеси порошков феррохрома и оксида алюминия следующего состава, масс. %: углерод 0,47–0,51; хром 2–4; оксид алюминия 10–15; железо – остальное [12]. Диаметр порошковой проволоки равен 2,0 мм; начальный коэффициент заполнения составляет $\sim 0,35$ – $0,4$. Покрытия с тугоплавкими добавками корунда Al_2O_3 нанесены на установке электродуговой металлизации ЭДУ-500 (ООО «Вега-1», г. Комсомольск-на-Амуре) при следующих технологических режимах электродуговой металлизации: ток дуги $I = 280$ – 300 А, дистанция напыления $L = 130$ мм, напряжения дуги составляли $U = 30, 35$ и 40 В.

В опытных порошковых проволоках с модифицирующими добавками вольфрама W и тантала Ta варьировалось содержание модификаторов в шихте – 0,1, 0,3 и 1 масс. %; основу порошкового материала представляет промышленный порошок ПГСП-4 системы Ni–Cr–B–Si. Опытные порошковые проволоки имеют диаметр 1,92 мм. Покрытия с модифицирующими добавками вольфрама W и тантала Ta нанесены также на установке «ЭДУ-500» при технологических режимах: ток дуги $I = 200$ – 220 А, напряжение дуги $U = 38$ – 40 В, дистанция напыления $L = 150$ – 180 мм; толщина покрытий составляет 0,8–1,2 мм. Для проведения измерений были изготовлены цилиндрические и прямоугольные образцы с покрытием на торцевой стороне.

Состав опытных порошковых проволок с модифицирующими добавками комплексного концентрата Томторского месторождения редкоземельных металлов приведен в табл. 1. Следует отметить, что контрольный состав проволоки № 3

Состав порошковых проволок с редкоземельными модифицирующими добавками, масс. %

Table 1

The composition of flux cored wires with modifying rare earth additives, mass %

Номер состава	Порошок ПГСР-4	Концентрат Томторского месторождения	Модификатор SiC	Лигатура ФХБ-1	Порошок Al ₂ O ₃
1	41,24	8,25	0	41,24	9,28
2	45,05	1,8	3,6	40,54	9,01
3	34,6	--	18,69	38,06	8,65

не имеет модификаторов редкоземельного концентрата. Диаметр опытных порошковых проволок также равен 2,0 мм; коэффициент заполнения составляет ~0,25–0,3. Покрытия нанесены также на установке электродуговой металлизации ЭДУ-500 при следующих технологических режимах металлизации: ток дуги $I = 200\text{--}300$ А, напряжение $U = 40\text{--}70$ В, давление распыляемого воздуха $P = 0,7\text{--}0,75$ МПа, дистанция напыления $L = 150$ мм. Покрытия были нанесены на полированные стальные подложки для последующего отделения. Полученные образцы покрытий не подвергались дополнительной термической обработке.

Определение открытой пористости газотермических покрытий проводилось методом гидростатического взвешивания по ГОСТ 9.304-87 [8]. При использовании данного метода основным фактором, определяющим его точность, является степень насыщения открытых пор покрытия рабочей жидкостью. Поэтому в работе в качестве рабочей пропитывающей жидкости открытых пор покрытия был выбран керосин. Применение керосина, обладающего высокой проникающей способностью, позволяет исключить дополнительные операции пропитки, необходимые при использовании других жидкостей [7–10].

Открытая пористость определялась по следующей формуле [8]:

$$P = \frac{(m_2 - m)\rho_0}{(m_2 - m_1)\rho_0 - m_0\rho_{\text{ж}}} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где m – масса сухого образца с покрытием на воздухе; m_0 – масса подложки; m_1 – масса пропитанного образца с покрытием в жидкости; m_2 – масса пропитанного образца с покрытием на воздухе; ρ_0 – плотность подложки; $\rho_{\text{ж}}$ – плотность пропитывающей жидкости (керосина). Следует отметить, что для покрытий с редкоземельными модифицирующими добавками, отде-

ленных от полированной подложки, в формуле (1) имеем $m_0 = 0$.

Металлографический анализ структуры износостойких порошковых покрытий проведен на микроскопах «Neophot-32» и «Axio Observer D1m». Микроструктурные исследования проводились на сканирующем электронном микроскопе ТМ3030 («Hitachi», Япония). Взвешивание образцов на воздухе и в жидкой среде проведены на электронных весах с точностью до 0,0001 г.

Макроструктура и пористость порошковых покрытий

Как отмечено выше, одной из количественных характеристик макроструктуры порошковых покрытий является их пористость. По механизму образования элементы пористости макроструктуры порошкового покрытия разделяются на следующие основные виды [1]:

1. Микро- и мезопоры, образующиеся вследствие неплотной укладки частиц в слой, формируемый за один проход напыления. К этому классу относятся наиболее крупные поры порошкового покрытия, их геометрия может быть разнообразной.

2. Поры, образующиеся вследствие взаимодействия частиц порошкового материала с газовой средой: в покрытии могут локализоваться пустоты, соответствующие по своему размеру крупным микропорам.

3. Поры, образующиеся вследствие диспергирования (разбрызгивания) частиц при соударении с подложкой и формируемым покрытием; они имеют сложную форму.

4. Микро- и мезопоры, возникающие вследствие дендритной кристаллизации расплавленных частиц порошкового материала.

5. Трещины, микротрещины и субмикротрещины, которыми зачастую пронизаны частицы порошкового материала.

Таким образом, наличие пор в порошковых покрытиях отражается на особенностях их макроструктуры (рис. 1). При этом поры видов 1 и 3 в основном определяют уровень открытой пористости порошкового покрытия.

На рис. 1, *а, б* приведены характерные макроструктуры покрытий с тугоплавкими добавками Al_2O_3 , полученных при различных технологических режимах металлизации $U = 30$ и 35 В.

Следует отметить, что модифицирующие добавки корунда являются тугоплавкими, температура плавления Al_2O_3 составляет 2050 °С. Поэтому в процессе электродуговой металлизации частицы корунда (особенно крупные) только частично расплавляются (см. рис. 1, *а*). Как видно из рис. 1, *а, б*, в макроструктуре покрытий присутствуют окисные пленки и мелкие поры на границах частично расплавленных и деформиро-

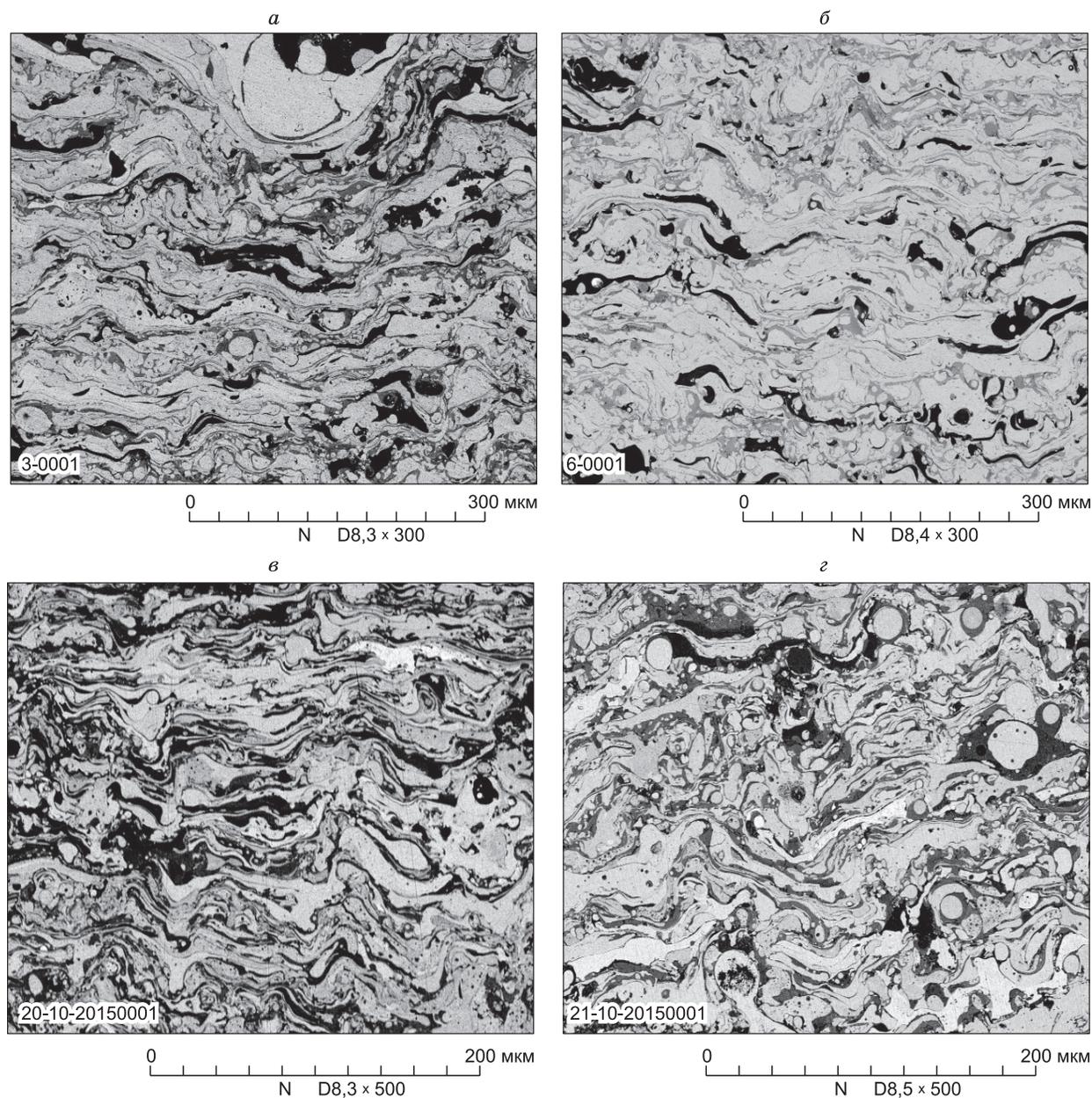


Рис. 1. Макроструктура покрытий с модифицирующими добавками:
а – Al_2O_3 , $U = 30$ В; *б* – Al_2O_3 , $U = 35$ В; *в* – W, 1 масс.%; *г* – Ta, 0,1 масс. %.

Fig. 1. A macrostructure of coating with the modifying additives:
а – Al_2O_3 , $U = 30$ В; *б* – Al_2O_3 , $U = 35$ В; *в* – W, 1 % of mass; *г* – Ta, 0,1 % of mass.

ФОРМИРОВАНИЕ МАКРОСТРУКТУРЫ И ПОРИСТОСТИ

ванных частиц (сплэтов); также наблюдаются более крупные поры неправильной формы, образованные на границах нескольких частиц, вследствие их неплотной упаковки (вышеприведенные виды 1 и 3). Высокий уровень пористости покрытий определяется большими размерами таких пор сложной формы (см. рис. 1, *a*). Следует отметить, что формирование таких пор (с очень широким диапазоном размеров) во всем объеме покрытия приводит к их выходу на поверхность, т.е. образованию открытой пористости [1].

На рис. 1, *в*, *г* приведены изображения структуры покрытий с модифицирующими добавками

вольфрама W и тантала Ta. Видно, что газотермические покрытия обоих видов имеют неоднородную слоистую структуру, также состоят из наложенных друг на друга расплавленных частиц порошковой проволоки с прослойками оксидных пленок между ними. Крупные поры, как и в случае покрытия с модифицирующими добавками корунда (см. рис. 1, *a*, *б*), образуются на границах и стыках наложенных расплавленных и оплавленных частиц (см. рис. 1, *в*, *г*).

На рис. 2 приведены характерные макроструктуры покрытий с редкоземельными модифицирующими добавками. Во всех покрытиях также

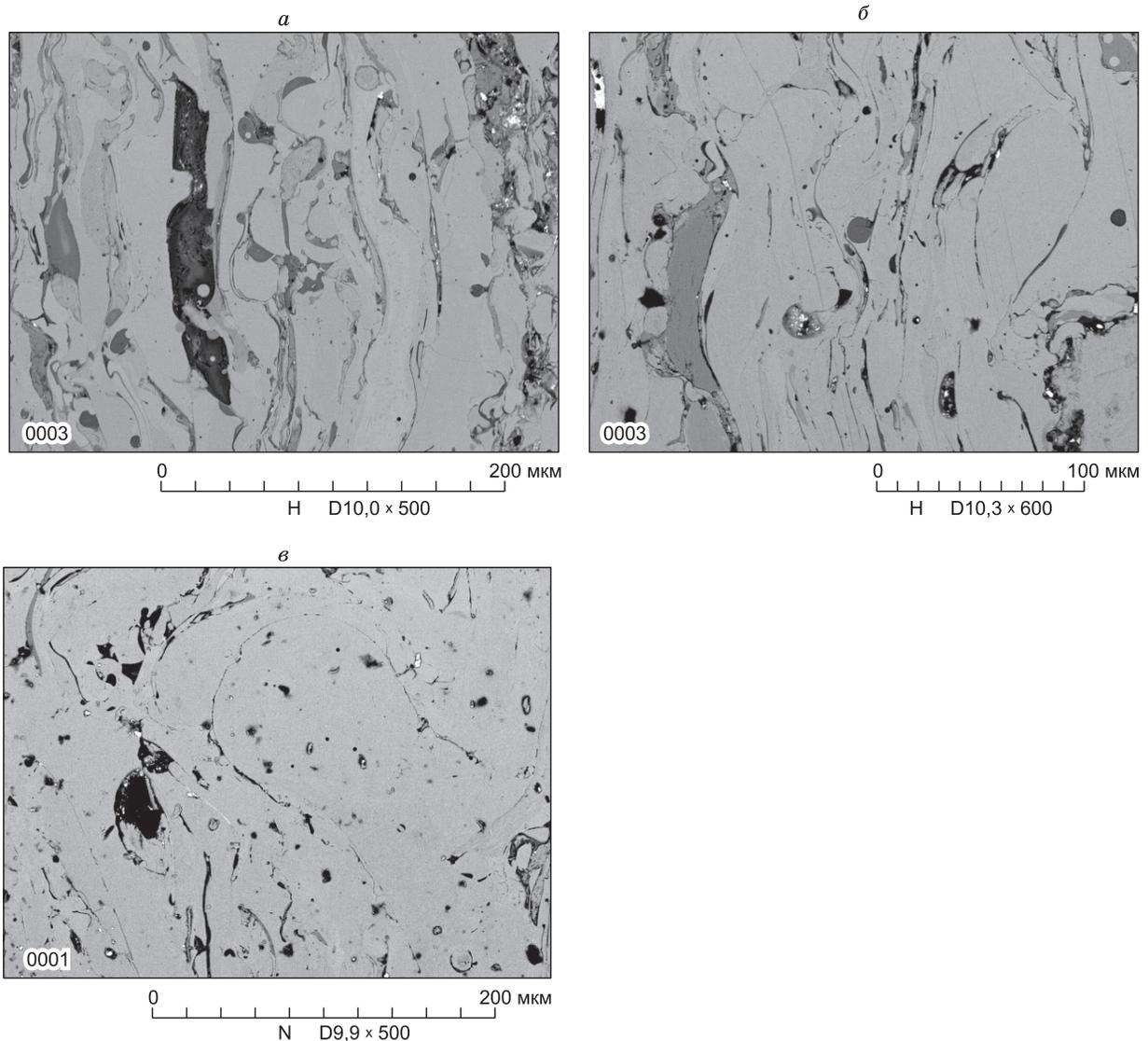


Рис. 2. Макроструктура покрытий с редкоземельными модифицирующими добавками и контрольного образца; составы: *a* – № 1; *б* – № 2; *в* – № 3 (составы приведены в табл. 1).

Fig. 2. A macrostructure of coating with the rare-earth modifying additives and a control sample; compositions: *a* – № 1; *б* – № 2; *в* – № 3.

**Результаты измерения
открытой пористости газотермических покрытий с модифицирующими добавками**

Покрытие, модификатор	<i>По</i> , %	Покрытие, модификатор	<i>По</i> , %
Al ₂ O ₃ , режим <i>U</i> = 30 В	3,02	Ta, 0,1 %	7,85
Al ₂ O ₃ , режим <i>U</i> = 35 В	1,64	Ta, 0,3 %	5,94
Al ₂ O ₃ , режим <i>U</i> = 40 В	1,97	Ta, 1 %	6,73
W, 0,1 %	4,87	РЗМ состав № 1	7,36
W, 0,3 %	8,67	РЗМ состав № 2	9,56
W, 1 %	7,48	РЗМ состав № 3	6,19

наблюдается наличие слоев из оксидных пленок и небольших пор на границах деформированных частиц (сплэтов) и крупных пор различной формы, образованных на границах нескольких частиц, вследствие их неплотной укладки.

Таким образом, появление пор видов 1 и 3 крупных размеров, в основном, отражается на формировании слоистой макроструктуры порошкового покрытия, которая определяет уровень его открытой пористости.

В табл. 2 приведены результаты измерения открытой пористости *По* газотермических покрытий с модифицирующими добавками корунда, тантала, вольфрама и редкоземельных соединений (РЗМ).

Как показывают экспериментальные исследования, наименьшее значение 1,64 % открытой пористости наблюдается у покрытия с корундом Al₂O₃, полученного при режиме: ток *I* = 280–300 А, напряжение *U* = 35 В, дистанция напыления *L* = 130 мм. При незначительном снижении напряжения дуги (*U* = 30 В) открытая пористость покрытия увеличивается практически вдвое, рост напряжения дуги до 40 В также повышает пористость до ≈2 % (см. табл. 2). Таким образом, выявлено, что уровень пористости газотермического покрытия крайне чувствителен к изменению технологических режимов его получения.

Измерениями пористости установлено, что при увеличении содержания модифицирующих добавок вольфрама W и тантала Ta от 0,1 % до 1 масс. %, пористость обоих видов покрытий изменяется немонотонным образом (см. табл. 2). Для покрытий с вольфрамом уровень пористости составляет от ≈4,9 до ≈8,7 %, пористость покрытий с танталом – от ≈5,9 до ≈7,8 %. Как видно из табл. 2, уровень открытой пористости газотермических покрытий также немонотонно зависит от содержания редкоземельных модифи-

каторов. Наименьшее среднее значение 6,19 % открытой пористости наблюдается у покрытия без редкоземельных добавок (состав № 3). Следует отметить, что полученные результаты качественно согласуются с данными других работ (от ≈1 до ≈20 %) [1, 7, 9, 10].

**Статистическое описание
формирования пористой макроструктуры**

В настоящее время для описания случайной макроструктуры порошковых покрытий широко используются методы статистического моделирования [4–6]. Как установлено металлографическим анализом, общей характерной особенностью случайной макроструктуры порошковых покрытий является ее слоистое строение (см. рис. 1, 2). С учетом этого, ранее авторами была построена статистическая модель формирования макроструктуры порошковых покрытий со следующими предположениями [13]:

1. Локальная плотность слоя покрытия является случайной функцией от расстояния слоя до подложки.

Под влиянием случайных факторов формирования покрытия при одних и тех же макрокопических параметрах режима напыления (ток дуги, дистанция напыления и т. д.) существует бесчисленное множество реализаций случайной функции плотности слоев. Усреднением их при фиксированном значении расстояния слоя от основы можно получить значение плотности определенного слоя покрытия.

2. Изменение локальной плотности слоев покрытия описывается случайным марковским процессом.

При данном подходе учитывается основной механизм порообразования с видами открытых пор 1 и 3 наиболее крупных размеров – вследствие неплотной упаковки и разбрызгивания ча-

стиц порошкового материала. Тогда следует предположить, что локальная плотность образующегося n -го слоя определяется локальной плотностью только предыдущего $(n - 1)$ -го слоя, сама же реализованная локальная плотность n -го слоя будет определять локальную плотность последующего $(n + 1)$ -го слоя и т. д. Таким образом, изменение локальной плотности от слоя к слою можно рассматривать как случайный марковский процесс.

Как известно, по локальной безразмерной плотности усреднением по реализациям можно определить среднюю плотность (или пористость) слоя. В данной работе расчеты средней пористости покрытия проведены для покрытия на гладкой подложке. Дело в том, что в этом случае обеспечивается более равномерное растекание расплава частиц на гладкой подложке [1]. Это обеспечивает, как показывают экспериментальные исследования, что при газотермическом напылении на гладкую подложку вблизи нее практически достигается плотность сплошного материала. Для данного случая развитием статистического подхода можно получить теоретическое выражение $По_T$ для безразмерной средней пористости слоев покрытия [13]:

$$По_T = \left[\frac{1}{2} - \frac{4}{\pi^2} \sum_{N=0}^{\infty} \frac{\exp\left(-\frac{B\pi^2(2N+1)^2x}{rT^2}\right)}{(2N+1)^2} \right], \quad (2)$$

где x – расстояние слоя до подложки, ρ_T – плотность порошкового материала, B – постоянная величина, определяемая из эксперимента [13].

Вычисления средней пористости слоев покрытия на гладкой подложке по выражению (2) в работе проведены с использованием MathCad. Качественные виды кривых средней пористости слоев покрытия на гладкой подложке представлены на рис. 3; расчеты проведены при различных значениях параметра B .

Как видно из графиков, у гладкой подложки пористость слоя исчезает, с удалением от подложки средняя пористость слоев монотонно возрастает.

В заключение проведем краткий анализ выражения (2) для средней пористости слоев покрытия на гладкой подложке. Как и следовало ожидать, у гладкой подложки имеем плотность сплошного материала:

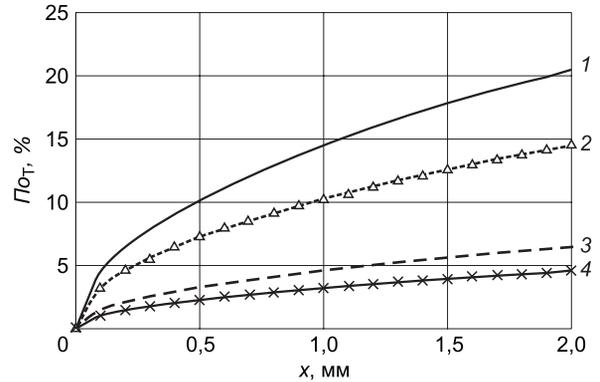


Рис. 3. Средняя пористость слоев порошкового покрытия на гладкой подложке:

1 – $B = 10^9 \text{ кг}^2/\text{м}^7$; 2 – $B = 5 \cdot 10^8 \text{ кг}^2/\text{м}^7$; 3 – $B = 10^8 \text{ кг}^2/\text{м}^7$; 4 – $B = 5 \cdot 10^7 \text{ кг}^2/\text{м}^7$.

Fig. 3. Average porosity of layers coating on a smooth substrate:

1 – $B = 10^9 \text{ kg}^2/\text{m}^7$; 2 – $B = 5 \cdot 10^8 \text{ kg}^2/\text{m}^7$; 3 – $B = 10^8 \text{ kg}^2/\text{m}^7$; 4 – $B = 5 \cdot 10^7 \text{ kg}^2/\text{m}^7$.

$$\lim_{x \rightarrow 0} По_T = 0.$$

В этом можно убедиться, учитывая, что в выражении (2) при $x = 0$ сумма второго слагаемого в виде числового ряда равна $1/2$ [14]. Как видно из формулы (2), также существует предельное значение средней пористости у поверхности покрытий больших толщин:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} По_T = 1/2.$$

Следует добавить, что для расчета значений общей пористости $По$ покрытий, приведенных в табл. 2, необходимо усреднение зависимости (2) интегрированием по толщине покрытия. Тогда значения параметра B можно оценить из анализа экспериментальных данных открытой пористости покрытий, приведенных в табл. 2.

Заключение

1. Проведен анализ макроструктуры износостойких порошковых покрытий с модифицирующими добавками корунда Al_2O_3 , вольфрама W, тантала Ta и редкоземельного концентрата Томторского месторождения РС(Я). Установлено, что характерной особенностью макроструктуры порошковых покрытий является ее слоистое строение. В макроструктуре всех покрытий наблюдается наличие слоев из оксидных пленок и мелких пор на границах частично расплавленных и деформированных частиц порошкового материала. Более крупные поры случайной формы образуются

ся на границах нескольких частиц, вследствие их диспергирования и неплотной укладки; они определяют уровень открытой пористости покрытий.

2. Методом гидростатического взвешивания установлены уровни открытой пористости модифицированных порошковых покрытий. Показано, что уровень открытой пористости газотермического покрытия существенно зависит от изменений технологических режимов его получения и содержания модификаторов. Наименьшее значение 1,64 % открытой пористости наблюдается у покрытия с добавками корунда Al_2O_3 . Для покрытий с вольфрамом W уровень открытой пористости составляет от $\approx 4,9$ до $\approx 8,7$ %; открытая пористость покрытий с танталом Ta – от $\approx 5,9$ до $\approx 7,8$ %. Для покрытий с редкоземельными модификаторами открытая пористость составляет 7,36 и 9,56 % при содержании концентрата 8,25 и 1,8 масс. % соответственно.

3. Развитием статистического подхода для описания слоистой макроструктуры предложено теоретическое выражение для средней пористости слоев покрытия на гладкой подложке. При данном подходе учитывается основной механизм порообразования с видами открытых пор наиболее крупных размеров – вследствие неплотной упаковки и диспергирования частиц порошкового материала. Показано, что пористость слоя на гладкой подложке близка к нулю, с удалением от подложки средняя пористость слоев покрытия монотонно возрастает.

Литература

1. Кудинов В.В., Пекшеев П.Ю., Белащенко В.Е., Солоненко О.П., Сафиуллин В.А. Нанесение покрытий плазмой. М.: Наука, 1990. 408 с.
2. Бороненков В.Н., Коробов Ю.С. Основы дуговой металллизации. Физико-химические закономерности. Екатеринбург.: Изд-во Ураль. ун-та, 2012. -268 с.
3. Архипов В.Е. Газодинамическое напыление. Структура и свойства покрытий. М.: Изд-во Красанд, 2017. 239 с.
4. Гнедовец А.Г., Калита В.И. Модель формирования макроструктуры покрытий при плазменном напылении // Физика и химия обработки материалов. 2007. № 1. С. 30–39.
5. Bussmann M., Mostaghimi J., Chandra S. On a three-dimensional volume tracking model of droplet impact // Phys.Fluids. 1999. V. 11. P. 1406–1417.
6. Mostaghimi J., Pasandideh-Fard M., Chandra S. Dynamics of splat formation in plasma spray coating process. Plasma Chem. Plasma Proces. 2002. V. 22, N 1. P. 59–84.
7. Исакаев Э.Х., Мордынский В.Б., Подымова Н.Б., Сидорова Е.В., Школьников Е.И. Определение пори-

стости газотермических покрытий // Физика и химия обработки материалов. 2010. № 5. С. 71–77.

8. ГОСТ 9.304-87. Покрытия газотермические. Общие требования и методы контроля. введ. 01.07.89. М.: Изд-во стандартов, 1988. 10 с.

9. Тушинский Л.И., Плохов А.В., Токарев А.О., Синдеев В.И. Методы исследований материалов: Структура, свойства и процессы нанесения неорганических покрытий. М.: Мир, 2004. 384 с.

10. Рогожкин В.М., Акимова Л.В., Смирнов Ю.В. Определение пористости напыленных покрытий методом гидростатического взвешивания // Порошковая металлургия. 1980. № 9 (213). С. 42–46.

11. Газотермическое напыление: учеб. пособие / кол. авторов: под общей ред. Л.Х. Балдаева. М.: Маркет ДС, 2007. 344 с.

12. Порошковая проволока для получения покрытий : патент 2048273 Рос. Федерация. № 93019989/02; заявл. 14.04.1993; опубл. 20.11.1995, Бюл. № 32. 3 с.

13. Vinokurov G., Popov O. Statistical approaches to describe the macrostructure formation and wear of powder coatings and materials obtained by high-energy methods. Moscow: Academia Publishers, 2013. 160 p.

14. Градштейн И.С., Рыжик И.М. Таблицы интегралов, рядов и произведений. СПб.: БХВ-Петербург, 2011. 1182 с.

References

1. Kudinov V.V., Pekshev P. Yu., Belashchenko V.E., Solonenko O.P., Safiullin V. A. Naneseenie pokrytiy plazmoy. M.: Nauka, 1990. 408 p.
2. Boronenkov V.N., Korobov Yu.S. Osnovy dugovoy metallizatsii. Fiziko-khimicheskie zakonomernosti [Bases of arc metallization. Physical and chemical regularities]. Ekaterinburg.: Izd-vo Ural. Un-ta, 2012. 268 p.
3. Arkhipov V.E. Gazodinamicheskoye napyleniye. Struktura i svoystva po-krytiy. M.: Krasand. 2017. 239 p.
4. Gnedovets A.G. Kalita V.I. Model formirovaniya makrostruktury pokrytiy pri plazmennom napylenii // Fizika i Khimiya Obrabotki Materialov. 2007. N 1. P. 30–39.
5. Bussmann M., Mostaghimi J., Chandra S. On a three-dimensional volume tracking model of droplet impact // Phys.Fluids. 1999. V. 11. P. 1406–1417.
6. Mostaghimi J., Pasandideh-Fard M., Chandra S. Dynamics of splat formation in plasma spray coating process. Plasma Chem. Plasma Proces. 2002. V. 22, N 1. P. 59–84.
7. Isakayev E.Kh., Mordynsky V.B., Podymova N.B., Sidorova E.V., Shkol'nikov E. I. Opredelenie poristosti gazotermicheskikh pokrytiy // Fizika i Khimiya Obrabotki Materialov. 2010. N 5. P. 71–77.
8. State standart GOST 9.304-87. Pokrytiya gazotermicheskoye. Obshchie trebovaniya i metody kontrolya. M.: Izd-vo. standartov, 1988. 10 p.
9. Tushinskiy L.I., Plokhov A.V., Tokarev A.O., Sindeev V.I. Metody issledovaniya materialov: Struktura, svoystva i protsessy naneseeniya neorganicheskikh pokrytiy. M.: Mir, 2004. 384 p.

ФОРМИРОВАНИЕ МАКРОСТРУКТУРЫ И ПОРИСТОСТИ

10. Rogozhkin V.M., Akimov L.V., Smirnov Yu.V. Opredelenie poristosti napylenykh pokrytiy metodom gidrostaticheskogo vzveshivaniya // Porosh. Metallur. 1980. N 9 (213). P 42–46.

11. *Gazotermicheskoe napylenie: uchebnoe posobie* / Baldaev L.Kh. (ed.). M.: Market DS, 2007. 344 p.

12. RF Pat. No. 2048273. Poroshkovaya provoloka dlya polucheniya pokrytiy [A powder wire for receiving coatings]: Appl. 20.11.1995, Bul. No. 32. 3 p.

13. Vinokurov G., Popov O. Statistical approaches to describe the macrostructure formation and wear of powder coatings and materials obtained by high-energy methods. – Moscow: Academia Publishers, 2013. – 160 p.

14. *Gradshtein I.S., Ryzhik I.M. Tablitzы integralov, ryadov i proizvedenii*. SPb.: BKhV-Peterburg, 2011. 1182 p.

Поступила в редакцию 01.03.2019

Принята к публикации 25.06.2019

Об авторах

СТРУЧКОВ Николай Федорович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН, 677980, г. Якутск, ул. Октябрьская, 1, Россия,

<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, г. Якутск, ул. Октябрьская, 1, Россия,

<https://orcid.org/0000-0003-1454-6293>, g.g.vinokurov@iptpn.ysn.ru.

About authors

STRUCHKOV Nikolai Fedorovich, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, V.P. Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North, SB RAS, 1 Oktyabrskaya Str., Yakutsk, 677980, Russia,

<https://orcid.org/0000-0003-3078-0709>, struchkov_n@rambler.ru;

VINOKUROV Gennadiy Georgievich, Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, V.P. Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North, SB RAS, 1 Oktyabrskaya St., Yakutsk, 677980, Russia,

<https://orcid.org/0000-0003-1454-6293>, g.g.vinokurov@iptpn.ysn.ru.

Информация для цитирования

Стручков Н.Ф., Винокуров Г.Г. Формирование макроструктуры и пористости износостойких модифицированных порошковых покрытий // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2019, том 24, № 2. С. 117–125. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-2-11>

Citation

Struchkov N.F., Vinokurov G.G. Formation of the macrostructure and porosity of the wearproof modified powder coatings // Arctic and Subarctic natural resources. 2019, vol. 24, No. 2. pp. 117–125. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-2-11>

Полимерные композиционные материалы на основе СВМПЭ, наполненные модифицированным монтмориллонитом

С.Н. Данилова^{1,*}, Е.В. Абакунова¹, С.А. Слепцова¹, А.Н. Иванов¹, Чо Джин-Хо²

¹Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, Якутск, Россия

²Университет Менджи, Сеул, Южная Корея

*dsn.sakhayana@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты исследований влияния органо-модифицированного монтмориллонита (оММТ) марки 101/102 на физико-механические, триботехнические и термодинамические характеристики сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ). Наполнитель вводили в полимерную матрицу в содержании 0,5, 1 и 2 масс. %. Образцы для испытаний получали методом горячего прессования. Было установлено, что введение 0,5 масс. % оММТ в сверхвысокомолекулярный полиэтилен приводит к увеличению прочности при растяжении на 23 %, и модуля упругости на 14 % относительно ненаполненного полимера. Показано, что скорость массового изнашивания материала при сухом трении скольжения уменьшается в 1,5 раза, а линейного износа – в 2,8 раза по сравнению с исходным сверхвысокомолекулярным полиэтиленом. Методом дифференциально-сканирующей калориметрии выявлено, что с увеличением содержания наполнителя в полимерной матрице значения энтальпии плавления и степени кристалличности уменьшаются на 4 %. Структурными исследованиями показано, что введение органоглины в полиэтилен способствует формированию сферолитной структуры композитов, где частицы наполнителя выступают центрами кристаллизации. Материалы с такой структурой характеризуются повышенной прочностью и износостойкостью по сравнению с исходным полимером.

Ключевые слова: сверхвысокомолекулярный полиэтилен, органо-модифицированный монтмориллонит, органоглина, физико-механические свойства, износостойкость, дифференциальная сканирующая спектроскопия.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке МНУВО РФ НИР № FSRG-2017-0021 и FSRG-2017-0017 и РФФИ в рамках научного проекта № 18-33-01299 (исследование триботехнических характеристик СВМПЭ и ПКМ).

DOI 10.31242/2618-9712-2019-24-2-12

Polymeric composite materials based on UHMWPE filled with modified montmorillonite

S.N. Danilova^{1,*}, E.V. Abakunova¹, S.A. Sleptsova¹, A.N. Ivanov¹, Cho Jin-Ho²

¹North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

²Myongji University, Yongin, South Korea

*dsn.sakhayana@mail.ru

Abstract. Results of the studies of the effect of montmorillonite modified with organics (oMMT) grade 101/102, on the mechanical, tribological and thermodynamic characteristics of ultrahigh molecular weight polyethylene UHMWPE are reported. The filler was introduced into the polymeric matrix in the amount of 0,5, 1 and 2 mass %. The samples for tests were obtained by hot pressing. It was established that the introduction of 0,5 mass % oMMT into ultrahigh molecular weight polyethylene causes an increase in the tensile strength by 23 %, and elastic modulus by 14 % in comparison with the non-filled polymer. It is shown that the rate of mass wear of the material under dry sliding friction decreases by a factor of 1,5, while the linear wear

decreases by a factor of 2,8 in comparison with the initial ultrahigh molecular weight polyethylene. Differential scanning calorimetry was used to reveal that the enthalpy of melting and the degree of crystallinity decrease by 4 % with an increase in the fill content in the polymeric matrix. It was shown by means of structural studies that the introduction of organic clay into the polyethylene promotes the formation of the spherulite structure of the composites, with filler particles acting as crystallization centers. Materials with this kind of structure are characterized by increased strength and wear resistance in comparison with the initial polymer.

Key words: ultra-high molecular weight polyethylene, organically modified montmorillonite, organo-clay, mechanical properties, wear resistance, differential scanning spectroscopy.

Acknowledgements. *The work was carried out with support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation Scientific Research Work № FSRG-2017-0021, FSRG-2017-0017 and the RFBR in the framework of the research project No. 18-33-01299 (research of the tribological characteristics of UHMWPE and PCM)*

Введение

В настоящее время наблюдается расширение областей использования полимерных композиционных материалов (ПКМ), в том числе, в качестве деталей транспорта и технического оборудования, что обусловлено необходимостью замены традиционных дорогостоящих материалов [1]. Одним из перспективных полимеров для ПКМ выступает сверхвысокомолекулярный полиэтилен с его уникальными свойствами. Сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) имеет низкий коэффициент трения, обладает повышенной прочностью, стойкостью к растрескиванию и имеет широкий температурный интервал эксплуатации от -260 до $+120$ °С. Эти свойства дают возможность использовать его как базовый полимер для создания ПКМ, эксплуатируемых в экстремальных условиях, в том числе, в космических системах [2–4].

Применение слоистых силикатов в качестве наполнителей СВМПЭ приводит к существенно-му повышению модуля упругости Юнга, прочности, эластичности, твердости и барьерных свойств ПКМ даже при малой степени наполнения [5]. Одним из наиболее часто используемых слоистых силикатов является монтмориллонит (ММТ), получаемый из бентонитовых глин [6].

В работе [7] показано, что использование ММТ при хорошем диспергировании в полимерной матрице дает заметное улучшение комплекса свойств получаемых композитов. Тем не менее, процесс совмещения компонентов композита остается сложной технологической задачей в связи с органофобной природой монтмориллонита [8, 9]. Порошкообразный ММТ обычно представляет собой смесь агломератов, каждый из которых содержит до нескольких десятков силикатных пластинок глинистого минерала. Введение в полимер

агломерированных силикатов приводит к значительному ухудшению эксплуатационных показателей ПКМ. Для того чтобы обеспечить диспергирование глины и интеркаляцию макромолекул полимера в пространство между силикатными пластинами, порошки ММТ обрабатывают поверхностно-активными веществами (ПАВ). В качестве ПАВ для обработки поверхности алюмосиликата обычно используют четвертичные аммониевые соли (ЧАС) [10]. При этом неорганические катионы внутри прослоек глины замещаются положительно заряженными аммоний-ионами ПАВ, что способствует увеличению пространства между слоями, к уменьшению поверхностной энергии частиц глины и приданию гидрофобного характера. Такая органофицированная глина (органоглина) хорошо диспергируется в полимерной матрице и улучшает взаимодействие с макромолекулами полимера по сравнению с обычной глиной [11].

Целью данной работы является изучение влияния органофицированного монтмориллонита на физико-механические и триботехнические свойства СВМПЭ.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования был выбран СВМПЭ марки GUR 4022 (Selanese, КНР) с молекулярной массой $5,3 \times 10^6$ г/моль, со средним размером частиц 145 мкм и плотностью $0,93$ г/см³. В качестве наполнителя использовали оММТ марки Монамет 101/102 («Метаклэй», Россия), поверхность частиц которых модифицирована смесью ЧАС, метиленовая группа последних варьируется от 12 до 18. Массовое содержание (w , %) наполнителя в полимере – 0,5, 1,0 и 2,0 %. Образцы для исследований получали по технологии горячего прессования при температуре 175 °С и давлении 10 МПа, при выдержке 20 мин

с последующим охлаждением до комнатной температуры.

Физико-механические свойства ПКМ исследовали на разрывной машине Autograph AGS-J (Shumadzu, Япония) по ГОСТ 11262 при скорости движения подвижных захватов 50 мм/мин (количество образцов на испытание – 6–8).

Триботехнические характеристики определяли на трибометре UMT-3 (СЕТР, США) согласно ГОСТ 11629 по схеме трения «палец–диск», при нагрузке 150 Н и скорости скольжения 0,5 м/с.

Термодинамические свойства исследовали на дифференциальном сканирующем калориметре DSC 204 F1 Phoenix (NETZSCH, Германия) со скоростью нагревания 20 °С/мин с навеской образцов – 25±1 мг.

Структурные исследования СВМПЭ и ПКМ исследовали на растровом электронном микроскопе JSM-7800FX (JEOL, Япония) с приставкой «X-max 20» (Oxford Instruments, США).

Результаты и обсуждение

На рис. 1 представлены результаты исследований физико-механических характеристик ПКМ на основе СВМПЭ и органо-модифицированного монтмориллонита (оММТ).

Анализ физико-механических исследований показал, что введение оММТ в СВМПЭ приводит к повышению предела прочности при растяжении на 23 % и модуля упругости при растяжении на 14 % по сравнению с исходной полимерной матрицей. При этом относительное удлинение при наполнении ПКМ 0,5 масс. и 1 масс. % оста-

ется на уровне исходного СВМПЭ. Наблюдаемые результаты можно объяснить эффектом усиления полимерной матрицы за счет взаимодействия с модифицированной поверхностью органоглины.

На рис. 2 приведены результаты триботехнических показателей ПКМ. Как видно из рис. 2, введение в полимерную матрицу органоглины приводит к уменьшению скорости массового изнашивания в 1,5 раза, а линейного износа – в 2,8 раза по сравнению с исходным СВМПЭ. При этом увеличение прочности и износостойкости достигается уже при небольшой степени наполнения, а именно при содержании оММТ 0,5 масс. %. Кроме этого, структурными исследованиями показано, что использование органоглин в качестве наполнителя СВМПЭ способствует равномерному распределению ее частиц в объеме полимерной матрицы (рис. 3), что в свою очередь не требует дополнительных технологических стадий в процессе переработки ПКМ.

На рис. 3 приведены микрофотографии надмолекулярной СВМПЭ и композитов на его основе. Как видно из рисунка 3, надмолекулярная структура исходного СВМПЭ характеризуется как ламеллярная. При введении 0,5 масс. % органоглины в СВМПЭ зарегистрирована трансформация его надмолекулярной структуры от ламеллярной до сферолитной, при этом установлено, что частицы оММТ являются центрами кристаллизации. Повышение концентрации оММТ в СВМПЭ приводит к уменьшению размеров структурных элементов, наблюдается подавление обра-

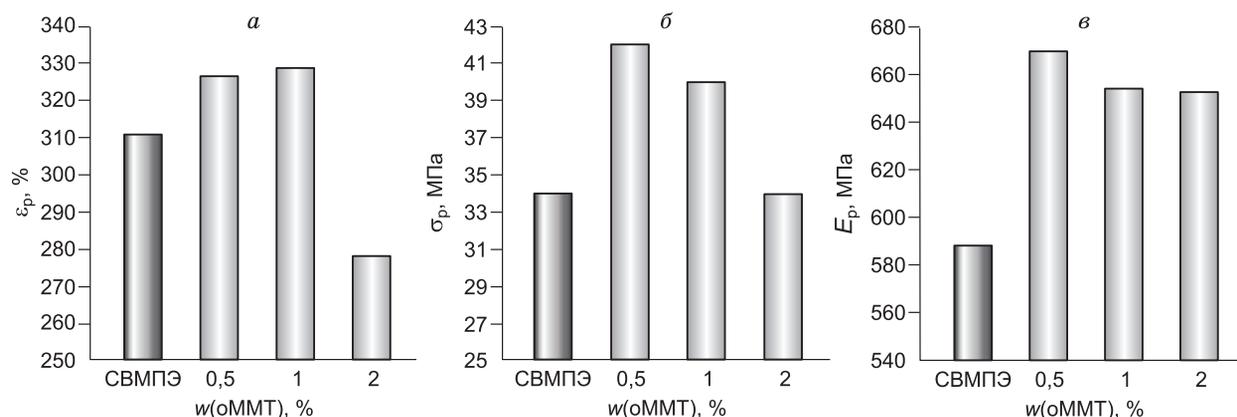


Рис. 1. Зависимость физико-механических характеристик ПКМ от содержания органоглины:

a – ε_p , %, – относительное удлинение при разрыве; b – σ_p , МПа, – предел прочности при растяжении; v – E_p , МПа, – модуль упругости при растяжении.

Fig. 1. Dependence of mechanical characteristics of PCM on the content of organoclay:

a – ε_p , %, – relative extension; b – σ_p , МПа, – tensile strength; v – E_p , МПа, – elastic modulus.

ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СВМПЭ

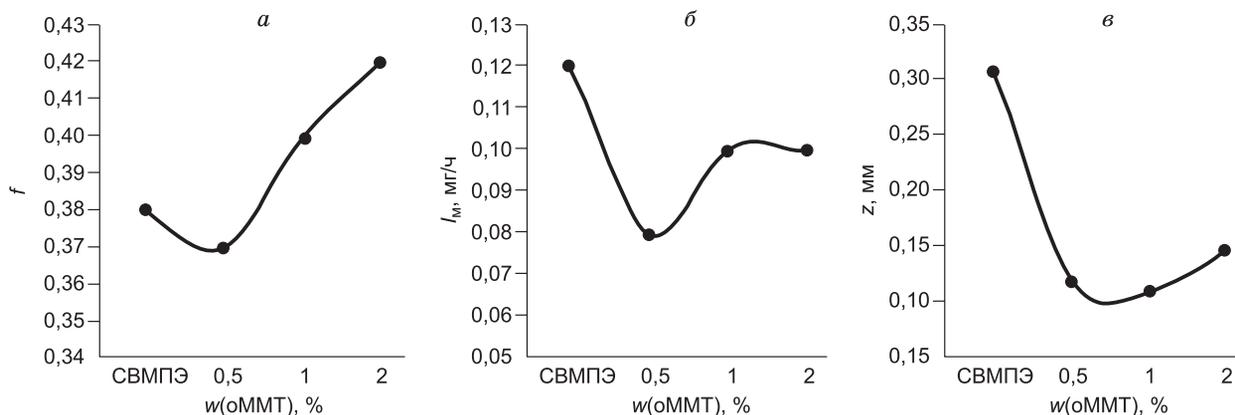


Рис. 2. Зависимость триботехнических свойств ПКМ от содержания органоглины: *a* – коэффициента трения; *б* – скорости массового изнашивания; *в* – линейного износа.

Fig. 2. Results of research of tribotechnical properties of PCM depending on the content of organoclay: *a* – coefficient of friction; *б* – mass wear rate; *в* – linear wear.

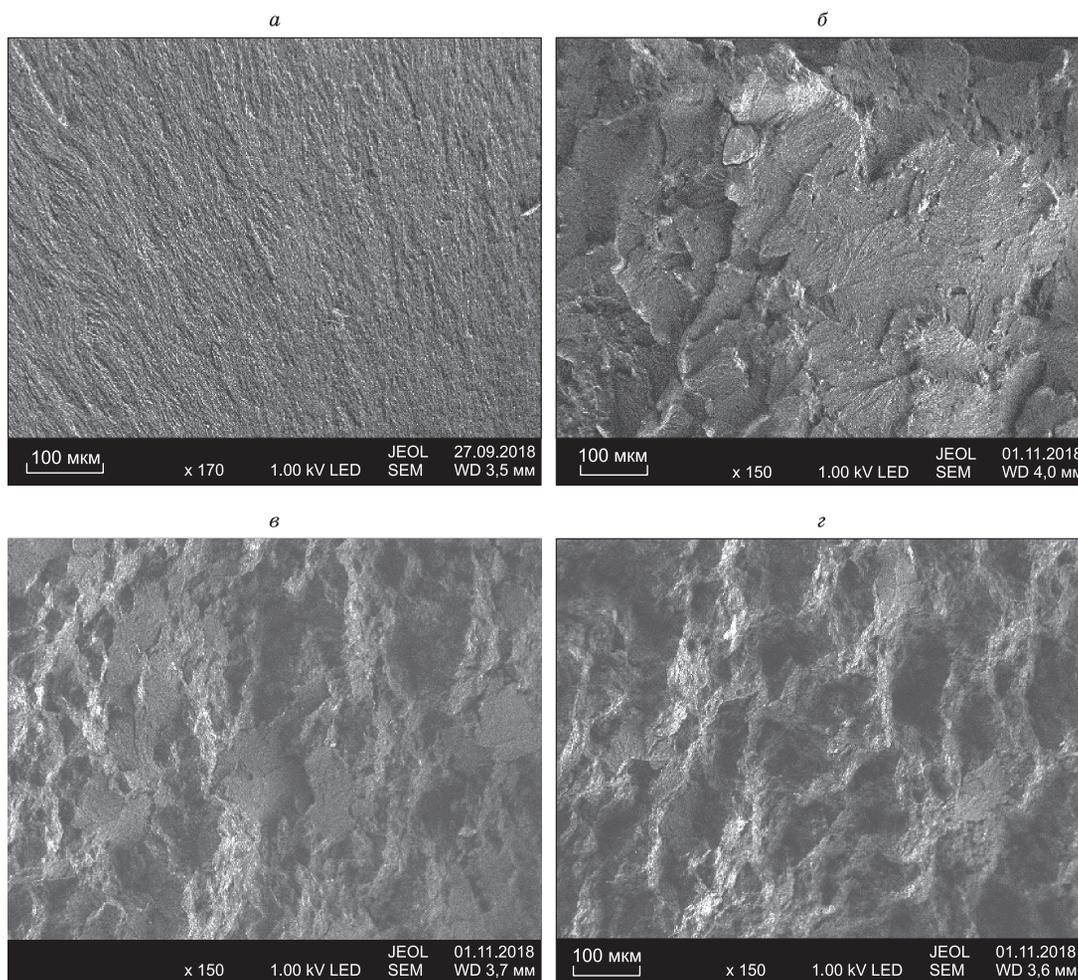


Рис. 3. Микрофотография надмолекулярной структуры при $\times 300$: *a* – исходный СВМПЭ; *б* – СВМПЭ + 0,5 масс. % оММТ; *в* – СВМПЭ + 1 масс. % оММТ; *г* – СВМПЭ + 2 масс. % оММТ.

Fig. 3. Microphotographs of supramolecular structure at $\times 300$: *a* – initial UHMWPE; *б* – UHMWPE + 0,5 wt. %; *в* – UHMWPE + 1 wt. %; *г* – UHMWPE + 2 wt. %.

Результаты исследований ПКМ методом ДСК

The results of studies of PCM by the DSC method

Композит	$T_{пл}$, °С	$\Delta H_{пл}$, Дж/г	Степень кристалличности, %
Исходный СВМПЭ	127,7	171,1	58,4
СВМПЭ/0,5 % оММТ	128,0	167,3	57,1
СВМПЭ/1 % оММТ	128,0	166,0	56,7
СВМПЭ/2 % оММТ	127,7	164,2	56,0

Примечание. $T_{пл}$, °С – температура плавления; $\Delta H_{пл}$, Дж/г, – энтальпия плавления.

Note. $T_{пл}$, °C, – melting point; $\Delta H_{пл}$, J/g, – melting enthalpy.

зования сферолитных структур (1 и 2 масс. %) и формирование участков с рыхлой структурой [13, 14]. Такой характер изменения структуры ПКМ согласуется с полученными результатами исследований по физико-механическим и триботехническим характеристикам ПКМ: при этих концентрациях наполнителя было отмечено некоторое снижение механических показателей.

С целью оценки уровня межфазного взаимодействия СВМПЭ с частицами оММТ проведены исследования термодинамических свойств методом ДСК (см. таблицу).

Как видно из таблицы, температура плавления всех образцов практически не меняется, остается в пределах погрешности измерения, отсюда следует, что введение наполнителя и его модификация не приводят к заметному изменению структурного состояния композитов на основе СВМПЭ.

Сравнение значений энтальпии плавления исследуемых композитов свидетельствует о постепенном снижении теплоты плавления и степени кристалличности с увеличением содержания оММТ. Обычно снижение этих параметров свидетельствует о понижении подвижности макромолекул полимера и скорости кристаллизации за счет взаимодействия СВМПЭ с модифицированной поверхностью частиц органоглины. Кроме этого, увеличение концентрации наполнителя в полимере приводит к замедлению процессов кристаллизации с увеличением вязкости композиционной смеси, что способствует образованию более неоднородной надмолекулярной структуры ПКМ (рис. 3) [12].

Заключение

На основании проведенных исследований показано, что использование органофункционального монтмориллонита в качестве наполнителя для СВМПЭ способствует повышению проч-

ности на 23 %, износостойкости в – 1,5 раза при сохранении стабильных и низких значений коэффициента трения материалов. Термодинамические исследования методом ДСК показали, что введение оММТ в СВМПЭ не приводит к изменению температуры плавления. Более того, с увеличением содержания наполнителя в полимере происходит уменьшение значений энтальпии плавления и степени кристалличности на ≈ 4 %, по сравнению с исходным СВМПЭ, что связано с увеличением вязкости расплава композиционной смеси.

Литература

1. Охлопкова А.А., Стручкова Т.С., Васильев А.П., Алексеев А.Г., Дьяконов А.А. Влияние термической обработки на надмолекулярную структуру порошка политетрафторэтилена // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. 2016. № 4 (54). С. 48–57.
2. Кербер М.Л., Виноградов В.М., Головкин Г.С. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб. пособие/ под ред. А. А. Берлина. СПб.: Профессия, 2008. С. 54–55.
3. Wang H., Xu L., Zhang M., Li R., Xing Z., Hu J., Wang M., Wu G. More wear-resistant and ductile UHMWPE composite prepared by the addition of radiation cross-linked UHMWPE powder // Journal of Applied Polymer Science. 2017. V. 134, N 13. DOI: 10.1002/app.44643
4. Селютин Г.Е., Гаврилов Ю.Ю., Воскресенская Е.Н., Захаров В.А., Никитин В.Е., Полубояров В.А. Композиционные материалы на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена: свойства, перспективы использования // Химия в интересах устойчивого развития. 2010. Т. 18, № 3. С. 375–388.
5. Слепцова С.А., Кириллина Ю.В., Лазарева Н.Н., Макаров М.М. Разработка и исследование полимерных композитов на основе политетрафторэтилена и слоистых силикатов // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. 2015. № 6 (50). С. 95–104.
6. Чвалун С.Н., Новокшионова Л.А., Коробко А.П., Бревнов П.Н. Полимер-силикатные нанокompозиты:

физико-химические аспекты синтеза полимеризацией in situ // Российский химический журнал. 2008. Т. 52, № 5. С. 52–57.

7. Третьякова В. Д., Бахов Ф. Н., Демиденко К. В. Использование современных композиционных материалов на основе слоистых силикатов в автомобильной промышленности // Вестник евразийской науки. 2011. №4 (9). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-sovremennyh-kompozitsionnyh-materialov-na-osnove-sloistyh-silikatov-v-avtomobilnoy-promyshlennosti> (Дата обращения: 14. 03. 2019)

8. Богданова Ю.Г. Адгезия и ее роль в обеспечении прочности полимерных композитов: учеб. пособие для студентов. М.: МГУ, 2010. 68 с.

9. Данилова С.Н., Охлопкова А.А., Песецкий С.С., Миронова С.Н., Саввинова О.Р., Спиридонов А.М. Исследование физико-механических и триботехнических свойств сверхвысокомолекулярного полиэтилена, модифицированного органоглиной // Полимерные материалы и технологии, 2018. Т. 4, № 3. С. 57–65.

10. Третьякова В. Д., Бахов Ф. Н., Демиденко К. В. Повышение характеристик композиционных материалов на основе полиамида посредством модификации наночастицами монтмориллонита // Вестник евразийской науки. 2011. № 4 (9). URL: <https://naukovedenie.ru/sbornik9/9-2.pdf> (дата обращения 20.02.2018)

11. Микитаев А.К., Каладжян А.А., Леднев О.Б., Микитаев М.А. Нанокompозитные полимерные материалы на основе органоглин // Исследовано в России. 2004. Т. 7. С. 912–922. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nanokompозитnye-polimernye-materialy-na-osnove-organoglin> (дата обращения: 20.03.2019).

12. Охлопкова А.А., Петрова П.Н., Попов С.Н., Слепцова С.А. Полимерные композиционные материалы триботехнического назначения на основе политетрафторэтилена. Российский химический журн. 2008. Т. 52, № 3. С. 147–152.

13. Охлопкова А.А., Охлопкова Т.А., Борисова Р.В. Управление процессами структурообразования в полимерных композиционных материалах на основе СВМПЭ // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2015. №. 2 (78). С. 73–78.

14. Panin S.V., Kornienko L.A., Suan T.N., Ivanova L.R., Korchagin M.A., Shil'ko S.V., Pleskachevskii Y.M. Wear resistance of composites based on hybrid UHMWPE–PTFE matrix: Mechanical and tribotechnical properties of the matrix // Journal of Friction and Wear, 2015. V. 36. N 3. P. 249–256. DOI: 10.3103/S1068366615030113

References

1. Ohlopkova A. A., Struchkova T.S., Vasil'ev A.P., Alekseev A.G., D'yakov A.A. Vliyanie termicheskoy obrabotki na nadmolekulyarnuyu strukturu poroshka politetraforehtilena // Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta im. M. K. Ammosova. 2016. N 4 (54). P. 48–57.

2. Kerber M.L., Vinogradov V.M., Golovkin G.S. Polimernye kompozitsionnye materialy: struktura, svoystva, tekhnologia. SPb: Professii, 2011. P. 54–55.

3. Wang H., Xu L., Zhang M., Li R., Xing Z., Hu J., Wang M., Wu G. More wear-resistant and ductile UHMWPE composite prepared by the addition of radiation cross-linked UHMWPE powder / Journal of Applied Polymer Science. 2017. V. 134, N 13. DOI: 10.1002/app.44643

4. Selyutin G.E., Gavrilov Yu.Yu., Voskresenskaya E.N., Zaharov V.A., Nikitin V.E., Poluboyarov V.A. Kompozitsionnye materialy na osnove sverhvysokomolekulyarnogo poliehtilena: svoystva, perspektivy ispol'zovaniya // Himiya v interesah ustojchivogo razvitiya. 2010. V. 18, N 3. P. 375–388.

5. Sleptsova S.A., Kirillina Yu.V., Lazareva N.N., Markarov M.M. Razrabotka i issledovanie polimernyh kompozitov na osnove politetraforehtilena i sloistyh silikatov // Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta im. M. K. Ammosova. 2015. N 6 (50). P. 95–104.

6. Chvalun S.N., Novokshonova L.A., Korobko A.P., Brevnov P.N. Polimer-silikatnye nanokompozity: fiziko-himicheskie aspekty sinteza polimerizaci in situ // Rossijskij khimicheskij zhurnal. 2008. V. 52, N 5. P. 52–57.

7. Tret'yakova V. D., Bahov F. N., Demidyonok K. V. Ispol'zovanie sovremennyh kompozitsionnyh materialov na osnove sloistyh silikatov v avtomobil'noj promyshlennosti // Vestnik evrazijskoj nauki. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-sovremennyh-kompozitsionnyh-materialov-na-osnove-sloistyh-silikatov-v-avtomobilnoy-promyshlennosti> (accessed 14 March 2019).

8. Bogdanova Yu.G. Adgeziya i ee rol' v obespechenii prochnosti polimernyh kompozitov. Posobie dlya studentov. M.: Moscow State University Press, 2010. 68 p.

9. Danilova S.N., Okhlopkova A.A., Pesetsky S.S., Mironova S.N., Savvinova O.R., Spiridonov A.M. Issledovanie fiziko-mehaniicheskikh i tribotekhnicheskikh svoystv sverhvysokomolekuljarnogo polijetilena, modifitsirovannogo organoglinoj // Polimernye materialy i tekhnologii. 2018. V. 4, N 3. P. 57–65.

10. Tret'yakova V.D., Bahov F.N., Demidyonok K.V. Povyshenie harakteristik kompozitsionnyh materialov na osnove poliamida posredstvom modifikacii nanochasticami montmorillonita // Vestnik evrazijskoj nauki. 2011. N 4 (9). Available at: <https://naukovedenie.ru/sbornik9/9-2.pdf>. (accessed 20 February 2018).

11. Mikitaev A.K., Kaladzhyan A.A., Lednev O.B., Mikitaev M.A. Nanokompозитные полимерные материалы на основе органоглин // Исследовано в России. 2004. V. 7. P. 912–922. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nanokompозитnye-polimernye-materialy-na-osnove-organoglin> (accessed 20 March 2019).

12. Okhlopkova A.A., Petrova P.N., Popov S.N., Sleptsova S.A. Polimernye kompozitsionnye materialy tribotekhnicheskogo naznacheniya na osnove politetraforehtilena // Rossijskij khimicheskij zhurnal. 2008. V. 52, N 3. P. 147–152.

13. Okhlopkova A.A., Okhlopkova T.A., Borisova R.V. Upravlenie processami strukturoobrazovaniya v polimernyh kompozitsionnyh materialah na osnove SVMPEH //

Prirodnye resursy Arktiki i Subarkтики. 2015. N 2 (78). P. 73–78.

14. Panin S.V., Kornienko L.A., Suan T.N., Ivanova L.R., Korzhagin M.A., Shil'ko S.V., Pleskachevskii Y.M. Wear

resistance of composites based on hybrid UHMWPE–PTFE matrix: Mechanical and tribotechnical properties of the matrix // Journal of Friction and Wear. 2015. V. 36. N 3. C. 249–256. DOI: 10.3103/S1068366615030113

Поступила в редакцию 16.05.2019

Принята к публикации 10.07.2019

Об авторах

ДАНИЛОВА Сахаяна Николаевна, аспирант химического отделения, Институт естественных наук Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, 677000, г. Якутск, ул. Белинского 58,

<https://orcid.org/0000-0002-5901-6387>, dsn.sakhayana@mail.ru

АБАКУНОВА Елена Викторовна, аспирант химического отделения, Институт естественных наук, Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, заведующая учебно-научной лабораторией «Полимерные нанокompозиты», 677000, г. Якутск, ул. Белинского 58,

<https://orcid.org/0000-0001-5008-7536>, e.abakunova@mail.ru

СЛЕПЦОВА Сардана Афанасьевна – кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией «Технологии полимерных нанокompозитов», 677000, г. Якутск., ул. Кулаковского, 46,

<https://orcid.org/0000-0003-2396-3267>, ssard@yandex.ru

ИВАНОВ Афанасий Нюргунович, студент группы химического отделения, Институт естественных наук Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова, 677000, Якутск, ул. Кулаковского, 46,

<https://orcid.org/0000-0002-9009-3778>, differeo@gmail.com

About authors

DANILOVA Sakhayana Nikolaevna, Graduate Student, Chemical Department, Institute of Natural Science, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 58 Belinskogo str., Yakutsk, 677000, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-5901-6387>, dsn.sakhayana@mail.ru

ABAKUNOVA Elena Viktorovna, Graduate Students, Chemical Department, Institute of Natural Science, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Head of the Scientific Research Laboratory «Polymer Nanocomposites», 58 Belinskogo str., Yakutsk, 677000, Russia, <https://orcid.org/0000-0001-5008-7536>, e.abakunova@mail.ru

SLEPTSOVA Sardana Afanasyevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Educational, Scientific and Technological Laboratory «Technology of Polymer Nanocomposites», 46 Kulakovskogo str., Yakutsk, 677000, Russia,

<https://orcid.org/0000-0003-2396-3267>, ssard@yandex.ru

IVANOV Afanasy Nyurgunovich, student, Chemical Department, Institute of Natural Science, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 46 Kulakovskogo str., Yakutsk, 677000, Russia,

<https://orcid.org/0000-0002-9009-3778>, differeo@gmail.com.

Информация для цитирования

Данилова С. Н., Абакунова Е.В., Слепцова С. А., Иванов А. Н., Джин-Хо Чо. Полимерные композиционные материалы на основе СВМПЭ, наполненные модифицированным монтмориллонитом // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2019, том 24, № 2. С. 126–132. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-2-12>

Citation

Danilova S. N., Abakunova E. V., Sleptsova S. A., Ivanov A. N., Jin-Ho Cho. Polymer composite materials based on UHMWPE filled with modified of montmorillonite // Arctic and Subarctic natural resources. 2019, vol. 24, No. 2. pp. 126–132. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-2-12>

Редактор *Н.А. Лившиц*
Компьютерная верстка *И.В. Мелехов*
Обложка *А.А. Николашкиной*

Дата выхода в свет 30.08.2019. Формат 60×84 1/8. Печать цифровая
Усл. п.л. 15,3. Тираж 100 экз. Заказ № 166. Цена свободная.

Адрес редакции:

677007, г. Якутск, пр. Ленина, 33, тел. 8(4112) 39-06-64, nras.ysn.ru

Адрес издателя:

677007, г. Якутск, пр. Ленина, 33, ГБУ «Академия наук Республики Саха (Якутия)»,
тел. 8(4112) 33-57-11, e-mail: anrsya@mail.ru

Адрес издательства:

Издательство СО РАН
630090, Новосибирск, Морской просп., 2
E-mail: psb@sibran.ru
тел. (383) 330-80-50

Отпечатано в Издательстве СО РАН
Интернет-магазин Издательства СО РАН
<http://www.sibran.ru>