

Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр
Российской академии наук»



ТРУДЫ

КАРЕЛЬСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

№ 7, 2021

КОМПЛЕКСНЫЕ НАУЧНЫЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ КарНЦ РАН

Петрозаводск
2021

Главный редактор
А. Ф. ТИТОВ, член-корр. РАН, д. б. н., проф.

Редакционный совет

А. М. АСХАБОВ, академик РАН, д. г.-м. н., проф.; О. Н. БАХМЕТ (зам. главного редактора), член-корр. РАН, д. б. н.; А. В. ВОРОНИН, д. т. н., проф.; И. В. ДРОБЫШЕВ, доктор биологии (Швеция – Канада); Э. В. ИВАНТЕР, член-корр. РАН, д. б. н., проф.; Х. ЙООСТЕН, доктор биологии, проф. (Германия); А. М. КРЫШЕНЬ, д. б. н.; Е. В. КУДРЯШОВА, д. флс. н., проф.; О. Л. КУЗНЕЦОВ, д. б. н.; Н. В. ЛУКИНА, член-корр. РАН, д. б. н., проф.; В. В. МАЗАЛОВ, д. ф.-м. н., проф.; Н. Н. НЕМОВА, член-корр. РАН, д. б. н., проф.; О. ОВАСКАЙНЕН, доктор математики, проф. (Финляндия); О. Н. ПУГАЧЕВ, академик РАН, д. б. н.; С. А. СУББОТИН, доктор биологии (США); Д. А. СУБЕТТО, д. г. н.; Н. Н. ФИЛАТОВ, член-корр. РАН, д. г. н., проф.; Т. Э. ХАНГ, доктор географии (Эстония); П. ХЁЛЬТТЯ, доктор геологии, проф. (Финляндия); К. ШАЕВСКИЙ, доктор математики, проф. (Польша); В. В. ЩИПЦОВ, д. г.-м. н., проф.

Редакционная коллегия тематического выпуска
«Комплексные научные исследования КарНЦ РАН»

О. Н. БАХМЕТ (ответственный редактор), чл.-корр. РАН, д. б. н.; Н. Г. КОЛЕСНИКОВ, к. э. н.; О. В. МЕЩЕРЯКОВА, к. б. н.; С. А. МОШНИКОВ, к. с.-х. н.; Л. Е. НАЗАРОВА, к. г. н.; А. Н. РЕТТИЕВА, д. ф.-м. н.; П. А. РЯЗАНЦЕВ (ответственный секретарь), к. г.-м. н.; А. В. СТЕПАНОВА, к. г.-м. н.; С. Э. ЯЛОВИЦЫНА, к. и. н.

Издается с января 2009 г.

Адрес редакции: 185910, Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11
Тел. (8142)762018; факс (8142)769600
E-mail: trudy@krc.karelia.ru

Электронная полнотекстовая версия: <http://transactions.krc.karelia.ru>; <http://journals.krc.karelia.ru>

Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences

TRANSACTIONS

of the KARELIAN RESEARCH CENTRE of the RUSSIAN ACADEMY of SCIENCES

No. 7, 2021

MULTIDISCIPLINARY SCIENTIFIC
RESEARCH AT KarRC RAS

Petrozavodsk
2021

Editor-in-Chief

A. F. TITOV, RAS Corr. Fellow, DSc (Biol.), Prof.

Editorial Council

A. M. ASKHABOV, RAS Academician, DSc (Geol.-Miner.), Prof.; O. N. BAKHMET (Deputy Editor-in-Chief), RAS Corr. Fellow, DSc (Biol.); I. V. DROBYSHEV, PhD (Biol.) (Sweden – Canada); N. N. FILATOV, RAS Corr. Fellow, DSc (Geog.), Prof.; T. E. HANG, PhD (Geog.) (Estonia); P. HÖLTTÄ, PhD (Geol.), Prof. (Finland); E. V. IVANTER, RAS Corr. Fellow, DSc (Biol.), Prof.; H. JOOSTEN, Dr. (Biol.), Prof. (Germany); A. M. KRYSHEN', DSc (Biol.); E. V. KUDRYASHOVA, DSc (Phil.), Prof.; O. L. KUZNETSOV, DSc (Biol.); N. V. LUKINA, RAS Corr. Fellow, DSc (Biol.), Prof.; V. V. MAZALOV, DSc (Phys.-Math.), Prof.; N. N. NEMOVA, RAS Corr. Fellow, DSc (Biol.), Prof.; O. OVASKAINEN, PhD (Math.), Prof. (Finland); O. N. PUGACHYOV, RAS Academician, DSc (Biol.); V. V. SHCHIPTSOV, DSc (Geol.-Miner.), Prof.; S. A. SUBBOTIN, PhD (Biol.) (USA); D. A. SUBETTO, DSc (Geog.); K. SZAJEWSKI, PhD (Math.), Prof. (Poland); A. V. VORONIN, DSc (Tech.), Prof.

Editorial Board of the thematic issue

“Multidisciplinary scientific research at KarRC RAS”

O. N. BAKHMET (Editor-in-Charge), RAS Corr. Fellow, DSc (Biol.); N. G. KOLESNIKOV, PhD (Econ.); O. V. MESHCHERYAKOVA, PhD (Biol.); S. A. MOSHIKOV, PhD (Agr.); L. E. NAZAROVA, PhD (Geog.); A. N. RETTIEVA, DSc (Phys.-Math.); P. A. RYAZANTSEV (Executive Secretary), PhD (Geol.-Miner.); A. V. STEPANOVA, PhD (Geol.-Miner.); S. E. YALOVITSYNA, PhD (Hist.).

Published since January 2009

Monthly

Editorial Office address: 11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
Tel. (8142)762018; fax (8142)769600
E-mail: trudy@krc.karelia.ru

Full-text electronic version: <http://transactions.krc.karelia.ru>; <http://journals.krc.karelia.ru>

Предисловие

Карельский научно-исследовательский институт, образованный в 1930 г. и послуживший основой для появления в Петрозаводске в дальнейшем научно-исследовательской базы АН СССР, объединял в своем составе разноориентированные структурные подразделения, которые содействовали всесторонней оценке природных ресурсов региона, ведению хозяйства на научной основе, сохранению культурного наследия и подготовке научных кадров. При формировании Карело-Финской научно-исследовательской базы АН СССР в 1945 г., переименованной в 1956 г. в Карельский филиал АН СССР, были сохранены фундаментальные научные ориентиры, заложенные ранее. Несмотря на появление новых институтов и отделов в составе филиала в 1951–1975 гг., связанное с расширением круга новых научных проблем и нужд экономики Карелии, сохранялось глубокое внутреннее взаимодействие, а сотрудничество специалистов различных научных дисциплин продолжало активно развиваться. На протяжении сложного постсоветского периода усилиями сотрудников теперь уже Карельского научного центра РАН удалось в значительной мере сохранить комплексный подход к изучению объектов природного и культурного наследия Республики Карелия.

На сегодняшний день после реформирования в 2017 г. институтов Карельского научного центра РАН в единый Федеральный исследовательский центр роль междисциплинарных и комплексных исследований многократно возросла, появился специализированный Отдел комплексных научных исследований КарНЦ РАН. Следует отметить, за последние годы разработаны новые эффективные инструменты для комплексного подхода к анализу и сохранению природных и социально-экономических систем. Синтез различных методов и компетенций для выполнения аналитических исследований при реализации единого научно-исследовательского направления позволяет получить качественно новые результаты мирового уровня. В представленном выпуске показана лишь малая часть тематических междисциплинарных исследований, проводимых сотрудниками КарНЦ РАН. Предлагаемые новые методы анализа вещества и приемы описания природных комплексов, разработки в области математического моделирования природных и экономических процессов, новые возможности цифровизации научных данных свидетельствуют о значительном научном потенциале комплексных исследований Карельского научного центра РАН.

УДК 502 (1–751.1) (470.1/.2)

IMPLEMENTATION OF THE IDEA OF THE GREEN BELT OF FENNOSCANDIA AS A SYSTEM OF PROTECTED AREAS IN THE EUROPEAN NORTH

**O. N. Bakhmet¹, A. M. Kryshen¹, E. A. Borovichev², A. N. Gromtsev¹,
A. V. Kravchenko¹, O. L. Kuznetsov¹, A. F. Titov¹, O. V. Petrova²,
V. A. Masloboev²**

¹ Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

² Kola Science Centre, Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia

The Green Belt of Fennoscandia (GBF) is the Russian-Finnish-Norwegian border region with forest areas and mire massifs almost unaffected by human activity. In the early 1990s, the concept of the Green Belt of Fennoscandia was put forward as a result of joint work of researchers and experts in Fennoscandia and discussion of sustainable development principles for border regions. Its main aim was to have public interests united in the fields of economic development and nature conservation. The cores of the GBF are protected areas (PAs), of federal and regional status, and ecologically connected with the Pan-European Ecological Network (Natura 2000) as well as with Norwegian PAs.

Key words: Fennoscandia; Green Belt; protected areas; border regions; cooperation; convergence of research approaches; PA network.

**О. Н. Бахмет, А. М. Крышень, Е. А. Боровичев, А. Н. Громцев,
А. В. Кравченко, О. Л. Кузнецов, А. Ф. Титов, О. В. Петрова,
В. А. Маслобоев. РАЗВИТИЕ КОНЦЕПЦИИ ЗЕЛЕННОГО ПОЯСА
ФЕННОСКАНДИИ – СИСТЕМЫ ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ
ТЕРРИТОРИЙ НА ЕВРОПЕЙСКОМ СЕВЕРЕ**

Зеленый пояс Фенноскандии (ЗПФ) – российско-финляндско-норвежская приграничная территория с фрагментами лесных и болотных массивов, мало затронутых антропогенной деятельностью. В начале 1990-х годов с расширением международного сотрудничества ученых и специалистов и обсуждения принципов устойчивого развития приграничных территорий возникла концепция Зеленого пояса Фенноскандии, основная идея которой – сочетание интересов общества в экономическом развитии и сохранение природы. Ключевыми участками ЗПФ являются особо охраняемые природные территории (ООПТ) как федерального, так и регионального подчинения, экологически связанные с Пан-Европейской экологической сетью (Natura 2000) и с ООПТ Норвегии.

Ключевые слова: Фенноскандия; Зеленый пояс; особо охраняемые природные территории; приграничные территории; сотрудничество; гармонизация научно-исследовательских подходов; сеть ООПТ.

The Green Belt of Fennoscandia (GBF) stretches along the borders between the Russian Federation, Finland and Norway. Unlike adjacent wide areas heavily transformed by human activities, the region boasts relatively intact forest and mire massifs (Fig. 1–2).

Establishment of the PA Network

In the 1990s, Russian and Finnish researchers noticed that the territory along the national border remained almost intact, which could be explained by the region's poor accessibility and, partly, by the strict border regime. The idea was put forward to establish a number of large-scale protected areas (PAs) in close proximity to the border, not only expanding the Russian PA network but also connecting it to Finnish parks [Titov et al., 1995]. As a result, the GBF was created. Unlike the then discussed politicized idea of the European Green Belt, the GBF concept was mainly aimed at nature conservation. Its main goal was to establish and develop the PAs network along the border, ensure more efficient management of natural resources to preserve the unique natural heritage and maintain environmental sustainability.

The GBF idea has been moving progressively by taking concrete steps towards the fulfillment of its mission. Since the mid-1990s, a number of research programmes and projects have been implemented. They received support from the European Union and Finland. With participation of researchers from KarRC RAS, more than 20 projects for nature inventories and feasibility studies for planned PAs in the Republic of Karelia were accomplished in the framework of the Russian-Finnish "Development Programme on Sustainable Forest Management and Conservation of Biodiversity in North-West Russia". Among them: "Biodiversity inventory and study in the Republic of Karelia" (1997–2002); "Feasibility study and inventory of the Kalevalsky National Park territory" (1997–1998); "Feasibility study and inventory of the Tulos National Park territory" (1997–1998); "Feasibility study and inventory of the Koitajoki National Park territory" (1997–1998). Simultaneously, studies were carried out to develop the network of Karelian PAs within the TACIS programme. They were also aimed at environmental education and ecotourism development [Antonova et al., 2005; Gromtsev et al., 2014, etc.].

The inventory of biodiversity along the 700-km border line between Karelia and Finland, and in an over 400-km border stretch between the Murmansk Region and Finland and Norway proved the feasibility of establishing several large PAs there. Their spatial scope, boundaries,

and protection regimes were defined with regard to their specific landscapes and environment. Besides, special attention was given to the consistency of the planned parks and reserves with the PAs network on the Finnish side. The work done can, in fact, be said to be unparalleled, at least in what concerns forest regions in Russia. Moreover, all the significant research results have been promptly published [Inventory..., 1998–2001; Biotic..., 2003].

During the first stage, thirty individual nature objects (many of them with no official protection status) were outlined in Russia in the GBF territory. They stretched as a narrow strip (20–30 km on average) along the Russian-Norwegian and Russian-Finnish borders. These forest and mire areas were marked out as being well preserved, owing not only to the strict border zone regime in the Soviet times but, mainly, to the lack of roads and large settlements. By 1998, the number of the proposed areas was reduced to twenty. The number included only existing and planned PAs of federal and regional status. Later on, by 2003, based on the experience obtained when preparing other nominations for PAs, the number of areas suggested for inclusion in GBF on the Russian side was cut down to eight. Five of them already had a federal PA status (4 strict nature reserves (SNR), 1 national park (NP)), and three had claims for the NP status. Some of them were integrated with Finnish and Norwegian PAs to form several transboundary complexes (Pasvik – Vatsari, Laplandsky Les – Jonn-Nyugoiv – Urho Kekkonen, Kutsa – Paanajarvi – Oulanka, Kalevalsky Complex, "Friendship" Park, Ladoga Skerries – Saimaa and Pielinen).

The role of GBF in the development of cooperation in border regions

The GBF runs along national borders, which do not coincide with ethnic boundaries. It comprises areas rich in indigenous peoples' traditions (suffice it to mention runic traditions and the "Kalevala" epic). Thus, another priority alongside nature conservation, is the identification of ethno-cultural cores and substantiation of measures to preserve local traditions and languages, as well as historical and cultural monuments. This goal is essential not only for maintaining the cultural identity, but also for establishing the prerequisites for sustainable economic development of border regions [Morozova et al., 2001; Morozova, 2005; Druzhinin, 2006]. As has been said, people are coming to the understanding that nature conservation can be economically beneficial. National parks and nature reserves (zakazniks) are to turn into centres of ecotourism and sources of economic growth in their neighbour-

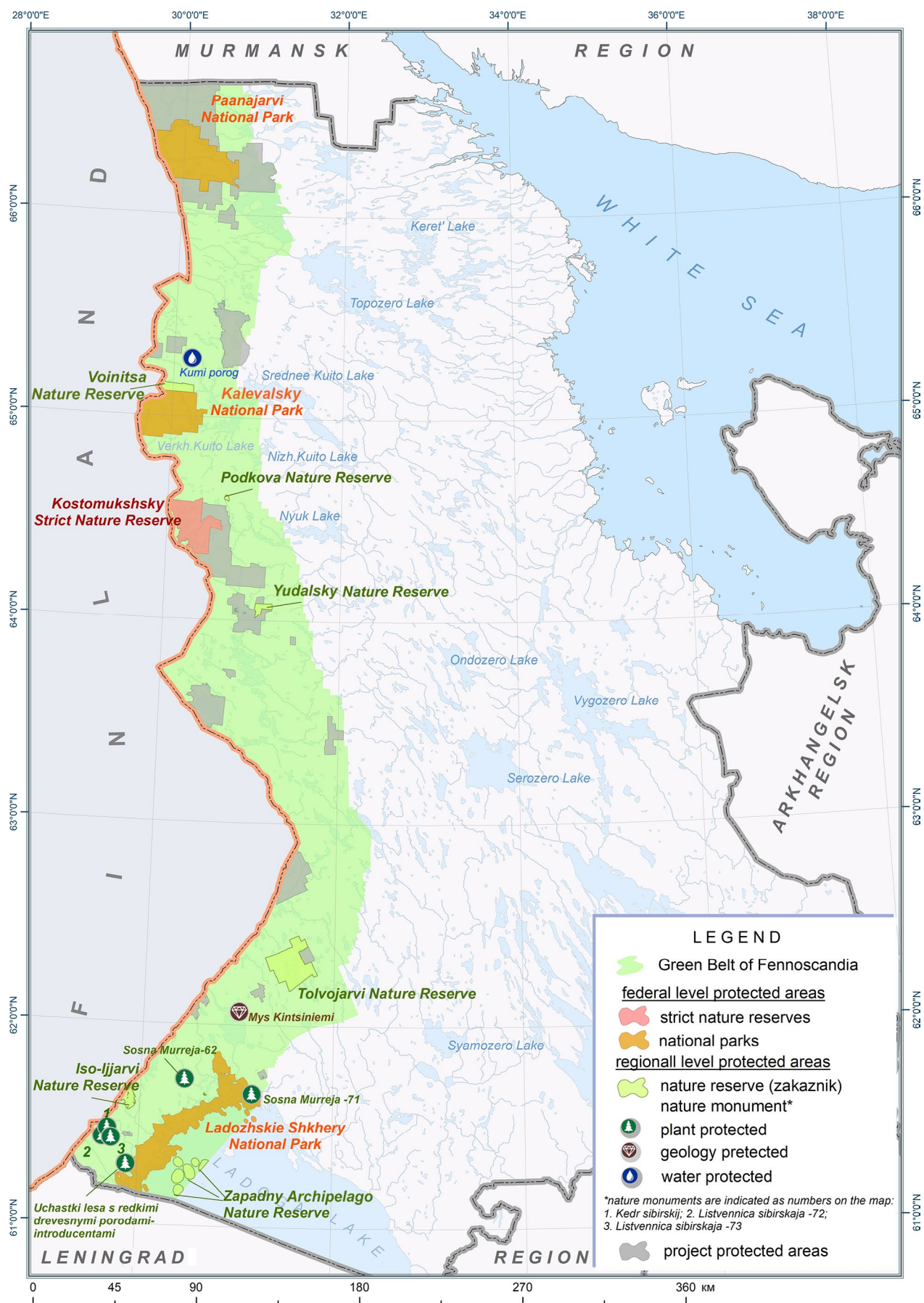


Fig. 1. Green Belt of Fennoscandia along the borders of the Murmansk Region of Russia with Finland and Norway

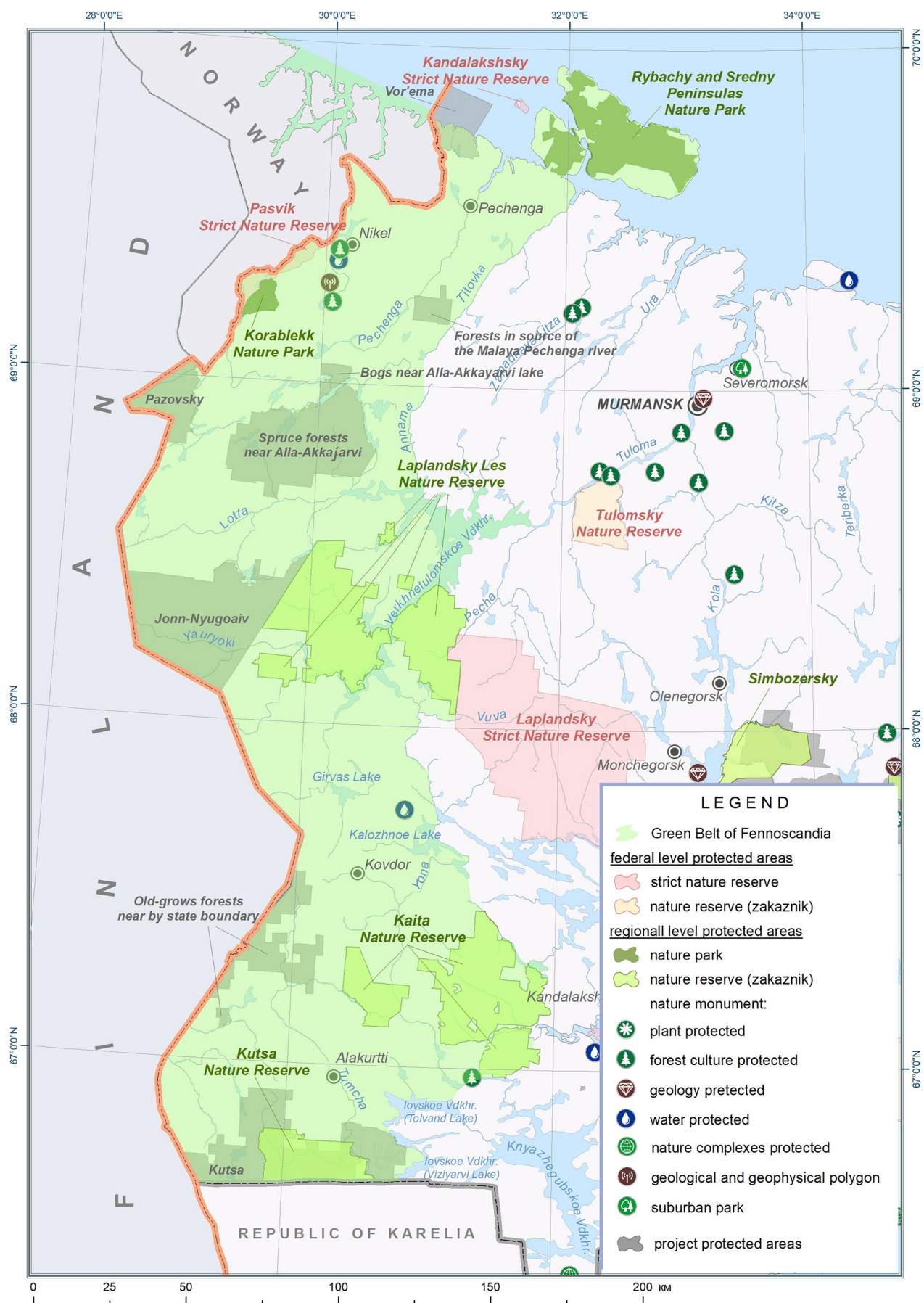


Fig. 2. Green Belt of Fennoscandia along the border between the Republic of Karelia and Finland

hoods. Implementation by researchers from KarRC RAS of the international project “IntellGreenBelt” (“Intellectually driven management of natural resources of the Green Belt of Fennoscandia”) under the ENPI Cross-border Cooperation programme 2012–2014 has contributed to the development of transboundary solutions both for the conservation and reproduction of natural resources and for the invigoration of socio-economic activities on both sides of the border (including learning tourism). Border regions are a potential platform for working out and promoting social, humanitarian, environmental projects and technologies on both sides of the border, thus demonstrating a novel aspect of a socially oriented innovative scenario of regional and local development.

Thus, it should be noted that European countries pay a growing attention to healthy environment, environment-friendly industrial technologies, environmental standards, and that demand for organic food among European consumers is increasing. In this connection, the usually low level of economic development, low population density and insufficient land use in borderland Karelia can and should be regarded not only as a shortcoming, but at the same time as a strong competitive advantage and potential for socio-economic development.

Convergence of Russian and European research approaches and methods

Convergence of research approaches and methods across borders may be considered as one of the most notable achievements of international joint projects. This is reflected e. g. in shared scientific databases on biodiversity and various natural resources of regions. The range of participating specialists and organizations has expanded markedly. There appeared projects devoted to ecotourism development in border regions. Presently, the data obtained and the expert networks on all sides of the border can provide for scientifically grounded decision-making for the development of specific regions. In 2000–2008, funding of the projects concerning border regions increased due to economic improvement in the Russian Federation. Foundations supporting Russian science (RFBR and RSF), the Programme “Biological Resources and Gene Pool Dynamics” of the RAS Presidium, the Programme “Biological Resources of Russia: Fundamentals of Sane Use” of the RAS Department of Biological Sciences have played and continue playing the leading role in this respect. As a result of these activities:

a) new data were obtained on species and community diversity, the resource potential of the region;

b) intact ecosystems of exceptional nature conservation value (key areas) were identified;

c) the conditions for the survival and dispersal of rare species were studied, and measures for their protection were developed [Kravchenko et al., 2000; Gromtsev, 2001; Biotic..., 2003; Kurhinen et al., 2006; The Red..., 2007; Fedorets et al., 2009 etc.]. Besides, the economic potential of some border areas was studied and the main ways for their development were outlined; key objects of historical and cultural value were determined [Management..., 2008]. One of the essential outputs of federal and international projects has been the formation of research networks, which can comprehensively (based on the multidisciplinary approach) study a specific area and provide a multi-sided assessment of its development potential.

Regional authorities and various NGOs have lately become more active in nature protection activities. Since 2007, research institutes of KarRC RAS have been conducting the inventory of the Karelian PA network and developing the Geographical Information System (GIS) for these objects, ordered by the Ministry of Agriculture, Fisheries and Environment of the Republic of Karelia. This work has led to a gradual convergence of the opinions and positions of economic entities, scientific institutions and conservationist NGOs on issues concerning the management of natural resources. An overarching output of the assessments of the current state and representativeness of the PA network of Karelia is the feasibility study of the network development [Scientific..., 2009].

Compared to Karelia, the Murmansk Region joined the process somewhat later. Although the Murmansk stretch of GBF is over 400 km, and the borderlands contain several operating and planned PAs, this extensive ecological corridor has not been comprehensively researched until lately, and even its boundaries have not been clearly outlined [Borovichev et al., 2018]. This has resulted, for instance, in the inclusion of the Lapland Strict Nature Reserve in early listings of GBF PAs [Titov et al., 2009], although the reserve is more than 130 km away from the border with Finland.

From 2007 to 2011, a large-scale project “GAP analysis in Northwest Russia” was implemented, its aim being to assess how representative the PA system of this large supregion was. The project involved the Arkhangelsk, Vologda, Leningrad and Murmansk Regions, Republic of Karelia, and St. Petersburg. The results of these studies were published in 2011 in Russian and English [Mapping..., 2011]. The Murmansk Region PA network has also been analyzed for representative-

ness of terms of plant diversity conservation [Diversity..., 2009]. As a follow-up of the project "GAP analysis in Northwest Russia", the concept of operation and development of the network of protected areas of the Murmansk Region until 2018 and further until 2038 was prepared. The concept was approved by Ordinance No 128-PP of the Murmansk Region Government dated 24.03.2011. Namely, this document stipulates the establishment of 11 various PAs in the border area.

Current state of the PA network

Quite a system of federal- (strict nature reserves (aka zapovedniks) and national parks) and regional-level (nature reserves (aka zakazniks) and nature monuments of various profiles) PAs, differing in the protection regimens regulated by endorsed standards, has already been established within GBF, and the planning process is still underway. The largest PAs in GBF are the following: national parks "Ladoga Skerries" (122,000 ha), "Kalevalsky" (74,400 ha), "Paanajarvi" (104,500 ha), nature parks "Rybachy and Sredniy Peninsulas" (83,100 ha) and "Korablekk" (8,300 ha), strict nature reserves "Kostomukshsky" (49,300 ha), "Kandalakshsky" (Ainovy Islands cluster) (1,220 ha), "Pasvik" (14,700 ha), landscape reserves "Beryozovye Islands" (53,600 ha), "Vyborgsky" (11,300 ha), "Iso-Jarvi" (6,100 ha), "Tolvojjarvi" (41,900 ha), "Voinitsa" (8,400 ha), nature reserves "Zapadny Archipelago" (19,900 ha), "Laplandsky Les" (171,700 ha), "Kaita" (144,400 ha), "Kutsa" (52,000 ha). There also operate smaller conservation areas of various profiles, such as the geological nature monument "Cape Kintsiniemi", hydrological nature monument "Waterfall on the Shuonijoki River", landscape reserve "Yudalsky", landscape nature monument "Kumi Porog", and many others.

Another component not to be forgotten is waterside buffers with constraints on land use, which act as ecological corridors and connect PAs into an integral system. They are supposed to serve for wildlife migration and movements between PAs and other sites preserved in natural or semi-natural state thereby securing sustainable existence of the populations of various organisms.

A major constituent of the PA system in GBF is transboundary entities. The ones already operating are the Friendship Park, including Kostomukshsky Strict Nature Reserve on the Russian side and five conservation areas along the border on the Finnish side, covering in total ca. 80,000 ha. In 2014, the Kalevala Park was established in Finland (it consists of 19 sites with the total area of 30,000 ha). In the near future, it would be expedient to integrate the Kalevalsky National

Park and Voinitsa Landscape Reserve into this system, which would almost double the area. Another example is the planned Russian-Finnish protected area Oulanka-Paanajarvi, with Russian and Finnish national parks bearing the respective names and the Kutsa Regional Nature Reserve as its basis (totalling more than 130,000 ha in area). For over 20 years, there has been quite successful cooperation for the establishment of the trilateral Pasvik-Inari National Park at the border junction of Russia, Norway and Finland (Pasvik is its core). It has already obtained a Europarc certificate. Thus, managed cross-national entities made up of PAs are being established in the borderlands. In Finland, areas of top importance for GBF are also under statutory protection, i. a. under the national parks programme of Metsähallitus, old-growth forest conservation programme, and the pan-European environmental network Natura 2000 [State..., 2007].

Current surveys of the extensive GBF territory detect valuable areas, for which feasibility studies for prospective PAs are prepared. Such are, first of all, the most scenic and recreationally attractive areas and sites: a) sandy and rocky lakeshores and riverbanks; b) narrow spit-like promontories and islands; c) large elevated areas offering a commanding view; d) esker ridges (especially narrow ones, between lakes); e) deep, canyon-like faults in the crystalline basement; f) rapid sections of rivers, etc. Sites with valuable biotopic characteristics (harboring concentrations of rare vascular plant species, pristine forest fragments, the most productive (elite) forest stands, etc.) must also be added to this listing.

The combined area of PAs forming the GBF backbone on the two sides of the Russian-Finnish border exceeds 1,000,000 ha, of which 800,000 ha are on the Russian side. There are now plans to enlarge the area through addition of sites with relatively intact ecosystems to operating strict nature reserves and national parks, and by establishing some small nature reserves and nature monuments in Karelian borderlands. Thus, the phase of GBF development through mere enlargement of PA network size is nearing completion, and the focus is shifting towards organization of a unified, well-balanced system. One of the most promising lines of activity in this connection is identification and preservation in near-natural state of waterside buffers along rivers and lakes, forests and mires both within GBF and outside it. They can secure its connectivity with ecosystems in the Karelian White Sea area, Zaonezhye, and Archangelsk Region, and create the conditions for natural migration of animals and plants east to west and vice versa.

Transition from individual PAs to a holistic territory

Vigorous scientific and civic activities within the formerly scattered international, federal and regional programmes and projects have gradually led to the understanding of the demand for the preparation and implementation of a special international GBF development programme. In June 2008, the international seminar “Green Belt of Fennoscandia: Status and Visions” took place in Petrozavodsk. Its participants discussed the key results of the work towards PA establishment in GBF in 1990–2000. Having discussed the materials, the seminar adopted the Resolution emphasizing that GBF development activities should be continued on the basis of a special programme with the following main objective: to create a holistic environmental-economic domain along Russian-Finnish and Russian-Norwegian borders where the aim of conserving unique northern nature shall go along with the support and comprehensive development of the border territories taking into account their historical, ethno-cultural and economic characteristics.

The seminar and the following Russian-Finnish project gave an impetus to a new stage in the development of GBF and its recognition as one of key features of the environmental framework of the European North.

Apparently, the GBF is still a developing PA system. Strict nature reserves, national parks, and nature reserves of various profiles on both sides of the border enable the longitudinal movement of species and natural connectivity of areas exposed to human impacts differing in land use traditions, character and intensity.

In fact, one more GBF has formed by now, which almost entirely embraces the eastern boundaries of the Baltic Shield. There already exists a longitudinal chain of operating and planned PAs with most varied natural characteristics (with feasibility studies available). It runs from north to south, occupying a combined area of 1.4 mln. ha, excluding waterside buffers:

- along the White Sea coast

- 1) nature reserve (NR) Kolvitsky
- 2) nature reserve (NR) Kanozersky
- 3) strict nature reserve (SNR) Kandakakshsky
- 4) landscape reserve (LR) Polyarny Krug
- 5) landscape reserve (LR) Gridino [Rocky..., 2008]
- 6) landscape reserve (LR) Syrovatka [Inventory..., 2003]
- 7) landscape reserve (LR) Kuzova
- 8) landscape reserve (LR) Soroksky, etc.;

- along the border between the Republic of Karelia and the Archangelsk Region

- 9) national park (NP) Vodlozersky
- 10) landscape reserve (LR) Ypäussuo
- 11) landscape reserve (LR) Kozhosersky
- 12) landscape reserve (LR) Chukozero [Inventory..., 2007]
- 13) NP Kenozersky, etc.;

- along the border between the Republic of Karelia and the Vologda Region

- 14) landscape reserve (LR) Muromsky, LR Atleka, LR Verkhneandomsky, hydrological reserve (HR) Soidozero, etc.;

- along the border between the Vologda Region and the Leningrad Region

- 15) nature reserves Koloshemsky Les, Ratsa, Chagodoshchensky,
- 16) nature park (NP) Vepssky Les, etc., including protected mires.

It is safe to say that quite a representative and vast system of conservation areas has been taking shape in the periphery of Karelia (provided that the planned areas will be designated). It virtually encircles the region's western and eastern boundaries. In the south, the system is “looped in” along Lake Ladoga shore by SNR Nizhnesvirsky, waterside protection forests, planned National Park Ladoga Skerries, etc. Its northern contour is the comparatively narrow strip between the Gulf of Kandalaksha and the Russian-Finnish border (SNR Kandalakshsky, NR Kutsa, SNR Laplandsky). In essence, this PA system is the core of the nature protection framework of Eastern Fennoscandia. To make this framework even more robust, it is necessary to add several more PAs, arranged latitudinally, with taiga corridors leading outside of Fennoscandia towards large pristine forest massifs. In Karelia, of primary importance in this respect is designation of the planned Nature Park Zaonezhsky, which is connected in the west to the existing system via a waterside protection zone, reorganization of the Kutsa Nature Reserve into a nature park, and establishment of the Jonn-Nyugoiv Nature Reserve.

An essential characteristic of the current phase in GBF development is that the idea has gone beyond the scope of science, and settled firmly in governmental documents of various levels. Thus, in 2010, the “Memorandum of Understanding on Cooperation on the Development of the Green Belt of Fennoscandia” was signed between the Ministry of the Environment of the Kingdom of Norway, the Ministry of the Environment of the Republic of Finland and the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation.

In 2013, an international conference was held in Petrozavodsk with the aim to consolidate the position of GBF as a holistic ecological-economic domain and to formulate new tasks for its development, including the delineation of GBF boundaries and official drawing up of GBF status, instatement of GBF as the key component of the North European PA system, priority setting for economic development in GBF, and preparation of the concept of GBF sustainable development as a region attractive to tourists and investors.

In 2017–2018, researchers from the Karelian Research Centre and Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences intensified their joint work to systematize available data on the natural conditions and biodiversity in GBF. These activities were supported by the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation. The Project “Scientific substantiation of the creation and development of the Russian part of the protected areas network, which is unified with Norway and Finland” united the efforts of Karelia and Murmansk Region in creating the PA system along the Russian-Norwegian and Russian-Finnish national borders. The natural characteristics of the territory allow for implementation of the ECONET principle, i. e. a network of PAs and areas with land use restrictions interconnected by ecological corridors. The vast GBF territory traverses several biogeographical boundaries, unites different regions of Russia, and crosses the national borders of three countries. Importantly, there are good prospects for development both within the European Green Belt framework and within the North European PA system [Kryshen et al., 2012].

Furthermore, Russian experts believe that PAs included in an integrated serial transboundary object “Green Belt of Fennoscandia” satisfy all the requirements and criteria to be eligible for inscription in the UNESCO World Natural and Cultural Heritage List. On the other hand, they could, with time, turn into a kind of cores of planned biosphere reserves, and the European Green Belt in its northern section.

References

- Antonova R. F., Belkin V. V., Gromtsev A. N. The history of nature management and the impact of human activity on the nature of Suojärvi district. *Ed. A. N. Gromtsev*. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2005. 28 p. [In Russian]
- Biotic diversity of Karelia: conditions of formation, community, species. *Eds. A. N. Gromtsev, S. P. Kitaev, V. I. Krutov et al.* Petrozavodsk: KarRC RAS, 2003. 262 p. [In Russian]

- Borovichev E. A., Petrova O. V., Kryshen A. M. On the Fennoscandian Green Belt Boundaries in the Murmansk Region. *Transactions of KarRC RAS*. 2018. No. 8. P. 141–146. doi: 10.17076/bg770 [In Russian]

- Diversity of plants, lichens, and cyanoprokaryota of Murmansk Oblast: study results and protection prospects*. St. Petersburg, 2009. 120 p. [In Russian]

- Druzhinin P. V. Forecasting of development of economy of border regions: methodological and methodical aspects. *Transactions of KarRC RAS*. 2006. No. 9. P. 67–83. [In Russian]

- Gromtsev A. N. The most vulnerable forests in Karelia: characteristics, mapping, conservation measures. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2001. 62 p. [In Russian]

- Gromtsev A. N., Karpin V. A., Presnuhin Yu. V., Petrov N. V., Tuyunen A. V. Forest landscapes in the Russian part of the Green Belt of Fennoscandia: natural features, current state and application. *Transactions of KarRC RAS*. 2014. No. 6. P. 39–52. [In Russian]

- Inventory and study of biological diversity in central Karelia*. *Eds. A. N. Gromtsev, V. I. Krutov*. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2001. 250 p. [In Russian]

- Inventory and study of biological diversity in Zaonezhie and Northern Ladoga Lake*. *Eds. A. N. Gromtsev, V. I. Krutov*. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2000. 150 p. [In Russian]

- Inventory and study of biological diversity on the Karelian coast of the White Sea*. *Eds. A. N. Gromtsev, V. I. Krutov*. Petrozavodsk: KarRC RAS, 1999. 140 p. [In Russian]

- Inventory materials of natural complexes and environmental assessment of the territory “Chukozero”*. *Ed. A. N. Gromtsev*. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2007. 137 p. [In Russian]

- Inventory materials of natural complexes and scientific justification of the landscape reserve “Syrovatka”*. *Ed. A. N. Gromtsev*. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2003. 92 p. [In Russian]

- Inventory of biological diversity in the border areas of the Republic of Karelia and Finland*. *Eds. V. I. Krutov, A. N. Gromtsev*. Petrozavodsk: KarRC RAS, 1998. 168 p. [In Russian]

- Fedorets N. G., Bakhmet O. N., Morozova R. M. Soils and soil cover of protected areas of Karelia. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2009. 109 p. [In Russian]

- Kravchenko A. V., Bakalin V., Fadeeva M. et al. Biodiversity of vascular plant, lichen and hepatic flora of the old growth forests in the Green belt of Russian Karelia. *Biodiversity of old-growth forests and its conservation in northwestern Russia. Regional Environmental Publications*. Vol. 158. Oulu, 2000. P. 7–64.

- Kryshen A. M., Gromtsev A. N., Titov A. F., Danilov P. I., Kuznetsov O. L. Creation and development of a unified system of specially protected natural territories of the European North. *The use and protection of natural resources in Russia*. 2012. No. 4. P. 54–57. [In Russian]

- Kurhinen Yu. P., Danilov P. I., Ivanter E. V. Mammals of Eastern Fennoscandia under anthropogenic transformation of taiga ecosystems. Moscow: Nauka, 2006. 208 p. [In Russian]

- Management of tourism development in the region. Experience in implementing the Strategy of the Republic*

of Karelia. Eds. Yu. V. Saveliev, O. V. Tolstoguzov. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2008. 227 p. [In Russian]

Mapping of High Conservation Value Areas in North-western Russia: Gap-Analysis of the Protected Areas Network in the Murmansk, Leningrad, Arkhangelsk, Vologda, and Karelia regions, and the city of Saint-Petersburg. Ed. K. N. Kobayakov. St. Petersburg, 2011. 506 p. [In Russian]

Morozova T. V. Alternative ways to develop cross-border local communities. *Population*. 2005. No. 2. P. 71–90. [In Russian]

Morozova T. V., Gurova S. A., Kozireva G. B., Kulakova L. M. Socio-economic preconditions for the development of specially protected natural areas in the border zone of the Republic of Karelia. *Development of specially protected natural areas in the border zone of the Republic of Karelia*. Petrozavodsk; Helsinki, 2001. 67 p.

Rocky landscapes of the Karelian coast of the White Sea: natural features, economic development, conservation measures. Ed. A. N. Gromtsev. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2008. 212 p. [In Russian]

Scientific basis for the development of a network of specially protected natural areas in the Republic of Karelia. Ed. A. N. Gromtsev. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2009. 112 p. [In Russian]

State of the Parks in Finland. Finnish Protected Areas and Their Management from 2000 to 2005. Ed. M. Heinen. Helsinki: Metsähallitus, 2007. 313 p.

The Red Data Book of the Republic of Karelia. Petrozavodsk: Karelia, 2007. 368 p. [In Russian]

Titov A. F., Butorin A. A., Gromtsev A. N., Ieshko E. P., Kryshen A. M., Saveliev Yu. V. The Green Belt of Fennoscandia: the State and Perspectives. *Transactions of KarRC RAS*. 2009. No. 2. P. 3–11. [In Russian]

Titov A., Ieshko E., Hokkanen T. J., Aho J., Pelkonen P. Joint ecological policy: a key element in inter-regional and international. *Karelian biosphere reserve studies*. Joensuu, 1995. P. 61–63.

Received July 14, 2021

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Бахмет Ольга Николаевна

председатель КарНЦ РАН, руководитель Отдела комплексных научных исследований КарНЦ РАН, член-корр. РАН, д. б. н.
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910
эл. почта: obahmet@mail.ru
тел.: (8142) 766040

Крышень Александр Михайлович

директор Института леса КарНЦ РАН, д. б. н.
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910
эл. почта: kryshen@krc.karelia.ru
тел.: (8142) 768160

Боровичев Евгений Александрович

заместитель председателя по научной работе, к. б. н.
Институт проблем промышленной экологии Севера КарНЦ РАН, Федеральный исследовательский центр
«Кольский научный центр РАН»
мкр. Академгородок, 14а, Апатиты, Мурманская область, Россия, 184209
эл. почта: borovichyok@mail.ru
тел.: (81555) 79378

Громцев Андрей Николаевич

главный научный сотрудник Отдела комплексных научных исследований КарНЦ РАН, д. с.-х. н.
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910
эл. почта: gromtsev@krc.karelia.ru
тел.: (8142) 768160

CONTRIBUTORS:

Bakhmet, Olga

Department for Multidisciplinary Scientific Research,
Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: obahmet@mail.ru
tel.: (8142) 766040

Kryshen, Alexander

Forest Research Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: kryshen@krc.karelia.ru
tel.: (8142) 768160

Borovichyok, Evgeny

Institute of North Industrial Ecology Problems,
Kola Science Centre, Russian Academy of Sciences
14a Akademgorodok, 184209 Apatity, Murmansk Region,
Russia
e-mail: borovichyok@mail.ru
tel.: (81555) 79378

Gromtsev, Andrey

Department for Multidisciplinary Scientific Research,
Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: gromtsev@krc.karelia.ru
tel.: (8142) 768160

Кравченко Алексей Васильевич

ведущий научный сотрудник Отдела комплексных научных исследований КарНЦ РАН, к. б. н.
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: alex.kravchen@mail.ru
тел.: (8142) 768160

Кузнецов Олег Леонидович

главный научный сотрудник Отдела комплексных научных исследований КарНЦ РАН, член-корр. РАН, д. б. н.
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: kuznetsov@krc.karelia.ru
тел.: (8142) 768160

Титов Александр Федорович

главный научный сотрудник Отдела комплексных научных исследований КарНЦ РАН, член-корр. РАН, д. б. н.
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: titov@krc.karelia.ru
тел.: (8142) 762706

Петрова Ольга Викторовна

младший научный сотрудник
Институт проблем промышленной экологии Севера
КНЦ РАН, Федеральный исследовательский центр
«Кольский научный центр РАН»
мкр. Академгородок, 14а, Апатиты, Мурманская область,
Россия, 184209
эл. почта: borovichyok@mail.ru
тел.: (81555) 79378

Маслобоев Владимир Алексеевич

советник руководителя ФИЦ КНЦ РАН, д. т. н.
Федеральный исследовательский центр
«Кольский научный центр РАН»
ул. Ферсмана, 14, Апатиты, Мурманская обл., Россия,
184209
эл. почта: masloboev@admksk.apatity.ru
тел.: (81555) 79323

Kravchenko, Alexey

Department for Multidisciplinary Scientific Research,
Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia,
e-mail: alex.kravchen@mail.ru
tel.: (8142) 768160

Kuznetsov, Oleg

Department for Multidisciplinary Scientific Research,
Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., Petrozavodsk, Karelia, Russia, 185910
e-mail: kuznetsov@krc.karelia.ru
tel.: (8142) 768160

Titov, Alexander

Department for Multidisciplinary Scientific Research,
Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., Petrozavodsk, Karelia, Russia, 185910
e-mail: titov@krc.karelia.ru
tel.: (8142) 762706

Petrova, Olga

Institute of North Industrial Ecology Problems,
Kola Science Centre, Russian Academy of Sciences
14a Akademgorodok, 184209 Apatity, Murmansk Region,
Russia
e-mail: borovichyok@mail.ru
tel.: (81555) 79378

Masloboev, Vladimir

Kola Science Centre, Russian Academy of Sciences
14 Fersmana St., 184209 Apatity, Murmansk Region, Russia
e-mail: masloboev@admksk.apatity.ru
tel.: (81555) 79323

УДК 551.465.45

О ЧИСЛЕННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ БЕЛОГО МОРЯ

И. А. Чернов¹, А. В. Толстикова²

¹ Институт прикладных математических исследований КарНЦ РАН,
ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

² Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН»,
Петрозаводск, Россия

Рассматривается опыт трехмерного численного моделирования термогидродинамических и биогеохимических процессов в Белом море при сотрудничестве нескольких институтов РАН и зарубежных коллег. Комплексная модель водоема JASMINE, основанная на модели Северного Ледовитого океана FEMAO, воспроизводит динамику вод и льда. Также модель включает в себя блок пелагических биогеохимических процессов BFM, который способен описывать потоки вещества между скалярными полями, соответствующими группам организмов или органическому и неорганическому веществу различных форм и фракций. Реализован обмен веществом и энергией с донными отложениями и морским льдом, имеется и блок экосистемы морского льда BFMSI. Возможен расчет переноса пассивных примесей произвольной природы. Изложена история развития модели, повышение пространственного разрешения, преодоленные сложности и нерешенные пока проблемы. Обсуждается проблема граничных значений и возможность каскадного расчета, при котором грубые модели более крупных водоемов поставляют граничные данные более точным региональным моделям. В частности, уже реализовано взаимодействие между моделью Земной системы IBM РАН и JASMINE на кластере IBM РАН. Затронута системная проблема разработки сложных вычислительных систем в области наук о Земле: отсутствие документации и сообщества, а также зависимость проекта от работоспособности одного человека – автора модели. Описан прототип системы усвоения данных для модели, позволяющей корректировать фазовое состояние по данным наблюдений, в том числе станционных. Продемонстрированы возможности проведения численных экспериментов: перенос пассивной примеси с дельтаобразным начальным распределением, отклика моря на изменения климата, в частности на вариации речного стока, и другие применения модели для достижения более полного понимания процессов в Белом море.

Ключевые слова: численное моделирование; морские экосистемы; Белое море; биохимия льда; JASMINE.

I. A. Chernov, A. V. Tolstikova. ON NUMERICAL SIMULATION OF THE WHITE SEA

We describe our experience of three-dimensional numerical simulation of thermohydrodynamic and biogeochemical processes in the White Sea in collaboration with several institutes of the Russian Academy of Sciences and foreign colleagues. The comprehensive model of the White Sea, called JASMINE, is based on the FEMAO model of the Arctic Ocean. It reproduces the dynamics of sea water and ice and includes, i. a., a pelagic bio-

geochemical submodel BFM, which is able to describe fluxes of matter between scalar fields corresponding to groups of organisms or organic and inorganic matter of various forms and fractions. Matter and energy exchange with bottom sediments and sea ice has also been modeled, and the model includes a sea-ice ecology block BFMSI. Besides, it is possible to simulate contamination transport for tracers of arbitrary origin. We relate the history of developing the model, tell how the spatial resolution was increased, describe the resolved and yet unresolved problems. The problem of boundary values is discussed, as well as the possibility of a cascade simulation, where coarser models of larger objects provide data for more precise regional models. As an example, we introduce the already implemented interaction between the INM RAS model of the Earth system and JASMINE on INM RAS cluster. We touch upon the systemic problem of the development of complex computing systems in the field of Earth sciences, i. e. the lack of documentation and community, and the fact that the project depends on the availability of a single person: the author of the model. A prototype of a data assimilation system for the model is described: it allows correcting the phase state according to observational data (such as station data). The possibilities of carrying out numerical experiments are demonstrated: the transfer of a passive tracer with a delta-shaped initial distribution, the response of the sea to climate change and, in particular, to variations in river runoff, and other applications of the model to achieve a better understanding of the processes in the White Sea.

Key words: numerical modeling; marine ecosystems; the White Sea; ice biochemistry; JASMINE.

Введение

Современные численные модели и высокопроизводительные вычислительные устройства позволяют моделировать сложные природные объекты с высокой точностью. По существу, рост разрешения сдерживает уже не столько вычислительная сложность, сколько ограничения снизу на шаг сетки, связанные с лежащими в основе модели предположениями и описанием подсеточных процессов. Так, если лед описан в модели как ансамбль льдин и вычисляются статистические характеристики этого ансамбля, то в ячейке сетки должно быть много льдин; в связи с этим характерный размер льдины является ограничением на шаг сетки. В ряде случаев модель сохраняет работоспособность при формальном нарушении предположений: например, колебания уровня Белого моря могут превышать несколько метров, тогда как при шаге вертикальной сетки в 2,5 метра модель работоспособна.

Методы численного моделирования для небольших мелководных морей со льдом имеют свои особенности, раскрытые, например, в коллективной монографии [Саркисян и др., 2005]. Активное использование их началось, по-видимому, в 1990-х годах [Дианов и др., 1990; Доронин, 1990]. Несмотря на бурное развитие гидродинамических моделей самого разного уровня в мире, для Белого моря их существует совсем немного. Помимо развиваемой авторами модели JASMINE [Чернов и др., 2016; Chernov et al., 2018], являющейся адаптирован-

ной для условий Белого моря ответвлением модели Северного Ледовитого океана FEMAO Н. Г. Яковлева (ИВМ РАН) [Яковлев, 2012] и ныне не поддерживаемой модели И. А. Нелова [Zdorovenov et al., 2005; Белое..., 2007], известна модель оперативного мониторинга Е. В. Семенова [Родионов и др., 2012], см. также [Саркисян и др., 2005; Белое..., 2007]. Она приспособлена для краткосрочных прогнозов (от нескольких суток до недель), не описывает морской лед и рассматривает не все Белое море, проводя границу модельной области в районе моря, называемом Горло (это узкий мелководный пролив, отделяющий центральную часть моря, известную как Бассейн, и крупные заливы от северо-восточной части, к которой относятся Воронка и Мезенский залив).

Существующие модели, доступные под свободной лицензией (такие, как POM¹), применяются для моделирования частей Белого моря (например, [Ионов и др., 2015]).

Стоит отметить, что значительный прогресс вычислительных методов и технологий достигнут не только в области собственно вычислений, приложений и аппаратной базы, но и в методологии разработки вычислительных комплексов. Несомненно, впечатляющий рост производительности процессоров, числа процессоров в многопроцессорных компьютерах и количества ядер на одном процессоре, объема доступной оперативной и дисковой памяти и повышение доступности вычислительных

¹ <http://www.ccpo.odu.edu/POMWEB/>

ресурсов сыграли основную роль. Разработка и стандартизация интерфейса MPI¹, регламентирующего обмен сообщениями между вычислительными устройствами с разделенной памятью, упростили перенос вычислительных комплексов с устройства на устройство.

Тем не менее важно и развитие языка Fortran: регулярно публикуются обновления Стандарта (последний, по-видимому, стандарт ISO/IEC 1539-1:2018, известный как Fortran-2018, выпущен в ноябре 2018 г.). Начиная с версии стандарта Fortran-2003 язык поддерживает объектно-ориентированную парадигму, а в Fortran-2008 включена технология комассивов, позволяющая прозрачно организовывать межпроцессорное взаимодействие. Компиляторы Intel и GNU реализуют стандарт достаточно полно. Однако прогресс в этой области часто игнорируется, вплоть до применения устаревших конструкций стандарта Fortran-77, препятствующих эффективной оптимизации кода.

Следует учитывать и развитие технологий программирования. Системы контроля версий, облачные сервисы для совместной работы, инструменты и регламент написания документации – все это стало необходимостью при разработке сложных программных систем, но зачастую не используется в сфере вычислительной гидродинамики. Это приводит к ситуациям, при которых код, по существу, вынужденно поддерживается одним человеком – его автором. Упомянутая выше модель Белого моря И. А. Неелова после его ухода из жизни перестала поддерживаться и, по сути, более не существует. С другой стороны, ряд европейских и американских моделей (BFM, WRF, POM, NEMO и др.) либо поддерживаются сообществом под открытой лицензией, либо развиваются коллективом авторов и снабжены детальной документацией.

Здесь немаловажно, что техническая документация, руководства и справочники по программным средствам не считаются научными работами и мало добавляют к показателям научного сотрудника, в связи с чем отсутствует стимул разрабатывать эти материалы.

Целью настоящей статьи является представление модели Белого моря JASMINE в исторической перспективе, с описанием возможностей модели. Подобные проекты критически зависят от взаимодействия специалистов различных профилей, сотрудников различных организаций и от международного сотрудничества.

Белое море и его характеристики

Белое море представляет значительный интерес для ученых. В монографиях [Zdorovenkov et al., 2005; Белое..., 2007] подведены итоги междисциплинарных исследований Белого моря, но уже более 10 лет подобных изданий в свет не выходило. С вычислительной точки зрения Белое море – относительно небольшой мелководный водоем со сложной береговой линией. Сильные колебания уровня моря, связанные с приливными движениями, приводят к высоким скоростям течений и высокому уровню доступной потенциальной энергии. Это накладывает сильные ограничения на шаг по времени в связи с условием Куранта: шаги пространственной (как горизонтальной, так и вертикальной) сетки малы, а скорости могут быть велики. Условия в заливах весьма различны: одни активно обмениваются веществом и энергией с соседними районами, другие нет; резко отличаются глубины в заливах, а также играют важную роль впадающие в них реки. Соленость Белого моря ниже, чем в соседнем Баренцевом, что связано с сильным речным стоком. Она же ответственна за стратификацию, которую сложно воспроизвести в модели (активное перемешивание за счет приливной динамики).

Для Белого моря накоплено много данных измерений, в основном *in situ* (с борта корабля или близ берега). Использование спутниковых данных ограничено: регион большую часть года покрыт облаками (что, впрочем, характерно для всего Севера), а региональные алгоритмы не всегда достаточно точны, особенно когда речь идет о биогеохимических данных (концентрации хлорофилла *a*, например). Автономные буи и другие автоматы, насколько нам известно, пока широко не используются, что часто связано с государственными ограничениями по их применению в Белом море. Обзор коллекций данных, доступных для Белого моря, а также регламент доступа к ним и существующих проблем дан нами в работе [Chernov, Tolstikov, 2020].

Как уже отмечалось, разработка и поддержка численной модели моря невозможна без сотрудничества специалистов разных профилей: для расчетов необходимы данные, результаты нужно верифицировать, различные компоненты модели разрабатываются разными авторами и коллективами. Удалось наладить взаимодействие и эффективные плодотворные связи между ИПМИ КарНЦ РАН, ИВПС КарНЦ РАН, МГУ им. М. В. Ломоносова (биологический факультет), ИВМ РАН (г. Москва), ИО РАН (г. Мо-

¹ <https://www.mpi-forum.org/docs/>

сква), ЗИН РАН (Беломорская биологическая станция, мыс Картеш), OGS (г. Триест, Италия), а также SYKE (Хельсинки, Финляндия).

История версий

Первая версия модели функционировала на кластере КарНЦ РАН с 2011 г. Была адаптирована для Белого моря модель FEMAO (ИВМ РАН) [Яковлев, 2012] Северного Ледовитого океана. Имеются существенные геофизические различия между водоемами, так что простой перенос модели на другой водоем невозможен. Прежде всего это прилив, который доминирует в Белом море и существенно менее выражен в Арктике. Горизонтальная сетка регулярная и насчитывает 50 узлов в каждом направлении, вертикальная неравномерна и содержит 16 горизонтов. Наиболее затратны с вычислительной точки зрения процедуры расчета адвективного переноса, которые выполняются параллельно.

Численные эксперименты подтвердили слабую зависимость динамики от начального распределения: важны интегральные показатели (теплота и соль), а распределение быстро возвращается к аттрактору, обусловленному приливной динамикой и ветром.

Задание среднесезонных данных по температуре и солености вод в окрестности границы Белого и Баренцева морей и стока рек, а также характеристик атмосферы из данных реанализа NOAA/NCEP¹ позволило удовлетворительно воспроизвести характеристики поверхности Белого моря и верхнего слоя вод. Относительно глубоководная часть моря невелика и также воспроизводится, однако перемешивание в модели все еще завышено, так что динамика температуры и солености у дна в «яме» на границе Бассейна и Кандалакшского залива выше, чем в реальности.

Предпринята попытка реализовать систему усвоения данных наблюдений при помощи ансамблевого фильтра Калмана² [Sakov et al., 2010]. Основной задачей было организовать расчет нескольких копий вычислительной системы (ансамбля) с синхронизацией один раз в модельные сутки для расчета поправок по полученному ансамблю состояний моря и доступным наблюдениям. Система подтвердила работоспособность, корректируя невязку рассчитанных и «наблюдаемых» в нескольких точках (станциях) характеристик. Рассматриваемой характеристикой являлась темпера-

тура поверхности моря. К сожалению, проект РФФИ не поддержан, и усилия были направлены на модель экосистемы моря.

Модель пелагической экосистемы BFM³ была сопряжена в online-режиме (то есть модели взаимодействуют на каждом шаге времени) с моделью динамики Белого моря [Chernov et al., 2018] в 2015 г. Комплекс получил наименование JASMINE и способность воспроизводить динамику хлорофилла *a*, биомасс различных классов фито- и зоопланктона, первичную продукцию и ряд других биогеохимических концентраций.

Стоит отметить, что расчет биогеохимических процессов чрезвычайно затратен вычислительно. Модель моря передает BFM состояние в ячейке и получает производные фазового вектора экосистемной модели и скорости гравитационного осаждения ряда компонент, а затем обновленные биогеохимические поля (их 50) адвективно переносятся течениями. Таким образом, число вызовов процедуры расчета адвекции возрастает в двадцать шесть раз.

Важно, что есть возможность применить технику расщепления по процессам. Так, на шаге по времени необходимо рассчитать изменения ряда полей: термохалинных, скорости, биогеохимических концентраций и т. п. Изменения эти связаны с различными процессами, которые можно рассчитывать по отдельности. Так, биогеохимические концентрации меняются в силу: биологических процессов (поедание, дыхание, фотосинтез и т. п.), которые моделирует BFM «здесь и сейчас», без взаимодействия между ячейками; гравитационного осаждения, которое изменяет концентрации в столбе воды, но без взаимодействия по горизонтали и без потоков вещества внутри экосистемы; переноса течениями, в ходе которого поля между собой не взаимодействуют, но каждое изменяется во всех трех измерениях.

Это позволило расширить схему распараллеливания (расчета независимых друг от друга величин): доступные процессоры параллельно рассчитывали адвективный перенос всех полей, а также динамику биогеохимических взаимодействий в ячейках сетки. В результате удалось существенно ускорить расчеты, что дало возможность уже воспроизводить динамику совместной системы «море – лед – экосистема» за несколько лет (межгодовая изменчивость) за время от суток до недели.

Обмен веществом и энергией между пелагической и донными отложениями особенно важен в Белом море в связи с его мелководностью.

¹ <https://psl.noaa.gov/data>

² <https://enkf.nersc.no/>

³ <http://bfm-community.eu>

Масштаб скорости осаждения ряда компонент (детрит и некоторые виды фитопланктона) составляет несколько метров в сутки, а период полуразложения – от нескольких недель до года. Таким образом, при глубине около километра время достижения дна сравнимо с временем разложения или даже превосходит его. В Белом море же глубина не превышает 350 метров, а на большей части акватории она существенно меньше (в среднем по морю немного более 65 м). В этой связи адекватнее учесть реминерализацию органического вещества бентосной экосистемой.

Существует несколько моделей, описывающих процессы в толще донных отложений [Mussap, Zavatarelli, 2017]. Была выбрана простая модель полуразложения с разделением вещества на медленную и быструю фракции с различным периодом, зависящим от температуры [Soetaert et al., 2000]. Затем добавлена модель экосистемы морского льда (входит в новую версию BFM 5.2). Морской лед содержит полости, каналы, заполненные водой с повышенной концентрацией соли и населенные приспособленными к таким условиям организмами. При таянии льда биогенное вещество и органические останки обогащают верхний продуктивный слой, ускоряя начало весеннего цикла.

Далее была разработана параллельная версия программного комплекса, основанная на библиотеке обменов П. Пережогина [Perezhogin et al., 2021]. Она позволяет разбить двумерную расчетную область на части, назначаемые различным процессорам с учетом балансировки нагрузки, и прозрачно осуществляет обмен между ними (рис. 1). Таким образом, параллелизм по процессам заменен параллелизмом по области. Балансировка нагрузки важна, поскольку Белое море неоднородно по глубине: узел двумерной сетки с большой глубиной более трудоемок, чем узел с малой глубиной, так как он требует расчета большего числа узлов по вертикали.

Данная разработка позволила увеличить разрешение модели до 3 км и в перспективе – до 1 км. Основная рабочая версия на сегодня – трехкилометровая, с шагом по времени 6 минут.

Дополнительно разработаны два модуля: для расчета динамики пассивной примеси произвольной природы и для расчета водообмена. Водообмен считается интегрированием дивергенции скорости по выбранной области. В целом подтверждаются известные постулаты о балансе между испарением и осадками (поток воды через поверхность моря мал) и об эф-

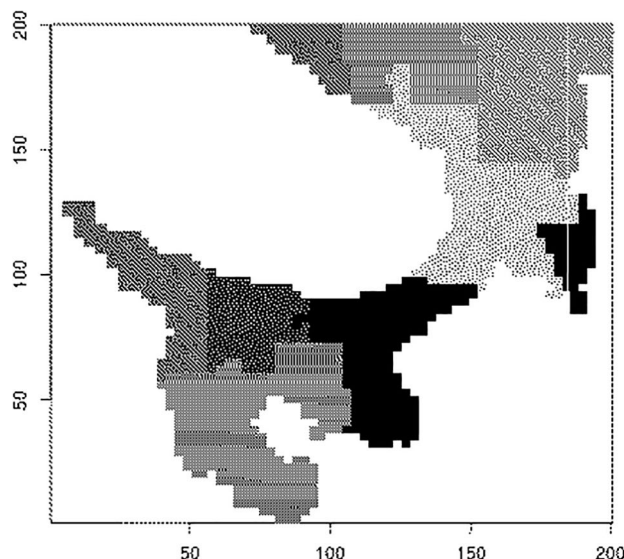


Рис. 1. Распределение узлов сетки по 64 процессорам
Fig. 1. Distribution of grid nodes over 64 CPU

фективном водообмене с Баренцевым морем в $200 \text{ км}^3/\text{год}$ (в пользу вытекания).

Граничные значения

Для работы модели необходимы граничные значения. Белое море обладает одной «жидкой границей» (с Баренцевым морем), на которой задаются уровень моря (приливные колебания), значения температуры и солёности воды и значения всех биогеохимических концентраций. Отметим, что, согласно условию Флезера, втекающая вода имеет указанные характеристики, а вытекающая – расчетные в приграничных узлах сетки. В устьях рек задаются температура воды и значения биогеохимических концентраций. Данные получены ИВПС КарНЦ РАН [Chernov, Tolstikov, 2020].

На поверхности моря следует задавать поток солнечной радиации, характеристики приводного слоя воздуха (температуру, давление, влажность), осадки и вектор скорости ветра. Шестичасовые значения доступны в открытом реанализе NOAA/NCEP¹. Поток вещества и энергии через поверхность моря связан с осадками и их температурой, которые надо задавать, а также с испарением и связанным с ним потоком тепла, которые вычисляются в модели. Поток соли из атмосферы равен нулю, как и в реках. Поток биогенного вещества задается равным нулю, но в ряде случаев может отличаться от нуля, если лимитирую-

¹ <https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis.surface.html>

щее биогенное вещество поступает, например, с терригенной пылью.

Граничные значения на дне не задаются, однако поток неорганического вещества на дне не равен нулю и связан с реминерализацией органических останков в донных отложениях. Инициализация аккумуляторов вещества является отдельной задачей. Изначально выбрано условие нулевого эффективного потока вещества: поток неорганики на дне полагался равным потоку органики, падающей на дно. После длительного расчета (на 10 лет) получены начальные значения всех полей, в том числе описывающих состояние бентосной экосистемы.

Имеется вариант модели, способный интерполировать на жидкую границу результаты расчетов модели Земной системы INMCM [Саркисян и др., 2005; Володин и др., 2016]. Ведется работа по созданию совместной региональной модели моря и атмосферы.

Применение модели

Результаты численного моделирования с помощью программного комплекса JASMINE применяются в ИВПС КарНЦ РАН при работе по темам госзадания и выполнения грантов, связанных с изучением Белого моря. Удалось добиться удовлетворительного воспроизведения температуры и солености поверхностного слоя моря и толщины и сплоченности морского льда: как качественно, так и количественно (рис. 2).

За несколько лет совместной работы проведены эксперименты по распространению примеси различной природы в заливах Белого моря, тепловому стоку рек водосбора, модификации температуры приповерхностного слоя воздуха над акваторией моря, рассмотрены сценарии потепления и похолодания, анализировались даты образования и разрушения ледяного покрова, оценивался водообмен между районами Белого моря и с Баренцевым морем, решались вопросы типизации акватории моря по особенностям проявлений внутрисезонных процессов.

Рассматривались четыре сценария изменений теплового стока за период 2000–2011 гг.: увеличение устьевой среднемесячной температуры одной из трех основных рек водосбора Белого моря (Северная Двина, Онега, Мезень) на 2 °C; снижение устьевой температуры одной из этих рек на 2 °C (но не менее, чем до 0 °C); увеличение/снижение годового водного стока тех же рек на 30 %. Всего 13 численных экспериментов.

Анализ модельных сценариев показал, что и потепление, и похолодание в первую очередь сказываются на изменчивости весенней и летней температуры поверхностного слоя воды в заливах, нет заметного смещения дат перехода через маркерные значения (0,2°; –0,5° и –1°С) температуры в поверхностном слое и толще заливов Белого моря. Эти смещения не превосходят нескольких часов.

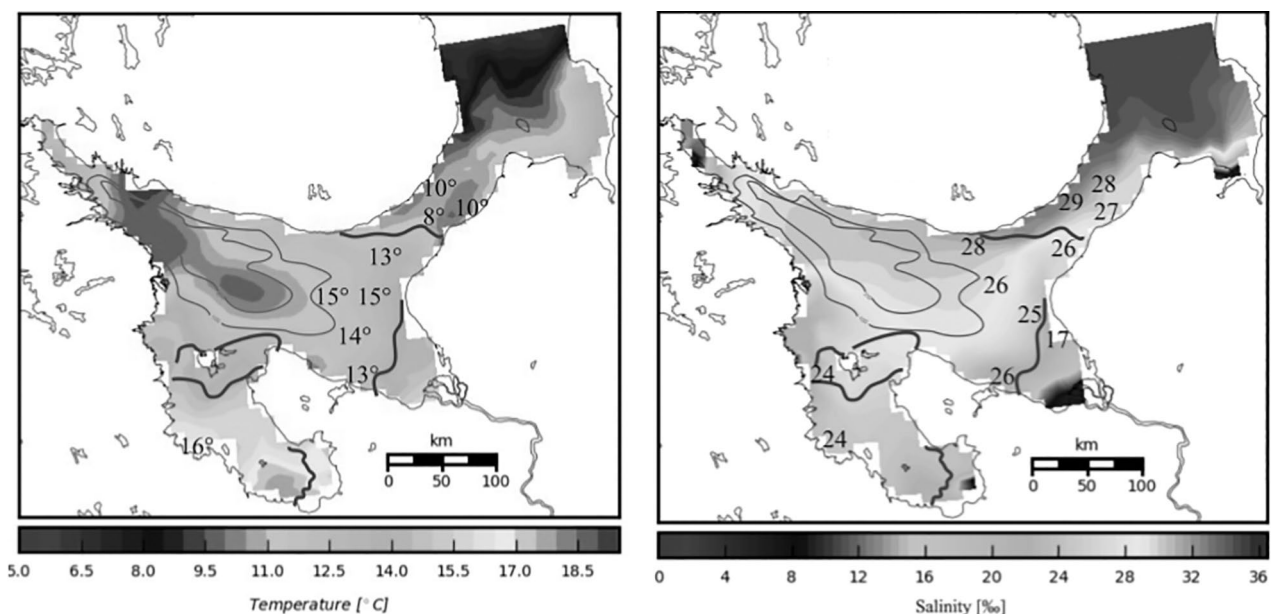


Рис. 2. Температура (слева) и соленость (справа) поверхности моря, август 2013. Числами подписаны экспедиционные измерения

Fig. 2. Temperature (left) and salinity (right) of the sea surface, August 2013. Ship measurements are shown with the numbers

Перенос примеси

Моделирование переноса пассивной примеси является актуальной задачей в связи с проблемами экологической безопасности. Натурные эксперименты не всегда возможны, дороги, а кроме того, сложно разделить, например, влияние приливной динамики и ветровых течений.

С точки зрения модели, примесь может быть поверхностной и трехмерной. Первая соответствует плавающему на поверхности веществу (нефть, некоторые виды пластика), и ее динамика описывается аналогично дрейфу льда. Существенно, например, что втекание воды в залив не изменяет концентрацию такой примеси. Трехмерная примесь распределена в толще и описывается аналогично солёности или биогеохимическим концентрациям, и для нее необходимы граничные значения на жидкой границе и в устьях рек. Помимо примеси с нулевой плавучестью возможна тяжелая примесь, аналогичная компонентам детрита, которая гравитационно осаждается, и примесь с заданной плотностью: она может тонуть, всплывать или менять свое поведение в зависимости от температуры и солёности воды. На практике мы рассчитывали только динамику плавучей примеси и трехмерной примеси с нулевой плавучестью (рис. 3 и 4).

В модели несложно учесть собственную изменчивость концентрации примеси: за счет химических, биологических или физических процессов, а также деятельность источников.

Отдельной проблемой является задание граничных условий. Для трехмерной примеси следует задать концентрацию на жидкой границе: именно она попадает в море при затопке воды. Мы использовали нулевое значение, предполагая, что вынесенное в Баренцево море вещество там сразу рассеивается. Это адекватно для расчета динамики примеси, которая изначально сосредоточена далеко от границы. Кроме того, вытекание воды доминирует над втеканием благодаря стоку рек.

По переносу плавучей примеси получены следующие результаты. За три года рассматривалось пять модельных полей примеси (шаг по горизонтали ~ 3 км); четыре изначально сосредоточены в одном узле сетки – в вершинах Онежского, Двинского, Кандалакшского и Мезенского заливов, а пятое поле изначально равномерно распределено по акватории моря. В эталонном расчете (2000–2002 гг.) ветер брался из данных реанализа NCEP/NCAR, а полусуточный прилив задавался как гармоническое колебание внешнего уровня моря на жид-

кой границе. Два других расчета отличались отсутствием либо прилива, либо ветра.

Результаты показывают, что ветер оказывает более существенное влияние на перенос плавучей примеси, хотя роли прилива и ветра сравнимы.

Заливы имеют разную специфику. Онежский залив наиболее долго очищается от примеси (за три года средняя концентрация снижается всего в три раза), причем прилив препятствует выносу вещества: без прилива (но с ветром) концентрация снижается (за три года) более чем в 20 раз, а без ветра (но с приливом) практически не снижается. Вещество из других заливов, попадающее в Онежский, также надолго задерживается там. Без ветра концентрация вещества из Двинского и Кандалакшского заливов и равномерного поля монотонно растет в Онежском заливе в течение трех лет.

Перспективы развития модели

В настоящее время развитие модели идет по трем направлениям. С одной стороны, продолжают уточняться параметризации и численное описание основных процессов с целью улучшенного воспроизведения динамики вод, льда и биогеохимических показателей Белого моря. В частности, мы стремимся добиться достаточно быстрого расчета модели с пространственным разрешением в 1 км. В настоящее время расчет, с шагом по времени 1 минута, требует большого числа процессоров. Калибруется модель Онежской губы: этот мелководный залив допускает расчет с шагом в 1 км при тех же вычислительных затратах, что и все море с шагом в 3 км.

Желательно, чтобы перемешивание в глубоких слоях было меньше, поскольку температура и солёность в «яме» на границе Кандалакшского залива и Бассейна практически неизменны в течение года. Завышенное перемешивание демонстрируют большинство моделей моря, однако проблему нужно решать. Также, хотя динамика концентрации хлорофилла *a* и биомассы фитопланктона соответствует наблюдениям, предпочтительно сравнить отдельные группы фитопланктона (диатомовые водоросли, крупный фитопланктон, сине-зеленые водоросли и т. п.) и зоопланктон (также по группам).

Второе направление – это повышение автономности модели и возможность прогнозных расчетов. Ведется работа по совместному расчету модели моря и модели динамики атмосферы, которая могла бы поставлять «прогноз погоды» по данным на границе области. Сюда

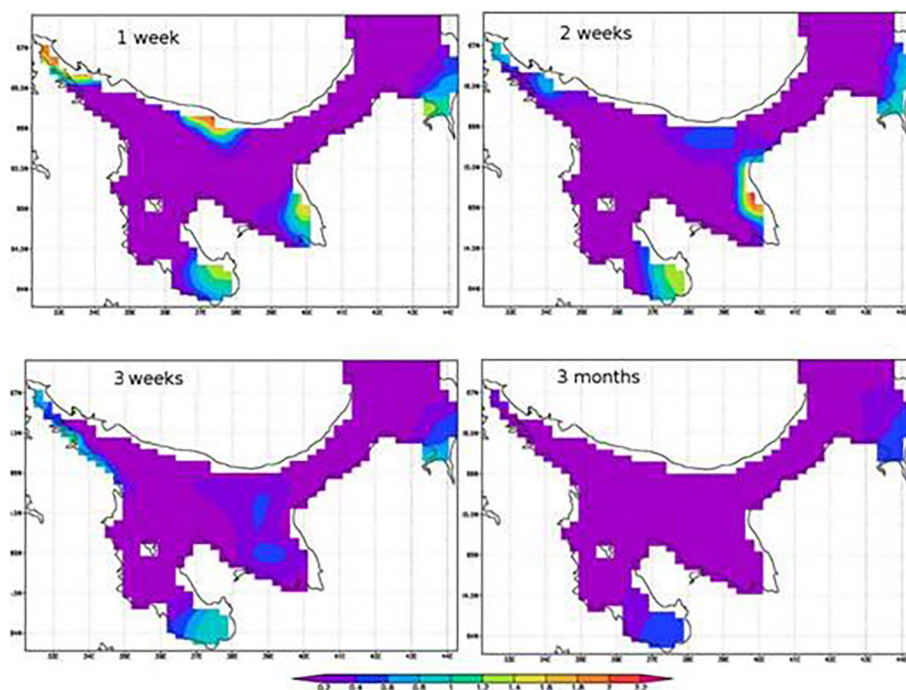


Рис. 3. Динамика плавучей пассивной примеси: за одну, две, три недели и три месяца. Видна «ловушка» в Онежском заливе

Fig. 3. Dynamics of a floating passive tracer: after one week, two weeks, three weeks, and three months

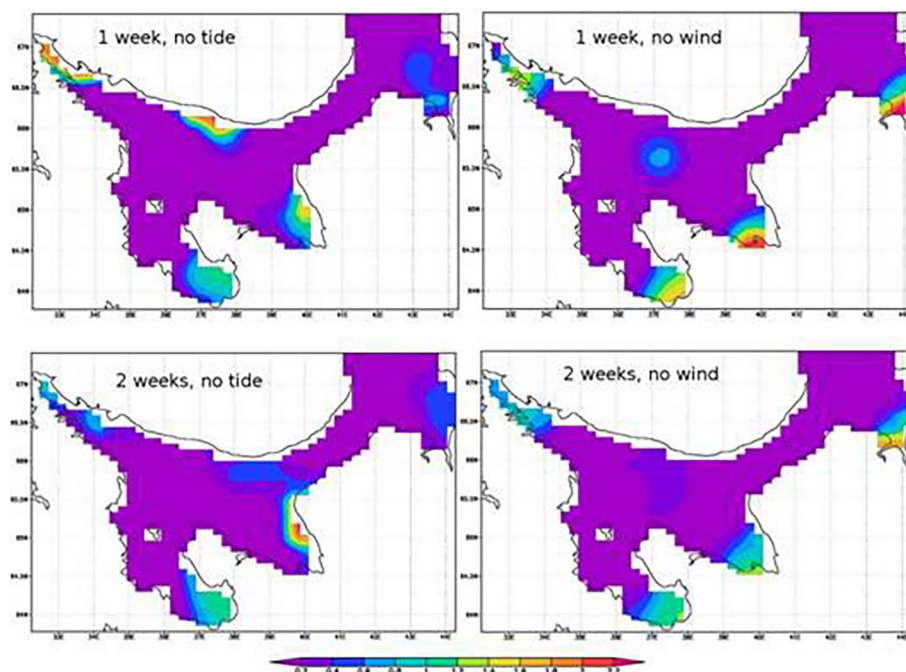


Рис. 4. Динамика плавучей пассивной примеси в численном эксперименте: без ветра и без прилива

Fig. 4. Dynamics of a floating passive tracer in the experiments with no wind and no tide

же относится оптика моря [Lazzari et al., 2021]. Солнечная радиация распространяется в воде сложным образом, разделяясь на прямую и рассеянную вниз и вверх. На оптику влияет

прозрачность воды, определяемая концентрацией терригенного абиотического вещества и биогеохимическими концентрациями, прежде всего хлорофилла, причем волны разных

длин поглощаются и рассеиваются по-разному. Поэтому желательно взаимодействие модели динамики моря, модели экосистемы и оптической модели, способной описывать освещенность в данной точке моря светом с данной длиной волны.

Третье направление: экология морского льда [Tedesco, Vichi, 2014]. Эта перспективная тема лимитируется отсутствием данных регулярных наблюдений. Получение данных по концентрациям в нижнем слое плавучего льда в открытом море затруднительно, однако данные по концентрации биогенных элементов, структуре криосообществ, наличию взвеси и другим биогеохимическим показателям в припайном льду могут быть получены. Исследования льда на предмет изучения в нем живых организмов ранее проводились в Белом море и выполняются в настоящее время несколькими организациями. Например, ИО РАН, МГУ им. М. В. Ломоносова, ЗИН РАН и другими. Тем не менее в силу сложности организации подобных экспедиций эти работы эпизодические, выполняются на локальных участках акватории (в частности, на биологических станциях в Канда-лакшском заливе, устьевых областях крупных рек). Стоит отметить, что данных по пространственному распределению и структуре криосообществ в Белом море для верификации этого блока модели все еще очень мало.

Таким образом, наличие такой модели, как JASMINE (многофункциональной и поддерживаемой в настоящее время), позволяет решать многие теоретические и практические задачи, связанные с изучением Белого моря, дополняя данные, получаемые в экспедициях и при дистанционном зондировании Земли из космоса.

Авторы выражают искреннюю благодарность Н. Н. Филатову, Н. Г. Яковлеву, Д. М. Мартыновой, М. Д. Кравчишиной, Е. М. Володину, Л. В. Ильаш, Т. А. Белевич, А. Ю. Тержевику, P. Lazzari, L. Tedesco, M. Vichi и другим коллегам, в сотрудничестве с которыми достигнуты полученные результаты.

Работа выполнена в рамках госзадания КарНЦ РАН (Институт прикладных математических исследований КарНЦ РАН) и частично поддержана грантом РФФИ 18-05-60184 Арктика.

Литература

Белое море и его водосбор под влиянием климатических и природных факторов / Под ред. Н. Н. Филатова, А. Ю. Тержевика. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 349 с.

Володин Е. М., Галин В. Я., Грицун А. С., Гусев А. В., Дианский Н. А., Дымников В. П., Ибраев Р. А., Калмыков В. В., Кострыкин С. В., Кулямин Д. В., Лыко-сов В. Н., Мортиков Е. В., Рыбак О. О., Толстых М. А., Фадеев Р. Ю., Чернов И. А., Шашкин В. В., Яков-лев Н. Г. Математическое моделирование Земной системы: кол. моногр. / Под ред. Н. Г. Яковлева. М.: МАКС Пресс, 2016. 328 с.

Дианов М. Б., Котов С. В., Некрасов А. В., Бояринов П. М., Петров М. П. Результаты гидродинамического моделирования полусуточных приливов в Белом море // Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1990.

Доронин Ю. П. Моделирование гидрологических процессов шельфового моря // Гидрометеорология – научно-техническому прогрессу: Сб. науч. тр. Л.: ЛГИ, 1990. С. 134–146.

Ионов В. В., Май Р. И., Смагин Р. Е. Численная гидродинамическая модель приливных явлений в губе Кереть (Кандалакшский залив, Белое море) // Известия РГО. 2015. Т. 147, вып. 2. С. 22–37.

Родионов А. А., Семенов Е. В., Зимин А. В. Развитие системы мониторинга и прогноза гидрофизических полей морской среды в интересах обеспечения скрытности и защиты кораблей ВМФ // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2012. Т. 5, № 2. С. 89–108.

Саркисян А. С., Залесный В. Б., Дианский Н. А., Ибраев Р. А., Кузин В. И., Мошонкин С. Н., Семенов Е. В., Тамсалу Р., Яковлев Н. Г. Математические модели циркуляции океанов и морей // Современные проблемы вычислительной математики и математического моделирования. Т. 2. Математическое моделирование. М.: Наука, 2005. С. 174–278.

Чернов И. А., Толстиков А. В., Яковлев Н. Г. Комплексная модель Белого моря: гидротермодинамика вод и морского льда // Труды КарНЦ РАН. 2016. № 8. С. 116–128. doi: 10.17076/mat397

Яковлев Н. Г. О воспроизведении полей температуры и солености Северного Ледовитого океана // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2012. Т. 48, № 1. С. 100–116. doi: 10.1134/S0001433812010136

Chernov I., Lazzari P., Tolstikov A., Kravchishina M., Iakovlev N. Hydrodynamical and biogeochemical spatiotemporal variability in the White Sea: A modeling study // J. Marine Syst. 2018. Vol. 187. P. 23–35. doi: 10.1016/j.jmarsys.2018.06.006

Chernov I., Tolstikov A. The White Sea: available data and numerical models // Geosciences. 2020. Vol. 10, iss. 11. Art. 463. doi: 10.3390/geosciences10110463

Lazzari P., Álvarez E., Terzi E., Cossarini G., Chernov I., D'Ortenzio F., Organelli E. CDOM Spatiotemporal variability in the Mediterranean Sea: a modelling study // J. Marine Sci. Eng. 2021. Vol. 9, no. 176. P. 1–18. doi: 10.3390/jse9020176

Mussap G., Zavatarelli M. A numerical study of the benthic pelagic coupling in a shallow shelf sea (gulf of Trieste) // Regional Studies in Marine Science. 2017. Vol. 9. P. 24–34. doi: 10.1016/j.rsma.2016.11.002

Perezhogin P., Chernov I., Iakovlev N. Advanced parallel implementation of the coupled ocean – ice model FEMAO (version 2.0) with load balancing // Geosci.

Model Dev. 2021. Vol. 14. P. 843–857. doi: 10.5194/gmd-14-843-2021

Sakov P., Evensen G., Bertino L. Asynchronous data assimilation with the EnKF // *Tellus Ser A*. 2010. Vol. 62A. P. 24–29. doi: 10.1111/j.1600-0870.2009.00417.x

Soetaert K., Middelburg J. J., Herman P. M., Buis K. On the coupling of benthic and pelagic biogeochemical models // *Earth-Sci. Rev.* 2000. Vol. 51, no. 1–4. P. 173–201. doi: 10.1016/S0012-8252(00)00004-0

Tedesco L., Vichi M. Sea ice biogeochemistry: A guide for modellers // *PLoS ONE*. 2014. Vol. 9(2). e89217. doi: 10.1371/journal.pone.0089217

Zdorovenov R. E., Nazarova L. E., Tolstikov A. V., Bashmachnikov I. L., Bobylev L. P., Brizgalo V. A., Cherno-

nook V. V., Denisov V. V., Donchenko V. K., Druzhinin P. V., Evensen G., Filatov A. N., Ingebeik J. I., Ivanov V. V., Johannessen O. M., Kaitala S., Korosov A. A., Krasnov J. V., Kuosa H., Leonov A. V., Litvinenko A. V., Makarevich P. R., Miles M. W., Melentyev V. V., Nee-
lov I. A., Pettersson L. H., Pozdnyakov D. V., Rastorskuev V. V., Salo Yu. A., Savchuk O. P., Shalina E. V., Shavykin A. A., Stipa T., Stuliy A. N., Volkov V. A., Terzhevik A. Yu., Filatov N. N. White Sea. Its marine environment and ecosystem dynamics influenced by global change. Springer-Verlag London Ltd, 2005. 444 p.

Поступила в редакцию 22.03.2021

References

Beloe more i ego vodosbor pod vliyaniem klimaticheskikh i prirodnikh faktorov [The White Sea and its catchment under the influence of climate and anthropogenic factors]. Eds. N. N. Filatov, A. Yu. Terzhevik. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2007. 349 p.

Chernov I., Tolstikov A., Yakovlev N. Kompleksnaya model' Belogo morya: gidrotermodynamika vod i morskogo l'da [Comprehensive model of the White Sea: hydrothermodynamics of water and sea ice]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2016. No. 8. P. 116–128.

Dianov M. B., Kotov S. V., Nekrasov A. V., Boyarinov P. M., Petrov M. P. Rezul'taty gidrodinamicheskogo modelirovaniya polusutochnykh prilivov v Belom more [Results of hydrodynamical modelling of semidiurnal tides in the White Sea]. Petrozavodsk: Karel. br. AS USSR, 1990.

Doronin Yu. P. Modelirovanie gidrologicheskikh protsessov shel'fovogo morya [Modelling of hydrological processes of a shelf sea]. *Gidrometeorol. – nauch.-tekhn. progressu* [From hydrometeorol. to sci. and tech. progress]. Proceed. Leningrad, 1990. P. 134–146.

Ionov V. V., Mai R. I., Smagin R. E. Chislennaya model' prilivnykh yavlenii v gube Keret (Kandalakshskii zaliv, Beloe more) [Numerical hydrodynamical model of tidal phenomena in the Keret Bay (Kandalakshskiy Bay, the White sea)]. *Izvestiya RGO* [Proceed. RGS]. 2015. Vol. 147, iss. 2. P. 22–37.

Rodionov A. A., Semenov E. V., Zimin A. V. Razvitie sistemy monitoringa i prognoza gidrofizicheskikh polei morskoi sredy v interesakh obespecheniya skrytnosti i zashchity korablei VMF [Development of the system for monitoring and forecasting hydrophysical safety of the marine environment for stealthity and safety of the Navy]. *Fund. i priklad. gidrofizika* [Fund. and Appl. Hydrophysics]. 2012. Vol. 5, no. 2. P. 89–108.

Sarkisyan A. S., Zalesnyi V. B., Dianskii N. A., Ibraev R. A., Kuzin V. I., Moshonkin S. N., Semenov E. V., Tamsalu R., Yakovlev N. G. Matematicheskie modeli tsirkulyatsii okeanov i morei. Sovremennye problemy vychislitel'noi matematiki i matematicheskogo modelirovaniya [Mathematical models of circulation of oceans and seas. Current problems of numerical mathematics and mathematical modelling]. *Matematicheskoe modelirovanie* [Mathematical Modelling]. Vol. 2. Moscow: Nauka, 2005. P. 174–278.

Volodin E. M., Galin V. Ya., Gritsun A. S., Gusev A. V., Dianskii N. A., Dymnikov V. P., Ibraev R. A., Kalmy-

kov V. V., Kostykin S. V., Kulyamin D. V., Lykosov V. N., Mortikov E. V., Rybak O. O., Tolstykh M. A., Fadeev R. Yu., Chernov I. A., Shashkin V. V., Yakovlev N. G. Mathematical modeling of the Earth system. Moscow: MAKSPress, 2016. 328 p.

Yakovlev N. G. On the simulation of temperature and salinity fields in the Arctic Ocean. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2012. Vol. 48, no. 1. P. 100–116. doi: 10.1134/S0001433812010136

Chernov I., Lazzari P., Tolstikov A., Kravchishina M., Yakovlev N. Hydrodynamical and biogeochemical spatiotemporal variability in the White Sea: A modeling study. *J. Marine Syst.* 2018. Vol. 187. P. 23–35. doi: 10.1016/j.jmarsys.2018.06.006

Chernov I., Tolstikov A. The White Sea: available data and numerical models. *Geosciences*. 2020. Vol. 10, iss. 11. Art. 463. doi: 10.3390/geosciences10110463

Lazzari P., Álvarez E., Terzi E., Cossarini G., Chernov I., D'Ortenzio F., Organelli E. CDOM spatiotemporal variability in the Mediterranean Sea: a modelling study. *J. Mar. Sci. Eng.* 2021. Vol. 9, no. 176. P. 1–18. doi: 10.3390/jse9020176

Mussap G., Zavatarelli M. A numerical study of the benthic pelagic coupling in a shallow shelf sea (gulf of Trieste). *Regional Studies in Marine Science*. 2017. Vol. 9. P. 24–34. doi: 10.1016/j.rsma.2016.11.002

Perezhogin P., Chernov I., Yakovlev N. Advanced parallel implementation of the coupled ocean – ice model FEMAO (version 2.0) with load balancing. *Geosci. Model Dev.* 2021. Vol. 14. P. 843–857. doi: 10.5194/gmd-14-843-2021

Sakov P., Evensen G., Bertino L. Asynchronous data assimilation with the EnKF. *Tellus Ser A*. 2010. Vol. 62A. P. 24–29. doi: 10.1111/j.1600-0870.2009.00417.x

Soetaert K., Middelburg J. J., Herman P. M., Buis K. On the coupling of benthic and pelagic biogeochemical models. *Earth-Sci. Rev.* 2000. Vol. 51, no. 1–4. P. 173–201. doi: 10.1016/S0012-8252(00)00004-0

Tedesco L., Vichi M. Sea ice biogeochemistry: A guide for modellers. 2014. *PLoS ONE*. Vol. 9(2). e89217. doi: 10.1371/journal.pone.0089217

Zdorovenov R. E., Nazarova L. E., Tolstikov A. V., Bashmachnikov I. L., Bobylev L. P., Brizgalo V. A., Cherno-

*Krasnov J. V., Kuosa H., Leonov A. V., Litvinenko A. V., Makarevich P. R., Miles M. W., Melentyev V. V., Nee-
lov I. A., Pettersson L. H., Pozdnyakov D. V., Rasto-
skuev V. V., Salo Yu. A., Savchuk O. P., Shalina E. V.,
Shavykin A. A., Stipa T., Stuliy A. N., Volkov V. A., Ter-*

zhevik A. Yu., Filatov N. N. White Sea. Its marine envi-
ronment and ecosystem dynamics influenced by global
change. Springer-Verlag London Ltd, 2005. 444 p.

Received March 22, 2021

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Чернов Илья Александрович

старший научный сотрудник, к. ф.-м. н.
Институт прикладных математических исследований
КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: chernov@krc.karelia.ru

Толстиков Алексей Владимирович

руководитель лаб. географии и гидрологии, к. г. н.
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185030
эл. почта: alexeytolstikov@mail.ru

CONTRIBUTORS:

Chernov, Il'ya

Institute of Applied Mathematical Research,
Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: chernov@krc.karelia.ru

Tolstikov, Aleksey

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
50 Al. Nevsky Ave., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: alexeytolstikov@mail.ru

УДК 502.171 (1–751.1) (470.22)

ОЗЕРНО-НИЗКОГОРНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ КАРЕЛИИ: ПРИРОДНАЯ СПЕЦИФИКА, СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, СОХРАНЕНИЕ

**А. Н. Громцев^{1,2}, О. Н. Бахмет¹, Н. В. Петров¹, А. В. Кравченко^{1,2},
О. Л. Кузнецов^{1,3}**

¹ Отдел комплексных научных исследований КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

² Институт леса КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

³ Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

В статье обобщены все имеющиеся к настоящему времени сведения, характеризующие наиболее ценные в природоохранном и рекреационном отношении природные комплексы центральной части Карелии. Работа основана на результатах полевых НИР, проведенных в 2020 году сотрудниками Отдела комплексных научных исследований и шести лабораторий Институты КарНЦ РАН (биологии; геологии; леса; языка, литературы и истории) на территории Муезерского района Республики Карелия. Также использован обширный фонд материалов исследований, полученных в предшествующие годы и частично опубликованных. Обобщенные данные характеризуют и обосновывают создание кластерной ООПТ регионального значения, объединяющей три кластера: 1) ландшафтный заказник «Низкогорья Западно-Карельской возвышенности» площадью 11,9 тыс. га; 2) ландшафтный памятник природы «Озеро Пизанец», 407,3 га; 3) ландшафтный памятник природы «Гора Воттоваара», 1,6 тыс. га. Характеристика этих объектов включает следующую информацию: 1) географическое положение; 2) общая природоохранная и рекреационная значимость как основа для выделения объекта; 3) ключевые особенности природно-территориальных комплексов (геолого-геоморфологические, гидрографические, почвенные, ландшафтные, болот, лесов, флоры и фауны, рекреационные качества); 4) предложения по границам и площади охраняемой территории. Представленная трехкластерная структура планируемой ООПТ с расположенными в ней кластерами на расстоянии примерно 20–50 км друг от друга в пределах общего пространственного треугольного контура с учетом водоохранных зон рассмотрена как единый природный объект.

Ключевые слова: Западно-Карельская возвышенность; ландшафты; флора; фауна; охраняемые территории.

**A. N. Gromtsev, O. N. Bakhmet, N. V. Petrov, A. V. Kravchenko,
O. L. Kuznetsov. CENTRAL KARELIAN LACUSTRINE-LOW MOUNTAIN
COMPLEXES: SPECIFIC NATURAL CHARACTERISTICS, STATUS,
CONSERVATION**

The paper is based on the results of the fieldwork carried out in 2020 by staff of the Department for Multidisciplinary Scientific Research and six laboratories of several

Karelian Research Centre's institutes (of Biology; Geology; Forest Research; Linguistics, Literature and History) in the central part of the Republic of Karelia, in Muezersky District. In addition, an extensive, partially published research background from previous studies was used. The work resulted in a synthesis of the data that characterize and substantiate the designation of a cluster-type protected area (PA) of regional significance. It is made up of the following three clusters: 1) landscape nature reserve "Low-mountain landscapes of the West-Karelian Upland" with 11 900 ha; 2) landscape nature monument "Lake Pizanets" with 407.3 ha; 3) landscape nature monument "Mount Vottovaara" with 1 600 ha. The information about these sites is arranged in the following order: 1) geographic location; 2) overall conservation and recreational value as a ground for the designation; 3) key characteristics of the ecosystems (geological-geomorphological, hydrographic, edaphic, of landscapes, mires, forests, flora and fauna, recreational qualities); 4) proposals on the boundaries and size of the protected area. Essentially, the article is a summary of all the data available so far that characterize the ecosystems of central Karelia that have the highest conservation and recreational value. The triple-cluster system of the planned PA, with its clusters situated some 20–50 km apart within a single triangular outline encompassing waterside protection areas, is regarded as an entity.

Key words: West-Karelian Upland; landscapes; flora; fauna; protected areas.

Введение

В 2020 году работы проводились в рамках государственного контракта между Министерством природных ресурсов и экологии Республики Карелия (заказчик) и Карельским научным центром РАН (исполнитель) с целью обоснования создания ООПТ на территории Муезерского района Республики Карелия. Перед заключением договора между заказчиком и исполнителем состоялось обсуждение возможных вариантов создания ООПТ на указанной территории общей площадью 1,75 млн га. В границах район полностью совпадает с Муезерским центральным лесничеством. В результате обсуждения принято решение об обосновании кластерной ООПТ. Со стороны исполнителя это аргументировалось тем, что нет никаких оснований (в эколого-биологическом и рекреационном отношении) для организации одной ООПТ на большой площади. Была согласована подготовка материалов к созданию комплекса небольших наиболее ценных объектов по кластерному принципу, в том числе с сохранившимися фрагментами коренных лесов. Объекты расположены на сравнительно небольшом удалении друг от друга в пределах района. Здесь следует заметить, что у КарНЦ РАН есть некоторый опыт подобной работы. Так, на территории бывшей Вепсской волости (около 90 тыс. га) при проведении ее комплексного обследования выделено 27 участков различного природоохранного профиля – ботанических, лесных, болотных, рекреационных и других, рекомендованных к различным формам охраны [Природные..., 2005].

Материалы и методы

Для всестороннего изучения наземных и водных экосистем района кроме сотрудников Отдела комплексных научных исследований КарНЦ РАН также привлекались эксперты из Института геологии, Института биологии, Института леса и Института языка, литературы и истории КарНЦ РАН. В результате проведенных работ собраны обширные материалы, характеризующие территорию в самых различных аспектах с учетом анализа фондовых материалов. В статье они представлены на уровне местности, как наиболее крупной морфологической части географического ландшафта (площадь контура около 10 тыс. га). Материалы кратко характеризуют проименованные объекты в такой последовательности: 1) географическое положение местности; 2) общая природоохранная и рекреационная значимость как основа для выделения объекта; 3) ключевые особенности природно-территориальных комплексов (геолого-геоморфологические, гидрографические, почвенные, ландшафтные, болот, лесов, флоры и фауны, рекреационных качеств); 4) предложения по границам и площади охраняемой территории.

При подготовке обоснования использовались литературные материалы, полученные в результате различных НИР, проведенных в предшествующие годы, и уже частично опубликованные [Громцев и др., 2004, 2011а, б; Громцев, 2008; Природные..., 2009 и др.].

Результаты и обсуждение

В «Схеме территориального планирования Республики Карелия», а также в перечне терри-

торий, перспективных для создания ООПТ регионального ранга [Особо..., 2017, с. 402–408], в пределах Муезерского района перечислено несколько объектов. Вначале необходимо оценить их значимость и целесообразность включения в кластерную ООПТ с учетом «Научного обоснования развития сети особо охраняемых природных территорий в Республике Карелия» [2009].

Ландшафтный заказник «Тулос». Расположен далеко за пределами предлагаемой кластерной ООПТ (более 110 км). С 2001 года фигурировал в качестве национального парка (разработки по проектам TACIS). Позднее признано целесообразным и реальным создание ООПТ в ранге регионального ландшафтного заказника, которое пока не осуществлено. Сотрудниками Карельского научного центра РАН подготовлено научное обоснование [Экологическое..., 2014].

Ландшафтный заказник «Арянукс». Территориально находится между предполагаемыми кластерами ООПТ. По нашим данным, расширение предложено общественной организацией «СПОК». О наличии научного обоснования неизвестно. Анализ различных тематических карт, космических снимков и других материалов показал, что это ординарная северотаежная территория на фоне сопредельных, не отличающаяся в ландшафтном отношении. Лесной покров практически полностью трансформирован в результате рубок различной давности (сохранившиеся фрагменты коренных лесов крайне незначительны по площади). Таким образом, создание ООПТ здесь ничем не обосновано и представляется нецелесообразным.

Действующий ландшафтный заказник «Юдальский». Находится далеко за пределами кластерной ООПТ (около 150 км). Расширение также ранее предлагалось общественной организацией «СПОК» без какого-либо научного обоснования. Более того, увеличение площади заказника с 1,5 до 27,3 тыс. га, по сути, означает создание нового объекта.

В итоге в 2020 году было запланировано обследование наряду с уже действующим ландшафтным памятником природы «Гора Воттоваара» еще двух территорий. Первая локализуется в районе оз. Пизанец, находящегося в необычно глубоком и очень узком тектоническом разломе, вторая объединяет участок из ряда компактно расположенных крупных гряд: горы Ахви (398,6 м), Варгуно (394,5 м), Пиро (389,1 м) и др. Установлено, что эти объекты с учетом сохранившихся в их пределах фрагментов северотаежных коренных лесов

отличаются очень высоким природоохранным и рекреационным потенциалом.

1. Ландшафтный заказник «Низкогорья Западно-Карельской возвышенности». Центральная часть находится приблизительно в 15 км (по прямой линии) на юго-запад от пос. Пенинга и около 70 км к северо-западу от крупного озера (водохранилища) Сегозеро (рис. 1).

В целом территория отличается:

1) присутствием компактно расположенных (на расстоянии в среднем 5–7 км друг от друга) семи низкогорий с высотой над уровнем моря около 400 м. Они занимают вторые позиции после нескольких крупных низкогорий в денудационно-тектоническом холмисто-грядовом среднезаболоченном ландшафте с преобладанием еловых местообитаний в районе оз. Паанаярви (г. Нуорунен – 576 м и др.). Анализ физико-географической карты России показывает, что южнее широты городов Кемь – Архангельск – Печора (приблизительно вдоль 64° с. ш.) в пределах всей европейской части России нет более высоких форм рельефа, чем эти сельги, наряду с г. Воттоваара (417 м). Исключение составляют лишь Северный Кавказ и Урал (с Предуральем), являющиеся горными ландшафтными странами. Единственным близким аналогом можно назвать вершину крупной гряды Четласский Камень (471 м) – части Тиманского кряжа на границе Архангельской области и Республики Коми. Однако она расположена существенно севернее обследованных нами низкогорий. Таким образом, даже с точки зрения географического положения указанные вершинные части сельг уникальны;

2) существованием самых южных в европейской части таежной зоны России «форпостов» редколесных сообществ по «лесотундровому» облику на платообразных верхних частях сельг. Это совершенно необычное явление на северных широтах, не отмеченное более нигде южнее 63° во всей европейской части таежной зоны России (до Предуралья). С биологической и экологической точек зрения такие природно-территориальные комплексы уникальны;

3) распространением небольших «низкогорных» озер и лесных ламб с предельными для Карелии высотами береговых линий (оз. Кивиярви – 355 м и др.);

4) сохранившимися фрагментами коренных лесов, сформировавшихся на вершинах и склонах крупных гряд (сельг).

Местность находится в пределах Западно-Карельской возвышенности. Данная территория лежит на границе Беломоро-Балтийского водораздела и относится в основном к бас-

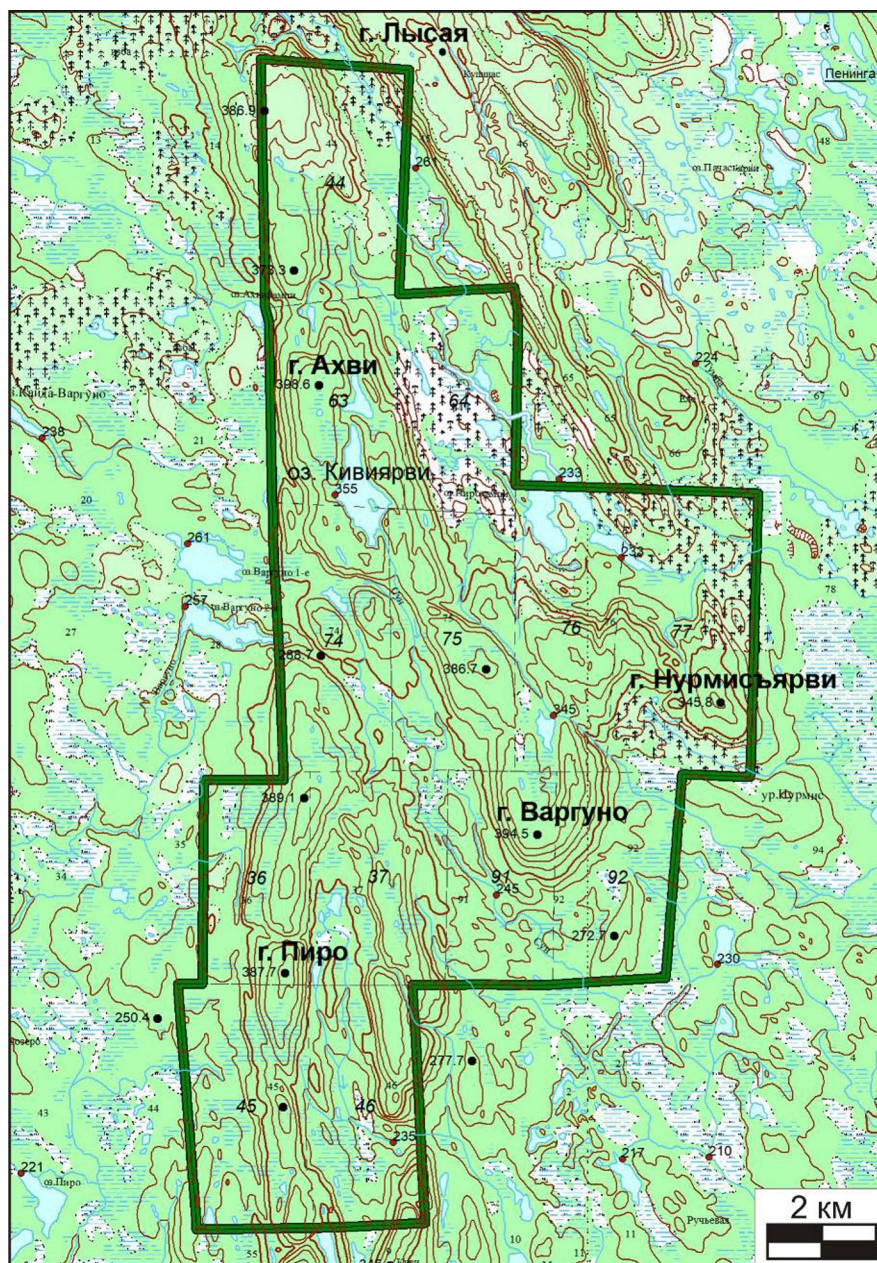


Рис. 1. Топокарта с границами планируемого ландшафтного заказника «Низкогорья Западно-Карельской возвышенности»

Fig. 1. Topographic map with the boundaries of the planned landscape reserve "Low-mountain landscapes of the West-Karelian Upland"

сейну Онежского озера. Это один из наиболее крупных и сложных орографических районов Карелии. В целом возвышенность представляет собой юго-восточные отроги водораздельного хребта Маанселькя и характеризуется преобладающими высотами от 180 до 300 м. Наиболее приподнята его центральная часть, на которой можно выделить три главные цепи гряд – западную, центральную и восточную.

В гидрографическом плане местность не отличается значительно от сопредельных территорий. Из относительно крупных озер можно

выделить два – оз. Кивиярви площадью 96 га и оз. Пиролампя – 129 га. Озеро Кивиярви является истоком самой длинной в Карелии реки Суна, всем известной расположенным на ней водопадом Кивач. Однако на карте вытекающая из него река носит название Сун, ее длина в предлагаемых ниже границах ООПТ составляет 9,6 км. Общая площадь озер на территории составляет 340 га, площадь ручьев – 18 га.

Заболоченность низкогорий слабая, при этом на вершине г. Ахви и верхних частях северных склонов г. Варгуно имеются неболь-

шие болота, приуроченные к узким депрессиям на уступах сопок и к ложбинам тектонического генезиса. Эти болота представляют собой очень маленькие массивы площадью 1–3 га или болотные системы до 20–30 га. Они сформировались как на месте остаточных послеледниковых озер, так и путем заболачивания довольно крутых склонов, которые по мере торфонакопления и разрастания в стороны слились в такие системы. Протяженность некоторых из них составляет 2–3 км, а общий перепад поверхности достигает 10 и более метров. Мощность торфяных отложений составляет от 1–2 до 6 метров. В составе систем чередуются плоские участки с ламбами или на месте бывших ламб и «висячих» болот. «Висячие» болота формируются у подножий склонов сельг с выходами грунтовых вод и имеют большие уклоны (4–6 метров на 40–50 м). В связи с бедностью грунтовых вод эти участки здесь мезо-олиготрофные, тогда как типичные «висячие» болота в других возвышенных и горных районах Фенноскандии, Урала, Сибири эвтрофные, с богатой специфической флорой [Auer, 1922; Кузнецов, 1995]. В целом болотные системы обуславливают мозаику в структуре растительного покрова территории, являются местообитаниями типично болотной флоры. Охраняемых видов растений на исследованных болотах не выявлено, два вида сфагновых мхов являются довольно редкими и встречены у границ ареалов.

По данным Ю. Н. Ткаченко (лаборатория лесного почвоведения Института леса КарНЦ РАН), в верхней части западного склона г. Ахви под сосняками черничными развиваются подзолы иллювиально-железистые супесчаные. Они формируются на валунной морене, мощность их в среднем достигает 60–70 см. В почвенном профиле ясно выражены генетические горизонты. Для почв характерна каменистость и высокая плотность сложения. На участках вдоль береговой линии оз. Кивиярви на вершинах и склонах флювиогляциальных форм под сосняками черничными формируются подзолы иллювиально-железистые супесчаные. Для нижних горизонтов характерно наличие гравия. Они имеют типичный для подзолов четко дифференцированный на горизонты почвенный профиль. В нижней части склона в тектоническом разломе под ельниками на кварцитах формируются подзолы супесчаные. Отличительной их чертой является слабовыраженная дифференциация на генетические горизонты с неяркой окраской. Под ельниками формируются торфянистые подзолы иллювиально-железистые супесчаные. Для них характерна

оторфованная подстилка и незначительная мощность почвенной толщи. На г. Варгунго в местах близкого залегания скального основания формируются примитивные подзолы. В понижениях под сосняками черничными формируются подзолы иллювиально-железистые супесчаные неполноразвитые, мощностью до 20–30 см. В понижениях под ельниками черничными формируются маломощные подзолы иллювиально-железистые супесчаные. Они хорошо дифференцированы на почвенные горизонты, сильно каменистые и довольно плотные по степени сложения. Площадь, занимаемая подзолами иллювиально-железистыми, составляет около 65 %. Из них примитивные занимают 5 %, неполноразвитые – около 10 %, подзолы песчаные – около 20 %, супесчаные – 30 %. Площадь торфяных и торфянистых почв составляет около 30 %.

В Муезерском районе абсолютно доминирует денудационно-тектонический с комплексом ледниковых образований холмисто-грядовый среднезаболоченный ландшафт с преобладанием сосновых местообитаний. Это самый типичный и широко распространенный ландшафт в северотаежной подзоне Карелии (с некоторыми вариациями занимает более 60 % площади), а также на сопредельных территориях в Финляндии [Громцев, 2008 и др.]. Несмотря на это, в районе встречаются ландшафты других типов. Так, рассматриваемый контур планируемой ООПТ полностью находится в пределах денудационно-тектонического грядового (сельгового) среднезаболоченного ландшафта с преобладанием сосновых местообитаний.

Территория полностью находится в пределах Государственного лесного фонда (ГЛФ). Распределение площади фонда по категориям земель приведено в табл. 1.

Установлено, что природно-территориальные комплексы на большей части указанного участка местности находятся в естественном состоянии. Это массивы коренных лесов, которые дислоцируются в центральной части объекта на фоне обширных сопредельных массивов необлесившихся вырубок, молодняков и производных лесов различного возраста.

В сравнении с сопредельными территориями здесь расположено не менее 90 % сохранившихся древостоев, по составу и возрастной структуре близких к коренным северотаежным лесам. Среди коренных и высоковозрастных (>100 лет) лесов преобладает черничный тип местопроизрастания – 66 % от покрытой лесом площади. Коренные леса большей частью представлены сосново-еловыми древостоями в возрасте 160–260 лет. Также были отмечены

Таблица 1. Распределение площади ландшафтного заказника «Низкогорья Западно-Карельской возвышенности» по категориям земель

Table 1. Distribution of the area of the landscape nature reserve "Low-mountain landscapes of the West-Karelian Upland" by land categories

Категория земель Land category	Площадь, га Area, ha	Доля от общей площади ГЛФ, % Share of total area SFF, %
Лесные земли, всего, Forest lands, total, в т.ч. / including:	10410,7	87,1
Покрытые лесной растительностью, Covered with forest vegetation, в т.ч. / including лесные культуры forest crops	10410,7	87,1
	732,6	6,1
Не покрытые лесной растительностью, всего Not covered with forest vegetation, total	0	0
Нелесные земли, всего, Non-forest land, total, в т.ч. / including:	1542,3	12,9
водоемы water	357,9	3
болота bogs	1063,4	8,9
грунтовые дороги dirt roads	19	0,2
зимники winter roads	1	< 0,1
тропы trails	6	0,1
квартальные просеки quarter glades	13	0,1
скальные обнажения rock outcrops	82	0,7
Всего земель Total	11953	100

отдельные экземпляры хвойных пород в возрасте 300 и более лет. Количественные данные о распределении лесов по возрастам и изымаемым из хозяйственного оборота запасам древесины представлены в табл. 2. Наиболее продуктивные условия местопроизрастания часто приурочены к тектоническим разломам, где внутрипочвенный сток в сочетании с рыхлыми горными породами (кварциты) благоприятствует формированию ельников. При проведении полевых исследований зафиксированы отдельные экземпляры ели высотой до 28,5 м и диаметром до 110 см. Как уже отмечалось, на верхних частях возвышенностей (отметки порядка 400 м н. у. м.) представлены сосновые и сосново-еловые редколесья. Воздействие сильных порывов ветра нередко приводит к формированию флагообразного типа кроны. Коренные леса повсеместно отличаются по слепожарным происхождением.

Сохранившиеся леса на склонах возвышенностей имеют важное средообразующее и средозащитное значение, в первую очередь

в плане сохранения редколесий (с лесотундровым обликом древесной растительности). Они создают окружающую среду вокруг низкогорий и обеспечивают ее устойчивое существование в естественном состоянии. Можно прогнозировать, что при вырубке склоновых лесов, по периферии защищающих редколесья, они будут деградировать в лесотундровый тип растительности. В этом случае практически необратимо будет трансформироваться и естественное разнообразие биоты.

Данная территория в ботаническом отношении ранее никогда не изучалась. Флора носит черты малонарушенной бореальной, сильно обедненной в связи с водораздельным положением территории, слабым развитием гидро-сети, однообразным кристаллическим фундаментом из кислых пород (кварцитов) и песчаной мореной, отсутствием поселений и вообще минимальной антропогенной нагрузкой, ограниченной рубкой леса, а также экстенсивным использованием территории сборщиками ягод, грибов, рыболовами и охотниками. Ядро

Таблица 2. Распределение лесов ландшафтного заказника «Низкогорья Западно-Карельской возвышенности» по лесообразующим породам, возрасту и запасу древесины

Table 2. Distribution of forests of the landscape nature reserve "Low-mountain landscapes of the West-Karelian Upland" by forest-forming species, age, and timber stock

Возраст, лет Age, years	Площадь, га Area, ha	Доля от площади покрытых лесом земель, % Share of forested land area, %	Запас, м³ Timber stock, m³	Доля от общего запаса древесины, % Share of total timber stock, %
Сосняки Pine forests				
0–20	1619,4	15,6	75 148	7,9
21–40	1003,4	9,6	61 198	6,4
41–60	579,6	5,6	81 729	8,6
61–80	1823,2	17,5	240 872	25,2
81–100	36,6	0,4	3675	0,4
101–120	46,8	0,4	3495	0,4
121–140	40,3	0,4	4701	0,5
141–160	120,4	1,2	9899	1
161–180	143	1,4	4028	0,4
181–200	121,8	1,2	4080	0,4
201–220	444,3	4,3	53 891	5,6
221–240	239,3	2,3	42 126	4,4
241–260	35,9	0,3	3125	0,3
Всего Total	6254	60,1	587 967	61,6
Ельники Spruce forests				
0–20	399,4	3,8	25 921	2,7
21–40	147,8	1,4	7715	0,8
41–60	217	2,1	10 122	1,1
61–80	147	1,4	13 937	1,5
81–100	147,5	1,4	20 645	2,2
101–120	43,7	0,4	6408	0,7
121–140	44	0,4	5662	0,6
141–160	341,9	3,2	34 018	3,6
161–180	711,5	6,8	72 060	7,5
181–200	1141,8	11	95 496	10
201–220	698,1	6,7	73 776	7,7
221–240	29	0,3	193	<0,1
Всего Total	4068,7	39,0	365 953	38,3
Березняки Birch forests				
11–20	10	0,1	15	<0,1
41–50	15	0,1	525	<0,1
51–60	47	0,5	237	<0,1
61–70	16	0,2	30	<0,1
Всего Total	88	0,9	807	0,1
Итого лесов Total forests	10410,7	100	954 727	100

флоры составляют широко распространенные в Голарктике бореальные и гипоарктобореальные виды, в их числе все основные лесообразующие породы, а также доминанты лесных, болотных и прибрежных сообществ. К северным фракциям флоры относятся плаун куропаточий

(*Lycopodium lagopus* (Laest. ex C. Hartm.) Zinserl. ex Kuzen.) и кипрей Горнемана (*Epilobium hornemánnii* Rchb.). Для плауна куропаточьего здесь выявлены самые южные места произрастания в Карелии – ранее наиболее южным пунктом были окрестности г. Костомукши. Из-

редка встречается также слабообособленная и не всегда выделяемая северная форма рябины Городкова (*Sorbus gorodkovii* Rojark.). Особый интерес представляет находка бесхлорофилльного бореального вида подъяльника обыкновенного (*Hypopitys monotropa* Crantz), который в Карелии севернее встречается только в заповеднике «Костомукшский». Установлено всего несколько видов с южными связями (ландыш обыкновенный *Convallaria majalis* L., вейник тростниковидный *Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth, перловник поникающий *Melica nutans* L. и т. п.), которые встречаются в 2–3 пунктах каждый в составе малочисленных популяций. Всего в процессе натурного обследования выявлено 124 вида локальной флоры (список в настоящей статье не прилагается), в том числе один вид, лобелия Дортмана (*Lobelia dortmanna* L.), занесен в Красную книгу Российской Федерации [2008] и три вида (кипрей Горнемана, лобелия Дортмана и подъяльник обыкновенный) – в Красную книгу Карелии [2020]. Также обнаружены занесенные в Красные книги Карелии и Российской Федерации лишайники лишеномфалия гудзонская (*Lichenomphalia hudsoniana* (Jenn.) Redhead, Lutzoni, Moncalvo & Vilgalys) и лобария легочная (*Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm.).

По данным Д. В. Панченко (лаборатория зоологии Института биологии КарНЦ РАН), территория расположена на границе центрального участка Северо-Карельского и Западного участка Средне-Карельского подрайонов по зоогеографическому районированию Карелии. Благодаря такому положению фауна представлена как северо-таежными и арктическими, так и типичными среднетаежными видами [Ивантер, 2001]. На территории обитают или могут быть встречены 38 видов млекопитающих, из которых 10 занесены в Красную книгу Республики Карелия [2020] и один в Красную книгу Российской Федерации [2008]. В 2015–2019 годах следы лесного северного оленя не были отмечены в пределах местности и на окружающих территориях, однако, учитывая значительные перемещения зверей в течение года, существует вероятность их встречи. В среднем по Муезерскому району показатель учета составил 0,03 следа на 10 км.

При рекреационном районировании Карелии [Громцев, 2008 и др.] ландшафт отнесен к IV категории (с высокими рекреационными качествами), занимающей лишь 8 % площади Карелии (всего выделено пять категорий: от низких до выдающихся качеств). Как уже отмечалось, ландшафт отличается сильнопересеченным крупногрядовым рельефом с часты-

ми скальными обнажениями. В разломах и трещинах кристаллического фундамента обычные небольшие озера. Его характеризует слабая степень заболоченности (открытые болота и заболоченные леса занимают не более 20 % площади). Преимущественно сосновые и сосново-лиственные леса обычно с богатым по составу живым напочвенным покровом, включающим многие виды лекарственных растений. Кроме того, с вершин низкогорий открывается вид на сопредельные пространства. Этот вид может быть расширен после проведения очень небольших по площади сплошных пейзажных (ландшафтных) рубок, в первую очередь для организации смотровых площадок.

В итоге предлагалось создать ландшафтный заказник регионального значения на площади 11,9 тыс. га в пределах Муезерского центрального лесничества, Пенингского участкового лесничества (ограничивается контуром из кварталов 44, 63, 64, 74–77, 91, 92 Пенингского лесничества по лесоустройству) и Тумбского участкового лесничества (кварталов 36, 37, 45, 46 Моткинского лесничества по лесоустройству).

2. Ландшафтный памятник природы «Озеро Пизанец». Расположен на границе Медвежьегорского и Муезерского районов Республики Карелия, в 31 км (по прямой линии) на северо-восток от пос. Суккозеро или в 22 км (по кратчайшей прямой линии) к западу от крупного озера (водохранилища) Сегозеро.

Озеро является уникальным по гидрометрическим параметрам (в очень узком тектоническом разломе). Его самая глубоководная часть может отличаться оригинальными фито- и зоопланктонными сообществами. Объект является очень ценным для развития туризма в регионе и в настоящее время хорошо известным, весьма посещаемым и широко представленным на многочисленных сайтах в сети Интернет.

Центральное положение на планируемой ООПТ занимает оз. Пизанец (рис. 2). Природно-территориальный комплекс состоит из двух компонентов – собственно озера Пизанец и прилегающих участков суши шириной 200 м вдоль береговой линии водоема общей протяженностью по периметру 12,2 км. Кроме того, в силу высоких рекреационных качеств территории в общую конструкцию охраняемой зоны был включен разлом, берущий начало с южной оконечности озера.

Площадь поверхности озера 82,8 га, островов нет. Максимальная глубина 80 м (установлено летом 2020 года). Очевидно, что при детальном обследовании водоема она может быть значительно больше за счет узких трещин

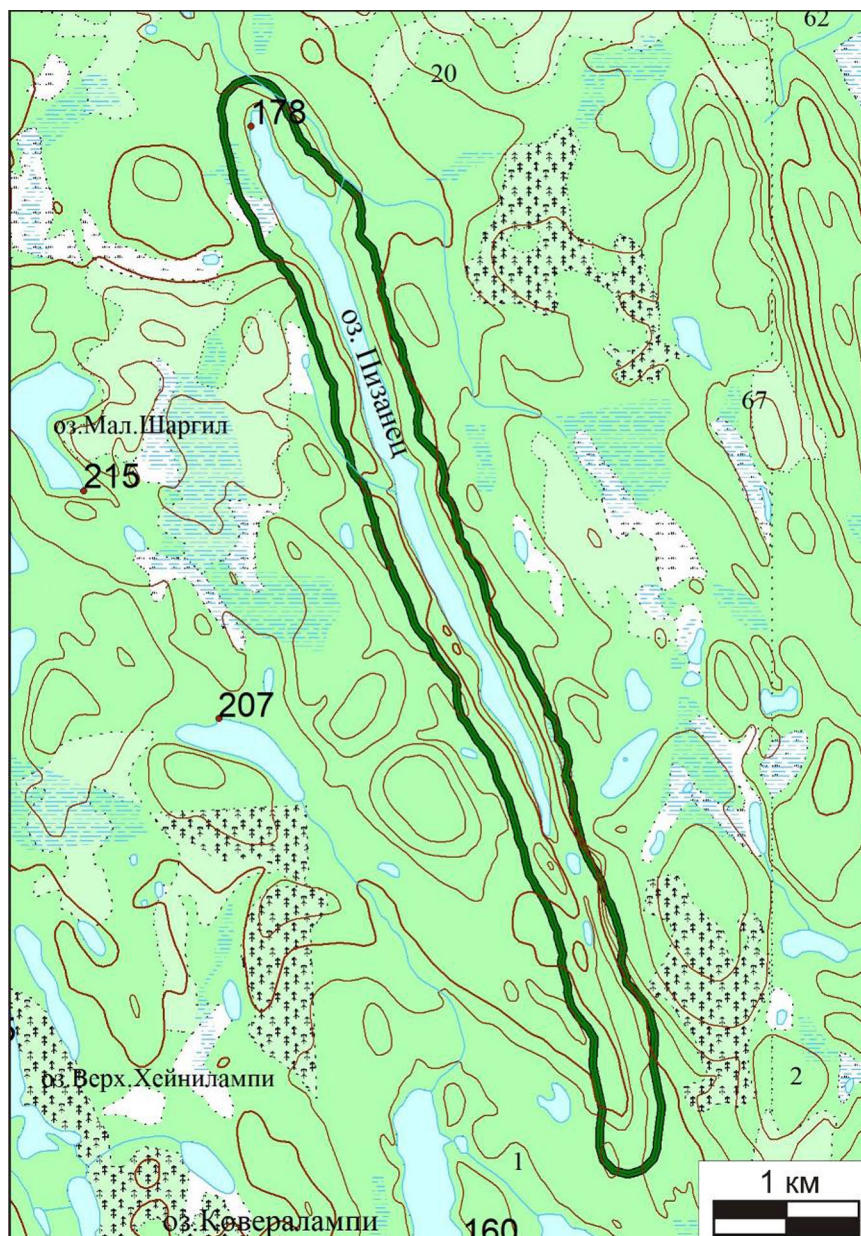


Рис. 2. Топокарта с границами планируемого ландшафтного памятника природы «Озеро Пизанец»

Fig. 2. Topographic map with the boundaries of the planned landscape nature monument "Lake Pizanets"

в общей конструкции разлома кристаллического фундамента, а также донных отложений (сапропелей). Озеро также отличается значительной (на фоне сопредельных территорий) высотой над уровнем моря – 178,2 м. Из северо-восточной оконечности вытекает безымянный водоток, впадающий в озеро Кальгярви, протокой соединяющееся с Кяткиозером. Через последнее протекает река Сонго, впадающая в Селецкое озеро.

В разломе практически нет выположенных участков, пригодных для формирования болот.

Имеется лишь несколько болот, весьма незначительных по площади (около 7 га), как с верховыми, так и с переходными участками, включая родниковые выходы.

В северной части котловины на вершинах и склонах флювиогляциальных форм развиваются подзолы иллювиально-железистые. Около 30 % площади занимают почвы, сформированные под сосняками брусничными на песках разной степени сортированности. Под сосняками и ельниками черничными на валунной морене формируются почвы более тяжелого

гранулометрического состава – подзолы иллювиально-железистые супесчаные, которые занимают 60 % территории. Для них характерна высокая степень каменистости. С глубиной в почвах наблюдается смена механического состава с песчаного на супесчаный, а также увеличение плотности сложения и степени каменистости горизонтов. В южной части разлом ограничен отвесными склонами, подножья которых завалены сейсмогравитационными обвалами. На данном участке можно наблюдать различные этапы образования почв. В нижней части озовой гряды сформировались торфянистые подзолы иллювиально-железистые супесчаные. Они приурочены к окраинам болот и слабодренированным территориям, для которых характерен временный застой грунтовых вод. Отличительной чертой почв является оторфованная подстилка и незначительная мощность почвенной толщи – 60 см. Эти почвы занимают 10 % территории.

Территория целиком находится в пределах ГЛФ. Ввиду незначительной площади охраняемой территории (407,3 га) количественные характеристики категорий земель и лесного покрова указаны в тексте. Большая часть территории покрыта лесами, их доля составила 284 га, или 70 % площади ООПТ. Лесной покров вдоль берегов озера в значительной степени пройден сплошными рубками с оставлением защитной полосы, ширина которой в среднем составляет 50 м, но варьирует в различных частях озера. Сплошные рубки велись и в последние десятилетия. Наиболее распространенным типом леса вдоль береговой линии является сосняк брусничный скальный (иногда с участием ели и березы, но чаще однородный по составу). В связи с особенностями места произрастания возраст сосен, слагающих древостой, разнообразен, имеются деревья в диапазоне от 20 до 200 и более лет. Некоторая часть защитных полос повреждена низовыми пожарами, которые в условиях близкого залегания коренных пород и примитивных неполноразвитых почв привели к гибели части древостоя. По данным обследования вырубок 10–15-летней давности площадью 18 га, характерно массовое возобновление лиственных пород с незначительным участием сосны. Вырубки последнего десятилетия приурочены к восточному берегу южной оконечности озера.

Анализ распределения лесов по лесообразующим породам показал абсолютное доминирование хвойных пород (95 % покрытой лесом площади), из них на сосняки приходится около 70 %, на ельники – 25 % площади. Доля лиственных древостоев составляет лишь 5 %.

По возрасту соотношение древостоев следующее: на долю молодняков до 40 лет приходится 30 %, высоковозрастных лесов 140–200 лет – 51 % покрытых лесом земель. Общий запас древесины лесов в границах предполагаемого ООПТ согласно расчетам составил 44 818 м³.

По данным лесоустройства, на участке встречается пять типов леса. Выражено абсолютное доминирование зеленомошной группы лесов (99 % покрытой лесом площади), представленной черничными и брусничными (в том числе брусничными скальными) местообитаниями.

Всего выявлено 123 вида сосудистых растений. В Красные книги Российской Федерации [2008] и Республики Карелия [2020] внесены 5 видов, в том числе 3 – сосудистые растения, 2 – лишайники.

По данным сотрудников лаборатории зоологии Института биологии КарНЦ РАН, оз. Пизанец с прилегающей территорией также располагается на границе центрального участка Северо-Карельского и западного участка Средне-Карельского подрайонов по зоогеографическому районированию. Благодаря такому положению фауна представлена как северотаежными и арктическими, так и типичными среднетаежными видами [Ивантер, 2001]. Учитывая незначительную площадь объекта, сведения о животном мире даны по сопредельным территориям. Численность глухаря, тетерева и рябчика на этом участке несколько выше средней по Муезерскому району и составляет 0,6; 5,0 и 1,4 встречи птиц на 10 км соответственно. Показатели видового разнообразия млекопитающих во многом сходны с таковыми на территории планируемого заказника «Низкогорья Западно-Карельской возвышенности», в том числе это касается и краснокнижных видов.

По данным С. Ф. Комулайнена и Н. В. Ильмаста (лаборатория экологии рыб и водных беспозвоночных Института биологии КарНЦ РАН), в фитопланктоне оз. Пизанец определен 31 вид водорослей, относящихся к семи отделам (*Cyanophyta* – 3, *Bacillariophyta* – 18, *Chrysophyta* – 2, *Raphidophyta* – 1, *Chlorophyta* – 5, *Dinophyta* – 1, *Euglenophyta* – 1). В зоопланктоне озера обнаружено 12 видов беспозвоночных, из которых 3 – коловратки, 5 – кладоцеры и 4 – копеподы. Наибольшие количественные показатели зоопланктона характерны для центральной части озера, где по численности (61,5 %) и по биомассе (более 98 %) доминируют ветвистоусые ракообразные. В составе донных сообществ выявлено 27 видов беспозвоночных, большая часть из которых представлена амфибиотическими насекомыми на ста-

дии личинки. Рыбопродуктивность водоема составляет около 3–5 кг/га, что характерно для озер таежной зоны. По результатам контрольного облова (август 2020 г.) рыбное население водоема было представлено двумя видами: окунем (*Perca fluviatilis* (L.)) и щукой (*Esox lucius* (L.)); по сообщениям местных жителей, в озере встречается плотва (*Rutilus rutilus* (L.)). Все виды относятся к бореально-равнинному комплексу [Никольский, 1980; Стерлигова и др., 2014]. По численности и биомассе в водоеме доминирует окунь. Прозрачность воды по диску Секки составила 4 метра, что соответствует градации «средняя прозрачность» по классификации озер Карелии, Финляндии и Швеции.

На фоне сопредельных территорий планируемая ООПТ отличается выдающимися рекреационными качествами и в настоящее время активно посещается туристами из различных регионов России. По весьма приблизительным оценочным данным, их число достигает не менее 300–400 человек в год (за весенний и летний сезон). С учетом посещения близлежащих действующих и планируемых ООПТ, таких как ландшафтный памятник природы г. Воттоваара, озерно-речная система оз. Ровкульское – оз. Торосозеро – оз. Лексозеро – оз. Каргизеро – оз. Сулла – р. Лендерка – оз. Лендерское и др., туристическая нагрузка будет увеличиваться. В связи с этим в самое ближайшее время необходимо оборудование мест стоянок, в первую очередь у береговой линии озера Пизанец.

Планируемый памятник природы регионального значения находится в пределах 200-метровой полосы вокруг озера Пизанец в Муезерском центральном лесничестве, Суккозерском участковом лесничестве, в кварталах 42, 57 Суккозерского лесничества по лесоустройству и в Медвежьегорском центральном лесничестве, в кварталах 61, 66 Юккогубского и квартале 1 Селегского участковых лесничеств. В целом общая площадь кластера составляет 407,3 га.

3. Ландшафтный памятник природы «Гора Воттоваара». В настоящее время является действующей ООПТ регионального значения. Создан в 2011 году, научное обоснование издано в 2009 году [Природные..., 2009]. Далее без ссылок используются материалы этого издания, с учетом данных, полученных за последнее десятилетие.

ООПТ находится в юго-восточной части Муезерского района Республики Карелия (рис. 3). Дислоцируется в 40 км к юго-западу от крупного озера (водохранилища) Сегозеро. По грунтовым дорогам, ведущим на северо-восток

от пос. Гимолы (около 35 км) и на юго-восток от пос. Суккозеро (20 км), на автомобиле можно подъехать на расстояние примерно 1 км от вершины горы. Кратчайший автомобильный путь от г. Петрозаводска – около 225 км.

В Карелии гора занимает вторую позицию по высоте (417 м) после нескольких крупных низкогорий в денудационно-тектоническом холмисто-грядовом среднезаболоченном ландшафте с преобладанием еловых местообитаний в районе оз. Паанаярви.

Наиболее возвышенную платообразную часть горы покрывает древесная растительность, по облику напоминающая лесотундровую, что, как уже отмечалось по отношению к ландшафтному заказнику «Низкогорья Западно-Карельской возвышенности», совершенно необычное явление на этих широтах. Таким образом, на данной обширной территории это самый южный «форпост» лесотундровых сообществ. С биологической и экологической точек зрения он уникален.

Ряд типов болот и отдельных болотных сообществ, распространенных здесь, можно считать довольно редкими для Карелии. В первую очередь это склоновые травяно-сфагновые болота с ключевой подпиткой (обедненный вариант висячих болот) и олиготрофные грядово-мочажинные комплексы, сочетающие вересково-сфагновые кочки и мочажины со *Sphagnum compactum*.

С ботанической точки зрения признаками, по которым природный комплекс г. Воттоваара заслуживает охраны, являются следующие: 1) лесотундровый облик древесной растительности на вершине горы (наиболее южные в Восточной Фенноскандии подобные сообщества), 2) наличие северных видов растений в наиболее южных пунктах или вблизи южных границ своих ареалов.

Гора Воттоваара является самой высокой вершиной Западно-Карельской возвышенности с абсолютной отметкой 417,2 м н. у. м. Представляет собой вытянутый в субмеридиональном направлении кряж, являющийся юго-восточным отрогом водораздельного хребта Маанселькя, сложена ятулийскими кварцитами и кварцито-песчаниками. Вершина практически лишена четвертичного покрова, и лишь на склонах и отдельных участках моренный покров редко достигает 1–1,5 м. Четвертичные отложения залегают на архейских гранитоидах, часто мигматизированных [Демидов, 1997]. Среди них выявлены следующие типы:

– ледниковые отложения представлены песчаной завалуненой мореной, которая прерывистым чехлом покрывает приподнятые

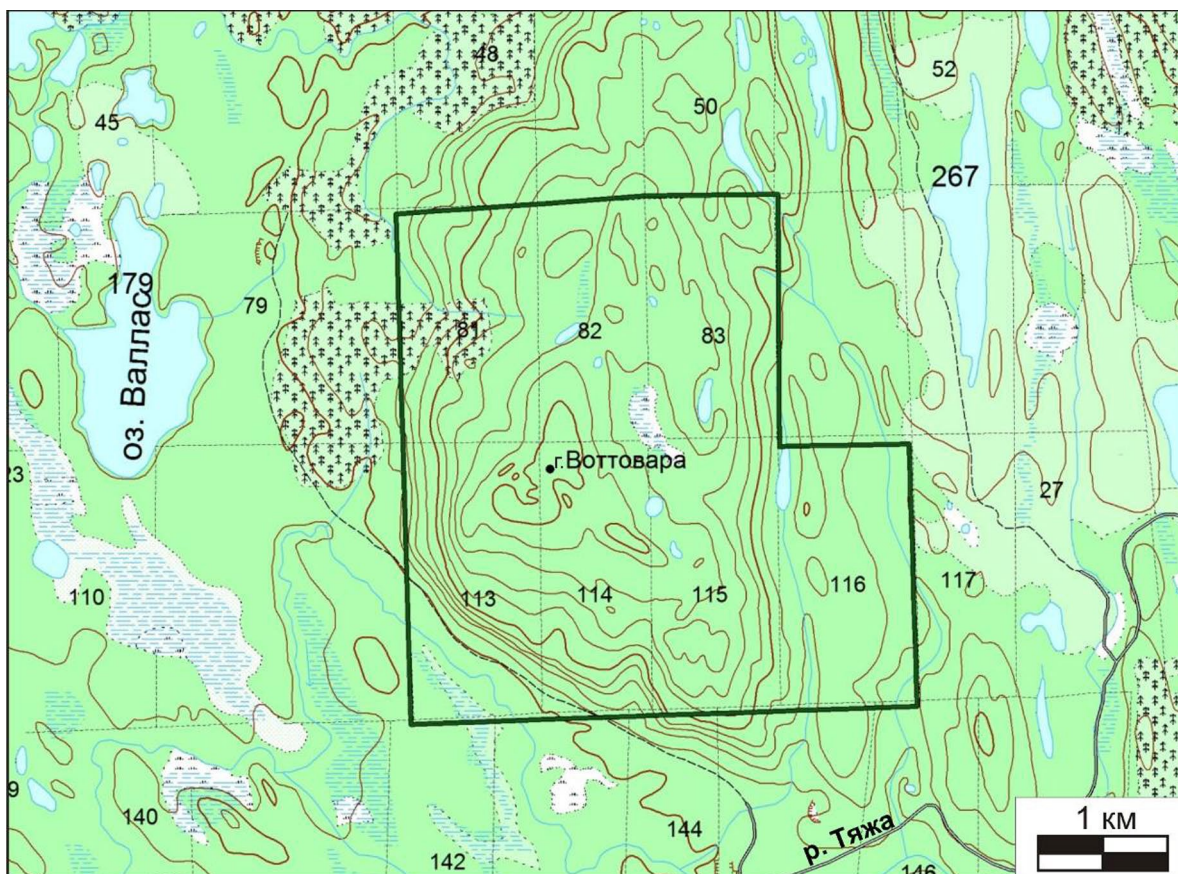


Рис. 3. Топокарта с границами ландшафтного памятника природы «Гора Воттовара»

Fig. 3. Topographic map with the boundaries of the landscape nature monument "Mount Vottovaara"

и разбитые разломами кристаллические блоки ятулийского фундамента;

- водно-ледниковые отложения наблюдаются у подножий горы вдоль северного и восточного склонов и представлены отмытыми и сортированными песчано-гравийно-галечными осадками, типичными отложениями дельт и озов;
- биогенные болотные отложения занимают очень небольшие площади. Мощность торфа в заболоченных пространствах, заполняющих понижения в рельефе кристаллического фундамента, не превышает 3 м.

Отличительной особенностью горы являются скопления валунов и глыб из кварцитов, достигающих в поперечнике 4 и более метров. К юго-западу от наивысшей абсолютной отметки располагается зарастающая ламбушка, занимающая дно понижения в кристаллическом фундаменте в форме амфитеатра. В бортах наблюдаются мощные сейсмодислокации последнего ледникового возраста в виде сейсмообвалов, провалов, осыпей, раздробленных и смещенных скал, свидетельствующие о сейсмотектоническом происхождении котловины ламбы

[Демидов, 1997]. Гора является одной из территорий, где запечатлены катастрофические геологические события, происходившие здесь на границе плейстоцена и голоцена в ходе деградации и таяния последнего ледникового покрова.

Гидрографическая сеть района состоит из нескольких очень малых озер с площадью зеркала до 1 км² (многие значительно меньше), расположенных в тектонических нарушениях на вершине и склонах горы. Водоемы, расположенные на горе, представляют собой весьма специфические водные объекты. Основные их особенности – очень маленькие площади бассейнов и низкие показатели удельного водосбора. В некоторых случаях водоразделы проходят почти по береговой линии озер. В результате в приходной части их водного баланса преобладает атмосферное питание. Общее число водотоков и их суммарная протяженность составляют соответственно 3 и 4,8 км.

Гора Воттоваара и ее окрестности отличаются, как уже отмечалось, преобладанием кислых коренных пород и небольшого по мощности плаща четвертичных отложений. На вер-

шине горы рыхлые отложения практически полностью отсутствуют. Это обусловило формирование почвенного покрова, характерного для скальных местоположений. На вершине и верхней части склонов горы на выходах коренных пород развиваются примитивные почвы. В средней части склонов в расщелинах, где есть четвертичные отложения и накапливается элювий пород, формируются маломощные подзолы и торфяно-глеевые почвы. У подножия, где отмечаются большие по мощности четвертичные отложения, сформировались подзолы иллювиально-железистые, гумусово-железистые и железисто-гумусовые, а также торфяные и торфяно-глеевые почвы. Необходимо отметить чрезвычайно большую пестроту почвенного покрова описываемой территории. Это обусловлено прежде всего высокой вариабельностью элементов микро- и нанорельефа, а также изменением характера материнских пород, гидрологических условий и типов растительных ассоциаций.

Все примитивные почвы горы обладают очень низкими лесорастительными свойствами. Нередко на скальных местоположениях они образуют несомкнутый почвенный покров. Прошедший в 2006 году пожар в верхней части горы еще более усилил фрагментарность почвенного покрова. Торфяные олиготрофные (верховые) почвы имеют большую мощность – >50 см. Профиль почвы подразделяется на горизонты также по степени трансформации растительных остатков – OT-T1-T2. Эти почвы, как и торфяно-глеевые, обычно насыщены водой, характеризуются высокой кислотностью и бедны элементами питания. Процессы превращения и минерализации органического вещества в них заторможены, поэтому, несмотря на высокое содержание углерода, они малоплодородны и отличаются крайне низкими лесорастительными свойствами.

В целом набор почв, формирующихся в данных условиях, очень ограничен. Это примитивные почвы на различных стадиях почвообразования, щебнистые подзолы в верхней части горы и полнопрофильные, но с малым содержанием органического вещества, подзолы у подножия. В понижениях – олиготрофные торфяные и торфяно-глеевые почвы. Плодородие всех этих почв, а соответственно, и лесорастительные свойства, крайне низки, исключение составляют лишь подзолы иллювиально-гумусово-железистые и иллювиально-железисто-гумусовые у подножия, где произрастают ельники. Все почвы на данной территории, как правило, маломощные, что связано с условиями почвообразования.

Памятник природы расположен в восточной части физико-географической страны Фенноскандии, крайней юго-восточной части Западно-Карельской возвышенности, в среднетаежной подзоне, в пределах денудационно-тектонического грядового (сельгового) слабозаболоченного ландшафта с преобладанием сосновых местообитаний.

Общая площадь ООПТ составляет 1622 га. Она полностью находится в пределах ГЛФ. В табл. 3 представлено распределение площади по категориям земель по данным лесоустройства. Леса покрывают более 86 % территории, а скальные обнажения (подобные горным тундрам) – почти 9 %.

Установлено, что природные комплексы (лесные и болотные) на вершине и крутых склонах горы не нарушены хозяйственной деятельностью. Это значительные по площади фрагменты коренных (первобытных) лесов на фоне обширных сопредельных массивов необлесившихся вырубков, молодняков и производных древостоев. Для четкой натурной маркировки ООПТ на местности (по квартальным просекам) часть молодняков включена в ее состав.

В целом наблюдается следующий топо-экологический ряд растительных сообществ. Вершину горы покрывает лесотундровая растительность с небольшими вкраплениями, напоминающими горную тундру (отметки в среднем более 400 м н. у. м.). Абсолютно преобладают сильно разреженные сосновые и сосново-березовые растительные группировки. В разломах на верхней части возвышенности отмечены еловые редколесья на примитивных скальных почвах. На вершине горы в этот ряд «встраиваются» озерково-болотные комплексы с сосняками кустарничково- и осоково-сфагновыми по периферии. Характерно искривление стволов, наличие обильного количества сухостойных и фаутных деревьев. Воздействие сильных порывов ветра часто приводит к ветролому. Деревья имеют флагообразный тип кроны. По данным натурных исследований 2008 года, центральная часть горы представляет собой бывшую гарь на площади примерно 50 га (пожар 2006 г.). Огнем была уничтожена или очень сильно повреждена практически вся растительность, включая самые крупные сосны и живой напочвенный покров.

Промежуточное положение между лесотундровыми и обычными таежными растительными группировками занимают редкостойные леса, расположенные в диапазоне отметок от 330 до 400 м. Они сформировались на различных по крутизне склонах горы с примитивными подзолами. Часто встречается ветровал

Таблица 3. Распределение площади ландшафтного памятника природы «Гора Воттоваара» по категориям земель

Table 3. Distribution of the area of the landscape nature monument "Mount Vottovaara" by land categories

Категории земель Land category	Площадь, га Area, ha	Доля от общей площади ГЛФ, % Share of total area SFF, %
Лесные земли, всего, Forest lands, total, в т.ч. / including:	1399,5	86,3
Покрытые лесной растительностью, Covered with forest vegetation, в т.ч. / including лесные культуры forest crops	1399,5 34,8	86,3 2,1
Не покрытые лесной растительностью, всего Not covered with forest vegetation, total	0	0
Нелесные земли, всего, Non-forest land, total, в т.ч. / including:	222,5	13,7
водоемы water	14,2	0,9
грунтовые дороги dirt roads	0,3	-
квартальные просеки quarter glades	2,4	0,1
скальные обнажения rock outcrops	142,6	8,8
болота bogs	63	3,9
Всего земель Total	1622	100

ели, пораженные гнилями деревья и сухостой. Леса абсолютно разновозрастные. Предельный возраст сосны и ели около 300 лет. Запас в таких древостоях варьирует в пределах 70–90 м³/га, а производительность – Va класс бонитета. На нижних частях склонов на неполнопрофильных (почвенная толща в среднем около 0,5 м) иллювиально-железистых супесчаных подзолах распространены типичные сосняки и ельники черничные. В напочвенном покрове доминируют черника, брусника и зеленые мхи. Древостои разновозрастные, наибольший возраст сосен и елей достигает 300 и 250 лет соответственно.

Из шести представленных типов леса наибольшее распространение получили типичные для условий северной тайги брусничный (38 % покрытой лесом площади) и черничный (27 %) типы. Довольно широко распространены сосняки скальные, занимающие 10 % той же площади.

Общий запас древесины на ООПТ оценивается в 124699 м³, из них в сосновых древостоях – 88735 м³, в еловых – 26665 м³, в лиственных – 9299 м³ (табл. 4).

Флору горы можно оценить как бедную – насчитывается всего 190 видов, из них 133 отнесены к редким. Выявлены всего три охраняемых

вида сосудистых растений: *Isoëtes echinospora* Durieu, *Lobelia dortmanna*, *Epilobium hornemánnii*. Установлено 84 вида мхов, в том числе 11 новых для флористического района.

В зоогеографическом отношении территория относится к западному участку Средне-Карельского подрайона, где по природным условиям преобладают черты средней тайги. Он характеризуется смешанной фауной млекопитающих благодаря взаимопроникновению северных и южных видов [Ивантер, 2001]. Здесь зарегистрированы представители 6 отрядов млекопитающих. Из них 7 видов из отряда Насекомоядных, 1 – Рукокрылых, 1 – Зайцеобразных, 15 – Грызунов, 13 – Хищных и 4 вида отряда Парнокопытных. На участке «Воттоваара» по результатам инвентаризации и сведениям из разных литературных источников [Soveri, 1942; Merikallio, 1946] зарегистрировано 125 видов птиц, из них 101 – гнездящиеся. Список птиц, занесенных в российскую и региональные Красные книги и гнездящихся на участке Воттоваара, насчитывает 10 видов.

Гора является ценным рекреационным объектом. С ее вершины открывается живописный вид на окружающие территории. В тектонических разломах нередко озера и озерки со скальными обрывами по берегам. В сочета-

Таблица 4. Распределение лесов ландшафтного памятника природы «Гора Воттоваара» по лесообразующим породам, группам возраста и запасу древесины

Table 4. Distribution of forests of the landscape nature monument "Mount Vottovaara" by forest-forming species, age, and timber stock

Возраст, лет Age, years	Площадь, га Area, ha	Доля от площади покрытых лесом земель, % Share of forested land area, %	Запас, м³ Timber stock, m³	Доля от общего запаса древесины, % Share of total timber stock, %
Сосняки Pine forests				
0–20	60,1	4,3	11	<0,1
21–40	238,6	17	12 169	9,8
41–60	42,7	3,1	3643	2,9
61–80	157	11,2	17 178	13,8
121–140	19	1,4	1805	1,4
141–160	3,3	0,2	409	0,3
181–200	128,3	9,2	24 227	19,4
201–220	312,7	22,3	29 293	23,5
Всего Total	961,7	68,7	88 735	71,1
Ельники Spruce forests				
0–20	98,8	7,1	634	0,5
21–40	91	6,5	3318	2,7
41–60	40,2	2,9	3451	2,8
81–100	16	1,1	912	0,7
161–180	85,7	6,1	15 231	12,2
181–200	24	1,7	3119	2,5
Всего Total	355,7	25,4	26 665	21,4
Березняки Birch forests				
21–30	5,8	0,4	203	0,2
31–40	11,9	0,9	683	0,5
41–50	64,4	4,6	8413	6,7
Всего Total	82,1	5,9	9299	7,5
Итого лесов Total forests	1399,5	100	124 699	100

нии с коренными лесами на вершине и склонах горы эти природные комплексы весьма привлекательны для рекреантов. Все это, в сочетании с очень хорошей транспортной доступностью объекта, уже в настоящее время обуславливает высокую посещаемость участка.

По данным Н. В. Лобановой (сектор археологии ИЯЛИ КарНЦ РАН), историко-культурных объектов не выявлено. Следы деятельности древнего и средневекового населения на г. Воттоваара не выделяются. Каменные объекты более или менее четко разделяются на две основные категории: природные образования и современные искусственные сооружения, частично имитирующие сейды в полном соответствии с их описанием в популярных публикациях. Абсолютное большинство камней

с «ножками» образовались в процессе таяния последнего материкового ледника. Вместе с тем здесь присутствует современный культурный фон, который отчетливо проявляется в виде искусственных каменных сложений – новоделов с «головками», отчасти с «ножками», кольцевидных очагов и сопутствующих культурных остатков. В итоге гору и ее пейзаж со всеми объектами можно рассматривать как оригинальный природный памятник в данном районе, но нет никаких оснований относить ее к разряду археологических памятников.

Ландшафтный памятник природы регионального значения «Гора Воттоваара» является действующей ООПТ согласно Постановлению Правительства Республики Карелия от 03.08.2011 № 192-П. Границы ООПТ опреде-

ляются контуром из кварталов 81–83 и 113–116 Гимольского лесничества по лесоустройству, Суккозерского участкового лесничества, Муезерского центрального лесничества.

Закключение

В целях сохранения наиболее ценных природно-рекреационных объектов подготовлено научное обоснование трехкластерной ООПТ регионального значения (по названиям кластеров): 1) ландшафтный заказник «Низкогорья Западно-Карельской возвышенности», 2) ландшафтный памятник природы «Озеро Пизанец», 3) ландшафтный памятник природы «Гора Воттоваара». Их площадь составляет соответственно 11953; 407,3 и 1622 га (всего 13982,3 га). Расстояние между центрами объектов: 1 и 2 – 55,2 км; 2 и 3 – 22,9 км; 3 и 1 – 53,4 км (рис. 4). Геометрически они образуют равнобедренный треугольник. Здесь следует заметить, что в научно-методическом плане это первый опыт создания ООПТ по кла-

стерному типу на определенной территории, по крайней мере в Карелии. Очевидно, что необходимо соединение кластеров какими-то буферными зонами. Идеальным представляется использование водоохранных зон с щадящим режимом лесопользования как экологических коридоров. В них рубки леса ограничены и постоянно сохраняется лесная среда. В условиях очень развитой гидрографической сети в данном районе они бы функционально соединяли ООПТ и обеспечивали распространение (перемещение) видов флоры и фауны, избегающих пространств с необлесенными вырубками и низковозрастными (несколько десятков лет) лесами. Однако в условиях сельгового (грядового) ландшафта водотоки приурочены к межгрядовым понижениям, депрессиям и разломам кристаллического фундамента северо-западного простираения. Таким образом, объекты, располагающиеся приблизительно на одной широте, в этом отношении изолированы – например, ландшафтные памятники природы «Озеро Пизанец» и «Гора Воттоваа-

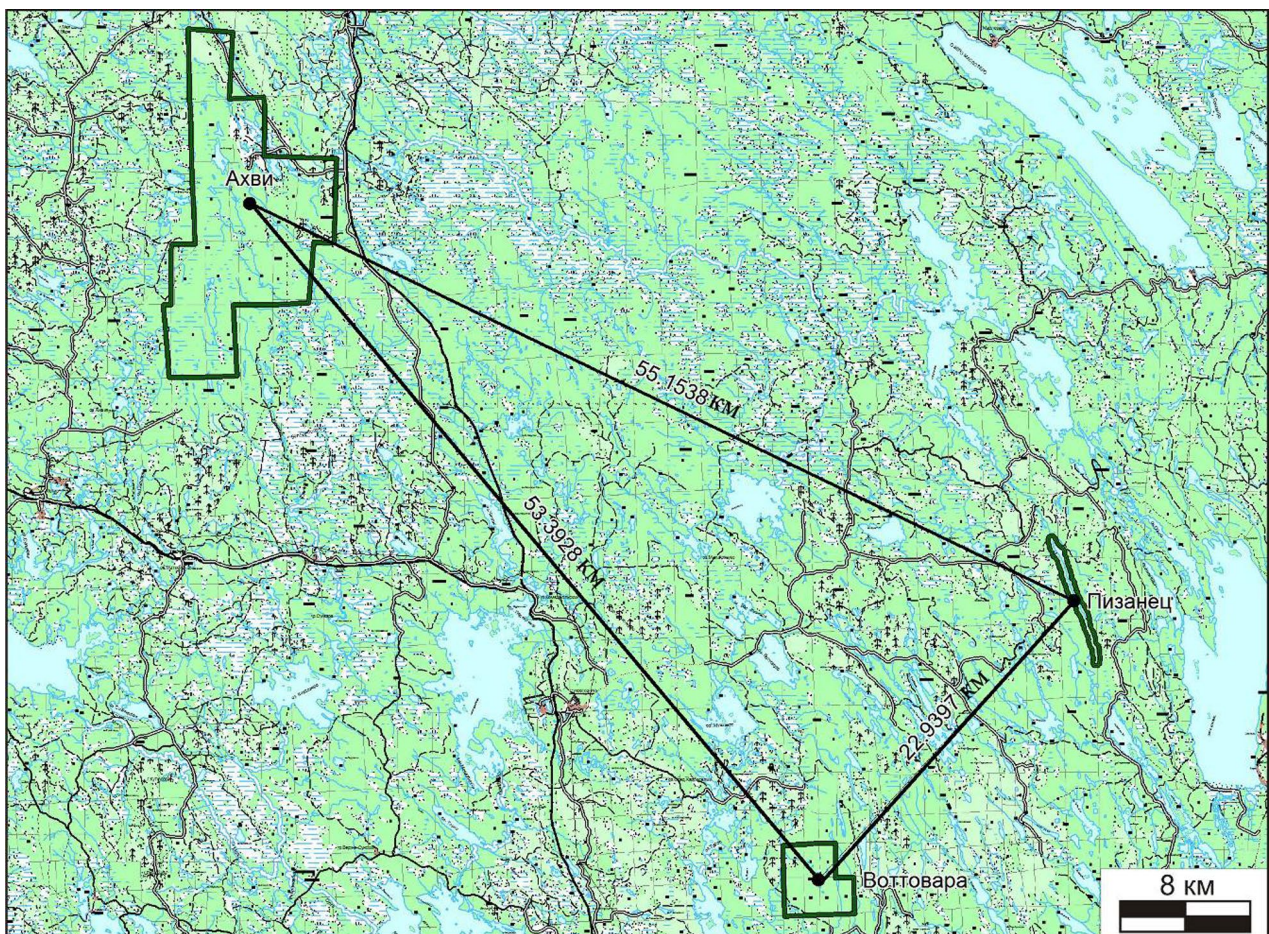


Рис. 4. Дислокация трех кластеров ООПТ (на линиях указано расстояние между центрами объектов, км)

Fig. 4. Dislocation of three clusters of the protected areas (the lines indicate the distance between the centers of the objects, km)

ра». К тому же они практически не имеют стоков со сколько-нибудь выраженными руслами, лишь из оз. Пизанец вытекает небольшой ручей. Примерно аналогичная ситуация и в пределах ООПТ «Гора Воттоваара». В гидрографическом отношении выгодно отличается кластер «Низкогорья Западно-Карельской возвышенности», где на вершинах возвышенностей находятся истоки, в том числе из озер, целой группы разных по размерам водотоков. Практически они являются частью всей региональной гидрографической сети. Вдоль береговых линий наиболее крупных из них выделены водоохранные зоны.

Итак, в целом представленная трехкластерная система ООПТ в пределах обозначенного выше пространственного общего треугольного контура, с учетом водоохранных зон внутри него, может рассматриваться как единый объект. По мере более детального обследования территории Муезерского района возможно выделение и других перспективных к обоснованию ООПТ, незначительных по площади, но значимых по рекреационным, геолого-геоморфологическим, гидрологическим, ботаническим и другим параметрам (таким примером может служить мыс Кервин на узкой песчаной косе озера Лексозеро, площадь которого составляет несколько десятков гектаров).

Авторы выражают глубокую благодарность всему творческому коллективу за совместную работу по обоснованию ООПТ.

Работа выполнена в рамках государственного задания КарНЦ РАН.

Литература

Громцев А. Н. Основы ландшафтной экологии европейских таежных лесов России. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2008. 238 с.

Громцев А. Н., Белкин В. В., Данилов П. И., Крутов В. И., Кузнецов О. Л., Руоколайнен А. В., Предтеченская О. О., Кравченко А. В., Сазонов С. В., Тирронен К. Ф., Панченко Д. В., Полевой А. В., Фадеева М. А., Хумала А. Э. Особенности и экологическая оценка природных комплексов центральной части Западно-Карельской возвышенности // Труды КарНЦ РАН. 2011а. № 2. С. 56–75.

Громцев А. Н., Петров Н. В., Туюнен А. В., Карпин В. А. Структура и динамика коренных и производных лесов центральной части Западно-Карельской возвышенности // Труды КарНЦ РАН. 2011б. № 2. С. 119–126.

Демидов И. Н. Формирование рельефа горы Воттоваара в ледниковые и послеледниковые вре-

мя (к проблеме культовых камней – «сейдов») // Археология Севера. Вып. 1. Петрозаводск, 1997. С. 200–203.

Ивантер Э. В. Фаунистический анализ и проблемы зоогеографического районирования // Труды КарНЦ РАН. 2001. Вып. 2. С. 76–81.

Красная книга Республики Карелия. Петрозаводск: Карелия, 2007. 368 с.

Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М.: Минприроды России и Росприроднадзор, 2008. 855 с.

Красная книга Республики Карелия. Белгород: Константа, 2020. 448 с.

Кузнецов О. Л. Редкие и охраняемые растения болот Паанаярвского национального парка // Природа и экосистемы Паанаярвского национального парка. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1995. С. 34–39.

Научное обоснование развития сети особо охраняемых природных территорий в Республике Карелия / Ред. А. Н. Громцев. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. 112 с.

Никольский Г. В. Структура вида и закономерности изменчивости рыб. М.: Пищ. пром-ть, 1980. 184 с.

Особенности природных комплексов Муезерского района и их использование для развития экологического туризма / Ред. А. Н. Громцев. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. 28 с.

Особо охраняемые природные территории Республики Карелия. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2017. 432 с.

Природные комплексы Вепсской волости: природные особенности, современное состояние, охрана и использование / Ред. А. Н. Громцев. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. 280 с.

Природные комплексы горы Воттоваара: особенности, современное состояние, сохранение / Ред. А. Н. Громцев. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. 158 с.

Стерлигова О. П., Ильмаст Н. В. Разнообразие водных экосистем Зеленого пояса Фенноскандии (Республика Карелия) // Труды КарНЦ РАН. 2014. № 6. С. 116–122.

Экологическое обоснование по созданию регионального заказника «Тулос» / Ред. О. Л. Кузнецов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2014. 20 с.

Auer V. Suotutkimuksia Kuusamon ja Kuolajarven vaara-alueilta // Comm. Inst. Quaest. Forest. Fennl. 1922. No. 6 (1). P. 1–368.

Merikallio E. Über regionale Verbreitung und Anzahl der Landvögel in Süd- und Mittelfinland, besonders in deren östlichen Teilen, im Lichte von quantitativen Untersuchungen // I. Allgemeiner Teil. Ann. Zool. Soc. "Vanamo". 1946. Vol. 12, no. 1. P. 3–143.

Soveri J. Himolan salon kaakkoisosan ja sitä ympäröivien kyläalueiden linnustosta // Ornis Fennica. 1942. Vol. 19, no. 4. P. 97–117.

Поступила в редакцию 12.04.2021

References

- Demidov I. N. Formirovanie rel'efa gory Vottovaara v lednikov'e i poslelednikovoe vremya (k probleme kul'tovyykh kamnei – "seidov") [Formation of the relief of Vottovaara Mountain in the glacial and post-glacial times (to the problem of cult stones – 'seids')]. *Arkheologiya Severa* [Archaeology of the North]. Vol. 1. Petrozavodsk, 1997. P. 200–203.
- Ekologicheskoe obosnovanie po sozdaniyu regional'nogo zakaznika "Tulos" [Environmental feasibility study for designation of the Tulos Regional Nature Reserve]. Ed. O. L. Kuznetsov. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2014. 20 p.
- Gromtsev A. N. Osnovy landshaftnoi ekologii evropeiskikh taezhnykh lesov Rossii [Fundamentals of landscape ecology of European taiga forests in Russia]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2008. 238 p.
- Gromtsev A. N., Belkin V. V., Danilov P. I., Krutov V. I., Kuznetsov O. L., Ruokolainen A. V., Predtechenskaya O. O., Kravchenko A. V., Sazonov S. V., Tirronen K. F., Panchenko D. V., Polevoi A. V., Fadeeva M. A., Khumala A. E. Osobennosti i ekologicheskaya otsenka prirodnikh kompleksov tsentral'noi chasti Zapadno-Karel'skoi vozvyshehnosti [Features and ecological assessment of natural complexes in the central part of the West Karelian Upland]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2011a. No. 2. P. 56–75.
- Gromtsev A. N., Petrov N. V., Tuyunen A. V., Karpin V. A. Struktura i dinamika korennykh i proizvodnykh lesov tsentral'noi chasti Zapadno-Karel'skoi vozvyshehnosti [Structure and dynamics of primary and secondary forests in the central part of the West Karelian Upland]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2011a. No. 2. P. 119–126.
- Ivanter E. V. Faunisticheskii analiz i problemy zoogeograficheskogo raionirovaniya [Faunistic analysis and problems of zoogeographic regionalization]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2001. Vol. 2. P. 76–81.
- Krasnaya kniga Respubliki Kareliya [Red Data Book of the Republic of Karelia]. Petrozavodsk: Kareliya, 2007. 368 p.
- Krasnaya kniga Rossiiskoi Federatsii (rasteniya i griby) [Red Data Book of the Russian Federation (plants and fungi)]. Moscow: Minprirody Rossii i Rosprirodnadzor, 2008. 855 p.
- Krasnaya kniga Respubliki Kareliya [Red Data Book of the Republic of Karelia]. Belgorod: Konstanta, 2020. 448 p.
- Kuznetsov O. L. Redkie i okhranyaemye rasteniya bolot Paanayarvskogo natsional'nogo parka [Rare and protected bogs plants in the Paanajärvi National Park]. *Priroda i ekosistemy Paanayarvskogo natsional'nogo parka* [Nature and ecosystems of the Paanajärvi National Park]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 1995. P. 34–39.
- Nauchnoe obosnovanie razvitiya seti osobo okhranyaemykh prirodnikh territorii v Respublike Kareliya [Scientific substantiation of the development of a network of specially protected natural areas in the Republic of Karelia]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2009. 112 p.
- Nikol'skii G. V. Struktura vida i zakonomernosti izmenchivosti ryb [The structure of the species and patterns of variability of fish]. Moscow: Pishch. prom-t', 1980. 184 p.
- Osobennosti prirodnikh kompleksov Muezerskogo raiona i ikh ispol'zovanie dlya razvitiya ekologicheskogo turizma [Features of natural complexes of the Muezersky District and their use for the development of ecological tourism]. Ed. A. N. Gromtsev. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2004. 28 p.
- Osobo okhranyaemye prirodnye territorii Respubliki Kareliya [Specially protected natural areas of the Republic of Karelia]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2017. 432 p.
- Prirodnye komplekсы Vepsskoi volosti: prirodnye osobennosti, sovremennoe sostoyanie, okhrana i ispol'zovanie [Natural complexes of the Vepsian volost (region): natural features, modern state, protection, and use]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2005. 280 p.
- Prirodnye komplekсы gory Vottovaara: osobennosti, sovremennoe sostoyanie, sokhranenie [Natural complexes of Vottovaara Mountain: features, current state, and conservation]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2009. 158 p.
- Sterligova O. P., Il'mast N. V. Raznoobrazie vodnykh ekosistem Zelenogo poyasa Fennoskandii (Respublika Kareliya) [Diversity of aquatic ecosystems of the Green Belt of Fennoscandia (Republic of Karelia)]. *Trudy KarNTs RAN* [Transaction KarRC RAS]. 2014. No. 6. P. 116–122.
- Auer V. Suotutkimuksia Kuusamon ja Kuolajarven vaara-alueilta. *Comm. Inst. Quaest. Forest. Finnl.* 1922. No. 6(1). P. 1–368.
- Merikallio E. Über regionale Verbreitung und Anzahl der Landvögel in Süd- und Mittelfinland, besonders in deren östlichen Teilen, im Lichte von quantitativen Untersuchungen. I. Allgemeiner Teil. *Ann. Zool. Soc. "Vanamo"*. 1946. Vol. 12, no. 1. P. 3–143.
- Soveri J. Himolan salon kaakkoisosan ja sitä ympäröivien kyläalueiden linnustosta. *Ornis Fennica*. 1942. Vol. 19, no. 4. P. 97–117.

Received April 12, 2021

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Громцев Андрей Николаевич

главный научный сотрудник, д. с.-х. н.
Отдел комплексных научных исследований КарНЦ РАН
заведующий лаб. ландшафтной экологии и охраны лесных экосистем
Институт леса КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: gromtsev@krc.karelia.ru
тел.: (8142) 768160

Бахмет Ольга Николаевна

председатель КарНЦ РАН, руководитель и главный научный сотрудник, чл. -корр. РАН, д. б. н.
Отдел комплексных научных исследований КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: bahmet@krc.karelia.ru
тел.: (8142) 766040

Петров Николай Владимирович

научный сотрудник, к. с.-х. н.
Отдел комплексных научных исследований КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: nvpetrov@krc.karelia.ru

Кравченко Алексей Васильевич

старший научный сотрудник, к. б. н.
Отдел комплексных научных исследований КарНЦ РАН
ведущий научный сотрудник лаб. ландшафтной экологии и охраны лесных экосистем
Институт леса КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: alex.kravchen@mail.ru

Кузнецов Олег Леонидович

главный научный сотрудник, д. б. н.
Отдел комплексных научных исследований КарНЦ РАН
главный научный сотрудник лаб. болотных экосистем
Институт биологии КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: kuznetsov@krc.karelia.ru

CONTRIBUTORS:

Gromtsev, Andrey

Department for Multidisciplinary Scientific Research,
Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences
Forest Research Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: gromtsev@krc.karelia.ru
tel.: (8142) 768160

Bakhmet, Olga

Department for Multidisciplinary Scientific Research,
Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: bahmet@krc.karelia.ru
tel.: (8142) 766040

Petrov, Nikolai

Department for Multidisciplinary Scientific Research,
Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: nvpetrov@krc.karelia.ru

Kravchenko, Alexey

Department for Multidisciplinary Scientific Research,
Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences
Forest Research Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: alex.kravchen@mail.ru

Kuznetsov, Oleg

Department for Multidisciplinary Scientific Research,
Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences
Institute of Biology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: kuznetsov@krc.karelia.ru

УДК 630:502.51:574.1:574.5:581.9

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ МАЛЫХ РЕК СРЕДНЕТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЫ КАРЕЛИИ

**С. М. Синькевич¹, Д. А. Ефремов², В. В. Тимофеева¹, В. А. Ананьев¹,
Н. В. Ильмаст², А. Н. Солодовников¹, М. А. Ручьев²**

¹ Институт леса КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

² Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

Выполнено комплексное обследование впадающих в Онежское озеро трех малых рек, собрана информация о водной биоте, породно-возрастной структуре прибрежных лесов и их флористическом разнообразии, почвах. В качестве интегральной оценки экологического состояния водотоков использованы показатели состава ихтиофауны рек, и в частности – рыб семейства Лососевые (*Salmonidae*). В реках и прибрежных лесных сообществах выявлен 181 вид сосудистых растений (из них 11 – макрофиты), 11 видов мхов, 2 вида лишайников; ихтиофауна представлена 9 видами рыб. В целом прибрежные леса характеризуются довольно широким диапазоном типологического разнообразия. Здесь встречаются древостои от бедных багульниковых (V класс бонитета) до максимально производительных кисличных типов леса (III–I классы бонитета). Анализ породно-возрастной структуры лесов водоохранных зон выявил преобладание в их составе древостоев хвойных пород, отличающихся хорошим состоянием и устойчивостью. Выявлены достоверные статистические связи наличия ихтиофауны с породным составом и таксационными показателями произрастающих по берегам рек древостоев, морфологическими характеристиками почв, видовым разнообразием живого напочвенного покрова и макрофитов. Установлено, что по видовому разнообразию береговая и водная биоты положительно коррелируют между собой. Отрицательная корреляция численности ихтиофауны отмечена по отношению к некоторым характеристикам почв прибрежных лесов (мощность подстилки, подзолистый горизонт), при положительной связи с мощностью гумусового горизонта. Значимые положительные связи выявлены между гидробионтами (рыба, зообентос) и большинством гидрологических параметров водотока. Полученная актуальная информация о различных компонентах водно-лесных экосистем важна для понимания роли малых водотоков, которые наряду с немногочисленными официально признанными «нерестовыми» реками являются экологической нишей для жизненного цикла лососевых рыб Северо-Запада России.

К л ю ч е в ы е с л о в а: прибрежные леса; ихтиофауна; зообентос; древостои; породный состав; почва; живой напочвенный покров; биоразнообразие; устойчивость.

**S. M. Sinkevich, D. A. Efremov, V. V. Timofeeva, V. A. Ananyev,
N. V. Ilmast, A. N. Solodovnikov, M. A. Ruch'ev. AN ECOLOGICAL
ASSESSMENT OF THE STATE OF SMALL RIVERS IN THE MIDDLE TAIGA
SUBZONE OF KARELIA**

A multidisciplinary survey of three small rivers emptying to Lake Onego was carried out; information was collected regarding the aquatic biota, the species and age structure of ri-

riparian forests, their floristic diversity, and soils. The integral indicator chosen to assess the ecological condition of the watercourses was the characteristics of the rivers' fish fauna, in particular fish of the *Salmonidae* family. Surveys of the rivers and riparian forest communities yielded records of 181 vascular plant species (11 of them macrophytes), 11 moss species, 2 lichen species; the fish fauna was made up of 9 species. Overall, the riparian forests featured a relatively wide range of typological diversity. The tree stands varied from the poor *Ledum* types (site class V) to the most productive *Oxalis* types (site classes III–I). Analysis of the tree species and age structure of forests in the riparian buffers revealed a prevalence of stable coniferous tree stands in good condition. Statistically reliable correlations were detected between the fish fauna and the tree species composition and inventory characteristics of the riparian forest stands, soil morphological characteristics, and the species diversity of the living ground cover and macrophytes. The species diversity of the riparian and the aquatic biotas were found to correlate positively with each other. Fish numbers were seen to negatively correlate with some characteristics of riparian forest soils (forest floor thickness, podzolic horizon), while the correlation with the humus horizon thickness was positive. Significant positive correlations were identified between aquatic organisms (fish, zoobenthos) and a majority of the stream's hydrological parameters. The resultant up-to-date information about water-forest system components is important for understanding the role of small streams, which, alongside the scant officially recognized "spawning" rivers, are an ecological niche in the life cycle of salmonid fishes in Northwest Russia.

Key words: riparian forest; fish fauna; zoobenthos; forest stands; tree species composition; soil; living ground cover; biodiversity; resilience.

Введение

Экологическое состояние водного объекта в значительной мере определяется функционированием биоты, для которой он является средой обитания. В качестве интегральной оценки может быть использовано состояние организмов, находящихся на вершине пищевой пирамиды [Одум, 1975; Sedell et al., 1994; Jungwirth et al., 2000], каковыми для рек Северо-Запада РФ являются рыбы семейства Лососевые (*Salmonidae*). Условия обитания и воспроизводства ценных пресноводных и проходных лососевых рыб определяются различными параметрами водной среды, наличием пищи и т. д., которые в свою очередь связаны с окружающей средой. Особое значение при этом имеет наличие на берегах леса, как источника древесного опада и сопутствующих ему беспозвоночных [Gustafsson et al., 2014; Enefalk et al., 2019]. Существенное влияние на формирование водного, термического, гидрохимического режима рек, на условия питания рыб оказывают как леса водосборного бассейна в целом, так и леса, растущие непосредственно по берегам рек [Сирин, 1981; Dale Jones et al., 1999; Inoue, Nakano, 2001; Kanno et al., 2015; Teixeira-deMello et al., 2016]. Структура прибрежного лесного покрова, который по своей природе отличается неоднородностью, способствует поддержанию разнообразия водной биоты [Dale Jones et al., 1999; Burcher et al., 2008]. Оценка экосистемного значения сложного объекта, чем и являются вод-

но-лесные комплексы [Методические..., 2010; Penaluna et al., 2017], может потребовать разностороннего и длительного изучения как минимум основных его составляющих. Неизбежным фактором влияния на прибрежные леса является хозяйственная деятельность человека, причем малым рекам и их притокам зачастую уделяется недостаточно внимания [Scheurer et al., 2009], особенно при прокладке пересекающих их транспортных путей [Kishi et al., 2004], что приводит к заиливанию русла, отрицательно влияющему на условия размножения лососевых рыб. Для покрытых лесом земель Карелии характерно наличие чрезвычайно разветвленной сети малых водотоков, не числящихся значимыми в рыбохозяйственном отношении, но потенциально являющихся местом обитания ценных пород рыб. Экология семейства *Salmonidae* давно изучается во всем мире, и в том числе в Карелии [Шустов, 1995; Шустов и др., 2011, 2016; Барышев и др., 2020], но в приложении к конкретным регионам характеристики их нерестовых местообитаний еще требуют исследования [Nika et al., 2011]. Поэтому для планирования хозяйственной деятельности на лесных землях безусловно актуальным направлением является разработка и адаптация к конкретным природно-хозяйственным условиям методик [Henrikson, 2018], которые позволяют объективно определять экологическое состояние и природоохранную ценность малых рек.

Целью работы была комплексная оценка водно-лесных экосистем малых рек, являю-

щихся ключевым звеном в цепи формирования качества вод поверхностных пресноводных объектов.

В ходе исследования решались две основные задачи:

- получить актуальные данные о состоянии и возможных взаимосвязях основных компонентов водно-лесных экосистем малых рек;
- протестировать полевую методику оценки малых рек, изначально разработанную WWF Швеции [Bleckert et al., 2011] для условий бассейна Балтийского моря.

В качестве результирующего показателя экологического состояния обследуемых рек принято наличие рыб ценных пород, являющихся одновременно и индикатором качества водотока, и целевой функцией ведения хозяйства. Основопологающим при выполнении исследования был принцип системности и взаимной значимости водотока и лесов по его берегам [Сирин, 1981; Henrikson, 2018].

Материалы и методы

Для обследования по результатам анализа фондовых и картографических материалов были отобраны три по возможности транспортно доступных пилотных водотока, в которых потенциально могут обитать ценные виды рыб. Для этих рек и лесов в километровой полосе вдоль них по доступным материалам [Ресурсы..., 1972; Каталог..., 2001; Лесохозяйственный..., 2011; Государственный..., 2020] составлены основные морфометрические и ихтиологические характеристики.

Река Чёба (Чёбинка) протекает по незаселенной местности в Кондопожском районе Карелии и впадает в Чеболакшскую губу Онежского озера (62°14'20.2" с. ш. 34°32'48.6" в. д.), перепад высот – 175 м. Длина реки составляет 20 км. Ширина русла в среднем 5 м, скорость течения 0,2–0,6 м/с. В реке обитают два вида рыб – кумжа (*Salmo trutta*) и обыкновенный голец (*Phoxinus phoxinus*).

В километровой полосе вдоль реки на всем ее протяжении отмечено преобладание древостоев хвойных пород, которые занимают 79,9–83,4 % общей лесопокрытой площади. При этом в верхнем течении реки значительные площади заняты ельниками. Далее по течению их доля постепенно снижается до 49,2 % (устье), а присутствие сосновых насаждений увеличивается с 12,4 % в верховье до 30,7 % в низовье, что обуславливает стабильное и высокое участие хвойных пород, наличие которых особенно важно для водоохранных лесов [Побединский, 1979]. Среди сосновых и еловых

лесов преобладают молодняки и средневозрастные насаждения. В лиственных лесах (березняки, осинники) доминируют спелые и перестойные древостои. В целом вдоль р. Чёба преобладают черничные типы леса. Доля продуктивных насаждений I–III класса бонитета увеличивается с 23 % в верховье до 55 % в низовье. Переувлажненные местообитания (долгомошные, сфагновые, осоково-сфагновые, багульниковые типы леса) в пределах преобладающих пород занимают 11,8 %.

Река Орзег берет начало в болотах западнее озера Орзегское и впадает в Деревянскую бухту Онежского озера (61°38'48.3" с. ш. 34°35'32.8" в. д.). Длина реки 15 км. Река местами быстрая и порожистая, перепад высот 110,5 м. Протекает по лесистой заболоченной местности. В нижнем течении имеет порогово-перекатные участки с галечно-валунным грунтом. Ширина русла в среднем 6–7 м, местами до 12 м, скорость течения 0,3–0,9 м/с. В среднем и нижнем течении вдоль реки расположены дачные поселки. Ихтиофауна водотока представлена четырьмя видами: кумжа, подкаменщик (*Cottus gobio*), речная минога (*Lamprpetra fluviatilis*), девятииглая колюшка (*Pungitius pungitius*).

Леса в километровой полосе вдоль реки относятся к нерестоохранным [Лесохозяйственный..., 2011]. В них преобладают хвойные насаждения, которые занимают 71,1 % (в т. ч. ель – 54,7 %, сосна – 16,4 %) общей лесопокрытой площади. Доля лиственных пород составляет 25,6 % (береза – 22,7 %). Древостои характеризуются разнообразием породного состава и возраста, который варьирует от 10 до 180 лет. Площадь лесов до 60-летнего возраста невелика. Наиболее представлены древостои в возрасте 60–100 лет; в значительном количестве присутствуют перестойные (120–160 лет) ельники.

Преобладающей древесной породой в лесах верхнего течения р. Орзег является ель (72,4 %). В средней и нижней части лиственные породы занимают от 33 % лесопокрытой площади. По-видимому, этому способствовали интенсивная в прошлом вырубка лесов в связи с использованием реки для сплава древесины и последующее естественное зарастание лиственными породами, в результате которого сформировались продуктивные березняки кисличные I–II классов бонитета. В целом лесные местообитания вдоль р. Орзег характеризуются довольно широким типологическим диапазоном. Здесь встречаются древостои от бедных багульниковых (V класс бонитета) до высокопродуктивных кислич-

ных типов леса (I–III классы бонитета). Ельники представлены в основном продуктивными насаждениями (75,3 % черничного и 18,1 % кисличного типа). Среди сосновых насаждений встречается более 35 % переувлажненных типов, а продуктивные сосняки черничные составляют 53,5 %.

Река Пухта берет начало в болоте Пух, из-за особенностей рельефа течет на юго-восток, а затем круто поворачивает на северо-восток и впадает в Пухтинскую губу Онежского озера (61°33'18.2" с. ш. 34°47'55.9" в. д.). Протяженность реки 25 км, перепад высот 116 м. В 10 км от устья имеется левобережный приток – река Пухтица. Ширина ее русла в среднем 4 м, скорость течения 0,2–0,6 м/с. Ихтиофауна включает семь видов: кумжа, обыкновенный голянь, подкаменщик, усатый голец (*Barbatula barbatula*), европейский хариус (*Thymallus thymallus*), щука (*Esox lucius*) и речной окунь (*Perca fluviatilis*).

Хвойные и лиственные леса в километровой зоне вдоль р. Пухта занимают примерно одинаковые площади. Березняки и сосняки представлены в основном производными лесами. Распределение площади ельников по возрастным группам довольно равномерное; перестойные древостои (старше 140 лет) представлены незначительно. Породный состав лесов в верхнем и нижнем течении р. Пухта характеризуется относительно высокой представленностью хвойных пород (до 57 %). В среднем течении наибольшие площади заняты лиственными (58 %) спелыми и перестойными короткопроизводными лесами.

Леса вдоль р. Пухта отличаются богатством условий местопроизрастания. Так, среди березняков наиболее встречаемый кисличный тип леса занимает 70 % от общей площади лиственных насаждений. Варьирование березняков кисличных и травяно-злаковых на всем протяжении рек от верховья до устья составляет 66–97 %. Ельники кисличные и черничные представлены равными долями. Значительное присутствие сосняков долгомошных отмечено в верхнем течении реки, где сосредоточено 46 % общей площади сосновых насаждений. Высокопродуктивные древостои I–III классов бонитета составляют 100 % березняков, 41 % ельников и 47 % сосняков. Доля переувлажненных местообитаний составляет 40,4 % от общей площади сосновых лесов. В целом существующая возрастная структура и породный состав лесов вдоль р. Пухта не полностью соответствуют выполнению их водоохранным защитным функций из-за высокой представленности лиственных насаждений.

Для натурного обследования на пилотных водотоках были назначены 500-метровые ключевые участки, расположенные в нижнем, среднем и верхнем течении каждой реки, выбранные по принципу близкого соответствия средней характеристике лесов в километровой полосе вдоль данного участка реки. Каждый 500-метровый участок разделялся на 100-метровые учетные отрезки, обследуемые по отдельности. В общей сложности описано 45 учетных отрезков, на которых фиксировалась следующая информация:

- таксационные характеристики произрастающих по берегам лесов (породный состав, возраст, высота, относительная полнота, древесный запас, класс бонитета);
- видовой состав и проективное покрытие травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов как индикаторов экологических условий (влажность, открытость, плодородие), в водотоках учитывалось наличие макрофитов;
- морфологические характеристики почв: мощность горизонтов, механический состав, влажность;
- наличие ихтиофауны, в том числе ценных пород рыб;
- наличие зообентоса;
- фракционный состав донного субстрата.

Полевые исследования наземных экосистем охватывали 50-метровые водоохранные полосы, характеристики которых в таксационных описаниях, содержащихся в Государственном лесном реестре, сформированы синтетически при камеральном выделении этих полос. В то же время прирусловые лесные биогеоценозы закономерно отличаются от окружающих лесов как минимум по гидрологическому режиму, что делает необходимым проведение их натурной оценки.

Для определения таксационных показателей древостоев на каждом 100-метровом учетном отрезке на двух-трех реласкопических площадках измеряли сумму площадей сечений древостоя по породам и ярусам, измеряли высоту средних по диаметру деревьев и отбирали буровом Пресслера керны для определения возраста. В контексте цели исследования высота древостоя является не только стандартным показателем продуктивности, но также имеет значение для оценки зоны влияния на ихтиофауну в плане поступления в воду древесного опада [Sedell et al., 1994]. Относительную полноту, запас древесины и класс бонитета определяли по стандартным таблицам [Лесотаксационный..., 2012].

Геоботаническое описание живого напочвенного покрова лесов проводилось классиче-

ским методом – фиксировали наличие видов и глазомерно определяли их проективное покрытие [Полевая..., 1964]. В сформированных списках видов сосудистых растений выделяли согласно литературным данным [Раменская, 1983; Папченков, 2001] экологические группы по отношению к условиям увлажнения и плодородию почв. Редкие и интересные в фито-географическом отношении виды растений для уточнения видовой принадлежности были гербаризированы.

В наиболее характерном месте каждого учетного отрезка закладывали почвенный разрез, в котором выполняли описание почвы по генетическим горизонтам, фиксируя их мощность, цвет, механический состав, влажность, плотность, структуру, наличие корней и включений, характер перехода между горизонтами [Федорец, 2010]. На основании этих сведений определяли типологическую принадлежность почв согласно их региональной классификации [Морозова, 1991].

Визуальное определение наличия ихтиофауны и ее видовой идентификация в малых реках в большинстве случаев затруднены в связи со значительной цветностью воды. Поэтому при проведении учета применялись аппарат электролова FA-2 (Норвегия) и подловные сачки. Облов одного участка проводили в трехкратной повторности по стандартной методике, что позволяло учесть до 97 % рыб [Zippin, 1958; Клыпато и др., 1987]. Расчеты распределения плотности молоди выполнялись по методу удаления [Zippin, 1958].

Оценка численности зообентоса выполнялась методом переворота средних валунов, расположенных в потоке, и подсчета на них типичных представителей (личинка ручейника, поденки и др.).

Для определения фракционного состава донного субстрата применяли фотографирование линейки с сантиметровой шкалой на фоне преобладающего типа грунта на обсохшем участке реки. Оценка присутствия фракций выполнялась в камеральных условиях в процентах от площади фотоснимка по стандартной шкале: песок (до 2,5 мм), галька мелкая (2,5–5 мм), галька средняя (5–10 мм), галька крупная (10–25 мм), валун мелкий (25–50 мм), валун средний (50–100 мм), валун крупный (10–50 см), глыбы [Веселов, Калюжин, 2001].

В ходе полевых исследований тестировалась методика WWF Швеции и Шведского агентства лесного хозяйства Blue targeting ToolBox [Henrikson, 2018], рассчитанная на выполнение обследований неспециалистами путем заполнения стандартной анкеты и последующе-

го суммирования балльных оценок. Перечень фиксируемой в анкетах информации включал ширину русла, наличие водопадов и турбулентных участков течения, характеристику донного субстрата, присутствие в воде мертвой древесины, естественность и возрастную стадию прибрежных древостоев, степень чистоты вод, признаки антропогенного воздействия и эрозии берегов. Полученные оценки объединялись в числовые показатели природной ценности (Conservation), ненарушенности (Impact) и чувствительности (Sensitivity) экосистемы, соотношение которых является основанием для выбора типового сценария проведения хозяйственных мероприятий.

Вся собранная в ходе полевых работ информация была сгруппирована в двумерные матрицы, и с использованием корреляционного анализа средствами программного пакета Statistica 10 исследовано наличие связей целевой функции (видовое богатство ихтиофауны) со всеми учтенными факторами. Полученные матрицы коэффициентов корреляции анализировались с учетом реальности биологической содержательности выявленных связей.

Результаты и обсуждение

Обобщенная характеристика пилотных водотоков по результатам исследования

Древостои в прибрежных полосах вдоль обследованных рек в целом незначительно различаются по среднему возрасту (80, 115 и 125 лет) и породному составу, но заметно разнятся по средней продуктивности, что обусловлено характеристиками почв, зависящими от минерального состава почвообразующих пород и уровня дренированности территории. Наилучшей средней производительностью отличаются древостои вдоль р. Орзег – II класс бонитета (260 м³/га); насаждения вдоль р. Пухта характеризуются III классом бонитета (230 м³/га), а вдоль р. Чёба преобладают древостои IV класса бонитета (205 м³/га). В соответствии с уровнем плодородия почв меняется участие в составе древостоев осины (0,2–1,3–2,6 ед. состава), которая активно захватывает наиболее плодородные местообитания, но в то же время является далеко не лучшей породой с точки зрения выполнения водорегулирующих функций.

Почвенный покров вдоль русла р. Орзег сформирован на хорошо дренированных (средний перепад высот 11 м/км русла) супесчаных (песчаных) моренных отложениях и в основном представлен супесчаными и песчаным подзо-

лами, но в нижнем течении реки преобладают подбуры.

Почвы вдоль р. Пухта сформировались в условиях более равнинного рельефа (средний перепад высот 6,4 м/км) и худшей дренированности и под влиянием более выраженного задержания из-за периодических разливов реки, однако преобладают в верхнем и среднем течении также песчаные и супесчаные подзолы. В нижнем течении, как и вдоль р. Орзег, преобладают подбуры.

В большинстве почв вдоль рек Орзег и Пухта протекают иллювиальные процессы, характерные для дренированных таежных почв в умеренно-холодном гумидном климате. Наличие выраженного подподстилочного гумусового горизонта свидетельствует о процессах гумусонакопления и является типичным для приречных участков.

Почвы в приречной зоне р. Чёба формировались под значительным влиянием рельефа, для которого характерно наличие системы разломов скального основания, вытянутых с северо-запада на юго-восток [Атлас..., 1989]. Поэтому там преобладают избыточно увлажненные дерново-перегнойно-глеевые и торфянистые почвы и только в нижнем течении доминируют подзолы. В результате общий уровень лесорастительных свойств почв вдоль реки невысок.

Живой напочвенный покров прирусловой части изученных малых рек характеризуется высоким флористическим разнообразием. Здесь, в различных типах леса, на участках прибрежных лугов и в водной среде зарегистрирован 181 вид сосудистых растений. Наибольшим разнообразием отличаются прибрежные участки рек Пухта (137 видов) и Чёба (126 видов), что может быть связано с более вариабельным спектром местообитаний в прибрежной полосе данных рек и частыми выходами грунтовых вод на дневную поверхность. Вдоль русла р. Орзег (94 вида сосудистых растений) преобладают главным образом еловые леса черничной и кисличной групп типов леса, с характерными для них доминантами покрова – черникой (*Vaccinium myrtillus*), брусникой (*Vaccinium vitis-idaea*) и кислицей обыкновенной (*Oxalis acetosella*). В то же время живой напочвенный покров лесов по рекам Пухта и Чёба, в зависимости от типа леса, характеризуется богатым разнотравьем (часто – крупнотравьем), что объясняется резко контрастными условиями береговой линии – от полностью равнинных заливаемых участков до сравнительно высоких моренных береговых валов с различной крутизной склонов. В полосе леса вдоль уреза воды нередко такие виды, требовательные к почвен-

ному плодородию или повышенному увлажнению, как борец северный (*Aconitum septentrionale*), медуница неясная (*Pulmonaria obscura*), скерда болотная (*Crepis paludosa*) и др. Флора верхнего течения р. Орзег резко отличается от флоры среднего и нижнего (в 2 и 4 раза беднее) участков русла, что объясняется преобладанием в верхнем течении реки изначально маловидовых в ботаническом отношении перестойных ельников черничных. Реки Пухта и Чёба более однородны по своему флористическому составу на всем протяжении. Мохово-лишайниковый ярус лесов прибрежных участков рек более консервативен в своем составе: на трех реках выявлены в общей сложности 13 видов мхов и лишайников, из которых повсеместно в покрове по общему проективному покрытию преобладают плевроциум Шребера (*Pleurozium schreberi*), гилокомиум блестящий, (*Hylocomium splendens*), ритидиладельфус трехгранный (*Rhytidiadelphus triquetrus*) и сфагнум Гиргензона (*Sphagnum girgensohnii*).

Водная флора (макрофиты) изученных рек представлена крайне слабо, что в целом характерно для рек региона и согласуется с данными других исследователей [Комулайнен, 1978, 1990; Сергиенко, 2006]. В ходе выполненной работы зарегистрированы только 11 видов сосудистых растений, которые встречаются спорадически или единично: элодея канадская (*Elodea canadensis*), кубышка желтая (*Nuphar lutea*), кувшинка чисто-белая (*Nymphaea candida*), ежеголовник узколистный (*Sparganium angustifolium*), болотник болотный (*Callitriche palustris*) и др. Среди мохообразных на камнях в руслах рек нередко распространенный в Карелии гидрофильный вид фонтиналис противопожарный (*Fontinalis anti-pyretica*) и представители отдела Печеночные мхи (*Hepaticophyta*).

Все три обследованные реки являются типично кумжевыми водотоками, во всех трех обнаружена молодь кумжи. Наибольшие запасы данного вида рыб регистрировались в р. Орзег, на которой слабее проявляется деятельность бобров. В данном водотоке кумжа распространена как в нижнем, так и в среднем течении. Наименьшее количество кумжи обнаружено в р. Пухта, где в среднем и верхнем течении имеются бобровые плотины, нарушающие миграционные пути рыб. При этом подтопленные торфяные берега служат источником избыточной органики, приводящей к заилению типичных нерестилищ кумжи. Похожая ситуация наблюдается на р. Чёба, вдоль которой встречаются подтопленные участки леса и заиленные берега.

Количество и разнообразие бентосных организмов увеличивается по мере продвижения от верхних участков к нижним. В верховье организмы либо отсутствуют, либо представлены единично, в низовье их разнообразие и количество максимально. На участках, измененных действиями бобров (плотины, подтопление нерестилищ и берегов), разнообразие бентосных организмов снижалось. Антропогенное воздействие на все три водотока минимально и проявляется в виде незначительного количества мусора вблизи дачных поселков, а также переувлажнения рыбы.

В результате корреляционного анализа выявлен ряд связей состава и численности гидробионтов в обследованных реках с зарегистрированными параметрами прибрежных зон (табл. 1–4).

Связь с таксационными показателями древостоев характеризуют коэффициенты корреляции, приведенные в табл. 1. В обследованных реках видовое богатство ихтиофауны значимо положительно коррелирует с общим запасом произрастающих по берегам древостоев, и в особенности – с запасом сосны и березы, формирующих более сквозистый полог крон. При этом для кумжи характерно «отрицательное отношение» к ельникам. Аналогична связь с общим запасом древостоя связь с его высотой и отрицательная связь с классом бонитета, значение которого увеличивается с ухудшением роста. В то же время

не все виды рыб одинаково связаны с этими показателями – для налима предпочтительны ельники, создающие более темный полог. В то же время важно не наличие ели само по себе, так как присутствие ели нижних ярусов положительно сказывается на присутствии кумжи и голяна. По-видимому, в данном случае оно отражает повышенный потенциал плодородия почв. Преимущественно слабо отрицательная связь для всех пород рыб выявлена с возрастом древостоев и с наличием осины в их составе. Относительная полнота в данном случае является расчетным показателем, который неоднозначно связан с плотностью полога крон, и потому его влияние оказывается малозначимым.

Представленность зообентоса, как и ихтиофауны, положительно, но слабо коррелирует с общим запасом и запасом сосны и отрицательно – с возрастом древостоев.

Связь с характеристиками живого напочвенного покрова (табл. 2) следует понимать как возможное влияние совокупности почвенных условий и древостоя, индикаторами которых являются видовое разнообразие и степень развития травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов. Видовое разнообразие живого напочвенного покрова и ихтиофауны достоверно и положительно коррелируют друг с другом, в то же время связь с проективным покрытием мхов, вызывающих закисление и дефицит кислорода почвенной влаги, отрицательна. Также положительны связи с наличием группы

Таблица 1. Корреляция численности гидробионтов с характеристиками древостоев

Table 1. Correlation of the number of hydrobionts with the forest stands characteristics

Гидробионты Hydrobionts	Возраст, лет Age, year	Высота, м Height, m	Класс бонитета Site quality	Полнота Density	Запас, м³/га Growing stock, m³/ha					
					Общий Total	Сосна Pine	Ель I яруса Spruce I layer	Ель II яруса Spruce II layer	Береза Birch	Осина Aspen
Число видов рыб Fish species number	–0,21	0,34	–0,30	0,21	0,54	0,33	–0,09	0,21	0,38	0,00
<i>Salmo trutta</i>	–0,25	0,31	–0,36	–0,03	0,26	0,42	–0,38	0,32	0,21	0,21
<i>Cottus gobio</i>	–0,25	0,08	–0,09	0,34	0,41	0,30	–0,06	0,14	0,40	–0,16
<i>Barbatula barbatula</i>	–0,10	0,35	–0,23	0,11	0,50	0,28	0,04	0,14	0,17	0,02
<i>Phoxinus phoxinus</i>	0,04	0,46	–0,18	0,04	0,49	0,49	–0,23	0,32	0,36	0,02
<i>Pungitius pungitius</i>	0,02	0,46	–0,30	0,11	0,49	0,19	–0,14	0,21	0,46	0,06
<i>Lota lota</i>	–0,18	–0,04	–0,11	0,11	0,13	–0,18	0,32	–0,17	–0,17	0,01
<i>Lampetra fluviatilis</i>	–0,25	0,06	–0,15	0,37	0,37	0,01	0,09	0,01	0,40	–0,14
Зообентос Zoobenthos	–0,29	0,22	–0,21	0,18	0,43	0,36	–0,09	0,23	0,29	–0,06

Примечание. Здесь и далее значения коэффициентов корреляции, выделенные жирным шрифтом, значимы на уровне $p < 0,05$.
Note. Here and in the other tables: values in bold are significant at $p < 0,05$.

Таблица 2. Корреляция численности гидробионтов с характеристиками живого напочвенного покрова

Table 2. Correlation of the number of hydrobionts with the ground vegetation characteristics

Гидробионты Hydrobionts	Число видов Species number		Проективное покрытие Coverage degree		Число видов-индикаторов Habitat indicators number			Число видов макрофитов Macrophyts number
	трав и кустарничков grass and undershrubs	мхов mosses	трав и кустарничков grass and undershrubs	мхов mosses	избыточного увлажнения surplus moisture	плодородия fertility	открытых пространств open space	
Число видов рыб Fish species number	0,53	0,52	0,18	0,14	0,36	0,33	0,58	0,21
<i>Salmo trutta</i>	0,29	0,39	-0,21	-0,21	0,27	-0,08	0,27	0,42
<i>Cottus gobio</i>	0,52	0,34	0,07	-0,17	0,40	0,21	0,54	0,27
<i>Barbatula barbatula</i>	0,42	0,42	0,40	0,00	0,27	0,41	0,40	0,15
<i>Phoxinus phoxinus</i>	0,37	0,33	0,15	-0,14	0,31	0,16	0,28	0,34
<i>Pungitius pungitius</i>	0,32	0,41	0,14	-0,16	0,18	0,28	0,37	-0,02
<i>Lota lota</i>	0,17	0,22	0,38	0,15	0,02	0,38	0,23	-0,19
<i>Lampetra fluviatilis</i>	0,46	0,42	0,07	-0,10	0,23	0,35	0,69	-0,08
Зообентос Zoobenthos	0,45	0,38	-0,04	-0,10	0,29	0,35	0,50	0,25

Таблица 3. Корреляция численности гидробионтов с характеристиками почв

Table 3. Correlation of the number of hydrobionts with the riparian soil characteristics

Гидробионты Hydrobionts	Мощность почвенных горизонтов Soil layer thickness			Механ. состав Soil texture	Влажность Moisture	Глубина горизонта В B-layer depth
	A0	A1	A2			
Число видов рыб Fish species number	-0,38	0,47	-0,43	-0,36	-0,57	0,50
<i>Salmo trutta</i>	-0,32	0,34	-0,26	-0,39	-0,56	0,39
<i>Cottus gobio</i>	-0,32	0,38	-0,42	-0,22	-0,54	0,47
<i>Barbatula barbatula</i>	-0,20	0,32	-0,34	-0,22	-0,34	0,19
<i>Phoxinus phoxinus</i>	-0,20	0,23	-0,34	-0,17	-0,50	0,29
<i>Pungitius pungitius</i>	-0,28	0,37	-0,29	-0,29	-0,42	0,42
<i>Lota lota</i>	-0,06	0,19	-0,09	-0,11	0,10	-0,06
<i>Lampetra fluviatilis</i>	-0,39	0,43	-0,33	-0,31	-0,42	0,68
Зообентос Zoobenthos	-0,49	0,46	-0,33	-0,51	-0,50	0,49

гидрофильных видов (калужница болотная *Caltha palustris*, уруть очередноцветковая *Myriophyllum alterniflorum*, хвощ топяной *Equisetum fluviatile* и др.), индикаторами плодородия почвы (кочедыжник женский *Athyrium filix-femina*, страусник обыкновенный *Matteuccia struthiopteris*, фиалка удивительная *Viola mirabilis* и др.) и открытых (луга, опушки) пространств (вероника дубравная *Veronica chamaedrys*, норичник узловатый *Scrophularia nodosa*, пахучеколосник душистый *Anthoxanthum odoratum* и др.), присутствие которых свидетельствует о повышенной сквозистости полога крон. При этом для кумжи характер выявленных связей отличается в основном незначительностью или обратным знаком.

Связь присутствия зообентоса с видовым разнообразием трав и мхов положительная,

а по остальным параметрам единство отсутствует. Также значима связь с индикаторами плодородия и открытых пространств.

Связь с характеристиками почв прибрежных лесов (табл. 3) представлена по большей части значимыми отрицательными корреляциями ихтиофауны в отношении мощности подстилки (A0) и подзолистого (A2) горизонта, соответствующих кислой реакции почвенной влаги. Также отрицательно влияют на разнообразие ихтиофауны тяжелый механический состав почвы и ее избыточное увлажнение. Однозначно положительной является связь с мощностью гумусового горизонта (A1), свидетельствующей об интенсивности биологических процессов разложения подстилки. Все сказанное в равной мере относится к показателю обилия зообентоса.

Таблица 4. Корреляция численности гидробионтов с оценками Blue Targeting ToolBox

Table 4. Correlation of the number of hydrobionts with the BT-ToolBox final values

Гидробионты Hydrobionts	Ширина русла Channel width	Размер частиц субстрата Substrate particles size	Природная ценность Conservation	Ненарушенность Impact	Чувствительность Sensitivity
Число видов рыб Fish species number	0,42	0,57	0,69	0,44	-0,02
<i>Salmo trutta</i>	0,52	0,47	0,61	0,52	-0,21
<i>Cottus gobio</i>	0,53	0,66	0,56	0,41	-0,24
<i>Barbatula barbatula</i>	0,12	0,29	0,51	0,16	0,22
<i>Phoxinus phoxinus</i>	0,22	0,41	0,52	0,39	0,02
<i>Pungitius pungitius</i>	0,16	0,35	0,45	0,47	0,09
<i>Lota lota</i>	-0,08	-0,06	0,12	-0,23	0,28
<i>Lampetra fluviatilis</i>	0,43	0,55	0,49	0,32	-0,10
Зообентос Zoobenthos	0,60	0,72	0,80	0,35	-0,11

Связи показателей присутствия гидробионтов с характеристиками водотока: значимые и положительные выявлены в отношении глубины для налима, минюги и зообентоса; присутствие гальки (средней и мелкой) в донном субстрате является значимым положительным фактором для всех пород рыб, кроме налима (отрицательный), а также для зообентоса.

Связи с оценочными показателями анкет Blue targeting ToolBox, которые в обобщенном виде содержат информацию о пригодности водотока для обитания рыб (табл. 4). Ширина русла, размер элементов донного субстрата, оценки природной ценности (Conservation) и ненарушенности (Impact) положительно и в большинстве случаев значимо коррелируют с наличием всех учтенных видов рыб, кроме налима, «реакция» которого была обратной, видимо, по причине его экологических предпочтений. Указанная закономерность проявляется также в отношении оценок богатства зообентоса. Оценка чувствительности (Sensitivity), означающая риск попадания в реку вредных стоков, с представленностью ихтиофауны связана слабо и разнонаправленно по отношению к различным породам рыб, вероятно, по причине незначительности имеющих здесь видов загрязнения. Статистическая обработка материала всех 300 заполненных анкет выявила отсутствие статистически достоверных различий итоговых оценок, полученных на явно различающихся по условиям объектах, что свидетельствует, с одной стороны, о достаточной универсальности методики, но с другой – о том, что она

может явиться основой для принятия чрезмерно шаблонных решений.

Заключение

Берега рек являются ключевыми биотопами, флора которых намного богаче и по видовому составу резко отличается от лесных сообществ, находящихся вне зоны влияния водотоков. Вместе с тем в живом напочвенном покрове лесных биогеоценозов прибрежной полосы рек на фоне сравнительно повышенного флористического разнообразия доминантами являются типичные для еловых и сосновых лесов среднетаежной подзоны Карелии виды травяно-кустарничкового яруса (черника, брусника, кислица обыкновенная и др.) и зеленые мхи в мохово-лишайниковом ярусе. Водная флора рек представлена крайне бедно.

Обследованные реки существенно различаются по общей численности и разнообразию гидробионтов, однако все они являются местом обитания рыб ценных пород, хотя официально признана в качестве нерестовой только одна из трех рек.

Выполненное исследование выявило ряд статистически достоверных связей численности и разнообразия ихтиофауны с породным составом произрастающих по берегам деревьев. Для ценных пород рыб оказалось важным присутствие сосны и березы. Преобладание ели в составе основного полога древостоя отрицательно сказывается на присутствии рыб, кроме налима, в то время как наличие ели в подчиненном ярусе дает обратный эффект.

При общей оценке влияния ели следует иметь в виду хорошо известную положительную роль еловых древостоев в переводе поверхностного стока во внутрипочвенный [Побединский, 1979], хотя для сохранения берегов от подмыва поверхностная корневая система ели подходит не лучшим образом [Hauer et al., 2016]. Состав и структура травяно-кустарничкового яруса живого напочвенного покрова лесов положительно связаны с видовым разнообразием ихтиофауны водотоков, тогда как влияние мохово-лишайникового яруса, виды которого закисляют почвы и вызывают дефицит кислорода, отрицательно. Закономерно соответствует этому отрицательное влияние на ихтиофауну проявлений процесса подзолообразования, внешним признаком которого является накопление грубогумусной лесной подстилки.

Тестирование полевой методики Blue Targeting Toolbox подтвердило ее принципиальную применимость для определения рыбохозяйственного потенциала малых рек при условии корректировки системы оценок ряда показателей применительно к местным условиям. В перспективе возможно использование этого инструмента для регулирования хозяйственных мероприятий в лесах, произрастающих по берегам таких рек, в интересах сохранения их водного и рыбохозяйственного потенциала. Для определения экологической ценности конкретных водотоков необходимо проводить обследование на разных участках русла, а до проведения полевых работ следует выполнять рекогносцировочную оценку на всем протяжении русла по общедоступным материалам дистанционного зондирования с целью выделения участков с антропогенными нарушениями.

Выполненный анализ в полной мере подтвердил необходимость совместного оценивания водотока и прибрежной зоны, сформулированную в руководстве Blue Targeting Toolbox: «прибрежная зона имеет чрезвычайно большое значение для самого водотока и точно так же прибрежный лес зависит от водотока; водоток и прибрежная зона должны рассматриваться как единая экологическая единица» [Henrikson, 2018].

Результаты выполненного исследования важны для обоснования регулирования хозяйственной деятельности в лесных бассейнах малых рек и сохранения их экологической ценности, особенно в связи с реализуемым на территории Карелии переходом к интенсивной модели использования и воспроизводства лесов.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального

бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт биологии КарНЦ РАН – № 0218-2019-0081; Институт леса КарНЦ РАН – № FMEN-2021-0018). Полевые работы осуществлялись при финансовой поддержке проекта WAMBAF Tool Box программы «Interreg – Регион Балтийского моря».

Литература

- Атлас Карельской АССР. М.: ГУГК, 1989. 40 с.
- Барышев И. А., Веселов А. Е., Ефремов Д. А., Ручьев М. А. Пищевая дифференциация молоди кумжи *Salmo trutta* L. как механизм расширения кормовой базы популяции // Экология. 2020. № 3. С. 230–235.
- Веселов А. Е., Калюжин С. М. Экология, поведение и распределение молоди атлантического лосося. Петрозаводск: Карелия, 2001. 160 с.
- Государственный лесной реестр Республики Карелия [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gosuslugi.ru/131487/2/info> (дата обращения: 20.02.2020).
- Каталог озер и рек Карелии // Под ред. Н. Н. Филатова и А. В. Литвиненко. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2001. 290 с.
- Клыпучко В. С., Смирнов Ю. А., Шустов Ю. А., Маслов С. Е. Эффективность использования аппаратов электролова ранцевого типа БТ-1 «Форель» на лососевых реках Европейского Севера // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. 1987. Вып. 260. С. 121–125.
- Комулайнен С. Ф. Водная и прибрежная растительность притоков Онежского озера // Лососевые нерестовые реки Онежского озера. Л.: Наука, 1978. С. 14–31.
- Комулайнен С. Ф. Макрофиты в малых реках Карелии и Кольского полуострова // Гидробиол. журн. Киев. Деп. в ВИНТИ 05.01.1990. № 75. 22 с.
- Лесотаксационный справочник по Северо-Востоку европейской части Российской Федерации. Архангельск: СевНИИЛХ, 2012. 672 с.
- Лесохозяйственный регламент Кондопожского лесничества Республики Карелия на 2012–2021 гг. Петрозаводск, 2011. 145 с.
- Лесохозяйственный регламент Прионежского лесничества Республики Карелия на 2012–2021 гг. Петрозаводск, 2011. 142 с.
- Методические подходы к экологической оценке лесного покрова в бассейне малой реки / Отв. ред. Л. Б. Заугольнова, Т. Ю. Браславская. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2010. 383 с.
- Морозова Р. М. Лесные почвы Карелии. Л.: Наука, 1991. 184 с.
- Одум Ю. Основы экологии. М.: Мир, 1975. 742 с.
- Папченков В. Г. Растительный покров водоемов и водотоков Среднего Поволжья. Ярославль: ЦМП МУБиНТ, 2001. 214 с.
- Побединский А. В. Водоохранная и почвозащитная роль лесов. М.: Лесн. пром-ть, 1979. 176 с.
- Полевая геоботаника. М.; Л.: Наука, 1964. Т. 3. 530 с.
- Раменская М. Л. Анализ флоры Мурманской области и Карелии. Л.: Наука, 1983. 216 с.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1972. Т. 2., ч. 1. 522 с.

Сергиенко Л. А. К познанию прибрежно-водной флоры реки Суна (заповедник «Кивач») // Труды гос. природ. заповедника «Кивач». Петрозаводск, 2006. Вып. 3. С. 141–148.

Сирин А. А. Влияние лесной среды на условия обитания лососевых (по зарубежным данным) // Лесоведение. 1981. № 1. С. 67–76.

Федорец Н. Г. Полевая практика по лесному почвоведению для студентов лесохозяйственных специальностей (учеб.-метод. пособие). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. 56 с.

Шустов Ю. А. Экологические аспекты поведения молоди лососевых рыб в речных условиях. СПб.: Наука, 1995. 161 с.

Шустов Ю. А., Ивантер Д. Э., Тыркин И. А. Экология молоди лососевых рыб: уч.-метод. пособие. Петрозаводск: ПетрГУ, 2011. 91 с.

Шустов Ю. А., Ивантер Д. Э., Тыркин И. А., Щуров И. Л., Легун А. Г. Экология молоди лососевых рыб рек Европейского Севера России: науч. электрон. изд. Петрозаводск: ПетрГУ, 2016. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

Bleckert S., Degerman E., Henrikson L. CISA och Blå målklassning – enkla verktyg för skoglig vattenplanering. WWF Sweden. 2011. 16 p.

Burcher C. L., McTammany M. E., Benfield E. F., Helfman G. S. Fish assemblage responses to forest cover // Environ. Manag. 2008. Vol. 41. P. 336–346.

Dale Jones E. B., Helfman G. S., Harper J. O., Bolstad P. V. Effects of Riparian forest removal on fish assemblages in Southern Appalachian Streams // Conserv. Biol. 1999. Vol. 13, iss. 6. P. 1454–1465. doi: 10.1046/j.1523-1739.1999.98172.x

Enefalk Å., Huusko A., Louhi P., Bergman E. Fine stream wood decreases growth of juvenile brown trout (*Salmo trutta* L.) // Environ. Biol. Fish. 2019. Vol. 102. P. 759–770.

Gustafsson P., Greenberg L. A., Bergman E. Woody debris and terrestrial invertebrates – effects on prey resources for brown trout (*Salmo trutta*) in a boreal stream // Environ. Biol. Fish. 2014. Vol. 97. P. 529–542.

Hauer C., Höfler S., Flödl P., Gumpinger C., Habersack H., Holzinger J., Kloibmüller A., Leitner P., Lichtneger P., Mayer T., Ottner F., Riechl D., Wagner B., Walter T., Weingraber F., Graf W. Regionale Aspekte des Feststoffmanagements als Grundlage für den naturnahen Wasserbau im Mühlviertel und im Bayerischen Wald

// Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft. 2016. Vol. 68. P. 488–502.

Henrikson L. Blue Targeting-Manual. How to do Blue Targeting for best management practice (BMP) for forestry along small streams. Swedish Forest Agency, EU Interreg project Water Management in Baltic Forests, WAMBAF. 2018. 15 p.

Inoue M., Nakano S. Fish abundance and habitat relationships in forest and grassland streams, northern Hokkaido, Japan // Ecol. Res. 2001. Vol. 16. P. 233–247.

Jungwirth M., Muhar S., Schmutz S. Fundamentals of fish ecological integrity and their relation to the extended serial discontinuity concept // Hydrobiologia. 2000. Vol. 422. P. 85–97.

Kanno Y., Letcher B. H., Rosner A. L., O'Neil K. P., Nislow K. H. Environmental factors affecting brook trout occurrence in headwater stream segments // Trans. Am. Fish. Soc. 2015. Vol. 144. P. 373–382. doi: 10.1080/00028487.2014.991446

Kishi D., Murakami M., Nakano S., Taniguchi Y. Effects of forestry on the thermal habitat of Dolly Varden (*Salvelinus malma*) // Ecol. Res. 2004. Vol. 19. P. 283–290.

Nika N., Virbickas T., Kontautas A. Spawning site selection and redd gravel characteristics of sea trout *Salmo trutta* in the lowland streams of Lithuania // Oceanol. Hydrobiol. Stud. 2011. Vol. 40. P. 46–56.

Penaluna B. E., Olson D. H., Flitcroft R. L., Weber M. A., Bellmore J. R., Wondzell S. M., Dunham J. B., Johnson S. L., Reeves G. H. Aquatic biodiversity in forests: a weak link in ecosystem services resilience // Biodivers. Conserv. 2017. Vol. 26. P. 3125–3155.

Scheurer K., Alewell C., Bänninger D., Burkhardt-Holm P. Climate and land-use changes affecting river sediment and brown trout in alpine countries (review) // Environ. Sci. Pollut. Res. 2009. Vol. 16. P. 232–242.

Sedell J. R., Reeves G. H., Burnett K. M. Development and evaluation of aquatic conservation strategies // J. Forestry. 1994. Vol. 92(4). P. 28–31.

Teixeira-de Mello F., Meerhoff M., González-Bergonzoni I., Kristensen E. A., Baattrup-Pedersen A., Jeppesen E. Influence of riparian forests on fish assemblages in temperate lowland streams // Environ. Biol. Fish. 2016. Vol. 99. P. 133–144.

Zippin C. The removal method of population estimation // J. Wildlife Manag. 1958. Vol. 22, no. 1. P. 82–90.

Поступила в редакцию 22.03.2021

References

Atlas Karel'skoi ASSR [Atlas of the Karelian ASSR]. Moscow: GUGK, 1989. 40 p.

Baryshev I. A., Veselov A. E., Efremov D. A., Ruch'ev M. A. Pishchevaya differentsiatsiya molodi kumzhi *Salmo trutta* L. kak mekhanizm rasshireniya kormovoi bazy populatsii [Food differentiation of juvenile brown trout *Salmo trutta* L. as a mechanism of expansion food base of the population]. *Ekol.* [Ecol.]. 2020. No. 3. P. 230–235.

Fedorets N. G. Polevaya praktika po lesnomu pochvovedeniyu dlya studentov lesokhozyaystvennykh spetsial'nostei (ucheb.-metod. posobie) [Field prac-

tice in forest soil science for forestry students (a study guide)]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2010. 56 p.

Gosudarstvennyi lesnoi reestr Respubliki Karelia [State forest register of the Republic of Karelia]. URL: <https://www.gosuslugi.ru/131487/2/info> (accessed: 20.02.2020).

Katalog ozer i rek Karelii [Catalogue of lakes and rivers of Karelia]. Eds. N. N. Filatov, A. V. Litvinenko. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2001. 290 p.

Klyputo V. S., Smirnov Yu. A., Shustov Yu. A., Maslov S. E. Effektivnost' ispol'zovaniya apparatov elek-

trolova rantseвого типа BT-1 "Forel" na lososevykh rekakh Evropeiskogo Severa [Efficiency of use of backpack-type electrofishing devices BT-1 'Trout' in salmon-rich rivers of the European North]. *Sb. nauch. tr. Gos-NIORKH* [Coll. Papers Nat. Res. Inst. of Lake and River Fisheries]. 1987. Vol. 260 P. 121–125.

Komulainen S. F. Vodnaya i pribrezhnaya rastitel'nost' pritokov Onezhskogo ozera [Aquatic and coastal vegetation of the tributaries of Lake Onega]. *Lososevye nerestovye reki Onezhskogo ozera* [Salmon spawning rivers of Lake Onega]. Leningrad: Nauka, 1978. P. 14–31.

Komulainen S. F. Makrofity v malykh rekakh Karelii i Kol'skogo poluostrova [Macrophytes in small rivers of Karelia and the Kola Peninsula]. *Gidrobiolog. zhurn.* [Hydrobiol. J.]. Kiev. Deposit. in the All-Union Inst. Sci. Tech. Inf. 05.01.1990. No. 75. 22 p.

Lesotaksatsionnyi spravochnik po Severo-Vostoku Evropeiskoi chasti Rossiiskoi Federatsii [Forest taxation reference book for the North-East of the European part of the Russian Federation]. Arkhangel'sk, 2012. 672 p.

Lesokhozyaistvennyi reglament Kondopozhskogo lesnichenstva Respubliki Karelia na 2012–2021 gg. [Forestry regulations of the Kondopoga forestry of the Republic of Karelia in 2012–2021]. Petrozavodsk, 2011. 145 p.

Lesokhozyaistvennyi reglament Prionezhskogo lesnichenstva Respubliki Karelia na 2012–2021 gg. [Forestry regulations of the Prionezhsky forestry of the Republic of Karelia in 2012–2021]. Petrozavodsk, 2011. 142 p.

Metodicheskie podkhody k ekologicheskoi otsenke lesnogo pokrova v basseine maloi reki [Methodological approaches to ecological assessment of forest cover in a small river basin]. Eds. L. B. Zaugol'nova, T. Yu. Braslavskaya. Moscow: KMK, 2010. 383 p.

Morozova R. M. Lesnye pochvy Karelii [Forest soils of Karelia]. Leningrad: Nauka, 1991. 184 p.

Odom Yu. Osnovy ekologii [Fundamentals of ecology]. Moscow: Mir, 1975. 742 p.

Papchenkov V. G. Rastitel'nyi pokrov vodoemov i vodotokov Srednego Povolzh'ya [Vegetative cover of reservoirs and watercourses of the Middle Volga Region]. Yaroslavl, 2001. 214 p.

Pobedinskii A. V. Vodookhrannaya i pochvozashchitnaya rol' lesov [Water protection and soil protection role of forests]. Moscow: Lesn. prom., 1979. 176 p.

Polevaya geobotanika [Field geobotany]. Moscow; Leningrad: Nauka, 1964. Vol. 3. 530 p.

Ramenskaya M. L. Analiz flory Murmanskoi oblasti i Karelii [Analysis of the flora of the Murmansk Region and the Republic of Karelia]. Leningrad: Nauka, 1983. 216 p.

Resursy poverkhnostnykh vod SSSR [Surface water resources of the USSR]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1972. Vol. 2, part 1. 522 p.

Sergienko L. A. K poznaniyu pribrezhno-vodnoi flory reki Suna: (zapovednik "Kivach") [To the knowledge of the coastal water flora of the Suna River: (Kivach Nature Reserve)]. *Tr. Gos. prirod. zapoved. "Kivach"* [Proceed. Kivach State Nat. Reserve]. Petrozavodsk, 2006. Vol. 3. P. 141–148.

Shustov Yu. A. Ekologicheskie aspekty povedeniya molodi lososevykh ryb v rechnykh usloviyakh [Ecological aspects of juvenile salmon behavior in river conditions]. St. Petersburg: Nauka, 1995. 161 p.

Shustov Yu. A., Ivanter D. E., Tyrkin I. A. Ekologiya molodi lososevykh ryb: ucheb.-metod. posobie [Ecology of juvenile salmon fishes: a study guide]. Petrozavodsk: PetrSU, 2011. 91 p.

Shustov Yu. A., Ivanter D. E., Tyrkin I. A., Shchurov I. L., Legun A. G. Ekologiya molodi lososevykh ryb rek Evropeiskogo Severa Rossii: nauch. elektron. izd. [Ecology of juvenile salmon fishes of the rivers in the European North of Russia: sci. electron. ed.]. Petrozavodsk: PetrSU, 2016. 1 CD-ROM.

Sirin A. A. Vliyanie lesnoi sredy na usloviya obitaniya lososevykh (po zarubezhnym dannym) [The influence of forest environment on salmon habitat (based on foreign research data)]. *Lesovedenie* [Russ. J. Forest Sci.]. 1981. No. 1. P. 67–76.

Veselov A. E., Kalyuzhin S. M. Ekologiya, povedenie i raspredelenie molodi atlanticheskogo lososya [Ecology, behavior, and distribution of juvenile Atlantic salmon]. Petrozavodsk: Karelia, 2001. 160 p.

Bleckert S., Degerman E., Henrikson L. CISA och Blå målklassning – enkla verktyg för skoglig vattenplanering. WWF Sweden. 2011. 16 p. (In Swed.)

Burcher C. L., McTammany M. E., Benfield E. F., Helfman G. S. Fish assemblage responses to forest cover. *Environ. Manag.* 2008. Vol. 41. P. 336–346.

Dale Jones E. B., Helfman G. S., Harper J. O., Bolstad P. V. Effects of Riparian forest removal on fish assemblages in Southern Appalachian Streams. *Conserv. Biol.* 1999. Vol. 13, iss. 6. P. 1454–1465. doi: 10.1046/j.1523-1739.1999.98172.x

Enefalk Å., Huusko A., Louhi P., Bergman E. Fine stream wood decreases growth of juvenile brown trout (*Salmo trutta* L.). *Environ. Biol. Fish.* 2019. Vol. 102. P. 759–770.

Gustafsson P., Greenberg L. A., Bergman E. Woody debris and terrestrial invertebrates – effects on prey resources for brown trout (*Salmo trutta*) in a boreal stream. *Environ. Biol. Fish.* 2014. Vol. 97. P. 529–542.

Hauer C., Höfler S., Flödl P., Gumpinger C., Habersack H., Holzinger J., Kloibmüller A., Leitner P., Lichtneger P., Mayer T., Ottner F., Riechl D., Wagner B., Walter T., Weingraber F., Graf W. Regionale Aspekte des Feststoffmanagements als Grundlage für den naturnahen Wasserbau im Mühlviertel und im Bayerischen Wald. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft.* 2016. Vol. 68. P. 488–502. (In Germ.)

Henrikson L. Blue Targeting-Manual. How to do Blue Targeting for best management practice (BMP) for forestry along small streams. Swedish Forest Agency, EU Interreg project Water Management in Baltic Forests, WAMBAF. 2018. 15 p.

Inoue M., Nakano S. Fish abundance and habitat relationships in forest and grassland streams, northern Hokkaido, Japan. *Ecol. Res.* 2001. Vol. 16. P. 233–247.

Jungwirth M., Muhar S., Schmutz S. Fundamentals of fish ecological integrity and their relation to the extended serial discontinuity concept. *Hydrobiologia.* 2000. Vol. 422. P. 85–97.

Kanno Y., Letcher B. H., Rosner A. L., O'Neil K. P., Nislow K. H. Environmental factors affecting brook trout occurrence in headwater stream segments. *Trans. Am. Fish. Soc.* 2015. Vol. 144. P. 373–382. doi: 10.1080/00028487.2014.991446

Kishi D., Murakami M., Nakano S., Taniguchi Y. Effects of forestry on the thermal habitat of Dolly Varden (*Salvelinus malma*). *Ecol. Res.* 2004. Vol. 19. P. 283–290.

Nika N., Virbickas T., Kontautas A. Spawning site selection and redd gravel characteristics of sea trout *Salmo trutta* in the lowland streams of Lithuania. *Oceanol. Hydrobiol. Stud.* 2011. Vol. 40. P. 46–56.

Penaluna B. E., Olson D. H., Flitcroft R. L., Weber M. A., Bellmore J. R., Wondzell S. M., Dunham J. B., Johnson S. L., Reeves G. H. Aquatic biodiversity in forests: a weak link in ecosystem services resilience. *Biodivers. Conserv.* 2017. Vol. 26. P. 3125–3155.

Scheurer K., Alewell C., Bänninger D., Burkhardt-Holm P. Climate and land-use changes affect-

ing river sediment and brown trout in alpine countries (review). *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2009. Vol. 16. P. 232–242.

Sedell J. R., Reeves G. H., Burnett K. M. Development and evaluation of aquatic conservation strategies. *J. Forestry.* 1994. Vol. 92(4). P. 28–31.

Teixeira-de Mello F., Meerhoff M., González-Bergonzoni I., Kristensen E. A., Baattrup-Pedersen A., Jeppesen E. Influence of riparian forests on fish assemblages in temperate lowland streams. *Environ. Biol. Fish.* 2016. Vol. 99. P. 133–144.

Zippin C. The removal method of population estimation. *J. Wildlife Manag.* 1958. Vol. 22, no. 1. P. 82–90.

Received March 22, 2021

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Синькевич Сергей Михайлович

ведущий научный сотрудник лаб. динамики и продуктивности таежных лесов, к. с.-х. н., доц. Институт леса КарНЦ РАН, Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр РАН» ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910
эл. почта: sinkevic@krc.karelia.ru
тел.: (8142) 768160

Ефремов Денис Александрович

научный сотрудник лаб. экологии рыб и водных беспозвоночных, к. б. н. Институт биологии КарНЦ РАН, Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр РАН» ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910
эл. почта: denisefremov@list.ru
тел.: (8142) 561679

Тимофеева Вера Владимировна

научный сотрудник лаб. ландшафтной экологии и охраны лесных экосистем, к. б. н. Институт леса КарНЦ РАН, Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр РАН» ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910
эл. почта: timofeevavera2010@yandex.ru

Ананьев Владимир Александрович

ведущий научный сотрудник лаб. динамики и продуктивности таежных лесов, к. с.-х. н., доц. Институт леса КарНЦ РАН, Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр РАН» ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910
эл. почта: ananyev@krc.karelia.ru
тел.: (8142) 768160

CONTRIBUTORS:

Sinkevich, Sergei

Forest Research Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: sinkevic@krc.karelia.ru
tel.: (8142) 768160

Efremov, Denis

Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: denisefremov@list.ru
tel.: (8142) 561679

Timofeeva, Vera

Forest Research Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: timofeevavera2010@yandex.ru

Ananyev, Vladimir

Forest Research Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: ananyev@krc.karelia.ru
tel.: (8142) 768160

Ильмаст Николай Викторович

заведующий лаб. экологии рыб и водных беспозвоночных,
д. б. н., доц.

Институт биологии КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»

ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910

эл. почта: ilmast@mail.ru

тел.: (8142) 561679

Солодовников Антон Николаевич

научный сотрудник лаб. лесного почвоведения, к. б. н.

Институт леса КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»

ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910

эл. почта: solod@krc.karelia.ru

Ручьев Михаил Андреевич

ведущий биолог лаб. экологии рыб и водных
беспозвоночных

Институт биологии КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»

ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910

эл. почта: ruchev_mikhail@list.ru

Ilmast, Nikolai

Institute of Biology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences

11 Pushkinskaya St. 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia

e-mail: ilmast@mail.ru

tel.: (8142) 561679

Solodovnikov, Anton

Forest Research Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences

11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia

e-mail: solod@krc.karelia.ru

Ruch'ev, Mikhail

Institute of Biology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences

11 Pushkinskaya St. 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia

e-mail: ruchev_mikhail@list.ru

УДК 631.4; 332.15; 332.3; 332.36

ОБ ЭКОНОМИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ ЦЕННОСТИ ПОЧВ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА ПРИ РАЗНЫХ ТИПАХ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ

**О. В. Толстогузов¹, Н. В. Геникова², И. А. Дубровина³,
А. Ю. Карпечко², Л. М. Кулакова¹, А. В. Мамай², М. В. Медведева²,
Е. В. Мошкина², В. А. Сидорова³, А. В. Туюнен²**

¹ Институт экономики КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

² Институт леса КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

³ Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

Рассматриваются результаты выполнения комплексного проекта РФФИ, объединяющего исследования в области почвоведения, лесоведения, ботаники, экологии, микробиологии и экономики. Исследован вопрос монетизации услуг природы, проблемы и трудности, которые встречаются при интерпретации результатов на основе интеграции естественно-научных и экономических подходов при изучении данной проблемы. Вышеназванная дискуссия актуализирует необходимость создания более совершенного статистического инструмента, чтобы сместить акцент измерения экономических явлений в сторону устойчивого развития. Предлагается система представлений, основанная на модельных (операционных) отношениях между функциональными и структурными признаками почвы и внешними данными, каждое из которых характеризуется определенным набором взаимодействующих процессов. Рассмотрены теоретические и эмпирические предпосылки исследования изменения режима землепользования и баланса углерода в экосистемах. Показаны изменения морфологических, основных агрохимических и микробиологических свойств почв, а также запасов органического углерода и углерода микробной биомассы в метровом слое почв разных землепользований. Проведена оценка общего углеродного бюджета участков разных типов землепользования на генетически близких почвах среднетаежной подзоны европейской территории России. Предложены индикаторы состояния почвенной системы, которые могут быть использованы для экономической оценки изменения землепользования.

Ключевые слова: устойчивое землепользование; деградация почв; углеродный бюджет; системный подход.

**O. V. Tolstoguzov, N. V. Genikova, I. A. Dubrovina, A. Yu. Karpechko,
L. M. Kulakova, A. V. Mamai, M. V. Medvedeva, E. V. Moshkina,
V. A. Sidorova, A. V. Tuyunen. ECONOMIC ANALYSIS OF THE VALUE OF
SOILS IN THE NORTH OF EUROPEAN RUSSIA IN DIFFERENT LAND USE
SCENARIOS**

The article reports the results of a comprehensive RFBR project which combined research in the fields of soil science, forestry, botany, ecology, microbiology, and economics. The question of monetization of ecosystem services and the challenges that occur

when interpreting the results based on the integration of natural sciences and economic approaches in the study of this problem are investigated. This discussion highlights the need for a better statistical tool to shift the focus in measuring economic phenomena to sustainable development. We propose a system of mappings based on model (operational) relationships between functional and structural features of the soil and external data, each of which is characterized by a certain set of interacting processes. The theoretical and empirical background for studying changes in the land-use regime and the carbon balance in ecosystems is explored. Changes in the morphological, basic agrochemical and microbiological properties of soils, as well as the reserves of organic carbon and microbial carbon in the top-meter layer of soil in various land-use scenarios are shown. The total carbon budget was estimated for sites with different land uses on genetically similar soils in the middle-taiga subzone of European Russia. Indicators of the state of the soil system, which can be used for the economic assessment of land-change are proposed.

Keywords: sustainable land use, soil degradation, carbon budget, systems approach.

Введение

Расширение экономической деятельности с одновременной стабилизацией темпов использования ресурсов и уменьшением воздействия на окружающую среду представляет собой серьезную дилемму для современного общества [Decoupling, 2020]. Однако указанная проблема недостаточно исследована как в части понимания истинной экономической ценности природного капитала и установления надлежащих финансовых стимулов [Quillérou, Thomas, 2012], так и в части продвижения этих знаний до уровня локальных территорий [Conrad, Cassar, 2014]. Еще одна сложность заключается в отсутствии единства в исследовательских подходах к ее решению [Baveye, 2015].

Решение вопроса о монетизации услуг природы получило значительный импульс после того, как в центре внимания исследователей в ходе «оценки экосистем на пороге тысячелетия» возникли «экосистемные услуги», которые определяются как блага, получаемые от экосистем [Добровольский, Никитин, 1990; Baveye et al., 2016]. Это стимулировало попытки оценивать экосистемные услуги в терминах, сопоставимых с экономическими услугами и производственным капиталом [Costanza et al., 1997], включая измерения нематериальных благ [Chan et al., 2012; Milcu et al., 2013].

Для перехода от понимания природного капитала как экономической метафоры к реальной оценке запасов природных ресурсов, объединив усилия, экономисты и экологи определили экосистемный сервис как способ формулирования императивов сохранения и поддержания качества окружающей среды [Redford, Adams, 2009]. Однако привязать ценник к экосистемным услугам по-прежнему пред-

ставляет значительные трудности [Robinson et al., 2014; Dominati et al., 2016]. Это вызвано отсутствием консенсуса между исследователями как по используемым методам, связывающим цены с экосистемными услугами, так и по существу экономического подхода к экосистемным услугам [Fisher et al., 2009]. Например, переговоры по показателям целей устойчивого развития на уровне ООН так и не смогли привести к выработке достаточно четких критериев оценки [Ehlers, 2016].

Вышеназванная дискуссия актуализирует необходимость создания более совершенного статистического «компас», чтобы сместить акцент измерения экономических явлений в сторону устойчивого развития [Recommendations..., 2014]. Необходимость нового эколого-экономического подхода является очевидной, поскольку эффективность использования природных ресурсов определяется в контексте человеческого восприятия и изменяется в зависимости от социального контекста [Hauck et al., 2013; Spangenberg et al., 2014]. Таким образом, в фокус внимания ставятся микроскопические основы экономики и организационные процедуры, которые не обусловлены исключительно максимизацией дохода [Hassink et al., 2019], причем изменяющийся институциональный порядок взаимодействий между агентами исследуется при локализации соотношения частных и общих институтов [Dopfer et al., 2004; Dopfer, 2012; Menard, 2017]. На современном этапе развития общества это является альтернативой монетизации услуг природы по условным логическим процедурам, которые признаются финансовым сектором при выплатах компенсаций. Однако данное признание является результатом соглашений, априори устанавливающих природные ресурсы в качестве активов с низкой ликвидностью.

Экономика деградации земель является одним из новых направлений в исследовании этой проблематики. Изменение характера землепользования зависит как от географических особенностей, так и от экономического положения территории. Очевиден недостаток исследований, посвященных разным аспектам вовлечения почв и экосистем Европейского Севера в экономический оборот для обеспечения устойчивого земледелия. Несмотря на то что в России в последнее десятилетие проводится комплексный анализ влияния разных типов землепользования на свойства и функции постагрогенных почв, для среднетаежной подзоны таких исследований проведено немного [Литвинович, Павлова, 2007; Литвинович, 2009].

В этой связи целью настоящего исследования является включение в современный дискурс по поводу измерения производимой ценности почвенной системы. Данная цель предполагала решение двух задач. Первой из них было на примере агрогенных и постагрогенных почв, опираясь на теоретический и эмпирический вклад в части уяснения учета баланса углерода и иных свойств почв и экосистем, найти типовые (модельные) решения для количественной оценки и прогнозирования влияния внешнего воздействия на совокупность почвенных функций. Вторая задача предполагала на основе систематизации почвенных функций разработать искомую аналитическую структуру экономики деградации земель.

Полученные данные позволяют выявить тренды трансформации элементов цикла углерода при изменении землепользования, а также разработать подход к экономической оценке деградации почв с целью создания устойчивого природопользования.

Материалы и методы

Исследование проводили на Агробиологической станции КарНЦ РАН и прилегающих к ней территориях (61°45'N, 34°20'E) в пределах г. Петрозаводска (Южная Карелия). Изучали влияние разных типов землепользования на свойства и функции генетически близких почв среднетаежной подзоны Карелии, а также общий углеродный бюджет участков. Исследованы следующие типы землепользования: пашня, сенокос, а также молодой березняк 20 лет и средневозрастной ельник 65 лет естественного лесовозобновления на бывших сельхозугодьях. В качестве контроля использован спелый 110-летний ельник. Особенности естественного восстановления лесных экосистем на бывших сельскохозяйственных землях

(на примере южного агроклиматического района Карелии) отражены в публикации участников проекта [Мошкина и др., 2019; Медведева и др., 2020].

Методологической основой исследования тренда изменений почв в динамических процессах на первом этапе была оценка базовых компонентов естественных и антропогенно нарушенных экосистем. Она включала в себя установление исторического прошлого территории (работа с архивными данными), ее климатических особенностей, почвообразующих пород, растений живого напочвенного покрова и типа древостоя. Проводилось комплексное изучение бывших сельскохозяйственных земель по параметрам, позволяющим оценить динамику потоков углерода в экосистеме, которые дают возможность составить представление о потоках углерода в сукцессионных рядах с последующим расчетом экономической эффективности смены землепользования.

Исследовали подзолистые почвы нормального увлажнения, сформированные на суглинистой морене и характеризующиеся сходным гранулометрическим составом (крупнопылеватые и пылевато-песчаные легкие суглинки). Проведены следующие мероприятия: подбор пробных площадей, описание растительности, закладка опорных почвенных разрезов, морфологическое описание почв, закладка термохрон; отбор почвенных образцов в профилях (по горизонтам) для химических и микробиологических анализов; отбор почвенных монолитов для изучения массы тонких корней; анализ содержания органического углерода в образцах; измерения эмиссии CO_2 с поверхности почв.

В отобранных образцах определяли: плотность сложения (ρ) – весовым методом; обменную кислотность ($\text{pH}_{\text{КСЛ}}$) – потенциометрически; органический углерод ($\text{C}_{\text{орг}}$) – методом высокотемпературного каталитического сжигания; общий азот ($\text{N}_{\text{общ}}$) – по Кьельдалю; соотношение C/N – на CHN -анализаторе; содержание подвижного фосфора (P_2O_5) со спектрофотометрическим окончанием и калия (K_2O) с атомно-эмиссионным окончанием – по Кирсанову; сумму обменных оснований (S) – по Каппену – Гильковицу. Дыхательную активность почв и содержание в ней микробной биомассы определяли согласно рекомендациям в [Евдокимов, 2018; Телеснина и др., 2018]. Измерение эмиссии CO_2 проводили с использованием камерного метода и портативного газоанализатора на базе инфракрасного сенсора AZ 7722. Во время измерения почвенного дыхания рядом с камерой фиксировали температуру приземного слоя воздуха и температуру верх-

них горизонтов почвы при помощи термометра Сhectemp1.

Для оценки общего углеродного бюджета участков рассчитывали пять основных пулов углерода: надземную фитомассу, подземную фитомассу, дбрис – сухостой и валеж, лесную подстилку; почву (слой 0–100 см).

Для оценки распределения показателей применяли однофакторный дисперсионный анализ. В исследовании структуры связей использовали факторный анализ по матрице показателей, отражающих свойства класса объектов, состояние почвенных систем и в целом экосистем в разных фазах сукцессии. Статистическую обработку данных проводили в программах Microsoft Excel, Statistica.

Результаты и обсуждение

Почвы под исследованными видами землепользования характеризуются различной степенью агрогенной и постагрогенной трансформации по сравнению с контрольным участком под 110-летним лесом. На пашне отмечена максимальная степень трансформации профиля, который утрачивает диагностические признаки, типичные для текстурно-дифференцированных почв. На участках сенокоса и молодого леса происходит частичная постагрогенная трансформация профиля почв. Под средневозрастным лесом почва имеет отчетливо выраженный элювиальный горизонт и по морфологическому

строению близка к естественным зональным почвам. Свойства верхних минеральных горизонтов почв наиболее подвержены изменениям при смене землепользования (табл.). Для пашни и сенокоса характерен высокий агрохимический фон, близкий уровень показателей $C_{орг}$, $N_{общ}$ и соотношения C/N. В почвах лесов значительно повышается кислотность, снижается плотность и общий агрохимический фон, особенно в спелом лесу. Для пашни и спелого леса характерно пониженное содержание углерода микробной биомассы, а на участках сенокоса, молодого и средневозрастного лесов зафиксирован максимальный уровень $C_{мик}$ и факторов микробного благополучия, что ассоциируется с растущим уровнем $C_{орг}$ почвы. Максимальные запасы $C_{мик}$ в метровом слое почвы отмечены под молодым лесом, что связано с поступлением большого количества легкогидролизуемого опада. В лесу 110 лет основной пул $C_{мик}$ приурочен к лесной подстилке.

На основании данных о содержании $C_{орг}$ и плотности с помощью сплайн-функций были построены кривые профильного распределения объемного содержания органического углерода с шагом 1 см, а также кривые изменения запасов углерода с глубиной (рис. 1). Построенные графики позволяют сравнивать запасы на одной и той же глубине для разных типов почв или для разных типов землепользования, а также оценивать скорость накопления с глубиной. Содержание органического угле-

Показатели верхних минеральных горизонтов почв

Parameters of the upper mineral horizons of soils

Показатель \ Участок Parameter \ Site	Пашня Arable land	Сенокос Haymaking	Лес 20 Forest 20	Лес 65 Forest 65	Лес 110 Forest 110
Горизонт почв Soil horizon	P	P	P	AY	EL
Глубина, см Depth, cm	5–15	5–15	5–15	5–15	6–16
ρ , г/см ³ ρ , g/cm ³	1,52 ± 0,04	1,17 ± 0,03	0,94 ± 0,04	0,98 ± 0,03	1,13 ± 0,05
pH _{KCl}	5,17 ± 0,06	4,32 ± 0,05	4,05 ± 0,06	3,67 ± 0,08	3,23 ± 0,01
P ₂ O ₅ , мг/кг почвы P ₂ O ₅ , mg/kg soil	306,3 ± 20,3	46,8 ± 5,4	103,0 ± 4,0	14,0 ± 1,2	3,5 ± 0,0
K ₂ O, мг/кг почвы K ₂ O, mg/kg soil	59,3 ± 2,2	41,0 ± 2,4	44,5 ± 4,5	39,8 ± 6,5	13,3 ± 0,5
S, смоль экв/кг почвы S, cmol eq/kg soil	6,38 ± 0,65	6,00 ± 0,41	4,69 ± 0,68	0,64 ± 0,12	0,26 ± 0,21
$C_{орг}$, % $C_{орг}$, %	1,56 ± 0,05	2,07 ± 0,08	3,08 ± 0,18	4,56 ± 0,48	2,16 ± 0,02
$N_{общ}$, % N_{total} , %	0,19 ± 0,01	0,19 ± 0,01	0,26 ± 0,01	0,29 ± 0,03	0,09 ± 0,01
C/N	9,6 ± 0,23	12,9 ± 0,31	14,1 ± 0,27	18,7 ± 0,16	27,1 ± 0,66

Примечание. Здесь и на рис. 1 и 2 приведены средние значения ± ошибка среднего.

Note. Here and in fig. 1, 2 are mean ± standard error.

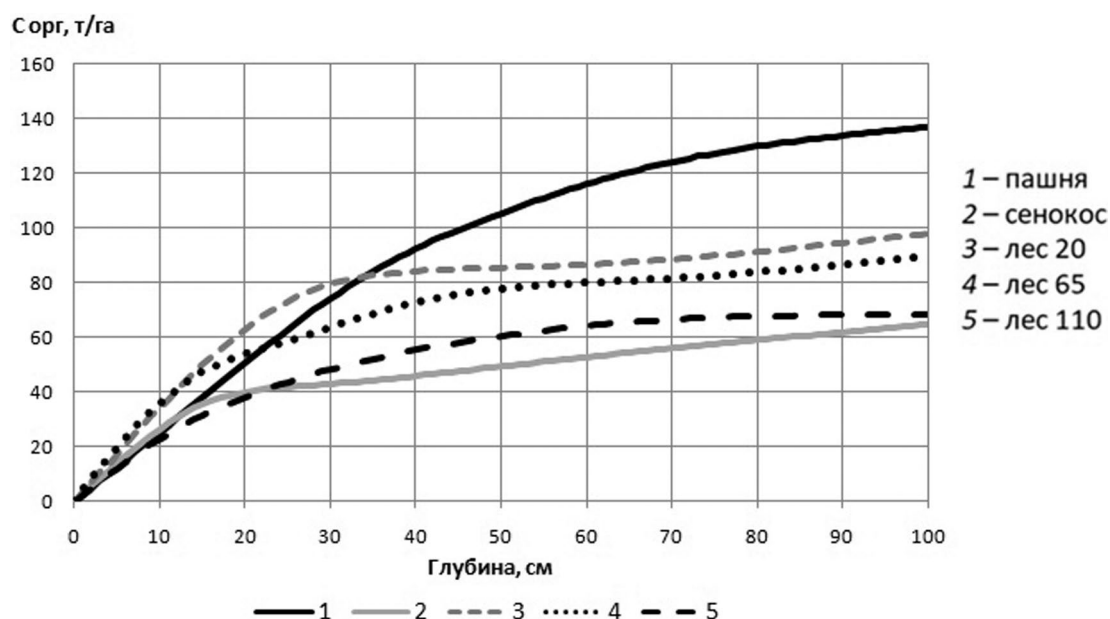


Рис. 1. Графики накопления запасов органического углерода с глубиной

Fig. 1. Depth graphs of the accumulation of organic carbon reserves

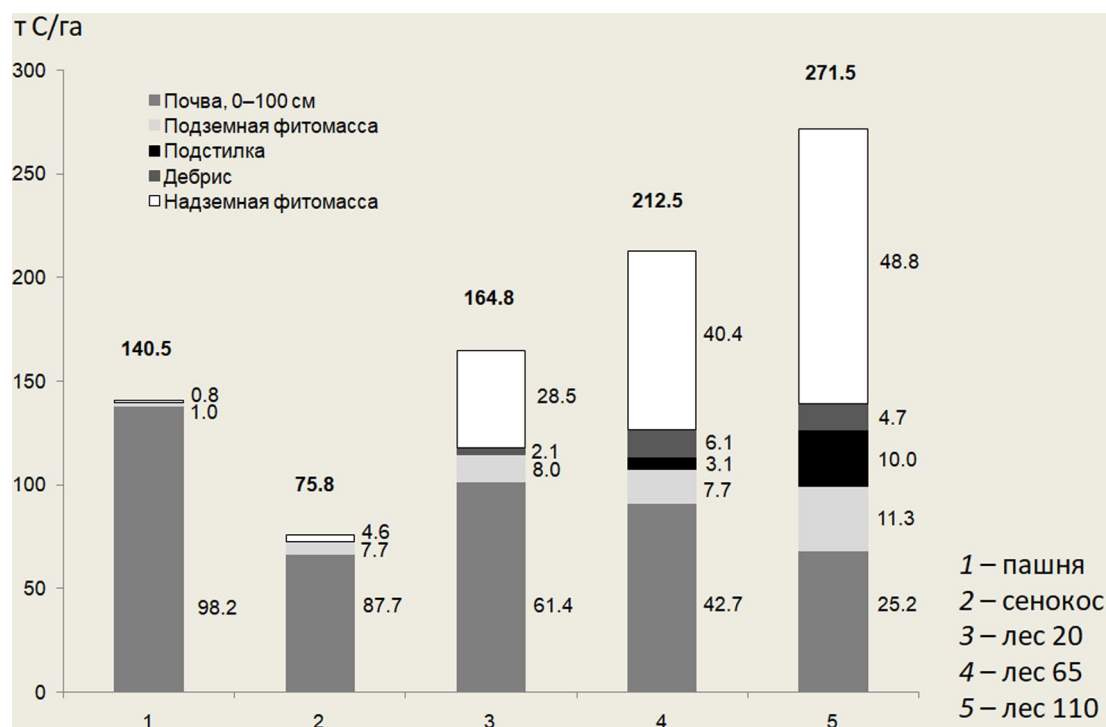


Рис. 2. Общий углеродный бюджет участков

Fig. 2. Total carbon budget of the sites

рода растет в ряду пахня – средневозрастный лес (1,56–4,56 %).

Запасы $C_{орг}$ почвы в метровом слое максимальны на пахне (138 т/га) и снижаются на участках молодого и средневозрастного лесов до 101–91 т/га (рис. 2). Под спелым лесом и сенокосом запасы $C_{орг}$ почвы минимальны и составляют 67–68 т/га. Общий углеродный

бюджет, складывающийся из пяти пулов, максимален для зрелых лесных экосистем и минимален на сенокосе. До 50–60 % углерода участка в зрелых лесах приходится на растительную фитомассу. Возрастает также доля связанных с ней пулов мертвого органического вещества дебриса и подстилки. В молодом лесу доля почвенного углерода составляет 61 %, а под

зональной растительностью – 43–25 % от общего бюджета. Ведущим пулом углерода для пашни и сенокоса является углерод почвы – до 88–98 %.

Изменение эдафических условий приводит к изменению микробиологических показателей, которые хорошо индицируются изменением численности микроорганизмов важнейших эколого-трофических групп и функциональной активностью микробного сообщества. Установлено, что эмиссия CO_2 с поверхности почвы при равных условиях температуры (4–5 °C) и влажности (10–12 %) почвы варьирует в зависимости от способа использования земель от 0,8 г $\text{C-CO}_2/\text{м}^2$ сут на пашне до 2,9 г $\text{C-CO}_2/\text{м}^2$ сут в ельнике 110-летнем. При повышении температуры почвы (до 10–15 °C) CO_2 -эмиссионная активность почв возрастает до 2,2 и 4,3 г $\text{C-CO}_2/\text{м}^2$ сут соответственно. По предварительным оценкам, потери углерода в виде CO_2 с поверхности почвы изучаемых пробных площадей за вегетационный период (140 дней) могут составлять от 1,1 до 5,2 т/га.

В условиях Карелии восстановление лесных экосистем на месте бывших сельскохозяйственных угодий происходит по двум принципиально возможным вариантам: формирование типичных для таежной зоны смешанных древостоев с преобладанием хвойных пород (как правило, еловых) за период существования одного пионерного поколения лиственных пород или относительно редко встречающееся формирование длительно-производных лиственных древостоев с неопределенным сроком существования, в которых одно поколение лиственных пород сменяет другое несколько раз, что особенно характерно для сероольшаников. Для изучаемой территории типичен вариант формирования зональных экосистем за период, равный сроку существования в данных условиях лиственных пород. В условиях среднетаежной зоны заброшенные после сельскохозяйственного использования земли относительно быстро зарастают древесной растительностью, чему способствует повышенное содержание органического вещества в почвенном профиле, характерное для постагрогенной сукцессии. С увеличением времени, прошедшего с момента прекращения сельскохозяйственного использования территории, общая фитомасса древостоя и ее подземная часть закономерно возрастают. При этом доля тонких корней в подземной фитомассе снижается. Через 100–110 лет после забрасывания сельскохозяйственных земель сформировавшиеся на них сообщества становятся физиономически малоотличимыми от лесов, существовавших до освоения территории.

Факторами, влияющими на секвестрацию почвенного углерода при смене землепользования, являются климатические условия местности, тип почв и растительности, схема обработки и удобрения почв, история участка и иные региональные особенности. Несмотря на многочисленные исследования, имеются большие региональные различия в секвестрации почвенного углерода при изменении режима землепользования. Анализ соотношения процессов окультуривания почв и их обратной трансформации к естественному ряду вносит вклад в решение актуальной проблемы устойчивости и изменчивости почвенных признаков, в том числе направленности и скорости их изменения под влиянием естественных (под лесом) и антропогенных (на пашне) факторов.

Почвенные функции определяются сложными взаимодействиями между природными процессами и свойствами почв. Развитие концепции почвенных функций и их оценки нацелено на адекватный учет при принятии управленческих решений для обеспечения устойчивого развития фитокомплекса. Предлагаемая система представлений основана на модельных (операционных) отношениях между функциональными и структурными признаками почвы и внешними данными, каждое из которых объясняется набором взаимодействующих процессов. Нелинейный характер этих взаимодействий обуславливает устойчивость и резистентность почвенной системы по разным функциональным характеристикам. Ожидается, что эта новая концептуальная основа объединит почвоведение, экономику и смежные науки, поможет определить важные будущие исследовательские вопросы на стыке между дисциплинами. Конечной целью почвенных исследований для устойчивого управления почвами является количественная оценка и прогнозирование влияния внешних воздействий на комплекс почвенных функций. Взаимосвязь функций почв и свойств почв, связанных с характерными для них временными масштабами изменения, представлена на рис. 3.

При смене режима землепользования значительные изменения претерпевают агрохимические и физико-химические свойства почвы, обеспечивающие функцию почвенной продуктивности [Литвинович и др., 2009; Телеснина и др., 2017]. Общий углеродный бюджет землепользования является важной составляющей биогеохимического цикла углерода в биологическом круговороте веществ. В вопросе влияния смены землепользования на глобальный цикл углерода существует большая неопределенность. Считается, что изменения в земле-

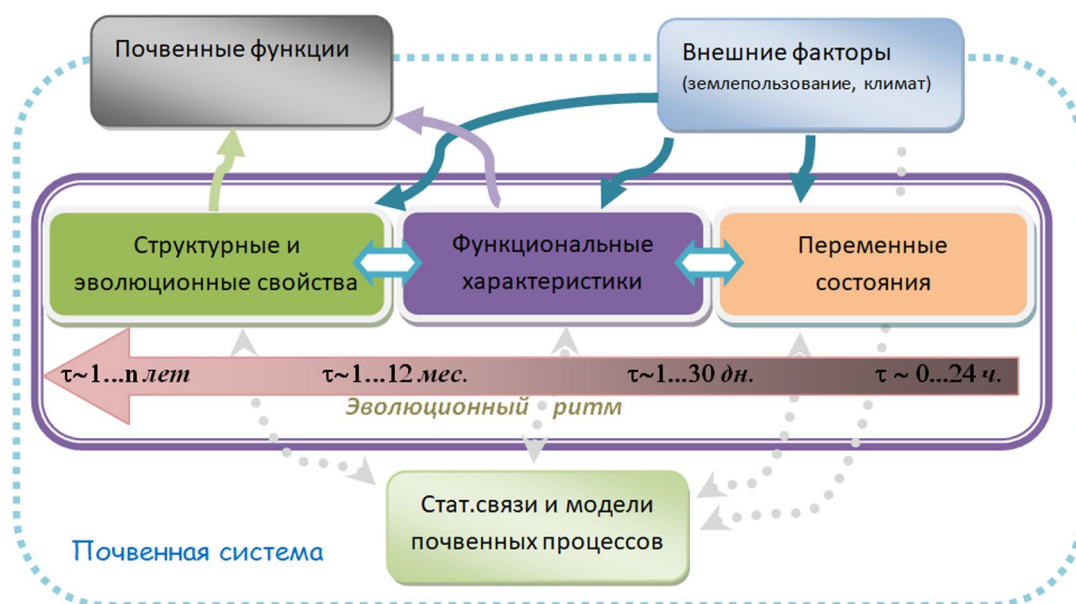


Рис. 3. Взаимосвязь функций и свойств почв, ассоциированных с характерными для них временными масштабами изменения

Fig. 3. The relationship between soil functions and soil properties associated with their characteristic time scales of change

пользовании обеспечивают до 20 % общих антропогенных выбросов CO_2 и являются важным чистым источником углекислого газа [Le Quééré et al., 2009]. Региональные оценки углеродного бюджета имеют значительные различия, поскольку зависят от факторов природного и антропогенного характера. Поэтому исследования по интегральной оценке запасов углерода при разных типах землепользования актуальны [Fuchs et al., 2016; Чернова и др., 2018].

Реакция почв на внешнее воздействие имеет существенные особенности, характерные для сложных систем: в пределах определенного диапазона воздействия почвы чрезвычайно устойчивы к внешним возмущениям, в то время как за пределами некоторой критической точки состояние почв может перейти в другой режим или конфигурацию. Для анализа почв как сложной системы предлагается интерпретировать традиционное рассмотрение типов почв как характерную комбинацию ее отдельных функциональных и структурных характеристик.

Тип почвы рассматривается как аттрактор в многомерном пространстве состояний функциональных и структурных характеристик почвы. Под аттрактором понимается совокупность состояний свойств, которые встречаются чаще, чем другие. И интерпретация полученных данных заключается в том, что подчиненные почвенные процессы и их взаимодействия притягивают систему к этому состоянию. Это означает, что аттракторы относительно устойчивы

в ответ на внешнее воздействие, как это фактически наблюдается для почвы. Важным следствием данной концепции является то, что набор функциональных характеристик не является набором независимых признаков, но все члены набора тесно взаимосвязаны. Это обусловлено тем, что все они имеют одну и ту же основу взаимодействующих почвенных процессов, из которых они возникают. Взаимосвязи доступны не только эмпирическому наблюдению, а также могут быть выведены из происходящих процессов, так как представляют собой целостное проявление лежащих в их основе физических, химических и биологических процессов.

В этой связи статистический анализ должен отразить некоторые взаимосвязи между физическими, химическими и биологическими агентами в почвенных системах. Исходя из сформулированной гипотезы взаимосвязи почвенных процессов и переменных состояния почвы предполагается, что все наблюдаемые нами изменения значений эмпирических признаков обусловлены изменением некоторых внутренних свойств этих объектов – значений латентных факторов (вычисленных по матрице эмпирических показателей). При определенных статистических предположениях о характере распределений наблюдаемых признаков в определенной интерпретации фактора он приобретает смысл латентной переменной, детерминирующей значения наблюдаемых признаков и обуславливающей наличие кор-

реляции между ними. Если нет однозначного соответствия показателей с эмпирической переменной (или с которой имеется сильная корреляция), для отражения латентного фактора можно использовать индексный метод. Индикаторы (либо главные компоненты, вычисленные по матрице эмпирических показателей, либо латентные индексы) состояния почвенной системы представляются в качестве кодов классификации систематизированного перечня именованных объектов и их состояний.

Примером индикатора являются запас углерода почвы, а также ее структура. Последняя может оцениваться, например, индексом, основанным на наблюдаемых гидравлических свойствах. Данные индикаторы отражают как продуктивную функцию, так и среду обитания почвенных организмов. Полагаем, что существуют формализуемые тесные связи между свойствами почвы, биологической активностью и различными «углеродными» показателями.

Выводы

Рассмотрены общетеоретические и эмпирические основы исследования изменения режима землепользования и баланса углерода в экосистемах. Установлено, что вопросы, связанные с характером данных изменений, в целом достаточно хорошо изучены и освещены в научной литературе, однако существуют и малоизученные области, в частности связанные с развитием вторичных лесных биоценозов и изменениями, происходящими при этом в почве.

Вопрос о постагрогенном развитии экосистем для среднетаежной подзоны Карелии рассматривается впервые.

На основе анализа дискуссии по проблеме монетизации услуг природы и объединения естественных и экономических наук предложена эколого-экономическая концептуальная система представлений, основанная на модельных (операционных) отношениях между функциональными и структурными признаками почвы и внешними данными, а также визуальная модель взаимосвязи функций и свойств почв, обусловленных характерными для них временными масштабами изменения. При этом тип почвы рассматривается как аттрактор в многомерном пространстве состояний функциональных и структурных характеристик почвы.

На основе полученных данных планируется перейти к созданию математических моделей и семантических конструкций, описывающих структуру отношений в почвенных системах – характерную комбинацию функциональных и структурных характеристик почв и фитоце-

нозов в целом. В дальнейшем ставится задача разработки методики экономической оценки землепользования в геосистемном ключе экономики биосферы. Она будет основываться на вкладе знаний почвоведения в разрешение заявленной проблемной ситуации и институциональном анализе структуры цены и механизма ценообразования экосистемных услуг. Также в ее основе будет гипотеза о том, что при существенных транзакционных издержках среди рентообразующих факторов именно институциональные факторы становятся лимитирующими по сравнению с природными.

Исследования проведены при финансовой поддержке РФФИ (грант № 192905153).

Литература

- Евдокимов И. В. Методы определения биомассы почвенных микроорганизмов // Russ. J. Ecosystem Ecol. 2018. Vol. 3, no. 3. P. 1–20. doi: 10.21685/2500-0578-2018-3-5
- Добровольский Г. В., Никитин Е. Д. Функции почв в биосфере и экосистеме. М.: Наука, 1990. 261 с.
- Литвинович А. В. Постагрогенная эволюция хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв северо-запада нечерноземной зоны // Агрохимия. 2009. № 7. С. 85–93.
- Литвинович А. В., Дричко В. Ф., Павлова О. Ю., Чернов Д. В., Шабанов М. В. Изменение кислотно-основных свойств окультуренных дерново-подзолистых почв легкого гранулометрического состава в процессе постагрогенной трансформации // Почвоведение. 2009. № 6. С. 680–686.
- Литвинович А. В., Павлова О. Ю. Изменение гумусного состояния дерново-подзолистой глееватой песчаной почвы на залежи // Почвоведение. 2007. № 11. С. 1323–1329.
- Медведева М. В., Мошкина Е. В., Геникова Н. В., Карпечко А. Ю., Туюнен А. В., Мамай А. В., Дубровина И. А., Сидорова В. А., Толстогузов О. В., Кулакова Л. М. Изменение содержания углерода в отдельных компонентах биогеоценоза в процессе его постагрогенной трансформации (среднетаежная подзона Карелии) // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 2020. № 7. С. 141–151. doi: 10.36535/0235-5019-2020-07-2
- Мошкина Е. В., Медведева М. В., Туюнен А. В., Карпечко А. Ю., Геникова Н. В., Дубровина И. А., Мамай А. В., Сидорова В. А., Толстогузов О. В., Кулакова Л. М. Особенности естественного восстановления лесных экосистем на бывших сельскохозяйственных землях (на примере южного агроклиматического района Карелии) // Биосфера. 2019. Т. 11, № 3. С. 134–145.
- Телеснина В. М., Курганова И. Н., Лопес де Гереню В. О., Овсеян Л. А., Личко В. И., Ермолаев А. М., Мирин Д. М. Динамика свойств почв и состава растительности в ходе постагрогенного развития в разных биоклиматических зонах // Поч-

ведение. 2017. № 12. С. 1514–1534. doi: 10.7868/S0032180X17120115

Телеснина В. М., Курганова И. Н., Лопес де Гереню В. О., Овсепян Л. А., Мостовая А. С., Личко В. И., Баева Ю. И. Влияние процессов естественного лесовосстановления на микробиологическую активность постагрогенных почв европейской части России // Лесоведение. 2018. № 1. С. 3–23. doi: 10.7868/S0024114818010011

Чернова О. В., Рыжова И. М., Подвезенная М. А. Влияние исторических и региональных особенностей землепользования на величину и структуру запасов углерода в южной тайге и лесостепи Европейской России // Почвоведение. 2018. № 6. С. 747–758. doi: 10.7868/S0032180X18060114

Baveye P. C. Grand challenges in the research on soil processes // Front. Environ. Sci. 2015. No. 3. Art. 10. doi: 10.3389/fenvs.2015.00010

Baveye P. C., Baveye J., Gowdy J. Soil “ecosystem” services and natural capital: critical appraisal of research on uncertain ground // Front. Environ. Sci. 2016. No. 4. Art. 41. doi: 10.3389/fenvs.2016.00041

Chan K. M. A., Satterfield T., Goldstein J. Rethinking ecosystem services to better address and navigate cultural values // Ecol. Econ. 2012. No. 74. P. 8–18. doi: 10.1016/j.ecolecon.2011.11.011

Conrad E., Cassar L. F. Decoupling economic growth and environmental degradation: reviewing progress to date in the small island state of Malta // Sustainability. 2014. No. 6. P. 6729–6750.

Costanza R., d’Arge R., De Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O’Neill R. V., Paruelo J., Raskin R. G., Sutton P., van den Belt M. The value of the world’s ecosystem services and natural capital // Nature. 1997. No. 387. P. 253–260.

Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth // UNEP. URL: <https://www.unep.org/resources/report/decoupling-natural-resource-use-and-environmental-impacts-economic-growth> (дата обращения: 09.10.2020).

Dominati E. J., Mackay A., Lynch B., Heath N., Miller I. An ecosystems approach to quantify soil performance for multiple outcomes: The future of land evaluation? // Soil Sci. Soc. Am. J. 2016. Vol. 80(2). P. 438–449. doi: 10.2136/sssaj2015.07.0266

Dopfer K., Foster J., Potts J. Micro-meso-macro // J. Evol. Econ. 2004. Vol. 14(3). P. 263–279. doi: 10.1007/s00191-004-0193-0

Dopfer K. The origins of meso economics. Schumpeter’s legacy and beyond // J. Evol. Econ. 2012. Vol. 22(1). P. 133–160.

Menard C. Meso-institutions: the variety of regulatory arrangements in the water sector // Utilities Policy. 2017. No. 49. P. 6–19.

Ehlers K. Chances and challenges in using the sustainable development goals as a new instrument for global action against soil degradation // Int. Yearbook

of Soil Law and Policy / Eds. H. Ginzky, I. Heuser, T. Qin, O. Ruppel, P. Wegerdt. Cham: Springer, 2016. P. 73–84. doi: 10.1007/978-3-319-42508-5_8

Fisher B., Turner R. K., Morling P. Defining and classifying ecosystem services for decision making // Ecol. Econ. 2009. Vol. 68(3). P. 643–653. doi: 10.1016/j.ecolecon.2008.09.014

Fuchs R., Schulp C. J. E., Hengeveld G. M., Verburg P. H., Clevers J. G. P. W., Schelhaas M. J., Herold M. Assessing the influence of historic net and gross land changes on the carbon fluxes of Europe // Glob. Change Biol. 2016. Vol. 22. P. 2526–2539. doi: 10.1111/gcb.13191

Hassink R., Isaksen A., Trippel M. Towards a comprehensive understanding of new regional industrial path development // Regional Studies. 2019. Vol. 53(11). P. 1636–1645.

Hauck J., Görg C., Varjopuro R., Ratamäki O., Jax K. Benefits and limitations of the ecosystem services concept in environmental policy and decision making: Some stakeholder perspectives // Environ. Sci. Policy. 2013. No. 25. P. 13–21. doi: 10.1016/J.ENVSCI.2012.08.001

Le Quééré C., Raupach M. R., Canadell J. G. Trends in the sources and sinks of carbon dioxide // Nat. Geosci. 2009. Vol. 2. P. 831–836. doi: 10.1038/ngeo689

Milcu A. I., Hanspach J., Abson D., Fischer J. Cultural ecosystem services: a literature review and prospects for future research // Ecol. Soc. 2013. Vol. 18(3). Art. 44. doi: 10.5751/ES-05790-180344

Spangenberg J. H., Görg Ch., Truong D. T., Tekken V., Bustamante J. V., Settele J. Provision of ecosystem services is determined by human agency, not ecosystem functions. Four case studies // Int. J. Biodivers. Sci. Ecosyst. Serv. Manag. 2014. No. 10(1). P. 40–53. doi: 10.1080/21513732.2014.884166

Quillérou E., Thomas R. Costs of land degradation and benefits of land restoration: a review of valuation methods and suggested frameworks for inclusion into policy-making // CAB Review. 2012. No. 7(0606). P. 1–12.

Recommendations of the Conference of European statisticians for measuring sustainable development // United Nations. New York; Geneva: Eurostat, 2014.

Redford K. H., Adams W. M. Payment for ecosystem services and the challenge of saving nature // Conserv. Biol. 2009. Vol. 23(4). P. 785–787. doi: 10.1111/j.1523-1739.2009.01271.x

Robinson D., Fraser I., Dominati E. J., Davíðsdóttir B., Jónsson J. O. G., Jones L., Jones S. B., Tuller M., Lebron I., Bristow K. L., Souza D. M., Banwart S., Clothier B. E. On the value of soil resources in the context of natural capital and ecosystem service delivery // Soil Sci. Soc. Am. J. 2014. No. 78. P. 685–700. doi: 10.2136/sssaj2014.01.0017

Поступила в редакцию 08.04.2021

References

Chernova O. V., Ryzhova I. M., Podvezennaya M. A. The effect of historical and regional features of land use on the size and structure of carbon pools in the South-

ern Taiga and forest-steppe zones of European Russia. *Eur. Soil Sci.* 2018. No. 51. P. 709–719. doi: 10.1134/S106422931804004X

- Dobrovol'skii G. V., Nikitin E. D. Funktsii pochv v biosfere i ekosisteme [Soil functions in the biosphere and ecosystem]. Moscow: Nauka, 1990. 261 p.
- Evdokimov I. V. Metody opredeleniya biomassy pochvennykh mikroorganizmov [Methods for determining the biomass of soil microorganisms]. *Russ. J. Ecosystem Ecol.* 2018. Vol. 3, no. 3. P. 1–20. doi: 10.21685/2500-0578-2018-3-5
- Litvinovich A. V. Postagrogennaya evolyutsiya khoro-sho okul'turnykh dernovo-podzolistykh pochv severo-zapada nechernozemnoi zony [Postagrogenic evolution of well-cultivated sod-podzolic soils of the north-west of the non-chernozem zone]. *Agrokhim.* [Agrochem.]. 2009. No. 7. P. 85–93.
- Litvinovich A. V., Drichko V. F., Pavlova O. Yu., Chernov D. V., Shabanov M. V. Changes in the acid-base properties of cultivated light-textured soddy-podzolic soils in the course of postagrogenic transformation. *Eur. Soil Sci.* 2009. No. 42. P. 629–635. doi: 10.1134/S1064229309060076
- Litvinovich A. V., Pavlova O. Yu. Change of the humus state of sod-podzolic gleevate sandy soil to deposits sol. *Eur. Soil Sci.* 2007. Vol. 40(11). P. 1181–1186.
- Medvedeva M. V., Moshkina E. V., Genikova N. V., Karpechko A. Yu., Tuyunen A. V., Mamai A. V., Dubrovina I. A., Sidorova V. A., Tolstoguzov O. V., Kulakova L. M. Izmeneniye soderzhaniya ugleroda v otdel'nykh komponentakh biogeotsenoza v protsesse ego postagrogennoi transformatsii (srednetaezhnaya podzona Karelii) [Changes in the carbon content of individual components of the biogeocenosis during its postagrogenic transformation (middle taiga subzone of Karelia)]. *Problemy okruzhayushchei sredy i prirodnkh resursov* [Issues of Environment and Natural Resources]. 2020. No. 7. P. 141–151. doi: 10.36535/0235-5019-2020-07-2
- Moshkina E. V., Medvedeva M. V., Tuyunen A. V., Karpechko A. Yu., Genikova N. V., Dubrovina I. A., Mamai A. V., Sidorova V. A., Tolstoguzov O. V., Kulakova L. M. Osobennosti estestvennogo vosstanovleniya lesnykh ekosistem na byvshikh sel'skokhozyaistvennykh zemlyakh (na primere yuzhnogo agroklimaticheskogo raiona Karelii) [Patterns of natural forest ecosystem regeneration in abandoned farmland (the case of the Southern agro-climatic district of Karelia)]. *Biosfera* [Biosphere]. 2019. Vol. 11, no. 3. P. 134–145.
- Telesnina V. M., Kurganova I. N., Lopes de Gere-nyu V. O., Ovsepyan L. A., Mostovaya A. S., Lichko V. I., Baeva Yu. I. Vliyaniye protsessov estestvennogo lesovos-tanovleniya na mikrobiologicheskuyu aktivnost' posta-grogennykh pochv evropeiskoi chasti Rossii [Influence of natural reforestation processes on the microbiological activity of postagrogenic soils of the European part of Russia]. *Lesovedenie* [Russ. J. Forest Sci.]. 2018. No. 1. P. 3–23. doi: 10.7868/S0024114818010011
- Telesnina V. M., Kurganova I. N., Lopes de Gere-nyu V. O., Ovsepyan L. A., Lichko V. I., Ermolaev A. M., Mirin D. M. Dynamics of soil properties and plant composition during postagrogenic evolution in different bio-climatic zones. *Eur. Soil Sci.* 2017. No. 50. P. 1515–1534. doi: 10.1134/S1064229317120109
- Baveye P. C. Grand challenges in the research on soil processes. *Front. Environ. Sci.* 2015. No. 3. Art. 10. doi: 10.3389/fenvs.2015.00010
- Baveye P. C., Baveye J., Gowdy J. Soil “ecosystem” services and natural capital: critical appraisal of research on uncertain ground. *Front. Environ. Sci.* 2016. No. 4. Art. 41. doi: 10.3389/fenvs.2016.00041
- Chan K. M. A., Satterfield T., Goldstein J. Rethinking ecosystem services to better address and navigate cultural values. *Ecol. Econ.* 2012. No. 74. P. 8–18. doi: 10.1016/j.ecolecon.2011.11.011
- Conrad E., Cassar L. F. Decoupling economic growth and environmental degradation: reviewing progress to date in the small island state of Malta. *Sustainability.* 2014. No. 6. P. 6729–6750.
- Costanza R., d'Arge R., De Groot R., Farber S., Gras-so M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O'Neill R. V., Paruelo J., Raskin R. G., Sutton P., van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature.* 1997. No. 387. P. 253–260.
- Decoupling natural resource use and environmen-tal impacts from economic growth. *UNEP.* URL: <https://www.unep.org/resources/report/decoupling-natural-resource-use-and-environmental-impacts-economic-growth> (accessed: 09.10.2020).
- Dominati E. J., Mackay A., Lynch B., Heath N., Mill-ner I. An ecosystems approach to quantify soil perfor-mance for multiple outcomes: The future of land evalua-tion? *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2016. Vol. 80(2). P. 438–449. doi: 10.2136/sssaj2015.07.0266
- Dopfer K., Foster J., Potts J. Micro-meso-macro. *J. Evol. Econ.* 2004. Vol. 14(3). P. 263–279. doi: 10.1007/s00191-004-0193-0
- Dopfer K. The origins of meso economics. Schum-peter's legacy and beyond. *J. Evol. Econ.* 2012. Vol. 22(1). P. 133–160.
- Menard C. Meso-institutions: the variety of regula-tory arrangements in the water sector. *Utilities Policy.* 2017. No. 49. P. 6–19.
- Ehlers K. Chances and challenges in using the sus-tainable development goals as a new instrument for glo-bal action against soil degradation. *Int. Yearbook of Soil Law and Policy.* Eds. H. Ginzky, I. Heuser, T. Qin, O. Rup-pel, P. Wegerdt. Cham: Springer, 2016. P. 73–84. doi: 10.1007/978-3-319-42508-5_8
- Fisher B., Turner R. K., Morling P. Defining and clas-sifying ecosystem services for decision making. *Ecol. Econ.* 2009. Vol. 68(3). P. 643–653. doi: 10.1016/j.ecolecon.2008.09.014
- Fuchs R., Schulp C. J. E., Hengeveld G. M., Ver-burg P. H., Clevers J. G. P. W., Schelhaas M. J., Herold M. Assessing the influence of historical net and gross land changes on the carbon fluxes of Europe. *Glob. Change Biol.* 2016. Vol. 22. P. 2526–2539. doi: 10.1111/gcb.13191
- Hassink R., Isaksen A., Trippl M. Towards a com-prehensive understanding of new regional industrial path development. *Regional Studies.* 2019. Vol. 53(11). P. 1636–1645.
- Hauck J., Görg C., Varjopuro R., Ratamäki O., Jax K. Benefits and limitations of the ecosystem services con-cept in environmental policy and decision making: Some stakeholder perspectives. *Environ. Sci. Policy.* 2013. No. 25. P. 13–21. doi: 10.1016/J.ENVSCL.2012.08.001
- Le Quééré C., Raupach M. R., Canadell J. G. Trends in the sources and sinks of carbon dioxide. *Nat. Geosci.* 2009. Vol. 2. P. 831–836. doi: 10.1038/ngeo689

Milcu A. I., Hanspach J., Abson D., Fischer J. Cultural ecosystem services: a literature review and prospects for future research. *Ecol. Soc.* 2013. Vol. 18(3). Art. 44. doi: 10.5751/ES-05790-180344

Spangenberg J. H., Görg Ch., Truong D. T., Tekken V., Bustamante J. V., Settele J. Provision of ecosystem services is determined by human agency, not ecosystem functions. Four case studies. *Int. J. Biodivers. Sci. Ecosyst. Serv. Manag.* 2014. No. 10(1). P. 40–53. doi: 10.1080/21513732.2014.884166

Quillérou E., Thomas R. Costs of land degradation and benefits of land restoration: a review of valuation methods and suggested frameworks for inclusion into policy-making. *CAB Review.* 2012. No. 7(0606). P. 1–12.

Recommendations of the Conference of European statisticians for measuring sustainable develop-

ment. United Nations. New York; Geneva: Eurostat, 2014.

Redford K. H., Adams W. M. Payment for ecosystem services and the challenge of saving nature. *Conserv. Biol.* 2009. Vol. 23(4). P. 785–787. doi: 10.1111/j.1523-1739.2009.01271.x

Robinson D., Fraser I., Dominati E. J., Davíðsdóttir B., Jónsson J. O. G., Jones L., Jones S. B., Tuller M., Lebron I., Bristow K. L., Souza D. M., Banwart S., Clothier B. E. On the value of soil resources in the context of natural capital and ecosystem service delivery. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2014. No. 78. P. 685–700. doi: 10.2136/sssaj2014.01.0017

Received April 08, 2021

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Толстогузов Олег Викторович

ведущий научный сотрудник, д. э. н.
Институт экономики КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185030
эл. почта: olvito@mail.ru

Геникова Надежда Васильевна

старший научный сотрудник, к. б. н.
Институт леса КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: genikova@krc.karelia.ru

Дубровина Инна Александровна

старший научный сотрудник, к. с.-х. н.
Институт биологии КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: vorgo@mail.ru

Карпечко Анна Юрьевна

научный сотрудник, к. с.-х. н.
Институт леса КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: yuvkarp@onego.ru

Кулакова Любовь Михайловна

старший научный сотрудник, к. э. н.
Институт экономики КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185030
эл. почта: dialogkarelia@gmail.com

CONTRIBUTORS:

Tolstoguzov, Oleg

Institute Economics, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
50 Al. Nevsky Ave., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: olvito@mail.ru

Genikova, Nadezhda

Forest Research Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: genikova@krc.karelia.ru

Dubrovina, Inna

Institute of Biology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: vorgo@mail.ru

Karpechko, Anna

Forest Research Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: yuvkarp@onego.ru

Kulakova, Lyubov

Institute Economics, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
50 Al. Nevsky Ave., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: dialogkarelia@gmail.com

Мамай Анастасия Витальевна

младший научный сотрудник, к. б. н.
Институт леса КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: krutova_n@mail.ru

Медведева Мария Владимировна

заведующая лаб. лесного почвоведения, к. б. н., доц.
Институт леса КарНЦ РАН, Федеральный
исследовательский центр «Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: mariamed@mail.ru

Мошкина Елена Викторовна

научный сотрудник, к. с.-х. н.
Институт леса КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: lena_moshkina@mail.ru

Сидорова Валерия Александровна

научный сотрудник, к. с.-х. н.
Институт биологии КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: val.sidorova@gmail.com

Тюнен Андрей Владимирович

научный сотрудник
Институт леса КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: tuyunen@krc.karelia.ru

Mamai, Anastasia

Forest Research Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: krutova_n@mail.ru

Medvedeva, Maria

Forest Research Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: mariamed@mail.ru

Moshkina, Elena

Forest Research Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: lena_moshkina@mail.ru

Sidorova, Valeria

Institute of Biology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: val.sidorova@gmail.com

Tuyunen, Andrey

Forest Research Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: tuyunen@krc.karelia.ru

УДК 550.4 + 550.8.05 + 550.84

ШУНГИТОВЫЕ ПОРОДЫ КАРЕЛИИ: ОТ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ К ПЕРСПЕКТИВАМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Ю. Е. Дейнес¹, В. В. Ковалевский¹, А. В. Первунина¹, А. Е. Ромашкин¹,
Д. В. Рычанчик¹, Е. П. Иешко²

¹ Институт геологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

² Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

Рассмотрены материалы по истории исследования, перспективам поисков месторождений и практического освоения шунгитовых пород Карелии. Показаны критерии и возможности корреляции геологических разрезов. Приведены некоторые особенности геохимического и изотопного состава шунгитовых пород, а также их физико-химические свойства. Представлены результаты использования шунгитовых пород в некоторых инновационных технологиях.

Ключевые слова: шунгитовые породы; палеопротерозой; стратиграфия; инновации.

Yu. E. Deines, V. V. Kovalevski, A. V. Pervunina, A. E. Romashkin, D. V. Rychanchik, E. P. Ieshko. SHUNGITE ROCKS OF KARELIA: FROM GEOLOGICAL RESEARCH TO PROSPECTS FOR USE IN INNOVATIVE TECHNOLOGIES

The paper deals with the history of research and potential for shungite deposit prospecting and exploitation of shungite rocks in Karelia. The criteria and possibilities of correlation of geological sections are given. Some features of the geochemical and isotopic composition of shungite rocks, as well as their physicochemical properties are described. The results of shungite rock application in some innovative technologies are presented.

Keywords: shungite rocks; Paleoproterozoic; stratigraphy; innovations.

Введение

Онежская синклиальная структура Фенноскандинавского щита уникальна по объему накопленного органического углерода в раннем протерозое (рис. 1). Основная масса органического углерода заключена в верхней подсвите заонежской свиты людиковийского надгоризонта палеопротерозоя Карелии

(2,1–1,92 млрд лет). Заонежская свита включает в себя осадочные, вулканогенно-осадочные и вулканогенные образования. Свита подразделяется на две подсвиты [Геология..., 1982]. Нижняя (мощность около 250 м) сложена в основном аргиллитами, алевролитами, преимущественно доломитом. Для пород подсвиты характерны серые, зеленовато-серые цвета окраски, иногда темно-серые до черных

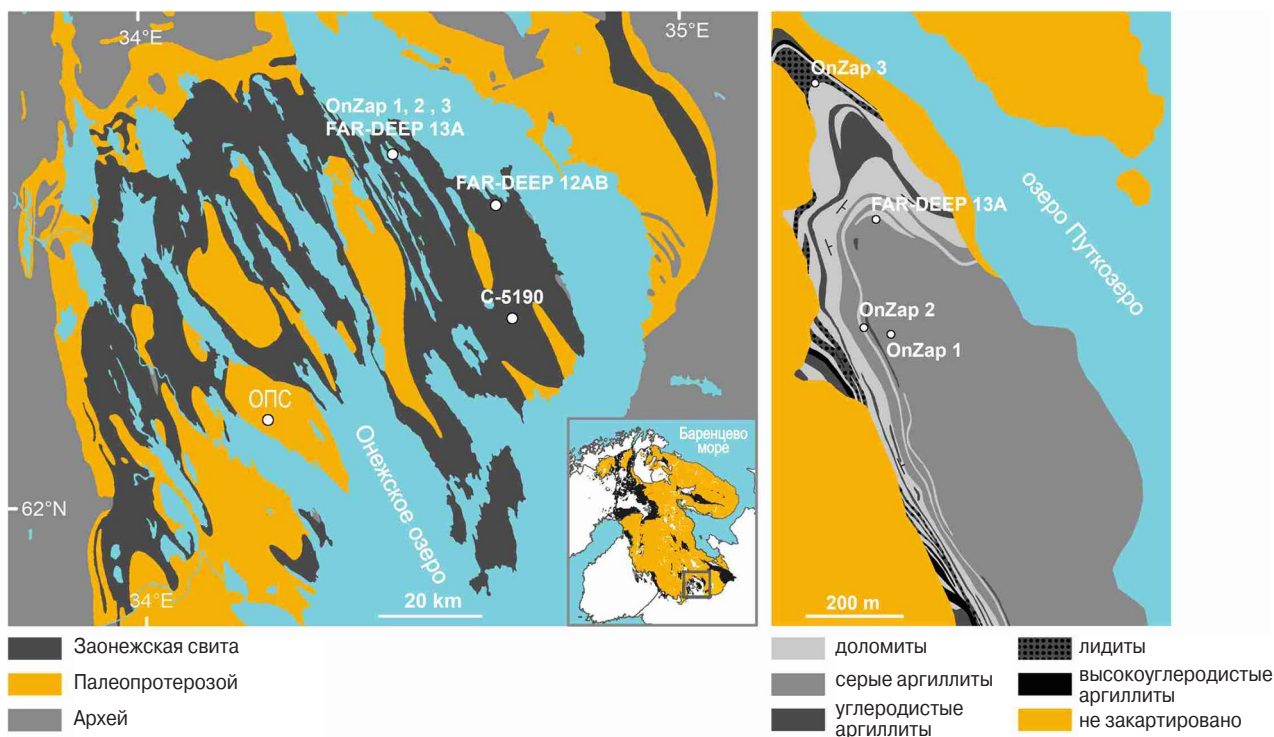


Рис. 1. А. Геологическая карта-схема Онежского бассейна. Показано расположение скважин, пробуренных по разным проектам. На врезке – положение Онежского бассейна и залегание палеопротерозойских пород (черный цвет) на Фенноскандинавском щите. Б. Геологическая карта-схема заонежской свиты [по: Melezhik et al., 2013] вблизи дер. Шуньга [Paiste et al., 2018]

Fig. 1. A. Simplified geological schematic map of the Onega basin, NW Russia. Circles show the location of holes for different projects. Inset map shows location of the Onega basin and occurrence of Paleoproterozoic rocks (black) across the eastern Fennoscandian Shield. B. Simplified geological schematic map of the Zaonega Formation [after: Melezhik et al., 2013] near Shunga [Paiste et al., 2018]

(в случае присутствия шунгитового вещества), обильная вкрапленность пирита [Онежская..., 2011]. Характерными особенностями верхней подсвиты (мощность около 850 м, не включая силлы габбродолеритов) являются: общая обогащенность осадочных пород шунгитовым веществом, наличие горизонтов с высоким (более 20 мас. %) содержанием шунгитового вещества, присутствие лав основного состава и силлов габбродолеритов. В пределах заонежской свиты С. В. Купряковым [1988] условно было выделено девять горизонтов шунгитовых пород как наиболее обогащенных $C_{орг}$ участков слоистой толщи. Максимальное содержание $C_{орг}$ – в наиболее тонких – пелитовых и алевролитовых компонентах, как правило, первично-глинистого, глинисто-кремнистого состава.

Докембрийские углеродсодержащие породы осадочного и вулканогенно-осадочного генезиса, содержащие в различной степени метаморфизованное органическое вещество, встречаются и за пределами Карелии, в том числе в Мурманской области, Финляндии, Га-

боне, Канаде и др. Сравнивая шунгитовые породы Карелии с породами других регионов мира, следует отметить следующее:

- шунгитовые породы Карелии выделяются объемом накопленного материала. По ряду оценок, в Онежской структуре на площади 9000 км² в палеопротерозое захоронено около 25×10^{10} т органического вещества, находящегося по соотношению Н/С и О/С (по диаграмме Ван Кревелена [Cornelius, 1987]) на графитовой стадии углефикации;
- несмотря на древнейший возраст (около 2 млрд лет), шунгитовые породы Карелии отличаются хорошей степенью сохранности, что способствует возможности исследования условий образования, а также процессов разрушения первичных залежей органического вещества и последующего переотложения в бассейнах осадконакопления.

Необходимо отметить, что породы отличаются по составу минеральных компонентов, содержанию, строению и свойствам органического вещества и др.

Месторождения шунгитовых пород Онежской структуры представлены купольными и субпластовыми телами [Филиппов, 2002]. Наиболее изученной является Максовская залежь Зажогинского месторождения, на котором в настоящее время ведется промышленная разработка. В структурном отношении залежь представляет собой близкую к изометричной антиклинальную складку мощностью до 120 м (в центральной части), имеющую характерную зональность в распределении углерода и минерального вещества [Филиппов, 2002]. Особенности строения субпластовой залежи шунгитовых пород достаточно полно исследованы на примере месторождения Шуньга [Филиппов, Дейнес, 2018].

В 70-е годы XX столетия в постановлении Совета Министров СССР Институт геологии КарНЦ РАН был признан головной организацией в области исследования шунгитовых пород. Эта тематика до сих пор является приоритетной.

В данной статье приведены результаты работ, проведенных в XXI веке. Рассмотрены геолого-геофизические исследования месторождений шунгитовых пород Карелии, показаны особенности физико-химических свойств шунгитовых пород, выявлены инновационные направления использования.

История изучения шунгитовых пород

Исследованием шунгитовых пород в пределах Онежского синклинория Фенноскандинавского щита российские и зарубежные ученые занимаются на протяжении более двухсот лет. Первые находки «углистых» пород Олонецкого края в районе п. Шуньга Заонежского полуострова известны с начала XVIII века. Внимание промышленников привлекала способность пород к горению, а ученые заинтересовались уникальностью физико-химических свойств и структурных особенностей шунгитовых пород. Первым, кто изучал свойства и дал название черным породам Заонежья, был профессор Санкт-Петербургского университета А. А. Иностранцев. Термин «шунгит», введенный в 1879 г. А. А. Иностранцевым, был определен для «нового крайнего члена в ряду аморфного углерода», который не является антрацитом [Иностранцев, 1879]. Данное определение остается актуальным в настоящее время, так как несет в себе геологическую, вещественную и структурную информацию.

А. А. Иностранцев впервые выделил четыре разновидности шунгитов, отличающиеся по физическим свойствам, положив начало их классификации. По мере продвижения иссле-

дований менялись и принципы классификации шунгитовых пород. В 1956 г. П. А. Борисов разделил шунгитовые породы на пять групп, принимая за основу единственный признак – содержание свободного углерода в породе: I – $>80\% C_{св}$; II – $35-80\% C_{св}$; III – $20-35\% C_{св}$; IV – $10-20\% C_{св}$; V – $<10\% C_{св}$ [Борисов, 1956]. В классификации Л. П. Галдобинной и В. А. Солодова [Шунгиты..., 1975] шунгитовые породы разделены с учетом генезиса минеральной составляющей (хемогенные, терригенные и вулканогенные), а также содержания свободного кремнезема. В 1984 г. В. И. Горлов впервые разделяет шунгитовые породы по генезису шунгитового вещества: первично-осадочное, миграционное, переотложенное [Горлов, 1984]. М. М. Филиппов также берет за основу этот принцип и разделяет шунгитовые породы на четыре группы [Филиппов, 2002]. В основу геолого-промышленной классификации Ю. К. Калинина положены вещественные признаки шунгитовых пород, их практическая значимость и технологические требования к сырью [Шунгиты..., 1984].

В настоящее время не существует единого образа в терминологическом определении углеродсодержащих пород докембрийского возраста. В научной литературе можно встретить термины: «углеродсодержащие породы», «шунгитовые породы», «шунгитоносные породы», «шунгиты». Следует отметить, что термин «шунгит» приобрел бытовое значение и применяется ко всем углеродсодержащим (черного цвета) породам Карелии.

На первых геологических («геогностических») картах Олонецкого горного округа Н. И. Комарова, 1842 г., а затем Г. П. Гельмерсена, 1860 г., шунгитовые породы отмечались как «черный аспид», «рыхлое углистое вещество» или «глинистый сланец, изобилующий графитом». В 1932–1933 гг. трестом «Шунгит» было разведано и затем введено в эксплуатацию месторождение шунгитов в дер. Шуньга. С 1954 г. на территории Заонежского п-ова проводились поиски урановых месторождений («Невскгеология», ВСЕГЕИ) – аэрогамма-аэромагнитная съемка м-ба 1:25 000, сопровождаемые наземными геофизическими исследованиями и бурением скважин. Далее картировочные работы на этой территории производились в 1969 г. ПГО «Севзапгеология». С целью изучения геологического строения участков при геолого-съёмочных работах м-ба 1:50 000, с выделением перспективных на рудное сырье, территория Заонежского п-ова в 1970-е гг. исследовалась методами аэроэлектроразведки, вращающегося магнитного поля (ВМП) и беско-

нечно длинного кабеля (БДК). В 1979 г. на всей территории Заонежского п-ова и прилегающих районов была выполнена гравиметрическая съемка м-ба 1:50000. Результаты сейсмических работ МОБЗ на территории Заонежского п-ова ГПП «Невскгеология» в 1981–1987 гг. приведены в работе [Исанина и др., 2004]. Важным этапом геофизических исследований явились поисковые и разведочные работы на высокоуглеродистые породы в 1985 и 1988 гг.

Следует отметить, что с 1990-х гг. геологические исследования в Карелии в целом существенно сократились, некоторые производственные организации прекратили свою деятельность.

В 2000-х гг. стало активно развиваться международное сотрудничество, возникли новые проекты, в которых принимали участие сотрудники Института геологии.

Геолого-геофизические исследования шунгитовых пород Онежской структуры

В 2000 г. М. М. Филипповым была предложена диапировая модель формирования залежей шунгитовых пород [Филиппов, 2002]). В 2001–2005 гг. сотрудниками Института геологии КарНЦ РАН проведено геотектоническое районирование Онежской структуры на основе результатов региональных геофизических работ, создана модель формирования семейств купольных залежей шунгитовых пород [Филиппов, 2002]. Теоретически и экспериментально доказано существование в докембрии систем купольных структур, сформированных по органоглинам и органо-кремнистым осадочным породам, и получены данные об основных параметрах системы (ведущей длине волны и азимутах простираания первичных валов) для верхней подсвиты заонежской свиты людиковия в пределах Толвуйской синклинали [Филиппов и др., 2004].

Большой объем геофизических наблюдений 2006–2008 гг. позволил с высокой достоверностью утверждать, что в центральной части Толвуйской синклинали локализованы три купольные шунгитоносные структуры. Эти залежи, в отличие от Максовского месторождения, не затронуты процессами эрозии, т. е. их апикальные части перекрыты породами шунгитоносных горизонтов. Проведены работы по систематизации знаний о шунгитовых породах Карелии [Атлас..., 2007].

В 2007 году стартовал международный буровой проект FAR-DEEP (Fennoscandian Arctic Russia – Drilling Early Earth Project), который осуществлялся в рамках международной программы континентального бурения ICDP (Inter-

national Continental Scientific Drilling Programm). Куратором проекта являлся проф. V. A. Melezhik (Норвежская геологическая служба, университет г. Берген), кроме него в координационный совет входили проф. L. Kump (Пенсильванский университет, США), проф. H. Strauss (Вестфальский университет, Германия), проф. A. E. Fallick (Исследовательский реакторный центр университетов Шотландии), проф. C. Hawkesworth (Бристольский университет, Англия). Координатором проекта являлся A. Lepland (Норвежская геологическая служба). Проект объединил ученых 12 стран, включая Россию. Было запланировано бурение 13 скважин на территории Карелии и Мурманской области. Причем три из них (11, 12AB, 13A) непосредственно связаны с изучением шунгитовых пород Карелии и их положения в стратиграфическом разрезе палеопротерозоя.

Знаменательным событием явилось бурение в 2007–2009 гг. Онежской параметрической скважины (ОПС) с проектной глубиной 3500 м, которая впервые вскрыла непрерывный разрез архейского фундамента до калевийского надгоризонта палеопротерозоя включительно. Работы по объекту «Онежская параметрическая скважина» выполнял ОАО НПЦ «Недра» (г. Ярославль). Исполнитель государственного контракта плодотворно сотрудничал с Институтом геологии КарНЦ РАН. Полученные результаты изучения скважины и геопространства изменили прежние модели строения Онежской структуры и требуют, по мере осмысления, проведения новых специальных исследований. Результаты бурения позволили получить новые данные, впервые для этого разреза были проведены геофизические исследования скважины широким комплексом методов.

В 2012 г. реализован еще один международный проект по бурению шунгитовых пород Карелии (OnZap), в рамках которого пробурены три скважины в районе месторождения Шуньга (см. рис. 1). Участие в нем принимали Институт геологии КарНЦ РАН, Геологическая служба Норвегии, Университет г. Тарту (Эстония).

В процессе выполнения этих проектов получены новые и иногда неожиданные данные о палеопротерозойских шунгитосодержащих породах: их химическом и минеральном составе, обстановках, в которых эти породы образовались, что позволило уточнить последовательность образования отложений в геологических разрезах и скоррелировать их с другими разрезами, расположенными в разных частях Онежской палеопротерозойской структуры.

Большая часть результатов исследований опубликована (в англоязычном варианте). По-

этому здесь мы приведем лишь некоторые из них.

Нижняя граница шунгитовых пород. Нижний контакт заонежской свиты с ятулийским надгоризонтом задокументирован ранее многими исследователями в разных частях Онежской структуры. Но единого мнения на характер перехода не существовало. Доступны две противоречивые интерпретации:

- эрозионная поверхность, указывающая на значительный перерыв в геологической летописи между карбонатными (ятулийскими (2,3–2,1 млрд лет) и шунгитсодержащими лудиковийскими (2,1–1,9 млрд лет) образованиями;
- постепенный переход от ятулийских к лудиковийским образованиям без тектонических и эрозионных процессов.

Детальные исследования этого перехода показали, что значительного перерыва между образованиями заонежской свиты и ятулийского надгоризонта не существовало [Melezhik et al., 2013].

Гигантские палеопротерозойские месторождения нефти. Получены доказательства, что палеопротерозойские породы Онежской структуры Карелии содержат значительные накопления органического вещества (до 75 мас. % органического углерода) с предполагаемым исходным нефтяным потенциалом, сравнимым с современными сверхгигантскими нефтяными месторождениями (рис. 2).

Полученный в результате выполнения проектов материал позволяет предположить, что керн скважин содержит сведения об условиях, которые существовали в бассейнах того времени. А то, что мы видим сейчас, является совре-



Рис. 2. Пиробитум (шунгит) из нефтяной ловушки близ Шунги

Fig. 2. Pyrobitumen (shungite) from an oil trap near Shunga

менным видением уникально сохранившегося окаменелого месторождения нефти, включая свидетельства нефтяных ловушек и путей ее миграции [Melezhik et al., 2009].

Древние палеопротерозойские фосфориты. Считается, что все известные формы жизни на Земле требуют фосфора. В свою очередь, биологические процессы оказывают значительное влияние на круговорот фосфора в природе. По проблеме палеопротерозойского фосфатогенеза и связанных с ним климатических изменений, а также трансформаций глобальных циклов углерода, серы, кислорода и фосфора на рубеже истории Земли около 2 млрд лет назад, в рамках международного проекта OnZaP получен уникальный материал из района в окрестностях дер. Шуньга. Обнаружены одни из самых древних фосфоритовых прослоев (рис. 3). Палеопротерозойские фосфориты выявлены и в других местах. Но все они представлены преимущественно конкрециями и мелкими включениями. Шуньгские представляют собой прослои апатита в шунгитовых породах и их перекристаллизованные реликты в доломитах [Ромашкин и др., 2012; Lepland et al., 2013].

При анализе материалов по скважинам FAR-DEEP 12AB и 13A показано, что помимо литологических и геофизических маркирующих горизонтов имеется геохимическая (изотопная) аномалия, которая может быть использована для корреляции разрезов скважин, т. н. Уровень Шуньги. Так, $\delta^{13}\text{C}_{\text{орг}}$ в породах свиты изменяется в диапазоне $-16,5 \div -40,6 \text{ ‰}$. Наблюдается явная тенденция снижения $\delta^{13}\text{C}_{\text{орг}}$ снизу вверх по разрезу. В верхней подсвите породы характеризуются наиболее низкими значениями $\delta^{13}\text{C}_{\text{орг}}$ (среднее $-36,4 \text{ ‰}$). В пятом осадочно-вулканогенном ритме и в подошве суйсарской свиты средние значения $\delta^{13}\text{C}_{\text{орг}} = -33,7 \text{ ‰}$. Облегчение изотопного состава $\text{C}_{\text{орг}}$ связывается с большим количеством миграционного ОВ, высачиванием углеводородов и деятельностью метанотрофов, т. е. с регрессией бассейна. Сопоставление изотопных данных по скважине 5190 (ПГО «Невскгеология»), а также по скважине 12А (FAR-DEEP) и по ОПС, расположенным на участках, находящихся на значительном расстоянии друг от друга (см. рис. 1), свидетельствует о том, что изотопная аномалия является региональной (рис. 4).

На рис. 5 представлен весь разрез заонежской свиты, вскрытый ОПС, и изотопные данные $\delta^{13}\text{C}_{\text{карб}}$ и $\delta^{18}\text{O}$. Как видно, изотопный состав пород нижней части заонежской свиты более постоянен и составляет $\delta^{13}\text{C}_{\text{карб}} = 6 \text{ ‰}$ и $\delta^{18}\text{O} = -10 \text{ ‰}$, с последующим ростом при

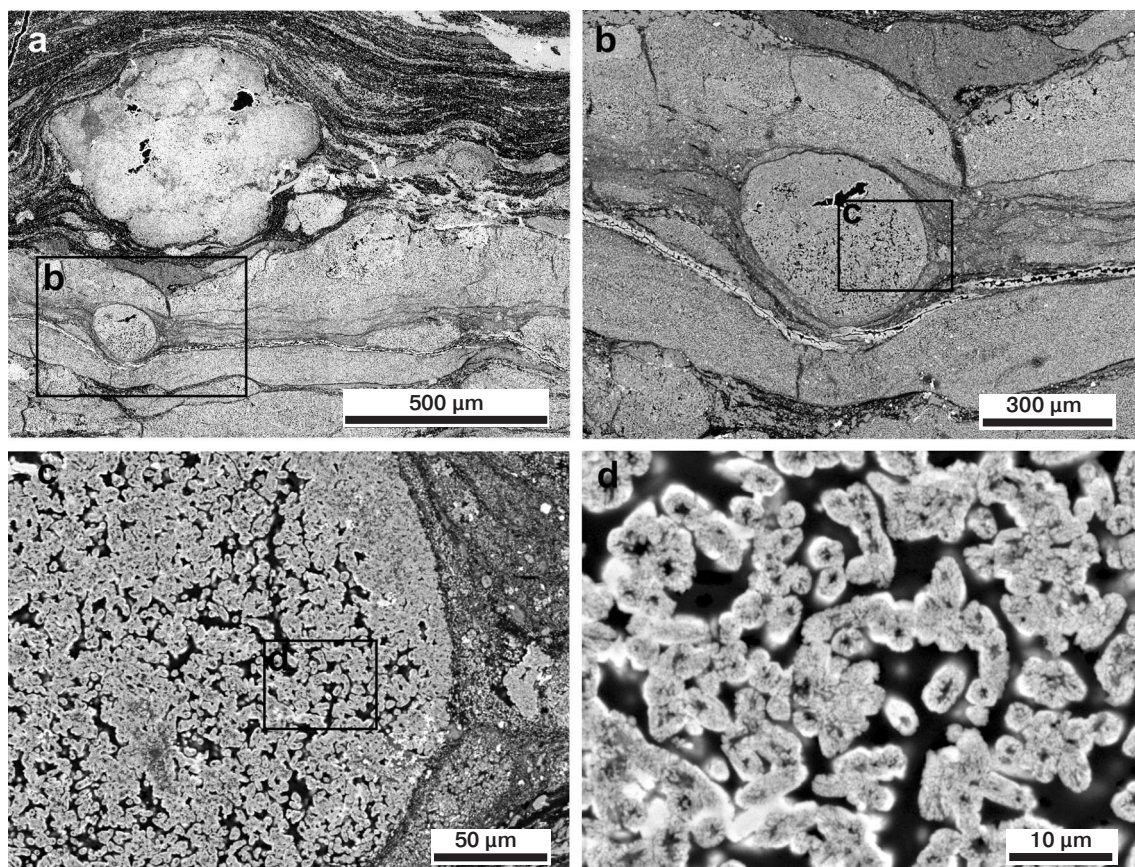


Рис. 3. Изображения SEM-BSE с увеличением от а до d, иллюстрирующие появление апатитовых цилиндров в матрице углеродистого вещества внутри фосфатной конкреции

Fig. 3. SEM-BSE images of increased magnification from a to d illustrating the occurrence of apatite cylinders in the matrix of carbonaceous matter within a phosphatic nodule

переходе в туломозерскую свиту ятулия. Следует отметить лучшую сохранность изотопных записей в нижней части заонежской свиты, как в углероде, так и в кислороде карбонатов. Отчетливо видно завершение аномалии изотопно-тяжелого карбонатного углерода Ломангунди-ятулий, достигавшей в породах Карелии значений $+16 \delta^{13}\text{C}_{\text{карб}}$, переход в отрицательные значения для карбонатов заонежской свиты. На этом фоне четко проявляются изотопные экскурсии Уровня Шуньги.

Таким образом, полученные материалы по буровым проектам FAR-DEEP [Strauss et al., 2013], OnZap [Kreitsmann et al., 2019] и данные по Онежской параметрической скважине [Онежская..., 2011] позволили обосновать важные региональные стратиграфические реперы для разрезов заонежской свиты [Qu et al., 2012; Филиппов, Есипко, 2016], существование массового накопления ОВ и генерации углеводородов (УВ) в Онежском бассейне и в других бассейнах-аналогах палеопротерозоя (феномен «Шуньга») [Melezhik et al., 2009; Kump et al., 2011], впервые для протерозойских отложений

выявить инъекции органоминерального вещества [Филиппов и др., 2016].

Геофизические исследования этого периода были направлены на выявление купольных структур в Мягрозерской, Хмельозерской и других синклиналиях, аналогичных по геологическому строению Толвуйской структуре, определение на отдельных примерах основных параметров систем и перспектив открытия крупных залежей шунгитовых пород [Филиппов, Дейнес, 2019]. Также была обоснована перспективность открытия субпластовых месторождений шуньгского типа в нескольких районах Онежской структуры, в том числе в непосредственной близости от месторождения Шуньга [Филиппов, Дейнес, 2018].

Геофизические исследования шунгитовых пород 2019–2020 гг. были направлены на выявление характерных признаков субпластовых залежей в пределах участка Шуньга Хмельозерской синклинали, а также на уточнение его геологического строения. Работы проводились в северо-западной и центральной части участка. Выполнены измерения разности потенци-

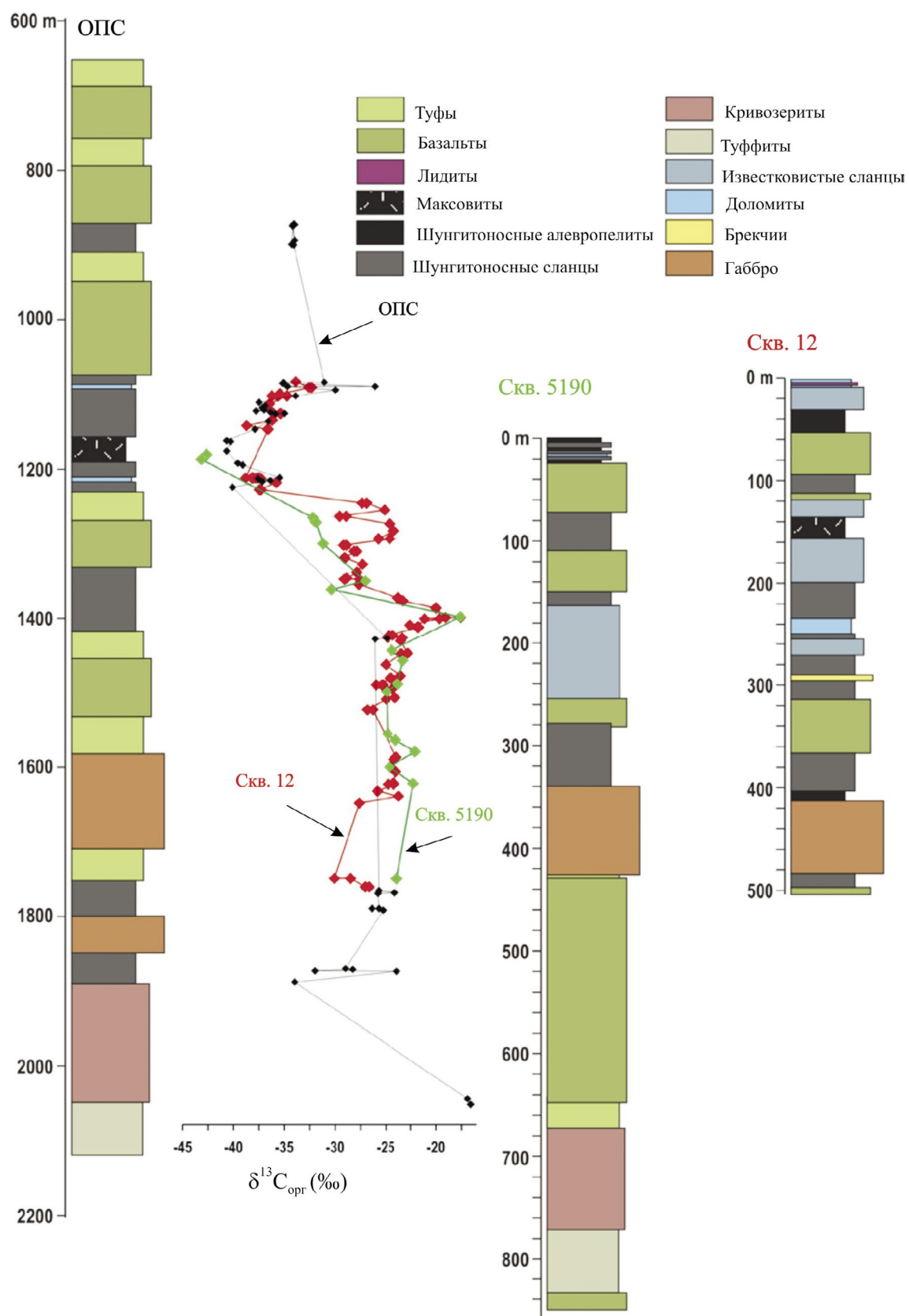


Рис. 4. Вариационные диаграммы $\delta^{13}C_{org}$ по скважинам, пройденным по заонежской свите в разных частях Онежской структуры [Strauss et al., 2013]. Исходные данные приведены по работам: [Melezhik et al., 1999; Крупеник и др., 2011]

Fig. 4. $\delta^{13}C_{org}$ stratigraphic profiles through the Zaonega Formation [Strauss et al., 2013]. Initial data is given after: [Melezhik et al., 1999; Krupenik et al., 2011]

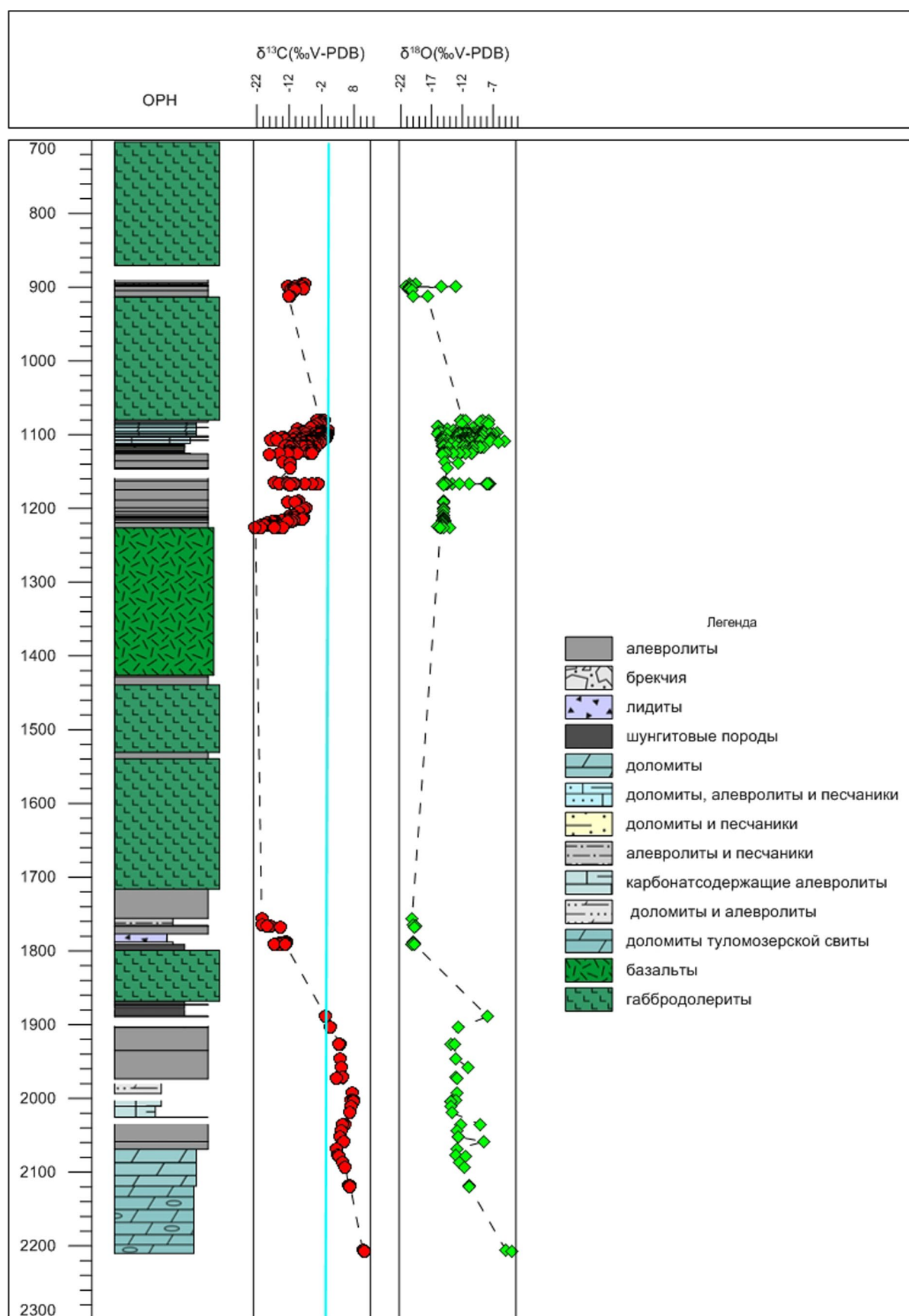


Рис. 5. Выражение глобального перехода события Ломагунди-ятулий в событие Шуньга в изотопном составе карбонатов

Fig. 5. Global transaction Lomagundi-Jatuli Event – Shunga Event in the isotopic composition of carbonates

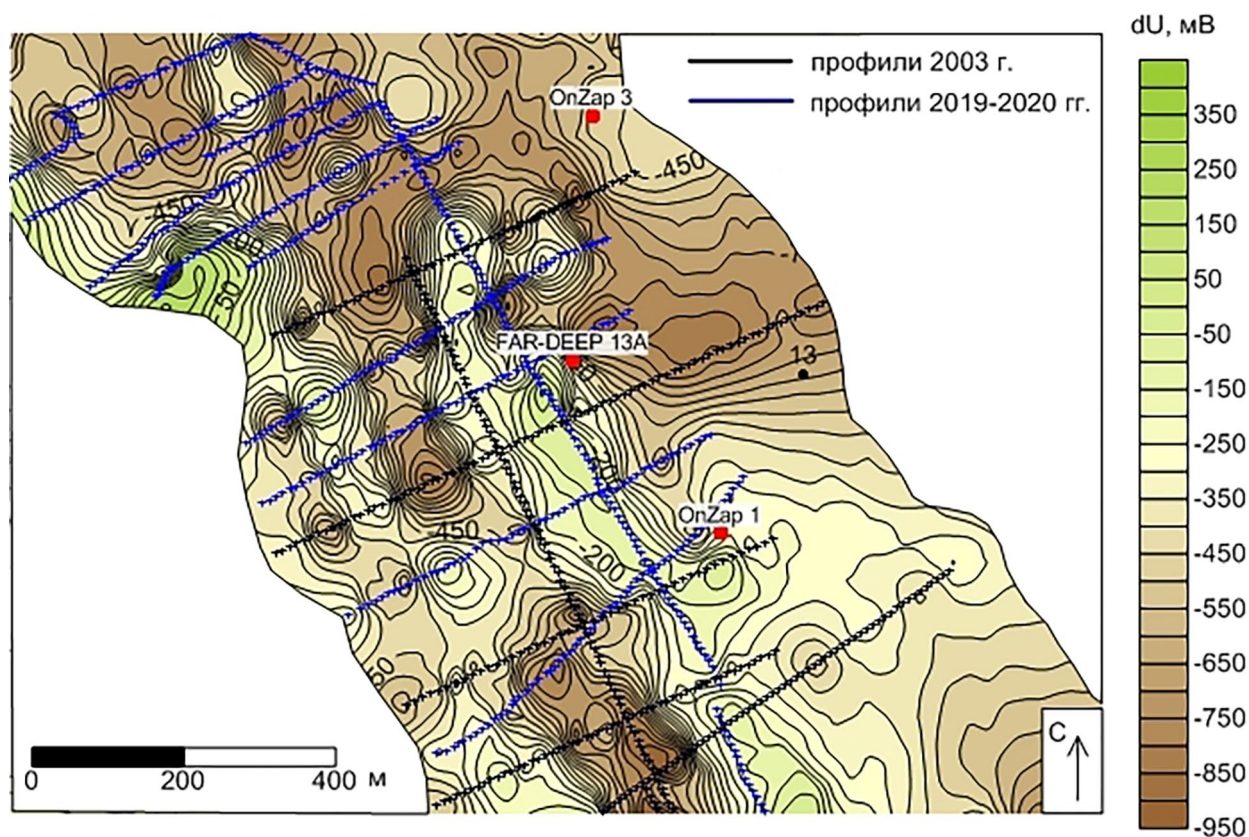


Рис. 6. План изолиний разности потенциалов естественного электрического поля ЕП, dU. Участок Шуньга
 Fig. 6. Contour maps of potential difference of the natural electric field. Shunga

алов естественного поля, а также измерения гамма-активности, построены планы изолиний (рис. 6). В северо-западной части участка Шуньга выявлены аномалии естественного электрического поля, а также повышенные значения гамма-активности, предположительно, связанные с восьмым шунгитоносным горизонтом, который является региональным репером. Это поможет в корреляции разреза участка Шуньга с другими участками Хмельозерской синклинали.

Литохимические исследования шунгитовых пород

Особенности химического состава минеральной основы шунгитовых пород как в залежах, развитых по горизонтам, находящимся на разных стратиграфических уровнях, так и в пределах самих купольных залежей шунгитовых пород рассмотрены в работе [Дейнес, 2018]. Для характеристики шунгитовых пород из десяти залежей использовалась химическая классификация и система петрохимических модулей для осадочных пород, предложенных Я. Э. Юдовичем и М. П. Кетрис [2000]. Данные химических анализов пересчитывались на без-

углеродистую основу (минеральную компоненту максовитов), и, соответственно, названия типов, классов и др., согласно классификации, даны для минеральной компоненты.

Показано, что в шунгитовых породах наблюдается прямая зависимость между суммой щелочей ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) и алюмокремниевым модулем ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$), а также отчетливая обратная зависимость между содержанием SiO_2 и Al_2O_3 . Породы более высоких горизонтов менее щелочные, более кремнистые, чем нижележащие. Породы подошвы залежи более щелочные, карбонатные, с повышенным содержанием Al, Fe, Mg, менее кремнистые; кровельная часть тела имеет менее щелочной, но более кремнистый состав, содержание Al, Fe и Mg ниже, чем в подошве; породы центральной части тела имеют промежуточный состав; четких границ в содержании элементов между породами всех трех частей залежи нет. Выявленные закономерности могут служить надежным поисковым признаком при разведке новых залежей шунгитовых пород Онежской структуры, а также позволяют проводить корреляцию скважин.

Исследование шунгитовых пород, приуроченных к залежам, находящимся на разных стратиграфических уровнях заонежской

свиты палеопротерозоя Карелии [Дейнес и др., 2020], показало их значимое различие по углеродистому веществу и физико-химическим свойствам, в частности, по сорбционной активности и электрофизическим свойствам пород, важным для их практического использования.

Некоторые литохимические особенности шунгитовых пород месторождения Шуньга были выявлены и сопоставлены с шунгитовыми породами Мельничной залежи Толвуйской синклинали [Deines, 2020]. Установлена прямая корреляция между $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ и $(\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2)$. Обратная корреляция, характерная шунгитовым породам купольных залежей, не выявлена. Четких границ между шунгитовыми породами с разным содержанием углерода нет. Шунгитовые породы Шуньгского месторождения отличаются от шунгитовых пород купольных залежей по всем литохимическим параметрам, за исключением железного модуля. Установленные геохимические закономерности могут помочь в корреляции разрезов скважин в пределах Онежской структуры.

Перспективы использования шунгитовых пород в инновационных технологиях

Шунгитовые породы существенно различаются по содержанию углеродистого вещества (шунгита), составу породообразующих и акцессорных минералов. При этом на начальных стадиях практического использования показано, что различные группы шунгитовых пород представляют собой полезное ископаемое различной практической ценности и возможного использования [Шунгиты..., 1984]. Основным полезным компонентом шунгитовых пород для одних направлений является углерод, для других – кремнезем. В то же время требование на сырье для производства ферросплавов ограничивает содержание глинозема, а для производства фосфора – окислов железа [Шунгиты..., 1984]. С учетом вещественного состава шунгитовых пород, их практической значимости, соответствия требованиям выявленных направлений использования, масштабов развития и условий залегания разработана геолого-промышленная классификация шунгитовых пород. С учетом содержания углерода и состава минеральной основы выделены группы шунгитовых пород, в обозначении которых отражена разновидность породы, генетический тип минеральной основы и преобладающий вид щелочного металла, например, породы III разновидности, хемогенные, калиевые (III-X-K) [Шунгиты..., 1984].

В настоящее время шунгитовые породы масштабно используют в металлургии, в частности в доменной выплавке литейных чугунов, в качестве сырья для синтеза металлического кремния и карбида кремния. Основные перспективы их практического использования связаны с решением экологических проблем. Шунгитсодержащие радиоэкранирующие материалы находят применение для создания лечебных комнат, экранирующих от электромагнитного смога и активирующих систему иммунной защиты человека. Шунгитовые породы способны глубоко чистить воду от различных органических и некоторых неорганических веществ и активно внедряются в процесс подготовки питьевой воды. Широко используются в фильтрах по очистке сточных вод от нефтепродуктов, в сельском хозяйстве как удобрение, повышающее урожайность и стойкость культур к заболеваниям, и как кормовая добавка к пище пушных зверей, свиней и птицы [Калинин, Ковалевский, 2013].

Накопленные к настоящему времени результаты широкого практического использования шунгитовых пород показывают, что их деление по технологическим типам на основе критериев вещественного состава явно недостаточно. В частности, установлено, что шунгитовые породы III-X-K ведут себя по-разному в металлургии, химической промышленности, строительстве и пр. в зависимости не только от химического состава, но также от структуры пород и углерода, что требует их разделения на подтипы или сорта. Вместе с тем следует отметить, что именно рассмотренные выше условия образования шунгитовых пород являются основным фактором, определяющим их строение и свойства. На основании современных геологических представлений появляется возможность определения закономерностей между особенностями залегания шунгитовых пород, их составом, строением углеродистого вещества и физико-химическими свойствами пород в целом.

В рамках Международной континентальной научной программы бурения (ICDP) в результате выполнения проекта (FAR-DEEP) показано, что локальная упорядоченность углеродистого вещества (УВ) связана с графитизацией, индуцированной минеральными подложками [van Zuilen et al., 2012]. Установлено, что поверхности кварца и хлорита могут инициировать и/или ускорять графитизацию осадочного органического вещества при относительно низких степенях метаморфизма. При этом разница в степени упорядочения УВ между минералами может иметь последствия для геологи-

ческой интерпретации углеродистых структур, например, для определения пиковой температуры метаморфизма на основе спектроскопии комбинационного рассеяния. В частности, УВ в кварц- или хлорит-доминирующей зеленосланцевой породе могло бы получить иную степень структурной упорядоченности, чем УВ, внедренное в карбонатную породу той же зеленосланцевой фации. При изучении УВ шунгитовых пород из различных стратиграфических уровней залегания с помощью спектроскопии комбинационного рассеяния установлена пиковая температура метаморфизма от 346 до 418 °С для разных шунгитовых пород [van Zuilen et al., 2012]. Выявленное воздействие минеральных компонент на упорядоченность УВ свидетельствует о том, что углерод не является пассивной составляющей, которая «несется» породой, а представляет собой активную компоненту, изменяющуюся совместно с минералами, образуя в конечном результате природный композиционный материал – шунгитовую породу.

Геохимические и физико-химические исследования шунгитовых пород различных стратиграфических уровней, проведенные в последнее время, показали наличие определенных корреляций между стратиграфическим положением горизонтов шунгитовых пород, их геохимией, пиковой температурой метаморфизма и физико-химическими свойствами [Дейнес и др., 2020]. С помощью рамановской спектроскопии по углеродистому геотермометру оценены пиковые температуры метаморфизма. Показано, что наименьшие температуры (316–324 °С) характерны для шунгитовых пород шестого горизонта, а наибольшие (356–379 °С) – для образцов второго горизонта как при их существенном различии, так и при относительном постоянстве для различных пород одного горизонта. Определены параметры физико-химических свойств шунгитовых пород, важных для их практического использования, сорбционной активности и электрофизических свойств. Наименьшую сорбционную активность и электрическую проводимость имеют породы шестого горизонта, хотя эта зависимость не является вполне однозначной и определяется также свойствами углеродистого вещества, его содержанием и распределением. Полученные результаты позволяют выделить промышленные типы шунгитовых пород по направлениям их наиболее эффективного использования, а также обратить внимание на определение тонких геологических закономерностей их генезиса, которые в настоящее время являются неочевидными.

Большинство направлений практического использования шунгитовых пород связано с их взаимодействием с водой. Наиболее полные работы проведены совместно с Институтом водных проблем Севера КарНЦ РАН [Рожкова и др., 2012]. Исследования химического состава растворов, образовавшихся при контакте шунгитовых пород с дистиллированной водой, показали различия в ионном составе. В частности, для растворов пород залежей Загогино и Лебещина среди анионов доминировали сульфаты (72–100 %-экв), при этом в растворах с породой залежи Лебещина отмечено значительное количество хлоридов (20 %-экв), а для образца из залежи Карнаволок доминирующими анионами были нитраты (58 %-экв). Выщелачивание компонентов минеральной части шунгитовых пород разного генезиса определяется не только составом пород, но и значением pH, при понижении которого скорость процессов гидролиза отдельных минералов, в частности сульфидов, увеличивается. Вымывание ряда элементов (Na, Ca) из шунгитовых пород не зависит от кислотности среды. Проведенные опыты выявили превышение в растворах некоторых шунгитовых пород ПДК ряда элементов, в том числе тяжелых металлов (Ni, Cu, Fe, Cd, Pb), что ограничивает их применение для водоподготовки. Отмеченные тенденции гидролиза шунгитовых пород будут сохраняться в различных схемах очистки воды, что необходимо учитывать при разработке конкретных технологий водоподготовки и определении экологических рисков загрязнения водных ресурсов при разработке месторождений [Рожкова и др., 2012].

В последнее время все более актуальным становится решение проблем загрязнения окружающей среды с помощью экологически безопасных процессов на основе природных минеральных и биологических компонент. В рамках выполнения проекта KS1460 (SHEM-WP «Инновационные природные решения для очистки воды на основе технологии Шунгиты – Эффективные Микроорганизмы») по программе приграничного сотрудничества «Россия – Юго-Восточная Финляндия» приводятся результаты исследования шунгитовых пород различного генезиса для применения в инновационных способах очистки воды с совместным использованием полезной микробиоты, эффективных микроорганизмов (дрожжей, молочнокислых бактерий и др.). Показано, что породы различных стратиграфических уровней (второго, четвертого и шестого), различающиеся по составу и строению, характеризуются разной степенью выщелачивания химических элементов, сорбционной активностью к кати-

онным и анионным комплексам и по-разному способны сорбировать из воды загрязняющие компоненты, в том числе тяжелые металлы. Установлено, что немодифицированная шунгитовая порода ингибирует функционирование эффективных микроорганизмов при непосредственном контакте, а для термически обработанной шунгитовой породы, напротив, наблюдается рост эффективных микроорганизмов [Kovalevski et al., 2020].

Одним из приоритетных направлений является возможность получения из шунгитовых пород перспективных материалов. В частности, в Институте геологии КарНЦ РАН разработан метод наноструктурирования шунгитовых пород с образованием гиперфуллереновых углеродных структур и нановолокнистых карбидов кремния для создания новых поколений композиционных материалов, обладающих повышенными эксплуатационными, в том числе радиоэкранирующими свойствами [Kovalevski et al., 2018]. Также совместно с Институтом геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН установлено, что обработка образцов шунгита при высоком давлении (15 ГПа) и температуре (1600 °С) приводит к трансформации шунгита в алмаз [Afanas'ev et al., 2020]. Предположенная методика синтеза наноразмерного поликристаллического алмаза на основе обработанного шунгита, который должен пройти стадию обогащения по углероду, может быть востребована для промышленных приложений, требующих сверхтвердые материалы.

Весьма перспективными представляются комплексные исследования, проводимые совместно с Институтом биологии КарНЦ РАН. В том числе по изучению биоактивности водных дисперсий шунгита, представляющих интерес как для биомедицинского применения, так и для оценки их негативного воздействия на водную среду [Goryunov et al., 2020]. Также высокий практический потенциал имеют работы по использованию шунгитовых пород в аквакультуре для борьбы с паразитами рыб, в которых показано, что шунгитовые породы, отобранные из разных горизонтов с доминирующим анионным составом водных вытяжек (сульфатов, хлоридов и нитратов), по-разному ингибируют жизнедеятельность паразитических организмов. В частности, возможно, путем формирования приповерхностного закисления, а также эмиссии хлора, инициирующих гибель микроорганизмов [Hagen et al., 2014]. Выявленные эффекты шунгитовых пород требуют проведения дальнейших специальных исследований по оценке их способности влиять

на паразитологический фон в бассейнах для выращивания рыб.

Заключение

Шунгитовые породы – углеродсодержащие породы Карелии с возрастом около 2 млрд лет, не имеющие аналогов в геологической истории Земли по форме проявлений, гигантским промышленным запасам, свойствам и строению углеродистого вещества. В Карельском научном центре РАН на протяжении более семидесяти лет шунгитовые породы изучаются с использованием современных методов исследований. В последние десятилетия при участии российских и международных организаций проводятся геологические и технологические исследования, в результате которых получены новые данные.

Проведена корреляция новых геологических разрезов в пределах Онежской палеопротерозойской структуры. Уточнены геодинамические обстановки формирования шунгитосодержащих пород. Показано, что не существовало перерыва между образованиями заонежской свиты лудиковия и ятулийского надгоризонта. Установлено, что накопление органического вещества в палеопротерозойских породах Онежской структуры Карелии сравнимо с современными сверхгигантскими нефтяными месторождениями. Показано, что помимо литологических и геофизических маркирующих горизонтов имеется геохимическая (изотопная) аномалия, которая может быть использована для корреляции разрезов скважин, т. н. Уровень Шуньги.

Комплексные физико-химические и технологические исследования показали, что шунгитовые породы, как нерудное полезное ископаемое, имеют уникальные технологические свойства: высокую восстановительную активность в руднотермических процессах, электропроводность, термостойкость, радиоэкранирующие и сорбционные свойства, высокую удельную поверхность, износостойкость и т. д. В последние годы в КарНЦ РАН выявлены новые пути использования шунгитовых пород в инновационных технологиях, связанных с созданием новых материалов, решением экологических и природоохранных проблем, в том числе на стыке различных научных направлений.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН в рамках НИР «Геология и генезис месторождений, минералогия и технология шунгитовых пород Онежской структуры».

Литература

Атлас текстур и структур шунгитоносных пород Онежского синклинория / Под ред. М. М. Филиппова, В. А. Мележика. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 80 с.

Борисов П. А. Карельские шунгиты. Петрозаводск: Госиздат КФССР, 1956. 92 с.

Геология шунгитоносных вулканогенно-осадочных образований протерозоя Карелии / Под ред. В. А. Соколова. Петрозаводск: Карелия, 1982. 208 с.

Горлов В. И. Онежские шунгиты: Дис. ... канд. геол.-мин. наук. Петрозаводск, 1984. 226 с.

Дейнес Ю. Е. Литохимические признаки шунгитоносных горизонтов Онежского синклинория // Труды КарНЦ РАН. 2018. № 11. С. 111–115. doi: 10.17076/geo846

Дейнес Ю. Е., Ковалевский В. В., Кочнева И. В., Мошников И. А., Рожкова В. С. Физико-химические свойства шунгитовых пород различных стратиграфических уровней заонежской свиты // Труды КарНЦ РАН. 2020. № 2. С. 84–89. doi: 10.17076/geo1187

Иностранцев А. А. Новый крайний член в ряду аморфного углерода // Горный журн. 1879. Т. 2, № 5–6. С. 314–342

Исанина Э. В., Крупнова Н. А., Шаров Н. В. Структура литосферы вдоль профиля МОВЗ Гдов-Спасская Губа // Геофизический журн. 2004. Т. 26, № 2. С. 112–121.

Калинин Ю., Ковалевский В. Шунгитовые породы: горизонты научного поиска // Наука в России. 2013. № 6. С. 66–72.

Крупеник В. А., Свешникова К. Ю. Корреляция разреза ОПС с опорными разрезами Онежской структуры // Онежская палеопротерозойская структура / Ред. Л. В. Глушанин и др. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. С. 190–194.

Купряков С. В. Отчет о результатах поисковых работ на шунгитовые породы, проведенных в Онежской мульде в 1985–88 гг. Петрозаводск, 1988. 148 с.

Онежская палеопротерозойская структура (геология, тектоника, глубинное строение и минералогия) / Отв. ред. Л. В. Глушанин, Н. В. Шаров, В. В. Щипцов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. 431 с.

Рожкова В. С., Ковалевский В. В., Кочнева И. В., Лозовик П. А. О возможности использования шунгитовых пород Карелии в водоподготовке // Горный журнал. 2012. № 5. С. 64–67.

Ромашкин А. Е., Лепланд А., Йусу Л., Рычанчик Д. В., Голубев А. И. Фосфоритовый горизонт высокоуглеродистых пород людикувия онежской структуры // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. С. 62–69.

Филиппов М. М. Шунгитоносные породы Онежской структуры. Петрозаводск: Карел. науч. центр, 2002. 280 с.

Филиппов М. М., Дейнес Ю. Е. Перспективы воспроизводства запасов шунгитов в Карелии // Горный журнал. 2019. № 3. С. 68–72. doi: 10.17580/gzh.2019.03.13

Филиппов М. М., Дейнес Ю. Е. Субпластовый тип месторождений шунгитов Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2018. 261 с.

Филиппов М. М., Дейнес Ю. Е., Лохов К. И., Первунина А. В., Лохова О. В. Новый генетический тип шунгитоносных пород палеопротерозоя Онежской структуры // Региональная геология и металлогения. 2016. Вып. 67. С. 95–106.

Филиппов М. М., Есипко О. А. Геолого-геофизические маркирующие горизонты палеопротерозоя Онежской структуры. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2016. 250 с.

Филиппов М. М., Клабуков Б. Н., Суханов А. В. Экспериментальное определение основных параметров систем купольных шунгитоносных структур Толвуйской синклинали // Российский геофизический журнал. 2004. № 3. С. 25–30.

Шунгиты Карелии и пути их комплексного использования / Под ред. В. А. Соколова и Ю. К. Калинина. Петрозаводск: Карелия, 1975. 240 с.

Шунгиты – новое углеродистое сырье / Под ред. В. А. Соколова, Ю. К. Калинина, Е. Ф. Дюккиева. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1984. 182 с.

Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 479 с.

Afanas'ev V. P., Litasov K. D., Goryainov S. V., Kovalevskii V. V. Raman spectroscopy of nanopolycrystalline diamond produced from shungite at 15 GPa and 1600°C // JETP Letters. 2020. Vol. 111, no. 4. P. 218–224. doi: 10.1134/S0021364020040050

Cornelius C. D. Classification of natural bitumen: A physical and chemical approach. In: Exploration for Heavy Crude Oil and Natural Bitumen. Meyer R. F. (Ed.) // AAPG Studies in Geology. 1987. No. 25. Amer. Assoc. Petroleum Geologists, Tulsa, OK. P. 165–174.

Deines Yu. Lithochemical features of shungites from Shunga Deposit (Onega Basin, Russia) // Sedimentary Earth Systems: Stratigraphy, Geochronology, Petroleum Resources: Proceed. 4th Kazan Golovkinsky Stratigraphic Meeting 2020. Bologna: Filodiritto Publ., 2020. P. 20–24. doi: 10.26352/E922_KAZAN2020

Goryunov A., Rozhkov S., Rozhkova N. Fatty acid transfer between serum albumins and shungite carbon nanoparticles and its effect on protein aggregation and association // Eur. Biophys. J. 2020. Vol. 49, no. 1. P. 85–94. doi: 10.1007/s00249-019-01414-y

Hagen A. G., Hytterod S., Olstad K. Low concentrations of sodium hypochlorite affect population dynamics in *Gyrodactylus salaris* (Malmberg, 1957): Practical guidelines for the treatment of the Atlantic salmon, *Salmo salar* L. parasite // J. Fish Diseases. 2014. P. 37(12). doi: 10.1111/jfd.12218

Kovalevski S. V., Moshnikov I. A., Kovalevski V. V. Heat-treated nano-structured shungite rocks and electrophysical properties associated // Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics. 2018. Vol. 9(4). P. 468–472. doi: 10.17586/2220-8054-2018-9-4-468-472

Kovalevski V. V., Reinikainen S., Reinikainen V., Rozhkova V., Sihvonen T. Shungite rocks of varying genesis in innovative water treatment technologies // Труды КарНЦ РАН. 2020. № 6. С. 97–105. doi: 10.17076/them1255

Kreitsmann T., Kulaviir M., Lepland A., Paiste K., Paiste P., Prave A. R., Sepp H., Romashkin A. E., Rychanichik D. V., Kirsimäe K. Hydrothermal dedolomitisa-

tion of carbonate rocks of the Paleoproterozoic Zaonega Formation, NW Russia – Implications for the preservation of primary C isotope signals // *Chem. Geol.* 2019. Vol. 512. P. 43–57. doi: 10.1016/j.chemgeo.2019.03.002

Kump L. R., Junium C., Arthur M. A., Brasier A., Fallick A., Melezhik V., Lepland A., Črne A. E., Luo G. M. Isotopic evidence for massive oxidation of organic matter following the great oxidation event // *Science*. 2011. Vol. 334. P. 1694–1696. doi: 10.1126/science.1213999

Lepland A., Joosu L., Kirsimäe K., Prave A. R., Romashkin A. E., Črne A. E., Martin A. P., Fallick A. E., Somelar P., Üpraus K., Mänd K., Roberts N. M. W., van Zuilen M. A., Schreiber R. W., Schreiber A. Potential influence of sulphur bacteria on Palaeoproterozoic phosphogenesis // *Nat. Geosci.* 2013. Vol. 7. P. 20–24. doi: 10.1038/NGEO2005

Melezhik V. A., Fallick A. E., Filippov M. M., Larsen O. Karelian shungite – an indication of 2.0-Ga-old metamorphosed oil-shale and generation of petroleum: geology, lithology and geochemistry // *Earth Sci. Rev.* 1999. Vol. 47. P. 1–40. doi: 10.1016/S0012-8252(99)00027-6

Melezhik V. A., Črne A. E., Prave A. R., Lepland A., Romashkin A. E., Rychanchik D. V., Hanski E. J., Fallick A. E., Medvedev P. V., Luo Zh. The Onega Basin // *Reading the Archive of Earth's Oxygenation*. Vol. 2: The Core Archive of the Fennoscandian Arctic Russia – Drilling Early Earth Project. Series: Frontiers in Earth Sciences / Eds. V. A. Melezhik et al. Springer: Heidelberg, 2013. P. 769–1046

Melezhik V. A., Fallick A. E., Filippov M. M., Lepland A., Rychanchik D. V., Deines Yu. E., Medvedev P. V.,

Romashkin A. E., Strauss H. Petroleum surface oil seeps from Palaeoproterozoic petrified giant oilfield // *Terra Nova*. 2009. Vol. 21. P. 119–126. doi: 10.1111/j.1365-3121.2009.00864.x

Paiste K., Lepland A., Zerkle A. L., Kirsimäe K., Izon G., Patel N. K., McLean F., Kreitsmann T., Mänd K., Bui T. H., Romashkin A. E., Rychanchik D. V., Prave A. R. Multiple sulphur isotope records tracking basinal and global processes in the 1.98 Ga Zaonega Formation, NW Russia // *Chem. Geol.* 2018. Vol. 499. P. 151–164. doi: 10.1016/j.chemgeo.2018.09.025

Qu Yu., Črne A. E., Lepland A., van Zuilen M. A. Methanotrophy in a Paleoproterozoic oil field ecosystem, Zaonega Formation, Karelia, Russia // *Geobiology*. 2012. Vol. 10. P. 467–478. doi: 10.1111/gbi.12007

Strauss H., Melezhik V. A., Lepland A., Fallick A. E., Hanski E. J., Filippov M. M., Deines Yu. E., Illing C. J., Črne A. E., Brasier A. E. Enhanced accumulation of organic matter: The Shunga Event // *Reading the Archive of Earth's Oxygenation*. Vol. 3: Global Events and the Fennoscandian Arctic Russia – Drilling Early Earth Project. Series: Frontiers in Earth Sciences / Eds. V. A. Melezhik et al. Heidelberg: Springer, 2013. P. 1195–1273. doi: 10.1007/978-3-642-29670-3_6

van Zuilen M. A., Fliegel D., Wirth R., Lepland A., Qu Yu., Schreiber A., Romashkin A. E., Philippot P. Mineral-templated growth of natural graphite films // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 2012. Vol. 83. P. 252–262. doi: 10.1016/j.gca.2011.12.030

Поступила в редакцию 05.04.2021

References

Atlas tekstur i struktur shungitonosnykh porod Onezhskogo sinklinoriya [Atlas of textures and structures of shungite-bearing rocks of Onega synclinorium]. Eds. M. M. Filippov, V. A. Melezhik. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2007. 80 p.

Borisov P. A. Karel'skie shungity [Karelian shungite]. Petrozavodsk: Gosizdat KF SSSR, 1956. 92 p.

Deines Yu. E. Litokhimicheskie priznaki shungitonosnykh gorizontov Onezhskogo sinklinoriya [Lithochemical features of shungite rock horizons in the Onega structure]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2018. No. 11. P. 111–115. doi: 10.17076/geo846

Deines Yu. E., Kovalevski V. V., Kochneva I. V., Moshnikov I. A., Rozhkova V. S. Fiziko-khimicheskie svoystva shungitovykh porod razlichnykh stratigraficheskikh urovnei zaonezhskoi svity [Physical and chemical properties of shungite rocks from different stratigraphic levels of the Zaonega formation]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2020. No. 2. P. 84–89. doi: 10.17076/geo1187

Filippov M. M. Shungitonosnye porody Onezhskoi struktury [Shungite-bearing rocks of the Onega structure]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2002. 280 p.

Filippov M. M., Deines Yu. E. Perspektivy vosproizvodstva zapasov shungitov v Karelii [Prospects for reproduction of shungite reserves in Karelia]. *Gornyi zhurn.* 2019. No. 3. P. 68–72. doi: 10.17580/gzh.2019.03.13

Filippov M. M., Deines Yu. E. Subplastovyi tip mes-torozhdenii shungitov Karelii [Subplast type of shungite

rocks deposits of Karelia]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2018. 261 p.

Filippov M. M., Deines Yu. E., Lokhov K. I., Pervunina A. V., Lokhova O. V. Novyi geneticheskii tip shungitonosnykh porod paleoproterozoya Onezhskoi struktury [A new genetic type of shungite-bearing rocks of the Palaeoproterozoic Onega structure]. *Regional'naya geol. i metallogeniya* [Regional Geol. and Metallogeny]. 2016. Iss. 67. P. 95–106

Filippov M. M., Esipko O. A. Geologo-geofizicheskie markiruyushchie gorizonty paleoproterozoya Onezhskoi struktury [Geological and geophysical marking horizons of the Palaeoproterozoic Onega structure]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2016. 250 p.

Filippov M. M., Klabukov B. N., Sukhanov A. V. Eksperimental'noe opredelenie osnovnykh parametrov sistem kupol'nykh shungitonosnykh struktur Tolvuiskoi sinklinali [Experimental determination of the main parameters of the systems of domed shungite-bearing structures of the Tolvuya syncline]. *Rossiiskii geofizicheskii zhurn.* [Russ. Geophysical J.]. 2004. No. 3. P. 25–30.

Geologiya shungitonosnykh vulkanogenno-osa-dochnykh obrazovaniy proterozoya Karelii [Geology of shungite-bearing volcanogenic-sedimentary formations of the Proterozoic of Karelia]. Ed. V. A. Sokolov. Petrozavodsk: Kareliya, 1982. 208 p.

Gorlov V. I. Onezhskie shungity [Onega shungite]: PhD (Cand. of Geol.-Min.) thesis. Petrozavodsk, 1984. 226 p.

Inostrantsev A. A. Novyi krainii chlen v ryadu amorf-nogo ugleroda [A new extreme term in the series of amorphous carbon]. *Gornyi zhurn.* 1879. Vol. 2, no. 5–6. P. 314–342.

Isanina E. V., Krupnova N. A., Sharov N. V. Struktura litosfery vdol' profilya MOVZ Gdov-Spasskaya Guba [Lithosphere structure along the MOVZ profile Gdov-Spasskaya Guba]. *Geofizicheskii zhurn.* [Geophysical J.]. 2004. Vol. 26, no. 2. P. 112–121.

Kalinin Yu., Kovalevskii V. Shungitovye porodny: gorizonty nauchnogo poiska [Shungite rocks: horizons of scientific research]. *Nauka v Rossii* [Science in Russia]. 2013. No. 6. P. 66–72.

Krupenik V. A., Sveshnikova K. Yu. Korrelyatsiya razreza OPS s opornymi razrezami Onezhskoi struktury [Correlation of the Onega parametric hole with the reference sections of the Onega Structure]. *Onezhskaya paleoproterozoiskaya struktura* [The Onega Palaeoproterozoic structure]. Eds. L. V. Glushanin et al. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2011. P. 190–194.

Kupryakov S. V. Otchet o rezul'tatakh poiskovykh rabot na shungitovye porodny, provedennykh v Onezhskoi mul'de v 1985–88 gg. [Report on the results of search operations conducted in the Onega structure in 1985–88]. Petrozavodsk, 1988. 148 p.

The Onega Palaeoproterozoic structure (geology, tectonics, deep structure, and minerageny). Eds. L. V. Glushanin, N. V. Sharov, V. V. Schiptsov. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2011. 431 p.

Romashkin A. E., Lepland A., Joosu L., Rychanchik D. V., Golubev A. I. Fosforitovy gorizont vysokouglerodistykh porod lyudikovyi onezhskoi struktury [Phosphorite horizon of the Ludikovian high-carbon rocks of the Onega structure]. *Geol. i poleznye iskopayemye Karelii* [Geol. and Useful Minerals of Karelia]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2012. P. 62–69.

Rozhkova V. S., Kovalevskii V. V., Kochneva I. V., Lovikov P. A. O vozmozhnosti ispol'zovaniya shungitovykh porod Karelii v vodopodgotovke [On the possible use of shungite rocks of Karelia in water conditioning and purification]. *Gornyi zhurn.* 2012. No. 5. P. 64–67.

Shungity Karelii i puti ikh kompleksnogo ispol'zovaniya [Shungite in Karelia and ways of their complex use]. Eds. V. A. Sokolov, Yu. K. Kalinin. Petrozavodsk: Karelia, 1975. 240 p.

Shungity – novoe uglerodistoe syr'e [Shungite is a new carbonaceous raw material]. Eds. V. A. Sokolov, Yu. K. Kalinin. Petrozavodsk: Karel. fil. AN SSSR, 1984. 182 p.

Yudovich Ya. E., Ketris M. P. Osnovy litokhimii [Fundamentals of lithochemistry]. St. Petersburg: Nauka, 2000. 479 p.

Afanas'ev V. P., Litasov K. D., Goryainov S. V., Kovalevskii V. V. Raman spectroscopy of nanopolycrystalline diamond produced from shungite at 15 GPa and 1600 °C. *JETP Letters*. 2020. Vol. 111, no. 4. P. 218–224. doi: 10.1134/S0021364020040050

Cornelius C. D. Classification of natural bitumen: A physical and chemical approach. In: Exploration for Heavy Crude Oil and Natural Bitumen. Meyer R. F. (Ed.). *AAPG Studies in Geology*. 1987. No. 25. Amer. Assoc. Petroleum Geologists, Tulsa, OK. P. 165–174.

Deines Yu. Lithochemical features of shungites from Shunga Deposit (Onega Basin, Russia). *Sedimentary Earth Systems: Stratigraphy, Geochronology, Petroleum Resources: Proceed. 4th Kazan Golovkinsky Stratigraphic Meeting 2020*. Bologna: Filodiritto Publ., 2020. P. 20–24. doi: 10.26352/E922_KAZAN2020

Goryunov A., Rozhkov S., Rozhkova N. Fatty acid transfer between serum albumins and shungite carbon nanoparticles and its effect on protein aggregation and association. *Eur. Biophys. J.* 2020. Vol. 49, no. 1. P. 85–94. doi: 10.1007/s00249-019-01414-y

Hagen A. G., Hytterod S., Olstad K. Low concentrations of sodium hypochlorite affect population dynamics in *Gyrodactylus salaris* (Malmberg, 1957): Practical guidelines for the treatment of the Atlantic salmon, *Salmo salar* L. parasite. *J. Fish Diseases*. 2014. P. 37(12). doi: 10.1111/jfd.12218

Kovalevskii S. V., Moshnikov I. A., Kovalevskii V. V. Heat-treated nano-structured shungite rocks and electrophysical properties associated. *Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics*. 2018. Vol. 9(4). P. 468–472. doi: 10.17586/2220-8054-2018-9-4-468-472

Kovalevskii V. V., Reinikainen S., Reinikainen V., Rozhkova V., Sihvonen T. Shungite rocks of varying genesis in innovative water treatment technologies. *Transaction KarRC RAS*. 2020. No. 6. P. 97–105. doi: 10.17076/them1255

Kreitsmann T., Kulavir M., Lepland A., Paiste K., Paiste P., Prave A. R., Sepp H., Romashkin A. E., Rychanchik D. V., Kirsimäe K. Hydrothermal dedolomitisation of carbonate rocks of the Paleoproterozoic Zaonega Formation, NW Russia – Implications for the preservation of primary C isotope signals. *Chem. Geol.* 2019. P. 43–57. doi: 10.1016/j.chemgeo.2019.03.002

Kump L. R., Junium C., Arthur M. A., Brasier A., Fallick A., Melezhik V., Lepland A., Črne A. E., Luo G. M. Isotopic evidence for massive oxidation of organic matter following the great oxidation event. *Science*. 2011. Vol. 334. P. 1694–1696. doi: 10.1126/science.1213999

Lepland A., Joosu L., Kirsimäe K., Prave A. R., Romashkin A. E., Črne A. E., Martin A. P., Fallick A. E., Somelar P., Üpraus K., Mänd K., Roberts N. M. W., van Zuilen M. A., Schreiber R. W., Schreiber A. Potential influence of sulphur bacteria on Palaeoproterozoic phosphogenesis. *Nat. Geosci.* 2013. Vol. 7. P. 20–24. doi: 10.1038/NNGEO2005

Melezhik V. A., Fallick A. E., Filippov M. M., Larsen O. Karelian shungite – an indication of 2.0-Ga-old metamorphosed oil-shale and generation of petroleum: geology, lithology and geochemistry. *Earth Sci. Rev.* 1999. Vol. 47. P. 1–40. doi: 10.1016/S0012-8252(99)00027-6

Melezhik V. A., Črne A. E., Prave A. R., Lepland A., Romashkin A. E., Rychanchik D. V., Hanski E. J., Fallick A. E., Medvedev P. V., Luo Zh. The Onega Basin. *Reading the Archive of Earth's Oxygenation*. Vol. 2: The Core Archive of the Fennoscandian Arctic Russia – Drilling Early Earth Project. Series: Frontiers in Earth Sciences. Eds. V. A. Melezhik et al. Springer: Heidelberg, 2013. P. 769–1046

Melezhik V. A., Fallick A. E., Filippov M. M., Lepland A., Rychanchik D. V., Deines Yu. E., Medvedev P. V., Romashkin A. E., Strauss H. Petroleum sur-

face oil seeps from Palaeoproterozoic petrified giant oil-field. *Terra Nova*. 2009. Vol. 21. P. 119–126. doi: 10.1111/j.1365-3121.2009.00864.x

Paiste K., Lepland A., Zerkle A. L., Kirsimäe K., Izon G., Patel N. K., McLean F., Kreitsmann T., Mänd K., Bui T. H., Romashkin A. E., Rychanchik D. V., Prave A. R. Multiple sulphur isotope records tracking basinal and global processes in the 1.98 Ga Zaonega Formation, NW Russia. *Chem. Geol.* 2018. Vol. 499. P. 151–164. doi: 10.1016/j.chemgeo.2018.09.025

Qu Yu., Črne A. E., Lepland A., van Zuilen M. A. Methanotrophy in a Paleoproterozoic oil field ecosystem, Zaonega Formation, Karelia, Russia. *Geobiology*. 2012. Vol. 10. P. 467–478. doi: 10.1111/gbi.12007

Strauss H., Melezhik V. A., Lepland A., Fallick A. E., Hanski E. J., Filippov M. M., Deines Yu. E., Illing C. J.,

Črne A. E., Brasier A. E. Enhanced accumulation of organic matter: The Shunga Event. *Reading the Archive of Earth's Oxygenation*. Vol. 3: Global Events and the Fennoscandian Arctic Russia – Drilling Early Earth Project. Series: Frontiers in Earth Sciences. Eds. V. A. Melezhik et al. Heidelberg: Springer, 2013. P. 1195–1273. doi: 10.1007/978-3-642-29670-3_6

van Zuilen M. A., Fliegel D., Wirth R., Lepland A., Qu Yu., Schreiber A., Romashkin A. E., Philippot P. Mineral-templated growth of natural graphite films. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 2012. Vol. 83. P. 252–262. doi: 10.1016/j.gca.2011.12.030

Received April 05, 2021

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Дейнес Юлия Евгеньевна

научный сотрудник
Институт геологии КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: deines@krc.karelia.ru
тел.: (8142) 570080

Ковалевский Владимир Викторович

главный научный сотрудник, д. г.-м. н.
Институт геологии КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: kovalevs@krc.karelia.ru

Первунина Аэлита Валериевна

старший научный сотрудник, к. г.-м. н.
Институт геологии КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: aelita@krc.karelia.ru

Ромашкин Александр Евгеньевич

научный сотрудник
Институт геологии КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: roma@krc.karelia.ru

Рычанчик Дмитрий Владимирович

старший научный сотрудник
Институт геологии КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: rychanch@krc.karelia.ru

CONTRIBUTORS:

Deines, Yulia

Institute of Geology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: deines@krc.karelia.ru

Kovalevski, Vladimir

Institute of Geology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: kovalevs@krc.karelia.ru

Pervunina, Aelita

Institute of Geology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: aelita@krc.karelia.ru

Romashkin, Alexander

Institute of Geology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: roma@krc.karelia.ru

Rychanchik, Dmitri

Institute of Geology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: rychanch@krc.karelia.ru

Иешко Евгений Павлович

главный научный сотрудник, д. б. н., проф.
Институт биологии КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: ieshko@krc.karelia.ru

Ieshko, Evgeny

Institute of Biology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: ieshko@krc.karelia.ru

УДК 591.481.3:599.742.1

MORPHOLOGY AND MINERAL COMPOSITION OF PINEAL GLAND CONCRETIONS IN *VULPES LAGOPUS* L., 1758 (MAMMALIA: CARNIVORA)

S. N. Kalinina¹, S. Yu. Chazhengina², V. A. Ilyukha¹, S. A. Svetov²,
E. A. Khizhkin¹

¹ Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

² Institute of Geology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

Mammalian pineal gland is known to often contain calcified concretions (brain sand, *corpora arenacea*, acervuli, concrements) with understudied biological significance, mineral and chemical compositions. Previous studies reported about the chemistry, shape, size and structure of these biominerals from human and rodent pineal gland. This study addresses the morphology, mineral and chemical composition of calcified concretions in pineal gland of blue fox *Vulpes lagopus* L. (Mammalia: Carnivora). We used routine histological methods as well as scanning electron microscopy coupled with energy-dispersive detector and Raman spectroscopy. The results suggest that the process of pineal gland mineralization is most likely not age-related. Our data concerning the location and mineral composition of calcium concretions in blue fox pineal gland are in agreement with those obtained by other researchers for rodent and human pineal glands. Calcified concretions were located in pineal gland capsule, protruding septae, and parenchyma. Two morphological types of concrements were distinguished, including mulberry-like and irregular elongated structures. The acervuli of mulberry-like structure contained hydroxylapatite and calcite, and the irregular elongated aggregates were composed of hydroxylapatite only. The latter has not been previously recorded from calcified concretions in mammals. These findings give the first insight into the morphology, mineral and chemical composition of calcium concrements in pineal gland of blue fox.

Key words: calcified concretions; calcite; hydroxylapatite; pineal gland; *Vulpes lagopus* L.

**С. Н. Калинина, С. Ю. Чаженина, В. А. Илюха, С. А. Светов,
Е. А. Хижкин. МОРФОЛОГИЯ И МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ КОНКРЕЦИЙ
ШИШКОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ У ПЕСЦА *VULPES LAGOPUS* L., 1758
(MAMMALIA: CARNIVORA)**

Известно, что шишковидная железа (эпифиз мозга) млекопитающих часто содержит кальцинированные конкременты (мозговой песок, *corpora arenacea*, *acervuli*, конкременты), биологическое значение, минеральный и химический состав которых не полностью изучены. Ранее сообщалось о химическом составе, форме, размере и структуре этих биоминералов эпифиза человека и грызунов. Настоящее исследование посвящено морфологии, минеральному и химическому составу кальцинированных конкрементов в шишковидной железе песца *Vulpes lagopus* L.

(Mammalia: Carnivora). Использовали стандартные гистологические методы, а также сканирующую электронную микроскопию в сочетании с энергодисперсионным детектором и рамановской спектроскопией. Результаты свидетельствуют о том, что процесс минерализации шишковидной железы, скорее всего, не связан с возрастом. Наши данные о расположении и минеральном составе конкреций кальция в шишковидной железе песка согласуются с данными, полученными другими исследователями на шишковидной железе грызунов и человека. Кальцинированные конкременты располагались в капсуле, перегородках и паренхиме шишковидной железы. Выделили два морфологических типа конкрементов: виноградоподобные и неправильной удлиненной формы. Конкременты виноградоподобной структуры включали гидроксилapatит и кальцит, а агрегаты неправильной вытянутой формы состояли только из гидроксилapatита. Последний ранее не был обнаружен в кальцинированных конкрециях млекопитающих. Результаты дают первое представление о морфологии, минеральном и химическом составе конкрементов кальция в шишковидной железе песка.

Ключевые слова: кальцинированные конкреции; кальцит; гидроксилapatит; шишковидная железа; *Vulpes lagopus* L.

Introduction

Biogenic minerals, or biominerals, are the composite materials containing an organic matrix and nano- or micro-scale amorphous or crystalline minerals [Gilbert et al., 2005]. In mammalian organism, the biomineral composite materials include bone, dentine, enamel, otoliths, pineal concretions, etc. The latter are also called 'brain sand' (*corpora arenacea*, calcified concretions, acervuli), which is often detected in pineal glands of humans [Bocchi, Valdre, 1993; Maślińska et al., 2010; Kim et al., 2012] and many mammalian species [Lewinski et al., 1983; Vigh et al., 1998; Bulc et al., 2010].

Two morphological types of concretions are distinguished under light microscope. The first type consists of single concretions with a concentric laminar structure marked by light and dark layers, while the second one is represented by a mulberry-like structure consisting of a large number of interconnected nodules [Kim et al., 2012]. It is noteworthy that both types often coexist within a pineal gland [Kim et al., 2012]. In mammals, pineal concretions reach a size of 2–3 μm , forming conglomerates of up to 1 mm or more [Vigh et al., 1998; Bulc et al., 2010; Kim et al., 2012].

The composition of concretions is heterogeneous and includes inorganic and organic components [Krstić, 1976; Kodaka et al., 1994]. The former generally comprises hydroxyapatite [Bocchi, Valdre, 1993], calcite [Bacconier, Lang, 2004], fluorite [Luke, 2001] and aragonite [Tofail et al., 2019], while the latter includes glucosaminoglycans and their complexes with proteins, pineal hormones, structures of membranes, and the cytoplasmic matrix of pinealocytes [Vigh et al., 1998]. Hydroxylapatite has not so far been reported from

mammalian pineal gland. Chemical methods show the presence of a large amount of Ca and P [Bocchi, Valdre, 1993] and traces of S, Mg, N, Fe, Zn, and Cu in concretions [Kodaka et al., 1994; Nakamura et al., 1995].

Pineal concretions have long been studied using histochemical methods [Humbert, Pévet, 1992; Bulc et al., 2010], transmission and scanning electron microscopy in combination with X-ray microanalysis [Kodaka et al., 1994; Nakamura et al., 1995; Bacconier, Lang, 2004; Kim et al., 2012] as well as a number of label-free surface characterization techniques such as X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS) and Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDX) [Tofail et al., 2019]. However, these studies are few and usually based on the application of one or two analytical methods, which cannot provide a comprehensive description of the morphology, mineral and chemical composition of the solid-phase pineal concretions. Hence, it is of critical importance to use a complex and multidisciplinary approach to studying the properties of pineal concretions. We employed routine histological methods, as well as scanning electron microscopy coupled with energy-dispersive detector and Raman spectroscopy to study brain sand.

Currently, pineal calcification is the one of the most intriguing phenomena, since the questions of its physiological relevance for the organism and the sources of its formation are yet unresolved. The formation of concretions has been associated with aging, reproductive status, ethnicity, geographic location, gender, and environmental factors such as altitude and exposure to sunlight [Zimmerman, Bilaniuk, 1982; Lewinski et al., 1983; Schmid, 1993; Mori et al., 2003; Turgut et al., 2008; Admassie, Mekonnen, 2009; Bulc et al., 2010]. The pineal gland has one of the high-

est calcification rates in the human body [Whitehead et al., 2015]. In a study of 12,000 healthy subjects, it was observed that 71.6% of them had pineal gland calcifications. Large amounts of evidence suggest that the pineal calcification is associated with human pathological disorders (Alzheimer's disease, schizophrenia, etc.) and aging [review by Tan et al., 2018]. Hence, the study of the morphogenesis of pineal biominerals is of high relevance. The mineralization of mammalian pineal gland may be species-specific. For example, pineal concretions are more often revealed in species such as Mongolian gerbil (*Meriones unguiculatus*, Muridae, Rodentia) [Lewinski et al., 1983] or in humans [Turgut et al., 2008; Admassie, Mekonnen, 2009]. To date, blue fox (*Vulpes lagopus*) is the only Canidae species (Mammalia: Carnivora) whose pineal gland has been found to contain the concretions [Bulc et al., 2010].

It is thus of high interest to investigate the morphology, mineral and chemical properties of pineal gland concretions to understand in the near future the reasons for their formation as well as their possible biological significance. So, the aim of this study was to analyze the morphology, mineral and chemical composition of pineal calcium concretions in blue fox.

Material and methods

The study was carried out using the equipment of the Core Facility of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences and according to EU Directive 2010/63/EU for animal experiments with special permission from the Local Ethics Committee of the Institute of Biology.

Animals and material collection

Juveniles (n=4) and adults (n=6) of blue fox (*V. lagopus* L., 1758) (Mammalia: Carnivora) were used. The animals were reared in a fur farm in individual, outdoor cages. They were fed in accordance with the nutritional regime for fur-bearing animals with free access to water. The animals were sacrificed between 8 a. m. and 9 a. m. in December (period of sexual rest; photoperiod 07 h light : 17 h dark) in line with the approved procedure for fur animal farms. Pineal glands were removed immediately after skinning.

Histology and light microscopic examination

After removal, the pineal glands were immediately fixed by immersion in 10 % neutral buffered formalin at room temperature for histological preparations. The fixed glands were dehydrated

in ascending series of alcohol grades, cleared in xylene, then embedded in paraffin wax and sectioned with a thickness of 5 μ m in the coronal or sagittal planes. The sections were then stained with Ehrlich's haematoxylin and counterstained with eosin (H&E) and Masson-Goldner to visualize connective tissue. The stained sections were then mounted in distyrene plasticizer and observed under light microscope AxioScope. A1 (Zeiss, Germany). The images were made using video camera AxioCam MRc 5 (Zeiss, Germany) connected to the microscope, and image-processing system AxioVision (Zeiss, Germany).

Concrement isolation from pineal gland

Calcified concretions were extracted from the pineal glands of 5 blue fox adults using a procedure described in a study by Baconnier and Lang [2004]. Five pineal glands with the total mass of 0.5 g were placed in a microcentrifuge tube. 1.5 ml of 2.5 % sodium hypochlorite solution was added to the brain substance and sonicated for 10 min. The sample was allowed to settle for 1 min and then the supernatant liquid was removed to a second microcentrifuge tube and centrifuged at approximately 9000 g for 1 min. Then the sample was immediately washed twice with 95 % ethanol and then resuspended in approximately 50 ml of 100 % ethanol. From the ethanol solution, the specimens were deposited on glass plate. It is noteworthy that the samples did not come in contact with solutions containing calcium ions.

Scanning electron microscopy (SEM)

Scanning electron microscopy was applied to study the morphology and composition of calcified concretions. The experiments were carried out using unstained sections and extracts of pineal glands. The analysis was facilitated by a VEGA II LSH scanning electron microscope (Tescan, Czech Republic) with an energy dispersive detector INCA Energy 350 (Oxford Instruments). The setup of the SEM study was the following: W-cathode, a voltage of 20 kV, and a spectrum setting time at analytical points of 90 sec in a standard experiment. For the SEM observations, the specimens were covered with carbon or beryllium film.

Raman spectroscopy

Raman analysis of the calcified concretions was carried out using a dispersive Nicolet Almega XR Raman spectrometer with a green laser (532 nm, Nd-YAG). The spectra were collected on unstained sections and extracts of pineal glands at 2-cm⁻¹

spectral resolution. The spectrometer was calibrated before each analytical session by 'zero-point' centering and by analyzing an Si-standard with a characteristic Si Raman band at 520.4 cm^{-1} . A confocal microscope with a $50\times$ objective lens was used to focus the excitation laser beam on the sample and to collect the Raman signal from a $2\text{-}\mu\text{m}$ diameter area. The final laser power was about $5\text{--}10\text{ mW}$ at the sample surface. Raman spectra were acquired in the $200\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$ spectral region, with 30 s exposition time. Raman spectral data of calcified concretions, such as band position and full width at half maximum (FWHM), were determined using OMNIC software with a Gaussian/Lorentzian function.

Results

Pineal morphology in blue fox

Pineal gland of blue fox is classified into A or AB types according to Vollrath's classification [Vollrath, 1981] and displays large individual variability in shape and size. Generally speaking, the pineal is a conical organ (up to $5\text{--}6\text{ mm}$ long and $3\text{--}4\text{ mm}$ wide) with or without invagination on the surface and sometimes divided into two parts by connective tissue fibers. The pineal gland is surrounded by a pial capsule. Pial cells are flattened connective tissue cells derived from the mesoderm and with some cells from the neural crest. Glandular parenchyma comprises more numerous pinealocytes, cells with large nuclei of oval or round shape, less abundant glial cells, probably astrocytes, with highly heterochromatic (strongly stained) small nuclei, fibroblasts, blood vessels, reticular and collagen fibers.

Pineal acervuli were round, oval or irregular in shape, and located in capsule, septae and parenchyma (Fig. 1). At the light microscopic level, they were observed in both juveniles and adults, but not in all individuals. Some glands contained numerous deposits of different sizes, whereas others had only few acervuli.

In the sections stained with H&E, concretions were colored purple (Fig. 1, a–d). Some of them were dark without clear evident laminar structure, others were light-stained and seemed to be hollow, and the third group had a marked laminar structure with alternative layers of light- and dark-stained rings. In samples stained according to the Masson-Goldner method, acervuli were colored pink, light green or both (Fig. 1, e, f). In some concretions several layers or the point of calcification initiation were black. In the immediate vicinity of acervuli denegated cells, fibroblasts and collagen fibers were often observed.

Micromorphological features and chemical composition of pineal concretions

SEM observations are the most important in this study permitting to describe the morphology of calcified concretions in detail. Among concentrates from pineal gland, two types of concretions were distinguished according to their morphology. The first type is characterized by ellipsoidal to approximately spherical shape and size in a range of $7\text{--}10\text{ }\mu\text{m}$ (Fig. 2, a, b). This morphology is similar to the so-called "mulberry-like" structure reported for human pineal glands [Krstić, 1976; Kodaka et al., 1994; Baconnier, Lang, 2004; Kim et al., 2012]. The second type of concretions was elongate irregular-shaped particles with 1:2 ratio between sides in two directions (Fig. 2, c, d). They were larger, up to $25\text{ }\mu\text{m}$. This type of concretions was the most abundant in the observed samples. It should be emphasized that no single crystals were revealed in the studied pineal glands, and both varieties of calcified concretions were represented by aggregates of irregular or elongated particles within $< 1\text{--}6\text{ mm}$ in size.

EDS analysis was carried out to determine the composition of the concretions. The SEM images of acervuli and the corresponding EDS results are shown in Figure 3. The principal elements identified were calcium, phosphorous, carbon, and oxygen. We were unable to quantify carbon and oxygen because of organic matter presence in the sample. Moreover, additional oxygen content might come from the glass base of the sample. The Na, Mg and Si impurities were also due to the glass base. Microprobe analysis revealed two types of calcified concretions. The first group was apatite (Fig. 3, 1a, 2a). The Ca/P ratio was similar in the two morphological types of concretions, and varied within $1.25\text{--}1.76$ with an average of 1.36 . The chemical composition of the second group of calcified concretions (Fig. 3, 1b, 2b) included carbon and oxygen, which can be interpreted as calcium carbonate or oxalate.

Spectroscopic features of pineal concretions

Raman spectroscopy is a widely-recognized technique for the identification and crystallochemical interpretation of biominerals, including apatite from bone [Timlin et al., 1999; Carden, Morris, 2000; Thomas et al., 2011; Pasteris et al., 2014] and pineal gland [Baconnier, Lang, 2004]. The Raman spectrum of hydroxylapatite is defined by the occurrence of narrow bands at 588 , 960 and 1044 cm^{-1} , which come from the symmetric P-O stretch for PO_4 tetrahedra [Pasteris et al., 2014]. Additionally, the Raman spectrum of hydro-

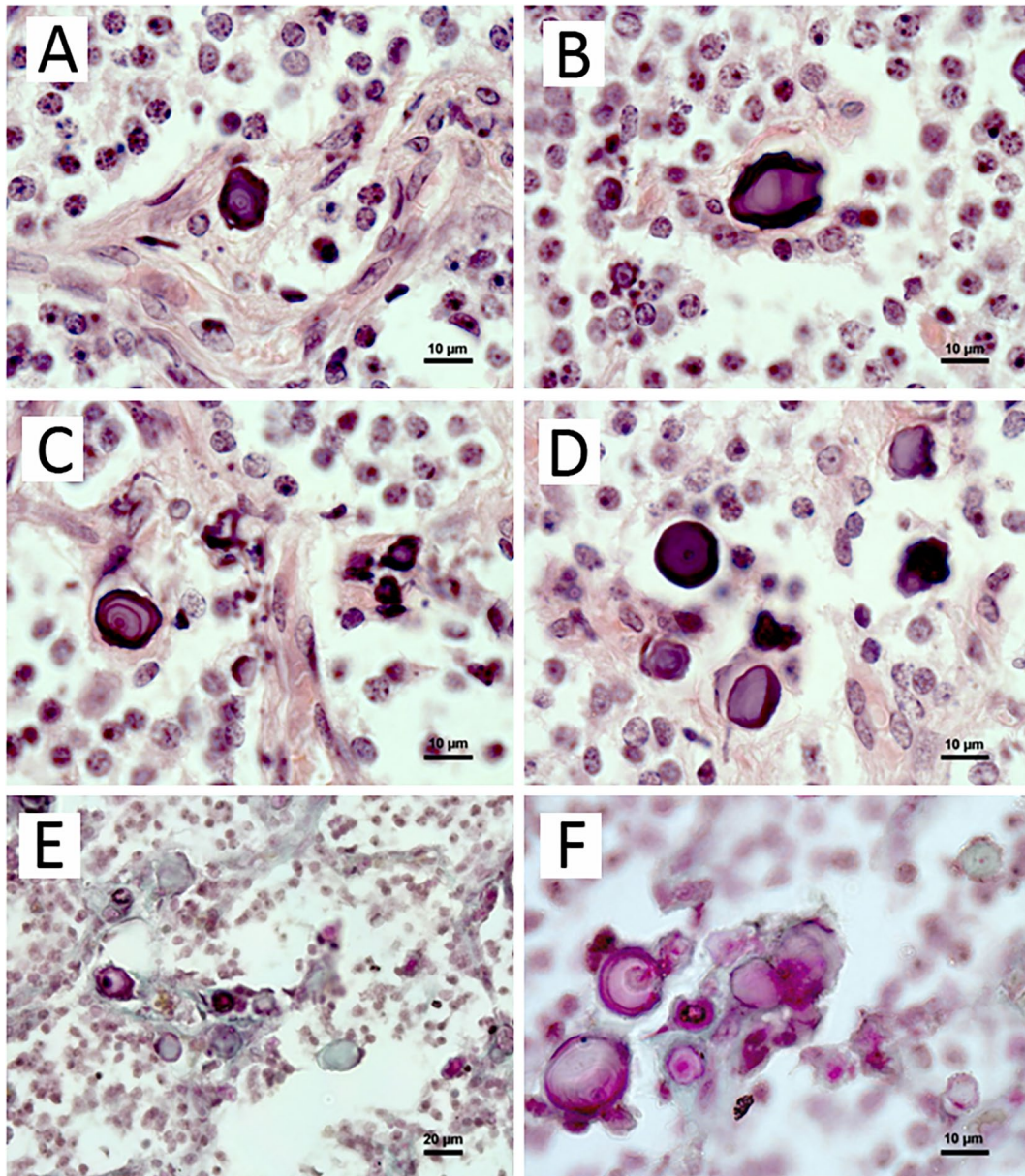


Fig 1. Calcified concretions in the pineal gland of adult blue fox.

Structure: (a), (c), (f) are laminar concretions with alternative layers of light- and dark-stained rings; (b) are hollow-like ones; (d), (e), (f) are acervuli without clear laminar structure. (a–d) H&E, (e–f) Masson-Goldner staining. Scale bar is 10 µm

xylopatite displayed a narrow band at $\sim 3572 \text{ cm}^{-1}$, which corresponded to the O-H stretch for hydroxyl in the channel site of apatite structure and broad band centered at about 3400 cm^{-1} , indicative of molecular water [Pasteris et al., 2014]. The Raman spectra of calcium concretions were consistent with hydroxylapatite, although the spectra were “poor” compared to the synthetic one (Fig. 4). Only two peaks were detected in the Raman spectra of studied specimens, which corresponded to the symmetric P-O stretch for PO_4 tetrahedra. The most intensive peak of apatite detected in the Raman spectra of the studied speci-

mens was in the 958 cm^{-1} position and had a band width of $\text{FWHM} = 18 \text{ cm}^{-1}$. The low-intensity broad band was detected at 1056 cm^{-1} . It should probably be attributed to the combination of apatite band at 1044 cm^{-1} and carbonate band at 1075 cm^{-1} [Karampas, Kontoyannis, 2013]. Additionally, Raman spectra of calcified concretions displayed two broad bands centered at 3476 and 3700 cm^{-1} , mainly corresponding to adsorbed and crystallographically incorporated water (Fig. 4). No bands indicative of carbonate substitution for phosphate in apatite were recorded in the Raman spectra of the calcified concretions. However, it has been

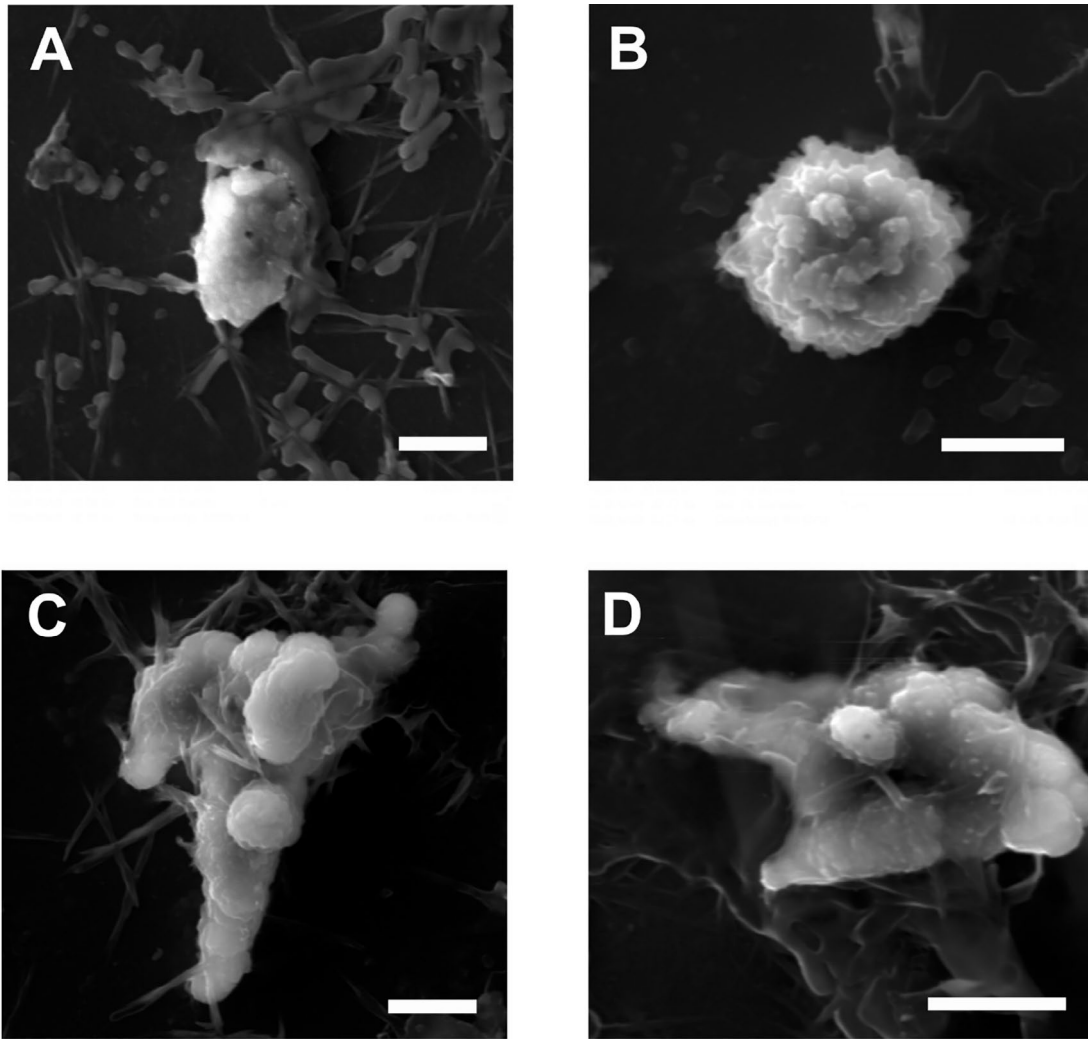


Fig. 2. Secondary electron (SE) images of mulberry-like (a, b) and irregular elongate (c, d) pineal gland concretions. Scale bar is 5 μm

established [Thomas et al., 2011] that the position and width (FWHM) of the band correspond to the symmetric stretching mode $\nu_1 - \text{PO}_4$ correlated with the hydroxylapatite composition, including the carbonate content. Synthetic hydroxylapatite without impurities was characterized by Raman parameters including the Raman frequencies of 960 cm^{-1} and $\text{FWHM} = 9.2\text{ cm}^{-1}$ [Thomas et al., 2011]. Hydroxylapatite from the concretions was characterized by a slightly lower band position (958 cm^{-1}) and a significantly higher band width $\text{FWHM} = 18\text{ cm}^{-1}$. These spectroscopic features are specific to apatite with the carbonate substitution in PO_4 tetrahedra [Thomas et al., 2011]. Another evidence of phosphate substitution by carbonates comes from the relatively high total water content marked by broad bands at around 3500 cm^{-1} detected for the calcified concretions. According to Pasteris et al. [2014], the increase in carbonate concentration within the apatite is correlated with an increase in spectroscopically

recorded total water content. Therefore, the Raman data suggest that the studied calcified concretions are composed of the carbonated hydroxylapatite. Hydroxylapatite was recognized in a majority of the studied calcified concretions. It was represented by both “mulberry-like” structures and elongate irregular-shaped particles with the size ca. 3–25 μm .

Raman spectroscopy was used to distinguish between calcium carbonate or oxalate minerals in the calcified concretions of blue fox pineal gland. Raman spectroscopic data revealed that the calcified concretions composed of calcium and carbon were represented only by calcite. It was identified by the characteristic bands at 712 and 1088 cm^{-1} (Fig. 5). Calcite was found in all the studied calcified concretions. In the calcified concretions composed of both calcite and hydroxylapatite, the number of calcite grains appeared to be higher than the number of hydroxylapatite grains. In contrast to hydroxylapatite, calcite was represented

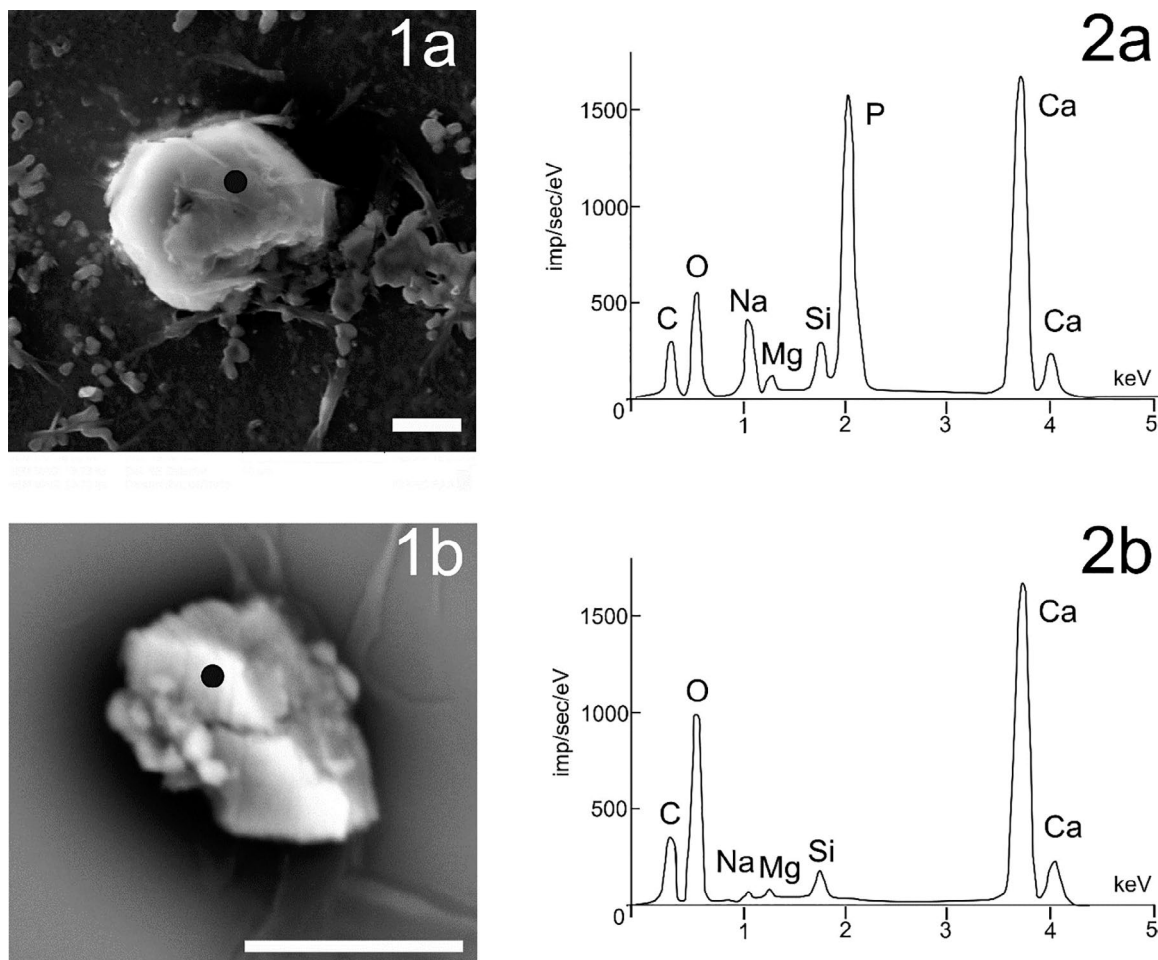


Fig. 3. Secondary electron (SE) images (1) and elemental energy dispersive spectra (2) of pineal gland concretions composed of apatite (a) and calcite (b). Dots indicate EDS measurement location. Scale bar is 5 μ m

only by the “mulberry-like” structure with the size ca. 2–13 mm.

Discussion

The reported findings give a first insight into the morphology, mineral and chemical properties of pineal calcified concretions in blue fox.

The brain sand is the one of the most intriguing structure in the pineal gland, which is able to form the brain sand due to the high calcium content and the high phosphate turnover compared to other tissues [Borell, Öström, 1947; Vigh et al., 1989]. However, the biological significance of pineal calcium concretions is still unknown.

We detected the presence of pineal acervuli in both juveniles and adults blue fox. However, previously Bulc et al. [2010] revealed the brain sand in the pineal of blue foxes aged 3 years, but not in those aged 7–8 months. The relevance of concretions to aging is still arguable; in general views their incidence and amount are believed to increase with age [Schmid, 1993; Mori et al., 2003;

Admassie, Mekonnen, 2009; Bulc et al., 2010] despite several irrelevant cases [Tapp, Huxley, 1972; Maślińska et al., 2010].

The calcified concretions were located in the parenchyma of distal part of the blue fox gland, in the capsule surrounding it and in the protruding septae. Our results are in agreement with data of Bulc et al. [2010], who also observed the concretions in the pineal capsule and parenchyma of blue fox. Other authors revealed the differences in structure of capsular concretions and of parenchymal ones. The first show clear concentric lamination, but the second have the globular structure. As the capsule and septae of the pineal are formed by the arachnoid and pia mater sheets of the meninges, the concretions of the capsule and septae are the example of meningeal calcification [Vigh et al., 1998]. Similarly, acervuli from the capsule in our study had laminated structure, but most of the concretions formed in the pineal parenchyma also had alternative layers of light- and dark-stained rings. Others were strongly dark-stained, and the third

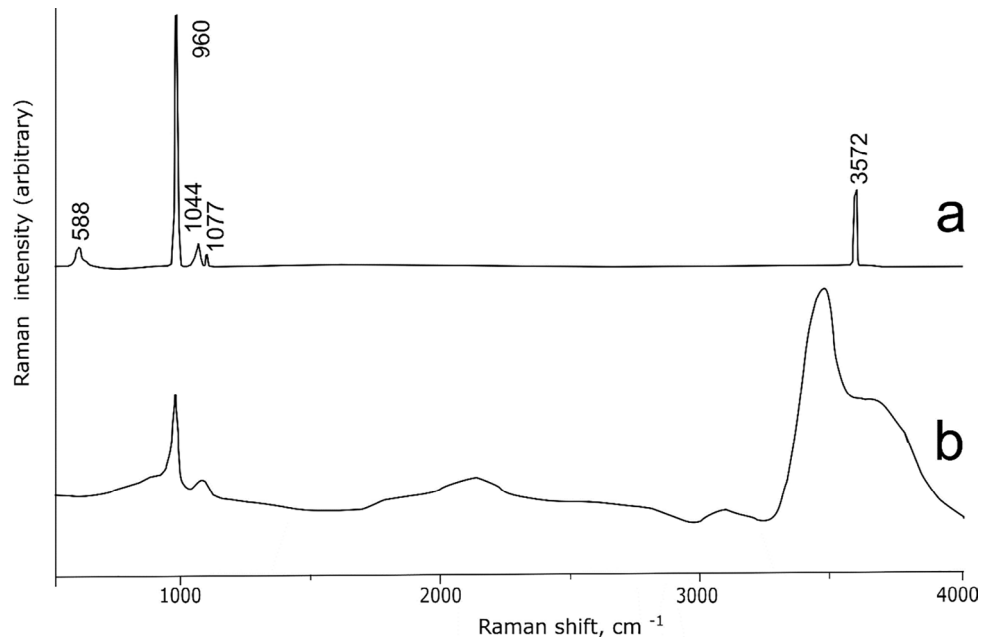


Fig. 4. Raman spectra of commercial hydroxylapatite (a) [modified after Pasteris et al., 2014] and hydroxylapatite from pineal gland concretions (b)

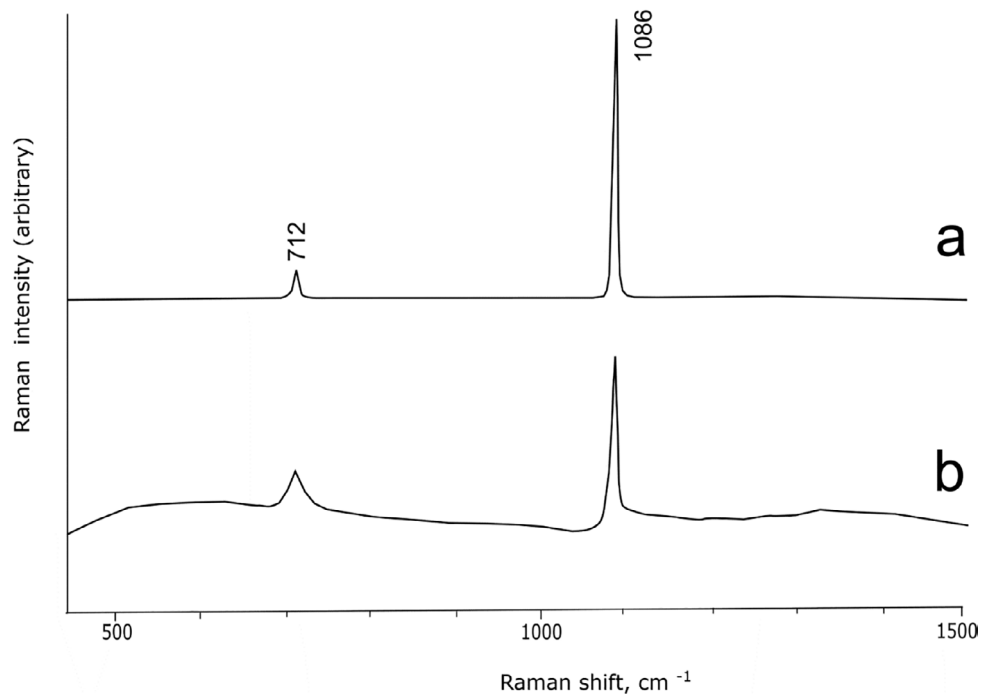


Fig. 5. Raman spectra of standard calcite sample (a) [RRUFF...] and calcite from pineal gland concretions (b)

group were light-stained and seemed to have hollow structure (in sections stained with H&E). However, acervuli in samples stained according to the Masson-Goldner method were colored pink, light green or both, some of them had black rings, probably indicating differences in the composition of the concretions.

Although studies of the pineal gland have a long history, the mineral and chemical compositions

of pineal calcified concretions have been predominately revealed in humans [Krstić, 1976; Bocchi, Valdre, 1993; Kodaka et al., 1994; Nakamura et al., 1995; Bacconier, Lang, 2004]. Such data for other mammalian species are scarce [Krstić, Golaz, 1977; Humbert, Pévet, 1995; Tofail et al., 2019]. Identification of the mineral composition of pineal calcified concretions is often challenging due to the small size and low bioavailability of these minerals. The SEM-

EDS and Raman spectroscopy data obtained for the blue fox pineal indicate that pineal calcified concretions are made up of hydroxylapatite and calcite. Hydroxylapatite is characterized by the average Ca/P ratio of 1.36, which is similar to the composition variations in bioapatites [Frank-Kamenetskaya et al., 2011; Combes et al., 2016]. The identification of apatite in pineal concretions from blue fox is in agreement with the data reported by other researchers, who revealed that acervuli are mainly built up from hydroxyapatite [Bocchi, Valdre, 1993; Kodaka et al., 1994]. It should be emphasized that the morphology of the mulberry-like structure is similar for both blue fox pineal gland, as it is shown in the present study, and for human pineal gland [Kodaka et al., 1994]. However, hydroxylapatite in the calcified concretions from blue fox pineal gland occurred not only as mulberry-like structure, but also as elongate irregular-shaped particles with larger size of up to 25 μm (Fig. 2).

The SEM-EDS and Raman spectroscopy studies of calcified concretions from blue fox pineal gland showed that the additional mineral phase in the pineal gland was calcite. The data are in agreement with those obtained for the pineal gland of humans [Bacconier, Lang, 2004] and rats [Tofail et al., 2019]. However, other polymorphs of calcium carbonate, namely vaterite and aragonite, have also been recognized in the pineal gland of rats [Tofail et al., 2019]. Calcite in calcified concretions from blue fox pineal gland appeared as mulberry-like structure smaller than the elongate irregular-shaped hydroxyapatite particles.

The data concerning the mineral composition of calcium concretions in blue fox pineal are in agreement with those obtained by other researchers on rodent and human gland [Kodaka et al., 1994; Bacconier, Lang, 2004; Tofail et al., 2019]. The presence of two different mineral phases in the same organ is considered to be biologically significant [Bacconier, Lang, 2004; Tofail et al., 2019], but the mechanism of biomineralization remains unknown.

To date, there is no clear understanding of how and why calcium concretions form, but some mechanisms for their formation are suggested. Among them the impairment of Ca^{2+} -dependent ATPase, changes in calcium channels, or a constant depolarization of pinealocytes calcium pump leading to elimination of calcium out of the cell [Krstić, 1986]; death or degeneration of pinealocytes, resulting in an overall decrease in pineal activity [Schmid, 1993; Humbert, Pévet, 1995], and active participation of tryptase mast cells in the pineal calcification process as sites where it starts [Maślińska et al., 2010].

Overviewing the data available about pineal calcification, one can conclude that a multifactorial mechanism may be responsible for its formation [Vigh et al., 1998]. Moreover, the nature and crystallinity of the inorganic tissue of pineal concretions give reason to assume that the *corpora arenacea* is of a physiological rather than pathological ossification type, with characteristics between enamel and dentine, but with more marked analogies towards the latter [Bocchi, Valdre, 1993].

Conclusions

The reported findings give a first insight into the morphology, mineral and chemical composition of pineal calcium concretions in blue fox. The results suggest that the process of pineal gland mineralization is most likely not age-related. Our data concerning the location and mineral composition of calcium concretions in blue fox pineal gland are in agreement with those obtained by other researchers on rodent and human pineal glands. Calcified concretions were located in the capsule, protruding septae and parenchyma of pineal gland. Two morphological types of concretions were distinguished, including the mulberry-like and the irregular elongate structures. The acervuli of mulberry-like structure were made up of hydroxylapatite and calcite, and the irregular elongate aggregates were composed of hydroxylapatite only. The latter had not been previously recorded from calcified concretions from mammals. The data reported in this study contribute to the understanding of the calcification mechanism in the pineal gland.

The authors are grateful to Director of FSUE "Russian Sable" V. L. Shevyrkov, to Z. S. Ruchkina and to the Head of the Laboratory of Ecological Biochemistry of IB KarRC RAS S. A. Murzina for help in conducting the research. We also thank G. L. Kuranov for the methodology discussion.

The authors have no conflicts of interest that are directly relevant to the contents of this manuscript.

The study was carried out under state order (project № 0218-2019-0073).

References

- Admassie D., Mekonnen A. Incidence of normal pineal and choroids plexus calcification on Brain CT (computerized tomography) at Tikur Anbessa Teaching Hospital Addis Ababa, Ethiopia. *Ethiopian Med. J.* 2009. Vol. 47. P. 55–60.
- Bacconier S., Lang S. B. Calcite microcrystals in the pineal gland of the human brain: Second harmonic generators and possible piezoelectric transducers. *IEEE T. Dielect. El. In.* 2004. Vol. 11. P. 203–209.

- Bocchi G., Valdre G. Physical, chemical, and mineralogical characterization of carbonate-hydroxyapatite concretions of the human pineal gland. *J. Inorganic Biochem.* 1993. Vol. 49. P. 209–220.
- Borell U., Öström Å. The turnover of phosphate in the pineal body compared with that in other parts of the brain. *Biochem. J.* 1947. Vol. 41. P. 398–403.
- Bulc M., Lewczuk B., Prusik M., Gugolek A., Przybylska-Gornowicz B. Calcium concretions in the pineal gland of the Arctic fox (*Vulpes lagopus*) and their relationship to pinealocytes, glial cells and type I and III collagen fibers. *Polish J. Vet. Sci.* 2010. Vol. 13. P. 269–278.
- Carden A., Morris M. D. Application of vibrational spectroscopy to the study of mineralized tissues (review). *J. Biomed. Optics.* 2000. Vol. 5. P. 259–268.
- Combes C., Cazalbou S., Rey C. Apatite biominerals. *Minerals.* 2016. Vol. 6, no. 2. P. 34.
- Frank-Kamenetskaya O., Kol'tsov A., Kuz'mina M., Zorina M., Poritskaya L. Ion substitutions and non-stoichiometry of carbonated apatite- (CaOH) synthesised by precipitation and hydrothermal methods. *J. Mol. Structure.* 2011. Vol. 992. P. 9–18.
- Gilbert P., Abrecht M., Frazer B. H. The organic-mineral interface in biominerals. *Rev. Mineral. Geochem.* 2005. Vol. 59. P. 157–185.
- Humbert W., Pévet P. Permeability of the pineal gland of the rat to lanthanum: Significance of dark pinealocytes. *J. Pineal Res.* 1992. Vol. 12. P. 84–88.
- Humbert W., Pévet P. Calcium concretions in the pineal gland of aged rats: an ultrastructural and microanalytical study of their biogenesis. *Cell Tissue Res.* 1995. Vol. 279. P. 565–573.
- Karampas I. A., Kontoyannis C. G. Characterization of calcium phosphates mixtures. *Vib. Spectrosc.* 2013. Vol. 64. P. 126–133.
- Kim J., Kim H. W., Chang S., Kim J. W., Je J. H. Growth patterns for acervuli in human pineal gland. *Sci. Rep.* 2012. Vol. 2. P. 984–988.
- Kodaka T., Mori R., Debari K., Yamada M. Scanning electron microscopy and electron probe microanalysis studies of human pineal concretions. *Microscopy.* 1994. Vol. 43. P. 307–317.
- Krstić R. A combined scanning and transmission electron microscopic study and electron probe microanalysis of human pineal acervuli. *Cell Tissue Res.* 1976. Vol. 174. P. 129–137.
- Krstić R. Pineal calcification: its mechanism and significance. *J. Neural Transmis. Supp.* 1986. Vol. 21. P. 415–432.
- Krstić R., Golaz J. Ultrastructural and X-ray microprobe comparison of gerbil and human pineal acervuli. *Experientia.* 1977. Vol. 33. P. 507–508.
- Lewinski A., Vaughan M. K., Champney T. H. Dark exposure increases the number of pineal concretions in male gerbils (*Meriones unguiculatus*). *IRCS Med. Sci.* 1983. Vol. 11. P. 977–978.
- Luke J. Fluoride deposition in the aged human pineal gland. *Caries Res.* 2001. Vol. 35. P. 125–128.
- Maślińska D., Laure-Kamionowska M., Deręgowski K., Maśliński S. Association of mast cells with calcification in the human pineal gland. *Folia Neuropathol.* 2010. Vol. 48. P. 276–282.
- Mori R., Kodaka T., Sano T. Preliminary report on the correlations among pineal concretions, prostatic calculi and age in human adult males. *Anat. Sci Int.* 2003. Vol. 78. P. 181–184.
- Nakamura K. T., Nakahara H., Nakamura M., Tokioaka T., Kiyomura H. Ultrastructure and x-ray microanalytical study of human pineal concretions. *Ann. Anat.* 1995. Vol. 177. P. 413–419.
- Pasteris J. D., Yoder C. H., Wopenka B. Molecular water in nominally unhydrated carbonated hydroxylapatite: The key to a better understanding of bone mineral. *Am. Miner.* 2014. Vol. 99. P. 16–27.
- RRUFF database of Raman spectroscopy, X-ray diffraction and chemistry of minerals. URL: <https://rruff.info> (accessed: 20.02.2021).
- Schmid H. A. Decreased melatonin biosynthesis, calcium flux, pineal gland calcification and aging: a hypothetical framework. *Gerontol.* 1993. Vol. 39. P. 189–199.
- Tan D. X., Xu B., Zhou X., Reiter R. J. Pineal calcification, melatonin production, aging, associated health consequences and rejuvenation of the pineal gland. *Molecules.* 2018. Vol. 23. Art. 301. doi: 10.3390/molecules23020301
- Tapp E., Huxley M. The histological appearance of the human pineal gland from puberty to old age. *J. Pathol.* 1972. Vol. 108. P. 137–144.
- Thomas D. B., McGoverin C. M., Fordyce R. E., Frew R. D., Gordon K. C. Raman spectroscopy of fossil bioapatite – A proxy for diagenetic alteration of the oxygen isotope composition. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 2011. Vol. 310, no. 1–2. P. 62–70.
- Timlin J. A., Carden A., Morris M. D. Chemical microstructure of cortical bone probed by Raman transects. *App. Spectr.* 1999. Vol. 53. P. 1429–1435.
- Tofail S. A. M., Mouras R., McNamara K., Patyk-Kazmierczak E., Geaney H., Zaworotko M., Ryan K. M., Soulimane T., Silien C., Kopáni M. Multimodal surface analyses of chemistry and structure of biominerals in rodent pineal gland concretions. *Appl Surf. Sci.* 2019. Vol. 469. P. 378–386.
- Turgut A. T., Karakaş H. M., Özsunar Y., Altın L., Çeken K., Alicioğlu B., Sönmez İ., Alparlan A., Yürümez B., Çelik T., Kazak E., Geyik P. Ö., Koşar U. Age-related changes in the incidence of pineal gland calcification in Turkey: A prospective multicenter CT study. *Pathophysiol.* 2008. Vol. 15. P. 41–48.
- Vígh B., Vígh-Teichmann I., Heinzeller T., Tutter I. Meningeal calcification of the rat pineal organ. *Histochem.* 1989. Vol. 91. P. 161–168.
- Vígh B., Szél A., Debreceni K., Fejér Z., e Silva M. M., Vígh-Teichmann I. V. Comparative histology of pineal calcification. *Histol. Histopathol.* 1998. Vol. 13. P. 851–870.
- Vollrath L. The pineal organ. Oksche A. and Vollrath L. (eds) *Handbuch Der Mikroskopischen Anatomie Des Menschen* vol 7. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1981.
- Whitehead M. T., Oh C., Raju A., Choudhri A. F. Physiologic pineal region, choroid plexus, and dural calcifications in the first decade of life. *Am. J. Neuroradiol.* 2015. Vol. 36 (3). P. 575–580. doi: 10.3174/ajnr. A4153
- Zimmerman R. A., Bilaniuk L. T. Age-related incidence of pineal calcification detected by computed tomography. *Radiol.* 1982. Vol. 142. P. 659–662.

Received March 20, 2021

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Калинина Светлана Николаевна

заведующая лаб. экологической физиологии животных,
к. б. н.
Институт биологии КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: cvetnick@yandex.ru
тел.: +79114241881

Чаженгина Светлана Юрьевна

старший научный сотрудник лаб. геохимии, четвертичной
геологии и геоэкологии, к. г.-м. н.
Институт геологии КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: chazhengina@mail.ru
тел.: +79116601533

Илюха Виктор Александрович

директор ИБ КарНЦ РАН, главный научный сотрудник
лаб. экологической физиологии животных, д. б. н.
Институт биологии КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: ilyukha@bio.krc.karelia.ru

Светов Сергей Анатольевич

директор ИГ КарНЦ РАН, руководитель и главный
научный сотрудник лаб. геохимии, четвертичной
геологии и геоэкологии, д. г.-м. н., старший научный
сотрудник, проф.
Институт геологии КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: ssvetov@krc.karelia.ru

Хижкин Евгений Александрович

старший научный сотрудник лаб. экологической
физиологии животных, к. б. н.
Институт биологии КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: hizhkin84@mail.ru

CONTRIBUTORS:

Kalinina, Svetlana

Institute of Biology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: cvetnick@yandex.ru
tel.: +79114241881

Chazhengina, Svetlana

Institute of Geology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: chazhengina@mail.ru
tel.: +79116601533

Ilyukha, Victor

Institute of Biology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: ilyukha@bio.krc.karelia.ru

Svetov, Sergey

Institute of Geology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: ssvetov@krc.karelia.ru

Khizhkin, Evgeny

Institute of Biology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: hizhkin84@mail.ru

УДК 811.511

ЛИНГВИСТИЧЕСКИЙ КОРПУС ВЕПКАР – «ЗАПОВЕДНИК» ПРИБАЛТИЙСКО-ФИНСКИХ ЯЗЫКОВ КАРЕЛИИ

**Т. П. Бойко¹, Н. Г. Зайцева¹, Н. Б. Крижановская²,
А. А. Крижановский², И. П. Новак¹, Н. А. Пеллинен¹,
А. П. Родионова¹, Е. Д. Трубина³**

¹ Институт языка литературы и истории КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН»,
Петрозаводск, Россия

² Институт прикладных математических исследований КарНЦ РАН,
ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

³ Институт математики и информационных технологий,
Петрозаводский государственный университет, Россия

Целью создания природных заповедников является охрана исчезающих видов флоры и фауны. Для сохранения и последующего изучения языков такими «заповедниками» становятся большие, размеченные, разножанровые лингвистические корпуса. В статье описаны история, структура, возможности и перспективы развития «Открытого корпуса вепсского и карельского языков», являющегося одновременно как результатом многолетней междисциплинарной работы лингвистов и программистов Карельского научного центра РАН, так и уникальной источниковой базой для новых исследований. Электронный ресурс ведет свою историю с 2009 года, когда под руководством Н. Г. Зайцевой был создан «Корпус вепсского языка». С 2016 года в корпус входят три карельских подкорпуса: собственно карельский, ливвиковский и людиковский. Объединенная лингвистическая платформа получила название «Открытый корпус вепсского и карельского языков» (ВепКар). Корпус включает в себя тексты и словари, хранящиеся в базе данных, и компьютерную программу, обеспечивающую поиск и обработку текстов. Эта программа называется «корпусным менеджером», она написана на языке программирования PHP в системе разработки веб-сайтов Laravel. Данные хранятся в базе данных MySQL. Словари и тексты корпуса вместе с поисковой системой доступны онлайн (dictorpus.krc.karelia.ru). Авторы проекта уделяют внимание популяризации корпуса ВепКар с помощью сайтов YouTube и Википедия. Особенностью базы данных и самого корпуса ВепКар является тесная взаимосвязь словарей и текстов. Многофункциональные словари вепсского и карельского языков содержат толкование, перевод, диалектные пометы, семантические отношения (синонимы, антонимы и др.), примеры словоупотреблений со ссылкой на тексты, а также полные словоизменительные парадигмы. Все тексты автоматически размечаются, и от слов в тексте идут отсылки на соответствующие значения в словарных статьях. Разработчики добавляют в корпусный менеджер новые полезные функции, призванные облегчить работу редакторов. Например, за последние три года сформулированы и запрограммированы правила именного и глагольного словоизменения для всех диалектов вепсского языка и его младописьменного варианта, а также для ливвиковского, севернокарельского и тверского новописьменных вариантов карельского языка. Благодаря этому в системе ВепКар в полуавтоматическом режиме сгенерировано 2,1 млн словоформ. Кроме семантической разметки, представленной в корпусе (2,1 млн связей между словами из текста и значениями лемм в словаре), добавлена грамма-

тическая разметка, позволившая автоматически установить 1,1 млн связей между словами из текста и грамматическими характеристиками словоформ из словаря. Многоязычный корпус ВепКар делится на подкорпусы по языкам и наречиям, также есть стилевая и жанровая классификация текстов. В корпусе организована развитая система поиска с фильтрацией текстов по языковой, стилистической и диалектной принадлежности, по информанту, собирателю или автору, году записи или году публикации. Поиск лемм возможен по диалектам, частям речи, грамматическим признакам и даже по лексико-семантическим категориям. Эти категории появились благодаря интеграции выдающегося «Сопоставительно-ономасиологического словаря диалектов карельского, вепсского, саамского языков» в словарную часть ВепКар. На базе ВепКар в 2021 году был создан электронный словарь Sanahelmi для телефонов с операционной системой Android. Разработка мобильных приложений на основе данных корпуса будет продолжена.

Ключевые слова: карельский язык; вепсский язык; корпусная лингвистика; Открытый корпус вепсского и карельского языков; корпусный менеджер; словоизменительная парадигма.

T. P. Boyko, N. G. Zaitseva, N. B. Krizhanovskaya, A. A. Krizhanovsky, I. P. Novak, N. A. Pellinen, A. P. Rodionova, E. D. Trubina. THE LINGUISTIC CORPUS VEPKAR IS A LANGUAGE REFUGE FOR THE BALTIC-FINNISH LANGUAGES OF KARELIA

The purpose of creating conservation areas is to protect endangered plant and animal species. Large, tagged linguistic corpora with a great variety of genres are used for the preservation and research of safe and endangered languages. The article describes the history, structure and development of the Open Corpus of the Veps and Karelian languages. The Veps language corpus was created in 2009 under the leadership of Nina Zaitseva. Three Karelian subcorpora (Karelian proper, Livvi and Ludian) were included in the linguistic corpus in 2016. The united linguistic platform was named "The Open Corpus of the Veps and Karelian languages" (VepKar). This linguistic corpus includes texts and dictionaries stored in a database, and a computer program (corpus manager) for searching and processing the data. This corpus manager was written in the PHP programming language in the Laravel framework. The data are stored in a MySQL database. Corpus and dictionaries data are available online (dictorpus.krc.karelia.ru). YouTube and Wikipedia are used by VepKar authors to popularize the corpus. Dictionaries and corpus texts are strongly interrelated. Multifunctional dictionaries of the Veps and Karelian languages contain definition, translation, dialect labels, semantic relations (synonyms, antonyms, etc.), examples of word usage with reference to texts, as well as complete inflectional paradigms. All texts are automatically marked up and there are references from words in the text to the corresponding meanings in the dictionary entries. The developers continue adding useful new features to the corpus manager to make the work of editors easier. For example, over the past three years, nominal and verbal inflection rules have been formulated and programmed for all dialects of the Veps language and its newly-written version, as well as for the Livvi-Karelian, North Karelian and Tver newly-written versions of the Karelian language. Thanks to this, 2.1 million word forms were generated in the VepKar system in a semi-automatic mode. The semantic markup in the corpus is 2.1 million links between words from the text and the meanings of lemmas in the dictionary. The grammatical markup was added, namely, 1.1 million links between words from the text and the grammatical features of word forms from the dictionary were automatically established. The multilingual VepKar corpus is divided into subcorpora according to languages and dialects, and the texts are also classified into styles and genres. The corpus has a sophisticated search system (with filtering of texts by language, style and dialect, by informant, collector or author, by year of recording or year of publication). It is possible to search for lemmas by dialects, parts of speech, grammatical features, and even by lexical-semantic categories. These categories appeared due to the integration of the data of the outstanding "Comparative and Onomasiological Dictionary of the Dialects of the Karelian, Veps and Sami Languages" into the vocabulary part of VepKar. In 2021, the Sanahelmi electronic dictionary was created on the basis of VepKar for Android phones. The development of mobile applications based on corpus data is our bright future.

Key words: Karelian language; Veps language; corpus linguistics; Open corpus of Veps and Karelian languages; corpus manager; inflectional paradigm.

Введение

Как известно, заповедники предназначены для охраны природы и сохранения генетического фонда и имеют культурное и научное значение. Так же, как редкие и малочисленные виды животных и растений, многие языки мира находятся под угрозой исчезновения. Для сохранения языкового богатства и последующего изучения языков создаются лингвистические корпусы. Исследованием вопросов построения корпусов и методами их обработки занимается такой раздел языкознания, как корпусная лингвистика.

В мире существуют десятки больших лингвистических корпусов, например, Национальный корпус русского языка¹, Британский национальный корпус², Чешский национальный корпус³. Известны три наиболее крупных корпуса финно-угорских языков: Языковой банк Финляндии⁴, Сводный корпус эстонского языка⁵ и Венгерский национальный корпус⁶.

Для долговременной и плодотворной работы над корпусом требуется научный коллектив и включение корпусных исследований в план научной работы. Например, для работ над Чешским национальным корпусом был организован одноименный институт, над пополнением и развитием Национального корпуса русского языка работают сотрудники нескольких университетов и институтов РАН. Наличие больших коллективов лингвистов в процессе работы над корпусом необходимо для выполнения его тонкой настройки. К такой настройке следует отнести ручную разметку, создание так называемого «золотого стандарта» или размеченной вручную части корпуса, которая в дальнейшем будет использоваться в различных экспериментах. Примером может служить глубоко аннотированный корпус текстов русского языка СинТагРус, где каждое слово в тексте привязано к какой-либо словарной статье комбинаторного словаря [Иншакова и др., 2019].

Большой теоретический и практический интерес представляет собой веб-корпус уральских языков Поволжья⁷, построенный Т. Архангельским. Для построения веб-корпуса пяти уральских языков (коми-зырянского, лугового марийского, мокшанского, удмуртского и эр-

зянского) обрабатываются тексты сети Интернет, корпус содержит только автоматическую разметку. Корпус включает современную художественную литературу, научные статьи, переводы Библии, статьи Википедии, официальные тексты и публичные записи в социальных сетях [Arkhangelskiy, 2020, с. 58–61].

Для каждого из пяти уральских языков разработан морфологический анализатор на основе правил. Анализаторы работают по данным словарей, поэтому в корпусах не распознаны несловарные слова или слова с опечатками. Проанализировано от 80 до 96 % слов в корпусах. Контекст при морфологическом анализе практически не учитывается, и анализатор выдает все возможные леммы для заданной словоформы. Для малоресурсных языков как раз важно, чтобы при автоматическом морфологическом анализе в разметке сохранялись все возможные формы слова для последующей проверки и выбора правильной формы лингвистом. Т. Архангельский называет корпусные менеджеры, сохраняющие все формы разборов, «дружественными к неоднозначности», такой «ambiguity-friendly» платформой является при разметке корпус ВебКар (рис. 1).

История «Открытого корпуса вепсского и карельского языков» и популяризация проекта

Проект «Открытый корпус вепсского и карельского языков» (ВебКар) [Зайцева, 2012] ведет свою историю с 2009 года, когда в Институте языка, литературы и истории Карельского научного центра РАН (ИЯЛИ КарНЦ РАН) под руководством д. фил. н. Н. Г. Зайцевой началась работа по созданию «Корпуса вепсского языка»⁸. Корпус, включающий в себя электронный словарь и пять текстовых корпусов (диалектные тексты; фольклорные тексты с двумя подкорпусами: причитания и сказки; два младодописыменных корпуса: переводы Нового Завета и тексты на младодописыменном вепсском языке), содержит собственные системы поиска по различного рода характеристикам: по отдельным словам, диалектам, жанрам фольклора и младодописыменных текстов и т. д. [Зайцева, 2012, с. 16]. «Корпус вепсского языка» оказал большую помощь в подготовке «Орфографического словаря вепсского языка» [Зайцева, Харитоновна, 2012] языковедам, поскольку смог обеспечить возможность поиска в диалектном материале при отборе форм для создания правил орфографии вепсского языка [Крижанов-

¹ См. [https://ruscorpора.ru](https://ruscorpورا.ru)

² См. <http://www.natcorp.ox.ac.uk>

³ См. <https://www.korpus.cz>

⁴ См. <https://www.kielipankki.fi/aineistot/ftc>

⁵ См. <https://www.cl.ut.ee/korpused/segakorpus/index.php?lang=en>

⁶ См. http://mnsz.nytud.hu/index_eng.html

⁷ См. <http://volgakama.web-corpora.net>

⁸ См. <http://vepsian.krc.karelia.ru/about/>

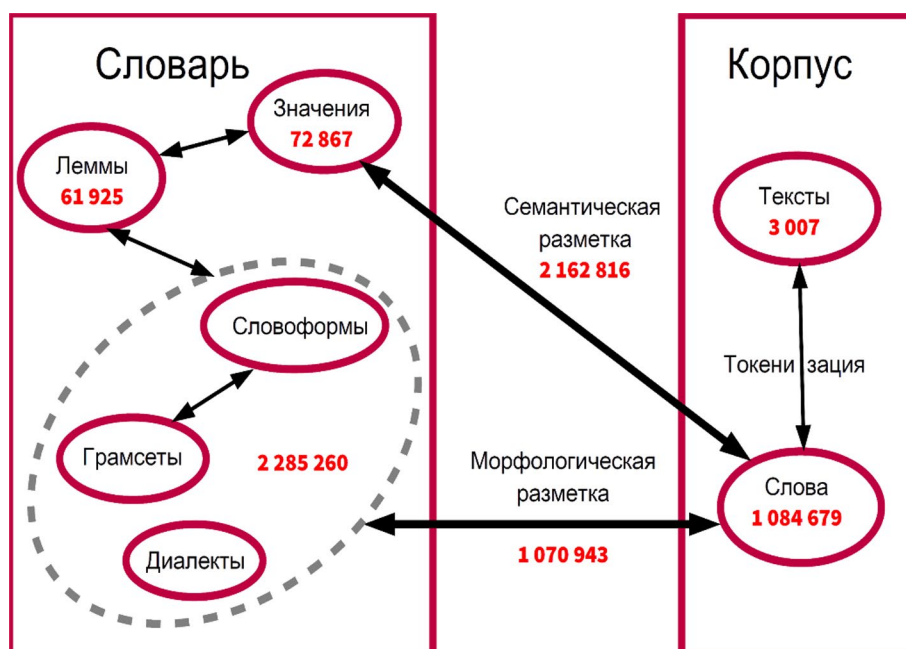


Рис. 1. Организация данных ВепКар, объем корпуса и словаря на февраль 2021 года

Fig. 1. VepKar data architecture, volume of the corpus and dictionary as of February 2021

ский, 2019, с. 20]. Авторы корпуса в 2017 году получили премию «Ключевое слово», учрежденную Федеральным агентством по делам национальностей, в номинации «За лучший научный проект»¹.

Представителями вепсского и карельского народов решаются идентичные проблемы по возрождению языков и культур, и все это требует больших электронных языковых ресурсов, которые позволят исследователям создавать и развивать, например, правила карельской орфографии, введут в научный и общественный оборот значительное количество материалов, востребованных авторами учебников по языку и истории родного края, учителями, писателями. В связи с этим в целях сохранения, развития и популяризации как вепсского, так и карельского языка в 2016 году сотрудники ИЯЛИ и Института прикладных математических исследований КарНЦ РАН приступили к созданию многоязычного корпуса. В 2016 году на базе вепсского корпуса создан карельский корпус. Иными словами, объединенный корпус стал продолжением «Вепсского корпуса» и получил название «Открытый корпус вепсского и карельского языков» (ВепКар)².

Направление корпусной лингвистики было включено в план научно-исследовательской работы сектора языкознания ИЯЛИ КарНЦ РАН на 2021–2023 годы, что указывает на значительные результаты и еще большие надежды, возлагаемые на корпус [Зайцева, Крижановская, 2018].

Современные научные проекты решают задачи популяризации с помощью таких инструментов, как YouTube и Википедия. Редакторы ВепКар, они же сотрудники ИЯЛИ КарНЦ РАН, представили небольшие видеорассказы на исследуемых языках. В корпусе ВепКар появилась возможность добавлять видео к текстам. Такие тексты с видеозаписью информанта собраны в отдельный раздел сайта «Видео»³. Помимо сайта проекта ВепКар эти видеорепортажи теперь можно увидеть на канале YouTube⁴ и в Русской Википедии (статьи «Ливвиковское наречие», «Вепсский язык», «Зайцева, Нина Григорьевна», «Тверской диалект карельского языка»), в Английской Википедии (статьи «Veps language», «Livvi-Karelian language», «Karelian language»). Видеофайлы доступны на Викискладе в категории VepKar⁵.

¹ См. <http://fadn.gov.ru/news/2017/10/03/3406-na-forume-yazykovaya-politika-organizovannom-fadn-rossii-nagradili-laureatov-vserossiyskoy-premii-klyuchevoe-slovo>

² См. dictorpus.krc.karelia.ru

³ См. <http://dictorpus.krc.karelia.ru/ru/corpus/video>

⁴ См. https://www.youtube.com/playlist?list=PLURxZmJJsseOSJ8upo1sSWztSu0-ou_ys

⁵ См. <https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:VepKar>

Леммы и словоформы с наборами грамматических признаков вепсского и карельских словарей корпуса ВепКар экспортированы и включены в международную морфологическую базу данных UniMorph 3.0. Эти данные доступны на сайте GitHub в виде отдельных подпроектов проекта UniMorph. В качестве имен подпроектов выбраны языковые коды по стандарту ISO 639–3, а именно: *vep* для вепсского языка¹, *krl* – собственно карельское наречие², *olo* – ливвиковское наречие карельского языка³, *lud* – людиковское наречие карельского языка⁴.

Результаты исследований, связанные с корпусом ВепКар, были представлены на международных конференциях «Корпусная лингвистика», «Диалог» (Москва), «Бубриховские чтения» (Петрозаводск), «Международная конференция, посвященная памяти Микаэля Агриколы» (Нарва), «Международная филологическая конференция» секция «Уралистика» (Санкт-Петербург) и др.

Архитектура и количественные характеристики корпуса

Разрабатываемый корпус ВепКар обладает следующими характеристиками:

- является многоязычным корпусом, включает тексты на вепсском и карельском языках, вепсские и карельские словари имеют толкования на русском и частично английском языках;
- является полнотекстовым корпусом, то есть разметка текстов выполняется полностью и поиск осуществляется по всему массиву текстов;
- предоставляет пользователям доступ к полным текстам документов, то есть корпус ВепКар можно рассматривать как собрание текстов (электронную библиотеку). Ограничение возникает при включении в корпус копирайтных текстов. Материалами для ВепКар могут служить тексты только с открытой лицензией⁵, поэтому такого ограничения нет;
- относится ко всему языку, то есть включает различные жанры и стили. В этом смысле, в соответствии с определением, предложенным в работе [Кибрик и др., 2019, с. 418],

ВепКар является национальным корпусом вепсского и карельского языков;

- включает разметку:
 - метатекстовую (название текста, дата создания, автор, жанр, место записи и др.);
 - морфологическую (у слов в текстах указаны части речи и морфологические признаки);
 - семантическую (слова в текстах связаны со значениями словарных статей).

Таким образом, ВепКар – это многоязычный полнотекстовый лингвистический корпус, содержащий морфологическую, семантическую и метатекстовую разметку.

Корпусным менеджером в проекте ВепКар является разрабатываемый на платформе Laravel и языке программирования PHP комплекс программ с открытым исходным кодом dictorpus⁶. Данные хранятся в базе данных MySQL.

Проект ВепКар включает корпус текстов и связанный с ним словарь (рис. 1). На февраль 2021 года в корпусе свыше 3000 текстов на 26 диалектах вепсского и карельского языков, свыше миллиона словоупотреблений. У некоторых текстов есть параллельный перевод на русский язык. Словарь корпуса содержит свыше 60 тысяч словарных статей со словоформами на 18 диалектах. Толкования слов в основном приводятся на русском и английском языках, хотя есть возможность давать толкования на вепсском, наречиях карельского и финском языках.

Тексты корпуса автоматически размечены на 73 %, то есть для 790 тысяч слов в текстах система нашла соответствие в словаре: известны начальная форма (лемма), часть речи и другие морфологические признаки. Следующим этапом является работа экспертов по проверке разметки и снятию семантической (выбор значения) и морфологической (выбор грамматических признаков) омонимии. Например, на рис. 2 для карельского слова “missä” было найдено три значения местоимения “mi”⁷ (что; сколько, что; какой), одно значение наречия “missä”⁸ (где) и один набор грамматических признаков (инессив, ед. ч.; наречие – неизменяемое слово, поэтому без грамматических признаков). Для слова “muissa” было найдено одно значение глагола “muistua”⁹, одно

¹ См. <https://github.com/unimorph/vep>

² См. <https://github.com/unimorph/krl>

³ См. <https://github.com/unimorph/olo>

⁴ См. <https://github.com/unimorph/lud>

⁵ См. разрешения от вепсских и карельских писателей и поэтов на включение текстов их произведений в корпус ВепКар <http://dictorpus.krc.karelia.ru/ru/page/permission>

⁶ См. <https://github.com/componavt/dictorpus>

⁷ См. словарную статью “mi” <http://dictorpus.krc.karelia.ru/ru/dict/lemma/24862>

⁸ См. словарную статью “missä” <http://dictorpus.krc.karelia.ru/ru/dict/lemma/24881>

⁹ См. словарную статью “muistua” <http://dictorpus.krc.karelia.ru/ru/dict/lemma/24929>

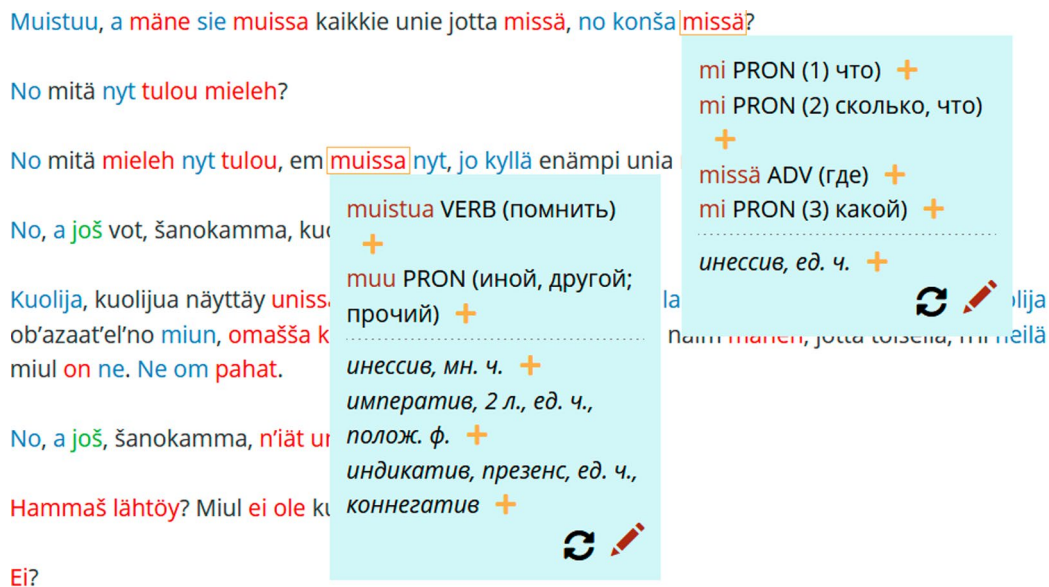


Рис. 2. Примеры семантической и морфологической омонимии в разметке текста корпуса VepKar, редактор выбирает значение и морфологические признаки

Fig. 2. Examples of semantic and morphological homonymy in the text markup of the VepKar corpus, the editor chooses one of the word meanings and morphological features

значение местоимения “miu”¹ и три грамсета (одно для именной части речи и два для глагола). Эксперт, кликая на иконку “+”, выбирает верное значение и подходящий грамсет.

При клике на неразмеченное слово в тексте (система не нашла соответствия в словаре) открывается дополнительное окно, в котором можно вручную выбрать или создать новую лемму (с полной парадигмой, если ввести шаблон), указать грамматические признаки (рис. 3). Здесь же можно воспользоваться прогнозом модуля-предсказателя и выбрать готовый ответ (начальная форма, часть речи и набор грамматических признаков). В результате будет не только размечено слово в тексте, но и словарь пополнится новыми данными. Модуль-предсказатель работает по алгоритму поиска несловарного слова по конечным буквосочетаниям [Krizhanovsky, 2020].

Подробнее о структуре и разметке корпуса рассказано в работе [Крижановский, 2019] и в докладе на конференции «Бубриховские чтения: задокументированное народное слово»².

Многообразие VepKar: подкорпусы и жанры

Корпус VepKar состоит из подкорпусов (рис. 4), выделение которых базируется на двух параметрах: языковая и стилистическая принадлежность текста.

Объединение в рамках корпуса вепского и карельского языков предполагает выделение соответствующих языковых подкорпусов. Характерной чертой карельского языка является его диалектная разобщенность, заключающаяся в наличии в нем трех наречий (собственно карельского, ливвиковского и людиковского), у которых имеются существенные отличия на всех языковых уровнях: в фонетике, морфологии, лексике. В связи с этим при включении карельского языка в корпус разработчиками создано три его подкорпуса в соответствии с наречиями [Крижановский, 2019, с. 289].

Практически для всех наречий к настоящему моменту разработаны нормированные варианты языка (для собственно карельского даже два – севернокарельский и тверской). Для людиковского наречия нормированный вариант языка находится в стадии разработки. Для таких вариантов, в отличие от диалектов, определены и закреплены в грамматиках и словарях орфоэпические, орфографические, морфологические, словообразовательные правила. Эти языки используются в процессах обучения и обслуживания культурных потребностей

¹ См. словарную статью “miu” <http://dictorpus.krc.karelia.ru/ru/dict/lemma/24949>

² Крижановская Н. Б., Крижановский А. А. Архитектура корпуса VepKar и диалектные особенности // Бубриховские чтения: задокументированное народное слово. Петрозаводск, 2020. YouTube: <https://youtu.be/cUpqM97LXGs>

Добавить словоформу

Dai äjjät muit ištuimmo kodiloi müö, vai valgožil silmih ei puvtuo.
Я да и многие другие сидели по домам, чтобы только белым на глаза не попадаться. ("D'evätnatsatol yuvvel...")

Словоформа
valgožil

Лемма
* valgoine (существительное)

Значение
белый, белогвардеец

Грамматические признаки
аллатив

Диалекты
☐ Новописьменный ливвиковский
☒ Коткозерский

Добавить лемму

Лемма
valgo|ine (-zen, -stu; -zii)

Часть речи
существительное

Язык
русский

Толкование
белый, белогвардеец

Диалект для автозаполнения словоформ
Новописьменный ливвиковский

päiviny pietäh XV Alovehienväline Jarmankuozuttelu "Mečästys. (Mečästajile, kalastajile da matkustajile)

Словоформа
Jarmankuozuttelu

Возможно, это один из следующих вариантов?

- ☐ Jarmankuozuttelu, имя собственное, аккузатив, ед. ч. (21.41%)
- ☐ Jarmankuozuttelu, имя собственное, номинатив, ед. ч. (21.41%)
- ☐ Jarmankuozuttelu, существительное, номинатив, ед. ч. (21.3%)
- ☒ Jarmankuozuttelu, существительное, аккузатив, ед. ч. (21.3%)
- ☐ Jarmankuozuttelu, существительное, партитив, ед. ч. (2.58%)
- ☐ Jarmankuozuttelu, имя собственное, партитив, ед. ч. (2.58%)
- ☐ Jarmankuozuttelo, глагол, индикатив, презенс, 3 л., ед. ч.,

Значение для предсказанной леммы
выставка-продажа

Диалекты
☒ Новописьменный ливвиковский
☐ Сямозерский

а)

б)

в)

Рис. 3. Примеры ручной разметки слов, для которых не были найдены соответствия в словаре:

а) добавление новой словоформы 'valgožil' для найденной в словаре леммы 'valgoine'; б) добавление новой леммы 'valgoine' с одновременной генерацией словоформ по заданному шаблону; в) выбор варианта, предложенного модуль-предсказателем

Fig. 3. Examples of manual marking of words with missing entries in the dictionary:

а) adding a new word form *valgožil* for the lemma *valgoine* found in the dictionary; б) adding a new lemma *valgoine* with simultaneous generation of word forms according to the given template; в) choosing the option proposed by the predictor module

народа, в средствах массовой информации, в художественной литературе. Наличие нормированных вариантов позволяет в ходе работы над корпусом, с одной стороны, отталкиваться от них в процессе обработки большого числа текстов (например, при разметке диалектных текстов), а с другой, перепроверять существу-

ющие нормы и, в случае выявления несоответствий, корректировать их.

По историческим причинам, по доступному материалу и в попытке разделить тексты по стилю в корпусе VepKar сложились следующие подкорпусы (рис. 4): младописьменный подкорпус, диалектные тексты, переводные

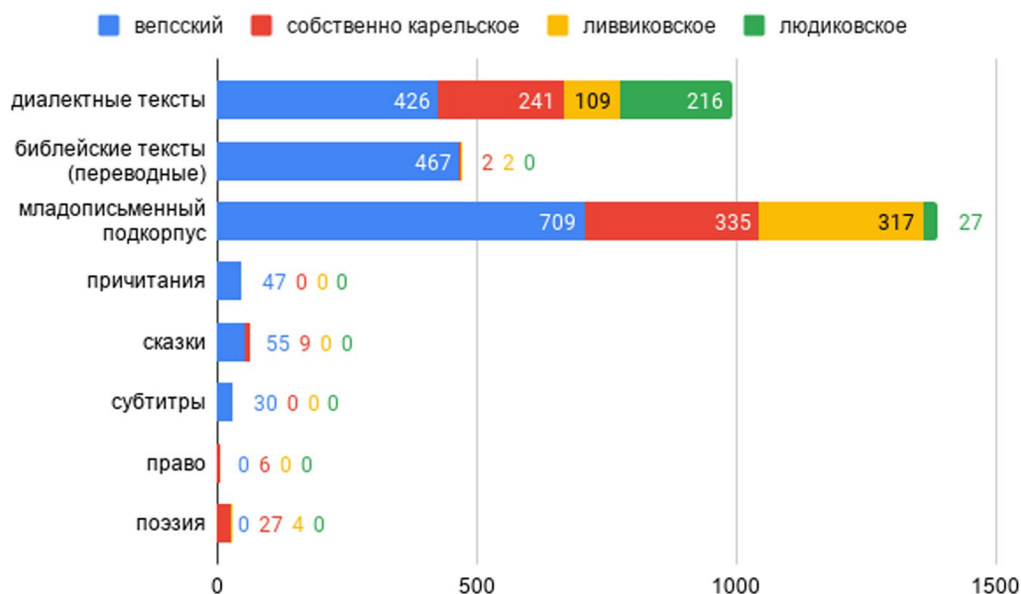


Рис. 4. Распределение текстов VepKar по подкорпусам

Fig. 4. The number of texts in different subcorpora of VepKar

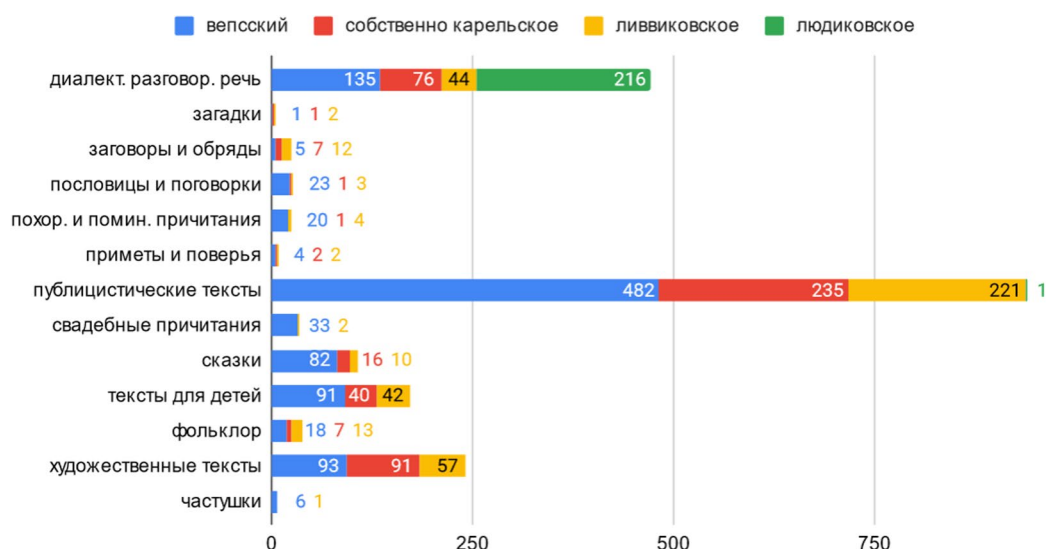


Рис. 5. Распределение текстов ВепКар по жанрам

Fig. 5. The number of the VepKar texts of different genres

библейские тексты, сказки, причитания, поэзия, право и субтитры. ВепКар пополняется материалами по соглашению с издательствами и авторами текстов. Неисчерпаемым ресурсом является также Научный архив КарНЦ РАН.

Распределение текстов ВепКар по жанрам (рис. 5) достаточно неравномерное. Это главным образом объясняется характером доступных источников (газеты, сборники диалектных текстов). В то же время потребуются внимательная работа специалиста по определению жанровой принадлежности ряда текстов.

Из рис. 6 видно, что тексты добавлялись в корпус с 2013 года по настоящее время

(столбцы желтого цвета). Значительное увеличение текстовой базы в 2018–2020 годах объясняется получением корпусом финансовой поддержки в виде гранта РФФИ. Активная запись информантов (голубой цвет) велась до 1990-х годов. Год публикации (красный цвет) имеет пики, поскольку одна книга может содержать много текстов. Например, в 1969 году вышла в свет книга «Образцы карельской речи. Говоры ливвиковского диалекта карельского языка» [Макаров, Рягоев, 2019], а в 2006-м – перевод Библии на вепсский язык [Uz' Zavet, 2006].

В последнее время ВепКар стал активнее пополняться произведениями карелоязычных

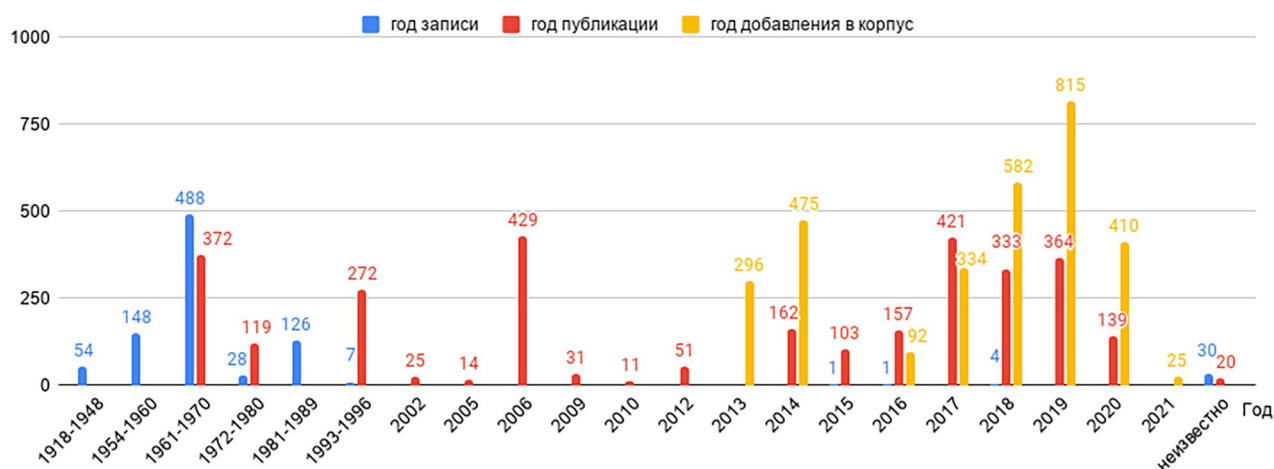


Рис. 6. Распределение числа текстов ВепКар по годам записи (информантов), дате публикации и добавления в корпус

Fig. 6. Number of the VepKar texts by year of recording (informants), date of publication, and date of adding the text to the corpus

писателей и поэтов. Постоянное комплектование корпуса подобными материалами способствует популяризации карельского и вепсского языков, а также решению целого ряда просветительских, образовательных и исследовательских задач (не только в области литературоведения, но и в сфере культурологии, лингвистики и др.).

Увеличение числа художественных текстов в ВепКаре, равно как и продолжающаяся работа по введению в корпус новых лемм и его разметке, открывает широкие перспективы для исследования языка карелоязычной прозы и поэзии. Так, в дальнейшем на платформе корпуса станет возможным, например, изучение произведений отдельно взятого автора (как вариант, на основе статистики использования им определенных частей речи, деминутивов, фразеологизмов и т. д.). Развитие подкорпуса художественных текстов может способствовать разработке программ для решения целого спектра прикладных задач, например, реконструкции утраченных слов и частей текстов литературного произведения, выбора вариантов текста из черновиков автора при подготовке не изданных им при жизни текстов и др. Одной из масштабных перспектив подобных наработок, в свою очередь, может стать создание и развитие морфоанализатора в ВепКаре. Это означает, что программа, обученная на массивах текстов, в том числе художественных, в дальнейшем, вероятно, сможет прогнозировать нужные формы имен при глаголах (глагольное управление), порядок слов в предложении, распознавать основу предложения и определять окончания именных и глагольных словоформ.

Возможности и приложения корпуса

Корпус ВепКар является многофункциональным: он содержит большое количество инструментов, позволяющих языковедам успешно использовать его в своих исследованиях.

В корпусе организована удобная система поиска (рис. 7–9). Возможности расширенного поиска (рис. 7) помогают отфильтровать тексты не только по языковой или стилистической, но и по диалектной принадлежности, или, например, по информанту, собирателю или автору, году записи или году публикации, поиску лемм (рис. 9) возможен по диалектам, частям речи, грамматическим признакам и даже по лексико-семантическим категориям.

Поиск по лексико-семантическим категориям оказался возможным благодаря большой работе по интеграции «Сопоставительно-ономазиологического словаря диалектов карельского, вепсского, саамского языков» (СОСД) в словарную часть ВепКар. Этот монументальный словарь подготовлен коллективом авторов (А. П. Баранцев, П. М. Зайков, М. И. Зайцева, Н. Г. Зайцева, Л. Ф. Маркианова, В. Д. Рягоев, В. П. Федотова) и представляет диалектные именованья полутора тысяч понятий на 24 карельских, 6 вепсских и 5 саамских диалектах и говорах, находящихся между собой в генетическом родстве [СОСД..., 2007]. Словарь иллюстрирует лексическое многообразие названий понятий и их фонетических вариантов по диалектам и говорам, а также показывает сходства и различия сопоставляемых языков и диалектов. Благодаря данным сопоставительно-ономазиологического словаря в словарь ВепКар:

★ Тексты

В текстовых полях, если Вам нужен неточный поиск, используйте **процент %** для замены любого количества символов, **подчеркивание _** для замены одного символа.

Создать новый | [? Помощь](#)

Язык × карельский: ливвиковское наречие (432)	Подкорпус × диалектные тексты (992)	Информант
Диалект × Видлицкий × Коткозерский	Жанр × заговоры и обряды	Собиратель
Заголовок 	Автор текста Андреева Алевтина Архипова Нина Бояринова А. Боагина Антонина	Год (с) ? 1960 Год (по) 1972
Слово 		по 10 записей ПОКАЗАТЬ

Рис. 7. Расширенный интерфейс поиска по текстам ВепКар, раскрыто выпадающее меню для выбора автора текста

Fig. 7. Advanced search interface for the VepKar texts, a drop-down menu for selecting the author of the text is expanded

★ Тексты

В текстовых полях, если Вам нужен неточный поиск, используйте **процент %** для замены любого количества символов, **подчеркивание _** для замены одного символа.

Создать новый | [? Помощь](#)

Расширенный поиск ↓

Язык * карельский: ливвиковское наречие (432)	Подкорпус * диалектные тексты (992)	Диалект * Видлицкий * Коткозерский
Жанр * заговоры и обряды	Собирает Авторская запись	по 10 записей ПОКАЗАТЬ

Найдено 1 записей.

№	Язык	Диалект	Подкорпус	Заголовок	Перевод
1	карельский: ливвиковское наречие	Коткозерский	диалектные тексты	Kui enne svuad'buu piättih	Как раньше свадьбу играли

Рис. 8. Компактный интерфейс поиска по текстам и результаты поиска текста в жанре «заговоры и обряды», написанного на коткозерском диалекте ливвиковского наречия в диалектном подкорпусе ВепКар, найден один текст

Fig. 8. Compact interface for text search and found texts in the genre of “zagovory and rituals” written in the Kotkozero dialect of the Livvi dialect in the dialect VepKar subcorpus, one text was found

★ Леммы

В текстовых полях, если Вам нужен неточный поиск, используйте **процент %** для замены любого количества символов, **подчеркивание _** для замены одного символа.

[Список длинных лемм](#) | Создать новую

Расширенный поиск ↓

ID	лемма	вепский (18617)	глагол (12431)
B373. Посуда, домашняя утварь		по 10 записей	ПОКАЗАТЬ

Найдено 3 записи.

№	Лемма	Язык	Часть речи	Толкование	Словоформы *	Примеры **
1	<u>hoštta</u>	вепский	глагол	1) блестеть, сверкать, сиять 2) светить (о луне) 3) просвечивать (от ветхости) 4) виднеться	115 + 2	1 / 49 / 50
2	<u>kištta</u>	вепский	глагол	блестеть, сверкать	115	0
3	<u>kuštta</u>	вепский	глагол	1) блестеть, сиять 2) светить (о луне)	115	2 / 0 / 2

* - Количество словоформ с грамматическими признаками [+ кол-во словоформ без грам. признаков]

** - Количество проверенных примеров / Количество непроверенных примеров / Общее количество

Рис. 9. Интерфейс поиска по леммам и результаты поиска ливвиковских глаголов, связанных с понятием «Посуда, домашняя утварь», в словаре ВепКар

Fig. 9. Interface for the search for lemmas and the search results for Livvi verbs related to the concept of “Dishes, household utensils” in the VepKar dictionary

- 1) добавлено 1425 понятий;
- 2) связаны с этими понятиями значения 20 тыс. вепских и карельских лемм;
- 3) добавлено 130 тыс. переводов (связей между значениями лемм из разных языков, наречий).

В процессе кодирования сопоставительно-ономасиологического словаря для добавления его в ВепКар выработана система, позволяющая отразить не только особенности лексического состава исследуемых языков, но и фонетические особенности каждого диалекта.

Специальные модули, разрабатываемые и добавляемые в корпусный менеджер ВепКар,

помогают редакторам в решении их повседневных задач, например, связанных с разметкой или пополнением словарей и корпуса. Так, в 2019–2020 годы были сформулированы правила словоизменения¹ [Крижановская и др., 2021а, б] и реализованы алгоритмы генерации словоформ для вепского языка [Krizhanovskaya, Krizhanovsky, 2019], ливвиковского

¹ Доступны онлайн разработанные и формализованные правила генерации глагольных словоформ для северно-карельского варианта карельского языка [Крижановская и др., 2021а] и правила генерации именных словоформ для собственно карельского и ливвиковского наречий [Крижановская и др., 2021б].

и собственно карельского наречий. Это значительно ускорило наполнение словаря и увеличило разметку корпуса [Новак и др., 2020]. В ходе проверки работы генераторов выявлено отсутствие унификации в образовании отдельных грамматических форм именного и глагольного словоизменения в новописьменных вариантах карельского языка. Откорректированные правила найдут применение в практике преподавания. Работа над модулем позволила существенно приблизиться к созданию приложения для проверки правописания карельского языка.

Введение разметки и работа по снятию омонимии в рамках материалов словаря фразеологизмов призвана помочь улучшить качество автоматической разметки текстов. Кроме того, на стадии перехода к работам над автоматическим переводом такой словарь позволит тестировать новые алгоритмы.

Частотные словари (токенов, размеченных лемм, символов) позволяют редакторам правильно расставить приоритеты в своей работе. Например, чтобы сразу покрыть и разметить большее количество текстов, следует в первую очередь вводить в словарь самые распространенные лексемы, а не единичные употребления (гапаксы). Данные частотных словарей могут выступить в качестве базы для перспективных в последние годы статистических и психолингвистических исследований.

Обратный словарь, в котором леммы отсортированы в алфавитном порядке не по начальным буквам, как в традиционных словарях, а по конечным, призван помочь редакторам, например, разобраться в сложных именных и глагольных системах карельского и вепсского языка, каждая из которых содержит около десяти словоизменительных типов. Кроме того, модуль может быть успешно использован начинающими поэтами в качестве помощника в процессе поиска подходящей рифмы.

Мобильные приложения как наступившее лингвистическое будущее

Несмотря на то что на 2021 год на рынке приложений для телефона Google Play доступно 3,5 млн программ, задача проектирования мобильного лексикографического обеспечения практически не исследована [Caruso et al., 2019]. Успех разработки таких компьютерных программ обеспечивается двумя вещами: (1) уникальностью словарного материала и (2) представлением этого материала настолько удобным способом, чтобы превосходить все другие подобные приложения [Caruso et al., 2019]. Вепсских словарей на платформе

Android ранее не было, а русско-карельских и карельско-русских для телефона было по одному, при этом созданных по материалам наших коллег [Бойко, 2016; Бойко, Маркианова, 2016]. Таким образом, разработка электронных словарей для этих языков – это свободная ниша на рынке мобильных приложений.

Итак, в рамках проекта «Открытый корпус вепсского и карельского языков» (VepKar) на языке программирования Kotlin создана первая версия мобильного приложения Sanahelmi с открытым исходным кодом¹ для платформы Android². Эта программа представляет собой упрощенный вариант словаря корпуса VepKar (например, здесь нет привязки из словарных статей к примерам словоупотребления в текстах, не приводится полная парадигма³). Мобильное приложение отличается от веб-сайта корпуса более простым интерфейсом (рис. 10) и возможностью работы без подключения к сети Интернет.

База данных SQLite мобильного приложения содержит все вепсские и карельские слова (леммы и словоформы), грамматические признаки и толкования на русском языке из словаря VepKar. Сейчас пользователь может выбрать для поиска вепсский язык или наречие карельского языка.

В приложении поиск осуществляется одновременно по леммам и словоформам, а результат обработки запроса оформляется в виде списка. Выводимые по запросу записи имеют разную структуру в зависимости от того, что было найдено: лемма или словоформа (рис. 10). Если найдена лемма, то на экран выводятся сама лемма, язык, часть речи и толкование. Если найдена словоформа, то на экране отображается словоформа, язык, часть речи, грамматический признак и начальная форма (лемма и ее толкование).

При вводе слова можно использовать специальный символ %, который соответствует любому числу символов.

Одной из трудностей разработки мобильного приложения является ограничение на объем памяти. Пока не все данные словарей удалось включить в мобильный словарь. Сейчас в программу Sanahelmi внесено только 60 тыс. лемм и 600 тыс. словоформ вместо 2 млн словоформ, объем всего проекта в среде разработки Android Studio составляет 240 Мб, объем самой

¹ См. <https://github.com/componavt/sanahelmi>

² См. <https://play.google.com/store/apps/details?id=vepkar.test>

³ В дальнейшем можно было бы расширить возможности мобильного приложения и приводить полную словоизменительную парадигму слова.

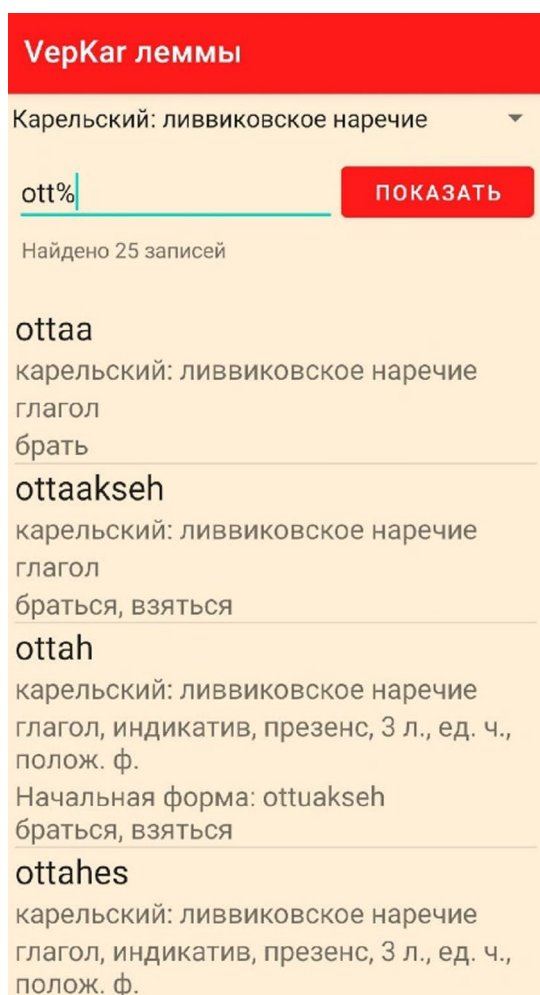


Рис. 10. Пример найденных лемм и словоформ по запросу пользователя в мобильном приложении Sanahelmi

Fig. 10. An example of a user request and a list of lemmas and word forms found in the Sanahelmi mobile application

программы Sanahelmi – 18 Мб. Возможны следующие способы преодоления ограничения на объем программы:

1. Разработать отдельные приложения для каждого языка (сейчас словарь Sanahelmi содержит и вепские, и карельские слова вместе).
2. С помощью частотного словаря корпуса ВерКар определить наиболее употребимые слова (лексическое ядро) и только их включить в словарь. Другой вариант – включить все леммы, а вот словоформы выбрать только самые употребимые.
3. С помощью текстов на карельском языке в сети Интернет (например, в социальных сетях) определить наиболее частотные карельские слова для включения в словарь.
4. Оптимизировать структуру словарной статьи с целью экономии места, а именно: хра-

нить не все словоформы целиком, а только несколько аффиксов для нескольких падежей. В этом случае потребуется реализовать более замысловатый поиск по словарю.

Несмотря на трудности, следует продолжать разработку, поскольку, согласно результатам исследования [Rahimi, Miri, 2014], студенты, использующие мобильные словари, учатся лучше студентов, обремененных их печатными аналогами. При дальнейшей разработке конкурентоспособного мобильного приложения стоит постараться учесть разнообразные потребности пользователей словарей [Caruso et al., 2019].

Заключение

За последние пять лет корпус ВерКар значительно увеличился в объеме и в функционале и сейчас включает частично размеченные тексты и многофункциональные словари (толковые, переводные, обратные, тезаурус и др.). Система содержит инструменты, позволяющие лингвисту выполнять импорт и экспорт данных в различные форматы (например, Universal Dependencies, CONLL), производить тестирование и проверку данных, получать выборки для анализа данных (поиск дублей, группы слов с одинаковыми флексиями, частота встречаемости аффиксов в словаре и т. д.). В дальнейшем планируется добавить в проект этимологический словарь, аудиофайлы со звучанием слов в словарных статьях, географическую привязку. В связи с непрерывно расширяющимися возможностями системы в ближайшем будущем можно будет говорить о переходе от корпуса к лингвистической платформе.

Материалы корпуса ВерКар востребованы на международном уровне. Во-первых, размеченные данные корпуса ВерКар в формате CONLL использовались в соревновании «Оценка методов обработки малоресурсных языков», проведенном в феврале–марте 2019 года в рамках международной конференции «Диалог»¹ [Klyachko, 2019]. Во-вторых, с 2019 года данные корпуса внесены в международную морфологическую базу данных UniMorph, содержащую леммы, словоформы и морфологические признаки 110 языков² [McCarthy, 2020]. Включение данных ВерКар в научный оборот оказалось возможным в том числе благодаря открытой лицензии Creative Commons Attribution (CC-BY), по которой распространяются тексты и словари корпуса. Экс-

¹ Результаты этого соревнования и данные корпусов доступны онлайн. См. <https://lowresource-lang-eval.github.io>

² См. <https://github.com/unimorph>

порт данных в общепринятые форматы (CONLL, UniMorph) важен для привлечения к исследованию вепсского и карельского языков международного научного сообщества.

Финансирование исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт языка, литературы и истории КарНЦ РАН, Институт прикладных математических исследований КарНЦ РАН).

Литература

Бойко Т. П., Маркианова Л. Ф. Большой русско-карельский словарь (ливвиковское наречие). 2-е изд., перераб. и доп. Петрозаводск: Периодика, 2016. 399 с.

Бойко Т. П. Большой карельско-русский словарь (ливвиковское наречие). Петрозаводск: Периодика, 2016. 352 с.

Зайцева Н. Г. Вепсские причитания в фокусе корпусной лингвистики и лингвофольклористики // Матер. ХLI Междунар. филолог. конф. (Санкт-Петербург, 26–31 марта 2012 г.), секция «Уралистика». СПб.: СПбГУ, 2012. С. 16–26.

Зайцева Н. Г., Харитонов Е. Е., Жукова О. Ю. Орфографический словарь вепсского языка. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. 432 с.

Зайцева Н. Г., Крижановская Н. Б. Корпусная лингвистика в прибалтийско-финском исследовательском пространстве (на материале Корпуса вепсского языка и Открытого корпуса вепсского и карельского языков) // Альманах североамериканских и балтийских исследований. Вып. 3. 2018. С. 264–273. [Электронный ресурс]. URL: <https://nbsr.petsu.ru/journal/article.php?id=1062> (дата обращения: 02.03.2021).

Иншакова Е. С., Иомдин Л. Л., Митюшин Л. Г., Сизов В. Г., Фролова Т. И., Цинман Л. Л. СинТаг-Рус сегодня // Труды Института русского языка им. В. В. Виноградова. Вып. 21. Национальный корпус русского языка: исследования и разработки. М., 2019. С. 14–40. [Электронный ресурс]. URL: <http://ruslang.ru/doc/trudy/vol21/1-inshakova.pdf> (дата обращения: 05.03.2021).

Кибрик А. Е. Введение в науку о языке / Под ред. О. В. Федорова и С. Г. Татевосова. М.: Буки Веди, 2019. 672 с. [Электронный ресурс]. URL: http://tipl.philol.msu.ru/application/files/9215/8507/9636/AEK_et_al_corrected_2020.pdf (дата обращения: 01.03.2021).

Крижановская Н. Б., Новак И. П., Пеллинен Н. А. Правила генерации глагольных словоформ по минимизированному шаблону для новописьменного севернокарельского варианта карельского языка // figshare. 2021a. Препринт. [Электронный ресурс]. doi: 10.6084/m9.figshare.14237843.v6

Крижановская Н. Б., Новак И. П., Пеллинен Н. А., Бойко Т. П. Правила генерации именных словоформ по минимизированному шаблону для новопись-

менных вариантов собственно карельского и ливвиковского наречий // figshare. 2021b. Препринт. [Электронный ресурс]. doi: 10.6084/m9.figshare.14241833.v1

Крижановский А. А., Крижановская Н. Б., Новак И. П. Представление диалектов в Открытом корпусе вепсского и карельского языков (VepKar) // Корпусная лингвистика – 2019: Тр. междунар. конф. СПб., 2019. С. 288–295.

Крижановский А. А., Крижановская Н. Б., Родионова А. П. Архитектура корпусного менеджера и разметка текстов корпуса VepKar // Электронная письменность народов Российской Федерации: опыт, проблемы и перспективы: Матер. II Межд. науч. конф. (Уфа, 27–29 ноября 2019 г.). Уфа: Башк. энцикл., 2019. С. 19–23. URL: http://resources.krc.karelia.ru/math/doc/publ/vepkar_ufa_2019_preprint.pdf (дата обращения: 11.03.2021).

Макаров Г. Н., Рягоев В. Д. Образцы карельской речи. Говоры ливвиковского диалекта карельского языка. Л.: Наука, 1969. 283 с.

Новак И. П., Крижановская Н. Б., Бойко Т. П., Пеллинен Н. А. Разработка правил генерации именных словоформ для новописьменных вариантов карельского языка // Вестник угроведения. 2020. № 4. С. 679–691.

Сопоставительно-ономасиологический словарь диалектов карельского, вепсского, саамского языков / Под общ. ред. Ю. С. Елисеева и Н. Г. Зайцевой. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 346 с. (В тексте – СОСД).

Arkhangelskiy T. Web Corpora of Volga-Kama Uralic Languages // Finno-Ugric Languages and Linguistics. 2020. Vol. 9, no. 1–2. P. 58–66.

Caruso V., Balbi B., Monti J., Presta R. How can app design improve lexicographic outcomes? Examples from an Italian Idiom Dictionary // Electronic lexicography in the 21st century: Proceed. of the eLex 2019 conf. (1–3 October 2019, Sintra, Portugal). 2019. P. 374–396. URL: https://elex.link/elex2019/wp-content/uploads/2019/09/eLex_2019_21.pdf (дата обращения: 14.03.2021).

Klyachko E. L., Sorokin A. A., Krizhanovskaya N. B., Krizhanovsky A. A., Ryazanskaya G. M. LowResourceEval-2019: a shared task on morphological analysis for low-resource languages // Computational Linguistics and Intellectual Technologies: papers from the Annual conference “Dialogue” (Moscow, May 29 – June 1, 2019). 2019. Iss. 18(25). P. 46–62. URL: http://www.dialog-21.ru/media/5196/_dialog2019vol-plus.pdf#page=54 (дата обращения: 14.03.2021).

Krizhanovskaya N. B., Krizhanovsky A. A. Semi-automatic methods for adding words to the dictionary of VepKar corpus based on inflectional rules extracted from Wiktionary // Corpora 2019 Int. Conf. (St. Petersburg, June 24–28, 2019). St. Petersburg, 2019. P. 211–217. URL: https://events.spbu.ru/eventsContent/events/2019/corpora/corp_sborn.pdf#page=211 (дата обращения: 09.03.2021).

Krizhanovsky A., Krizhanovskaya N., Novak I. Part of speech and gramset tagging algorithms for unknown words based on morphological dictionaries of the Veps and Karelian languages // Data Analytics and Mana-

gement in Data Intensive Domains (Voronezh, October 13–16, 2020). Voronezh: Voronezh State Univ., 2020. (In press).

McCarthy A. D., Kirov C., Grella M., Nidhi A., Xia P., Gorman K., Vylomova E., Mielke S. J., Nicolai G., Silfverberg M., Arkhangel'skiy T., Krizhanovsky N., Krizhanovsky A., Klyachko E., Sorokin A., Mansfield J., Ernštreits V., Pinter Y., Jacobs C. L., Cotterell R., Hulden M., Yarowsky D. UniMorph 3.0: Universal Morphology // Proceedings of the 12th Conference on Language Resources and Evaluation (LREC 2020). Marseille, France, 11–16 May, 2020. P. 3915–3924. URL: <https://www.aclweb.org/anthology/2020.lrec-1.483.pdf> (дата обращения: 18.03.2021).

www.aclweb.org/anthology/2020.lrec-1.483.pdf (дата обращения: 18.03.2021).

Rahimi M., Miri S. S. The impact of mobile dictionary use on language learning. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2014. Vol. 98. P. 1469–1474. [Электронный ресурс]. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/82156394.pdf> (дата обращения: 18.03.2021).

Uz' Zavet (Новый Завет на вепсском языке). Петрозаводск: Карелия, 2006. 622 с.

Поступила в редакцию 21.03.2021

References

Boiko T. P., Markianova L. F. Bol'shoi russko-karel'skii slovar' [Large Russian-Karelian dictionary]. Petrozavodsk: Periodika, 2016. 399 p.

Boiko T. P. Bol'shoi karel'sko-russkii slovar' [Large Karelian-Russian dictionary]. Petrozavodsk: Periodika, 2016. 352 p.

Inshakova E. S., Iomdin L. L., Mityushin L. G., Sizov V. G., Frolova T. I., Tsinman L. L. SinTagRus segodnya [SinTagRus today]. *Trudy Inst. russ. yazyka im. V. V. Vinogradova* [Trans. V. V. Vinogradov Russ. Language Inst.]. Moscow, 2019. Vol. 21. P. 14–40. URL: <http://ruslang.ru/doc/trudy/vol21/1-inshakova.pdf> (accessed: 05.03.2021).

Kibrik A. E. Vvedenie v nauku o yazyke [Introduction to the science of language] Eds. O. V. Fedorova, S. G. Tatevosov. Moscow: Buki Vedi, 672 p. URL: http://tipl.philol.msu.ru/application/files/9215/8507/9636/AEK_et_al_corrected_2020.pdf (accessed: 01.03.2021).

Krizhanovskaya N. B., Novak I. P., Pellinen N. A. Pravila generatsii glagol'nykh slovoform po minimizirovannomu shablonu dlya novopis'mennogo severnokarel'skogo varianta karel'skogo yazyka [Rules for generating verb word forms using a minimized template for the newly written North Karelian version of the Karelian language]. *figshare*. 2021. Preprint. doi: 10.6084/m9.figshare.14237843.v6

Krizhanovskaya N. B., Novak I. P., Pellinen N. A., Boyko T. P. Pravila generatsii imennykh slovoform po minimizirovannomu shablonu dlya novopis'mennykh variantov sobstvenno karel'skogo i livvikovskogo narechii [Rules for generating nominal word forms from a minimized template for newly written variants of the Proper Karelian and Livvik dialects]. *figshare*. 2021. Preprint. doi: 10.6084/m9.figshare.14241833.v1

Krizhanovsky A. A., Krizhanovskaya N. B., Novak I. P. Predstavlenie dialektov v Otkrytom korpusе vepsskogo i karel'skogo yazykov (VepKar) [Representation of dialects in the Open Corpus of Veps and Karelian languages (VepKar)]. *Trudy mezhd. konf. "Korpusnaya lingvistika – 2019"* [Proceed. int. conf. *Corpus linguistics – 2019*]. St. Petersburg, 2019. P. 288–295.

Krizhanovsky A. A., Krizhanovskaya N. B., Rodionova A. P. Arkhitektura korpusnogo menedzhera i razmetka tekстов korpusа VepKar [The architecture of the corpus manager and the layout of the texts of the VepCar corpus]. *Elektronnaya pis'mennost' narodov Rossiiskoi Federatsii: opyt, problemy i perspektivy. Mater. II Mezhd.*

nauch. konf. (Ufa, 27–29 noyabrya 2019 g.) [Electronic writing of the peoples of the Russian Federation: experience, problems, and prospects. Proceed. II int. sci. conf. (Ufa, Nov. 27–29, 2019)]. 2019. P. 19–23. URL: http://resources.krc.karelia.ru/math/doc/publ/vepkar_ufa_2019_preprint.pdf (accessed: 11.03.2021).

Makarov G. N., Ryagoev V. D. Obraztsy karel'skoi rechii. Govory livvikovskogo dialekta karel'skogo yazyka [Samples of Karelian speech. The dialects of the Livvik dialect of the Karelian]. Leningrad: Nauka, 1969. 283 p.

Novak I. P., Krizhanovskaya N. B., Boiko T. P., Pellinen N. A. Razrabotka pravil generatsii imennykh slovoform dlya novopis'mennykh variantov karel'skogo yazyka [Development of rules of generation of nominal word forms for new-written variants of the Karelian language]. *Vestnik ugrovedeniya* [Bull. Ugric Studies]. 2020. Vol. 10(4). P. 679–691.

Sopostavitel'no-onomasiologicheskii slovar' dialektov karel'skogo, vepsskogo, saamskogo yazykov [Comparative onomasiological dictionary of dialects of the Karelian, Veps, and Samic languages]. Eds. Yu. S. Eli-seev, N. G. Zaitseva. Petrozavodsk, 2007. 346 p.

Zaitseva N. G. Vepsskie prichitaniya v fokuse korpusnoi lingvistiki i lingvofol'kloristiki [Vepsian lamentations in the focus of corpus linguistics and linguistic folkloristics]. *Mater. XLI Mezhdunar. filologich. konf. 26–31 marta 2012 g. Sektsiya "Uralistika"* [Proceed. XLI int. philol. conf., March 26–31, 2012. Section: Uralistics]. St. Petersburg: SPbGU, 2012. P. 16–26.

Zaitseva N. G., Kharitonova E. E., Zhukova O. Yu. Orfograficheskii slovar' vepsskogo yazyka [Spelling dictionary of the Vepsian language]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2012. 432 p.

Zaitseva N. G., Krizhanovskaya N. B. Korpusnaya lingvistika v pribaltiisko-finskom issledovatel'skom prostranstve (na materiale Korpusа vepsskogo yazyka i Otkrytogo korpusа vepsskogo i karel'skogo yazykov) [Corpus linguistics in the Baltic-Finnish research space (based on the Vepsian Language Corpus and the Veps and Karelian Open Corpus)]. *Al'manakh severoevropeiskikh i baltiiskikh issled.* [Almanac of Northern European and Baltic Studies]. Iss. 3. 2018. P. 264–273. URL: <https://nbsr.petrus.ru/journal/article.php?id=1062> (accessed: 2.3.2021).

Arkhangel'skiy T. Web Corpora of Volga-Kama Uralic Languages. *Finno-Ugric Languages and Linguistics*. 2020. Vol. 9, no. 1–2. P. 58–66.

Caruso V., Balbi B., Monti J., Presta R. How can app design improve lexicographic outcomes? Examples from an Italian Idiom Dictionary. Electronic lexicography in the 21st century: Proceed. of the eLex 2019 conf. (1–3 October 2019, Sintra, Portugal). 2019. P. 374–396. URL: https://elex.link/elex2019/wp-content/uploads/2019/09/eLex_2019_21.pdf (accessed: 14.03.2021).

Klyachko E. L., Sorokin A. A., Krizhanovskaya N. B., Krizhanovsky A. A., Ryazanskaya G. M. LowResourceEval-2019: a shared task on morphological analysis for low-resource languages // Computational Linguistics and Intellectual Technologies: papers from the Annual conference “Dialogue” (Moscow, May 29 – June 1, 2019). 2019. Iss. 18(25). P. 46–62. URL: http://www.dialog-21.ru/media/5196/_-dialog2019vol-plus.pdf#page=54 (accessed: 14.03.2021).

Krizhanovskaya N. B., Krizhanovsky A. A. Semi-automatic methods for adding words to the dictionary of VepKar corpus based on inflectional rules extracted from Wiktionary. Corpora 2019 Int. Conf. (St. Petersburg, June 24–28, 2019). St. Petersburg, 2019. P. 211–217. URL: https://events.spbu.ru/eventsContent/events/2019/corpora/corp_sborn.pdf#page=211 (accessed: 09.03.2021).

Krizhanovsky A., Krizhanovskaya N., Novak I. Part of speech and gramset tagging algorithms for unknown

words based on morphological dictionaries of the Veps and Karelian languages. *Data Analytics and Management in Data Intensive Domains* (Voronezh, October 13–16, 2020). Voronezh: Voronezh State Univ., 2020. (In press).

McCarthy A. D., Kirov C., Grella M., Nidhi A., Xia P., Gorman K., Vylomova E., Mielke S. J., Nicolai G., Silfverberg M., Arkhangelskij T., Krizhanovsky N., Krizhanovsky A., Klyachko E., Sorokin A., Mansfield J., Ernštreits V., Pinter Y., Jacobs C. L., Cotterell R., Hulden M., Yarowsky D. UniMorph 3.0: Universal Morphology // Proceedings of the 12th Conference on Language Resources and Evaluation (LREC 2020). Marseille, France, 11–16 May, 2020. P. 3915–3924. URL: <https://www.aclweb.org/anthology/2020.lrec-1.483.pdf> (accessed: 18.03.2021).

Rahimi M., Miri S. S. The impact of mobile dictionary use on language learning. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 2014. Vol. 98. P. 1469–1474. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/82156394.pdf> (accessed: 18.03.2021).

Uz' Zavet (Novyi Zavet na vepsskom yazyke) [New Testament in Veps language]. Petrozavodsk: Kareliya, 2006. 622 p.

Received March 21, 2021

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Бойко Татьяна Петровна

научный сотрудник сектора языкознания
Институт языка, литературы и истории КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: boiko@krc.karelia.ru

Зайцева Нина Григорьевна

ведущий научный сотрудник сектора языкознания,
д. фил. н.
Институт языка, литературы и истории КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: zng@ro.ru

Крижановская Наталья Борисовна

ведущий инженер-исследователь, аспирант лаб.
информационных компьютерных технологий
Институт прикладных математических исследований
КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: nataly@krc.karelia.ru

CONTRIBUTORS:

Boyko, Tatyana

Institute of Linguistics, Literature and History,
Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: boiko@krc.karelia.ru

Zaitseva, Nina

Institute of Linguistics, Literature and History,
Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: zng@ro.ru

Krizhanovskaya, Natalya

Institute of Applied Mathematical Research,
Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: nataly@krc.karelia.ru

Крижановский Андрей Анатольевич

руководитель и ведущий научный сотрудник лаб.
информационных компьютерных технологий, к. т. н.
Институт прикладных математических исследований
КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: andrew.krizhanovsky@gmail.com

Новак Ирина Петровна

научный сотрудник сектора языкознания, к. фил. н.
Институт языка, литературы и истории КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: novak@krc.karelia.ru

Пеллинен Наталия Александровна

младший научный сотрудник сектора языкознания,
к. фил. н.
Институт языка, литературы и истории КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: nataliapellinen@gmail.com

Родионова Александра Павловна

научный сотрудник сектора языкознания, к. фил. н.
Институт языка, литературы и истории КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: santrar@krc.karelia.ru

Трубина Елизавета Денисовна

студентка
Институт математики и информационных технологий,
Петрозаводский государственный университет
пр. Ленина, 33, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: eliza.trubina@gmail.com

Krizhanovsky, Andrey

Institute of Applied Mathematical Research,
Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: andrew.krizhanovsky@gmail.com

Novak, Irina

Institute of Linguistics, Literature and History,
Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: novak@krc.karelia.ru

Pellinen, Natalia

Institute of Linguistics, Literature and History,
Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: nataliapellinen@gmail.com

Rodionova, Alexandra

Institute of Linguistics, Literature and History,
Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: santrar@krc.karelia.ru

Trubina, Elizaveta

Institute of Mathematics and Information Technologies,
Petrozavodsk State University
33 Lenin Ave., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: eliza.trubina@gmail.com

УДК 314

ВЛИЯНИЕ ПАНДЕМИИ COVID-19 НА СМЕРТНОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ РОССИЙСКИХ РЕГИОНОВ

П. В. Дружинин¹, Е. В. Молчанова¹, Ю. Л. Подлевских²

¹ Институт экономики КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

² Республиканская инфекционная больница, Петрозаводск, Россия

На протяжении многих лет отделом моделирования и прогнозирования регионального развития Института экономики (ИЭ) КарНЦ РАН совместно с учеными Петрозаводского госуниверситета, Университета Восточной Финляндии и медицинских учреждений ведутся комплексные исследования на стыке экономики, демографии, медицины и экологии. Исследования поддержаны 10 грантами РФФИ и РГНФ. В данной статье рассматривается влияние пандемии COVID-19 на смертность в российских регионах. Цель исследования заключается в выявлении факторов, которые во время пандемии способствовали значительному росту смертности. Выполнена оценка воздействия социально-экономических, демографических, медицинских и географических показателей на разных этапах пандемии на уровень заболеваемости и смертности с учетом особенностей регионов. Показано, что в целом росту смертности способствовали более высокая доля пенсионеров и городского населения, расположение региона в центре страны и падение доходов граждан в 2020 г. (по отношению к 2019 г.). Первая (весенняя) волна пандемии в России была относительно невысокой, во многом благодаря введенным жестким ограничениям, в связи с чем более низкая обеспеченность больничными койками населения региона способствовала росту смертности только в отдельные месяцы. Наибольший прирост уровня смертности отмечался в регионах ЦФО. В летний период заболеваемость снизилась, ограничения были ослаблены, однако повышение мобильности граждан привело к росту смертности в регионах ПФО, через которые проходят основные автомобильные и железнодорожные магистрали. К концу лета значимым фактором, оказывающим влияние на рост смертности, кроме трех основных индикаторов, стала обеспеченность населения региона врачами и койками. Осенью началась вторая волна заболеваемости, и в этот период прирост смертности зависел от расположения региона, доли городского населения и обеспеченности населения региона врачами. В отдельные месяцы значимое влияние оказывал уровень доходов населения и его изменение в 2020 г. В декабре произошла стабилизация ситуации в ПФО и СФО, в то же время стала расти смертность в южных регионах страны. Исследования проводились учеными ИЭ КарНЦ РАН и Республиканской инфекционной больницы и могут быть использованы в области региональной медико-демографической политики для повышения эффективности принимаемых управленческих решений и сохранения общественного здоровья нации.

Ключевые слова: демография; смертность; общественное здоровье; социально-экономические факторы; моделирование; регион; пандемия; COVID-19.

P. V. Druzhinin, E. V. Molchanova, Yu. L. Podlevskikh. COVID-19 PANDEMIC EFFECTS ON MORTALITY RATES IN RUSSIAN REGIONS

For many years, the Department for Regional Development Modeling and Forecasting at the Institute of Economics KarRC RAS, together with scientists from Petrozavodsk State University, University of Eastern Finland and medical institutions, has been conducting comprehensive research at the intersection of economics, demography, medicine and ecology. The studies were supported by ten grants from the Russian Foundation for Basic Research and Russian Foundation for the Humanities. This article examines the effect of the COVID-19 pandemic on mortality in Russian regions. The purpose of the study is to identify factors that have significantly raised mortality rates in Russian regions during the pandemic. The impact of socio-economic, demographic, medical, and geographical variables on morbidity and mortality rates in different stages of the pandemic was assessed taking into account regional characteristics. It is shown that, in general, mortality was promoted by higher shares of retirees and urban population, the location of the region in the center of the country, and a drop in citizens' incomes in 2020 (compared to 2019). The first (spring) wave of the pandemic in Russia was relatively low, largely due to the imposed heavy restrictions. As a result, only in some months did the lower availability of hospital beds in a region contribute to higher mortality. The highest increase in mortality rates happened in regions of the Central Federal District. During the summer period, the incidence decreased and restrictions were relaxed, but increased mobility of people led to an increase in mortality in regions of the Volga Federal District, which are situated along the main roads and railways. By the end of the summer, the availability of doctors and hospital beds in the region became significant factors for increase in mortality, in addition to the three main indicators. In the fall, the second wave began, during which the increase in mortality depended on the location of the region, the proportion of the urban population, and the availability of doctors in the region. In some months, the level of income of the population and its change in 2020 had a significant effect. In December, the situation in the Volga Federal District and the Siberian Federal District stabilized, while mortality rates in southern regions of the country began to grow. The study was carried out by researchers from the Institute of Economics KarRC RAS and the Republican Infectious Diseases Hospital, and its results can be used to aid decision-making and safeguard the health of the nation through the regional medical and demographic policy.

Key words: demography; mortality; public health; socio-economic factors; modelling; region; pandemic; COVID-19.

Введение

В 2019 г. все мировое сообщество столкнулось с серьезным глобальным вызовом – возникновением нового типа инфекционного заболевания COVID-19 (коронавирусная инфекция), которое является потенциально тяжелой формой острой респираторной инфекции, вызываемой коронавирусом SARS-CoV-2 [Глыбочко и др., 2020; Щелканов и др., 2020]. Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) была объявлена чрезвычайная ситуация в области общественного здоровья и здравоохранения, распространение вируса признано пандемией [Heymann, Shindo, 2020; Meyerowitz-Katz, Merone, 2020]. По предварительным данным Росстата, смертность в Российской Федерации за 2020 г. увеличилась на 17,9 % по сравнению с 2019 г. Это избыточная смертность, которая включает в себя смертность от коронавирусной инфекции и вызванных ею обострений других болезней.

Распространение нового типа опасного инфекционного заболевания, которое затронуло все человечество, потребовало проведения комплексных научных исследований, направленных на преодоление возникшего кризиса [Hu et al., 2021]. Ведущую роль в данном случае стала играть работа в области медико-биологических специальностей, связанная с вирусологией, разработкой вакцин и лекарственных препаратов, а также внедрением современных методов профилактики [Супотницкий, 2020; Харченко, 2020; Профилактика..., 2021]. По состоянию на декабрь 2020 г. различными медицинскими учреждениями и фармацевтическими компаниями ведутся разработки более 200 потенциальных вакцин, испытания на людях начались для 64 препаратов. В настоящее время в некоторых странах ряд вакцин прошли клинические испытания и разрешены для применения, среди них Гам-КОВИД-Вак (Спутник V, Россия, НИЦЭМ им. Н. Ф. Гамалеи), BNT162b2 (Германия, BioNTech; Китай, Fosun Pharma;

США, Pfizer), mRNA-1273 (США, Moderna, NIAID), ChAdOx1-S (AZD1222, Великобритания, Швеция, AstraZeneca, Оксфордский университет) и ряд других препаратов. Тем не менее распространение заболевания пока продолжается, хотя его темпы заметно снизились. Прогнозы экспертов в этом вопросе достаточно оптимистичны, хотя многие из них отмечают, что сложность проблемы заключается в постоянной мутации вируса, в связи с чем ряд вакцин могут не вызвать соответствующий иммунный ответ у человека [Щелканов и др., 2020; Guan et al., 2020; Brodin, 2021].

Пандемия COVID-19 потребовала пересмотра системы организации здравоохранения и оказания медицинской помощи. Появилось большое количество научных публикаций, затрагивающих именно это направление. При изучении данного вопроса следует выделить проект Глобальное бремя болезней (ГББ), который позволяет осуществить сравнительный анализ эффективности практически всех национальных систем здравоохранения с помощью наглядного графического инструментария и предоставления информации об основных медико-демографических индикаторах здоровья общества [Murray, Lopez, 1996; Глобальное..., 2013; GBV..., 2017]. В настоящее время в мире существует несколько классических моделей здравоохранения, в том числе модель Бисмарка (Германия), модель Бевериджа (Великобритания), частная модель (США) и ряд смешанных форм [Лукашев и др., 2005; Прохоров и др., 2007]. В России долгое время существовала советская система организации медицинской помощи (модель Семашко – Каминского), которая доказала свою эффективность и признана одной из лучших в мире. Однако при переходе к рыночной экономике она была заменена на страховую модель организации здравоохранения, которая в последующем подвергалась постоянной реорганизации. В результате наша страна оказалась во многом не готова к возникновению подобной чрезвычайной ситуации, потребовалось время для создания специальных стационаров, что повлекло за собой большие человеческие потери.

Возникновение нового глобального вызова затронуло и социально-экономическую сферу жизнедеятельности. Многие предприятия и организации оказались перед угрозой закрытия, значительно сократились доходы населения, произошли изменения в форме организации трудовой деятельности, возросла безработица, в связи с чем возникла острая необходимость в поиске различных форм поддержки предприятий и бизнес-структур. В настоящее

время именно этому направлению уделяется особое внимание при исследовании экономических процессов в России и ее регионах [Земцов и др., 2020; Максимова и др., 2020]. Кроме анализа официальной статистической информации многими научными организациями проводятся специальные социологические опросы, которые позволяют выявить степень влияния возникшего кризиса на уровень и качество жизни населения. Существует научно обоснованная взаимосвязь социально-экономического благополучия и медико-демографических показателей, причем в случае чрезвычайных ситуаций она проявляется с еще большей силой [Гундаров, 2001; Величковский, 2005; Римашевская и др., 2011].

На протяжении многих лет отделом моделирования и прогнозирования регионального развития (МППР) Института экономики (ИЭ) КарНЦ РАН совместно с учеными Петрозаводского госуниверситета, Университета Восточной Финляндии и медицинских учреждений ведутся комплексные исследования на стыке экономики, демографии, медицины и экологии. Исследования поддержаны 10 грантами РФФИ и РГНФ [Буркин и др., 2017; Молчанова и др., 2017, 2019; Дружинин, 2020; Дружинин и др., 2020; Хяникяйнен и др., 2020]. Научная новизна данного исследования заключается в попытке выявления комплексного (синергетического) влияния различных факторов на медико-демографические индикаторы в регионах России. Прежде всего в определении причин сверхвысокой смертности в эпоху глобальной пандемии, а также разработке управленческих рекомендаций для минимизации негативных последствий. Большинство опубликованных в настоящее время работ посвящены исследованию только одной группы факторов (экологических, социальных или экономических). В ряде публикаций [Кузьмин, 2020; Bobylev, 2020] анализируются последствия COVID-19 для экологии России, которые дифференцируются на три группы: отрицательные, положительные и неоднозначно интерпретируемые. Авторы отмечают, что среди условно положительных последствий COVID-19 и сопряженного с ним экономического кризиса можно выделить краткосрочное снижение экологического воздействия, необходимость международной координации в области решения экологических проблем современного общества. В исследованиях экономических последствий пандемии рассматриваются изменения в глобальной экономике и энергетике, влияние COVID-19 и кризиса, вызванного коронавирусом, на глобальную экономику и энергопотребление [Ваганов,

2020; Дудин и др., 2020; Мастепанов, 2020]. В отдельных статьях анализируются последствия для банковской и финансовой системы России, внешней торговли и международного сотрудничества [Оболенский, 2020; Осинин, 2020]. Исследователи предлагают сделать упор на развитие регионального банковского сектора, целью которого является стимулирование региональной финансово-экономической активности, в том числе создание условий для ведения бизнеса. Значительная часть научных работ посвящены социальным вопросам, в том числе проблемам современного образовательного процесса [Макаров, 2020; Яковлев и др., 2020]. Авторы изучают опыт дистанционного образования в российских школах и университетах, выделяют достоинства и недостатки внедрения новых форм обучения, а также возможные последствия изменения парадигмы воспитательного процесса. Следует отметить, что практически во всех работах ученые сходятся во мнении, что коронавирус является особой точкой бифуркации глобального социоисторического процесса и экономической безопасности России, которая требует внедрения новых форм управления социально-экономическими процессами [Габов, 2020; Гуреева, 2020; Кондратьев, 2020].

Цель данного исследования заключается в выявлении факторов, которые во время пандемии способствовали значительному росту смертности в российских регионах. Необходимо понять, в какой степени и в какие периоды на рост смертности повлияли состояние здравоохранения и особенности его развития в ходе реформ, социально-экономические, демографические и географические факторы. Также надо оценить воздействие принимаемых властями решений по ограничениям и выяснить, какие особенности некоторых регионов определили резкий рост смертности в них.

Материалы и методы

Для достижения поставленной цели предлагается подход, основанный на исследовании региональных данных, анализе графиков показателей для поиска их взаимосвязей, построении уравнений для выявления роли различных индикаторов в увеличении смертности населения регионов в период пандемии. В результате выделены факторы, которые могли оказать влияние на прирост смертности в 2020 г.

По всем российским регионам был определен прирост смертности в 2020 г. в целом и по месяцам относительно соответствующего периода 2019 г. На основе анализа литератур-

ных источников выделены показатели, которые потенциально могли оказать влияние на прирост смертности. Затем для каждого индикатора были построены графики с целью выявления возможных взаимосвязей и рассчитаны необходимые статистические характеристики [Айвазян, 1998]. По каждому месяцу и выделенным периодам (весна, лето, осень) определены факторы, наиболее повлиявшие на прирост смертности. При проведении расчетов использовался эконометрический инструментарий (множественный регрессионный анализ), рассмотрена функциональная зависимость следующего вида:

$$R(t) = A + B \times Z(t) + D \times X(t) + C \times N(t) + E \times U(t) + M \times S(t) + L \times V(t), \quad (1)$$

где: $R(t)$ – отношение прироста смертности в регионе в определенный период 2020 г. относительно соответствующего периода 2019 г. к численности населения региона; $Z(t)$ – показатель здравоохранения; $N(t)$ – демографический показатель; $X(t)$ – социально-экономический показатель; $S(t)$, $V(t)$ – географические показатели (северная широта и восточная долгота); $U(t)$ – экологический показатель; C , D , L , M , E , B , A – константы.

Для оценки воздействия медицинских факторов, связанных с потенциалом регионального здравоохранения, выбраны следующие показатели: количество коек на 10 000 жителей, количество врачей на 10 000 жителей и отношение этих показателей в 2019 г. к уровню 1990 г. В качестве демографических индикаторов в данной статье использовались следующие характеристики: численность населения региона, численность населения административного центра региона, плотность населения, доля городского населения и доля пенсионеров. Из социально-экономических факторов выбраны индикаторы, отражающие уровень развития региона (ВРП на душу населения, соотношение доходов населения и прожиточного минимума) и характеризующие кризис 2020 г. (изменение среднедушевых доходов населения в 2020 г. относительно 2019 г.). Расположение региона может оказать заметное влияние на эпидемиологические процессы, поэтому анализировалась связь прироста смертности со следующими географическими показателями: северная широта административного центра региона, восточная долгота административного центра региона и приграничное положение. Среди экологических характеристик выбраны: выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, сбросы загрязненных сточных вод (в целом по региону и на душу населения).

В работе выполнена оценка медико-демографической ситуации во всех российских регионах, однако расчеты проводились для 77 территориальных образований. Исключены регионы, по которым отсутствует статистика за 1990-е годы (Чеченская республика, Крым и Севастополь); также, в силу особенностей оказания медицинской помощи и организации системы здравоохранения, Москва и Московская область, Санкт-Петербург и Ленинградская область рассматривались как единые регионы.

Использовалась информация за 1990–2020 гг. по развитию российских регионов. Основной источник данных – сборники ФСГС «Регионы России» («Социально-экономические показатели» и «Социально-экономические показатели городов») и справочник «Естественное движение населения», представленные на сайте ФСГС, а также интернет-ресурсы, содержащие официальную информацию о развитии пандемии COVID-19 в разных странах мира.

Результаты и обсуждение

Если опираться на данные официальной статистики, можно сделать вывод, что только показатели смертности от COVID-19 не вполне отражают происходящие сегодня в России медико-демографические процессы. Пандемия повлекла за собой сверхсмертность, которая обусловлена не только новым видом вируса. Выявление ее причин является актуальной

задачей, от решения которой будет зависеть эффективность всей социально-демографической политики нашего государства в ближайшем будущем.

Анализ данных по смертности в РФ за 2019–2020 гг. показал ее заметный рост с мая 2020 г., хотя в первые два месяца смертность снижалась, продолжались положительные тенденции предыдущего года (рис. 1). В 2019 г. смертность сократилась на 1,7 % относительно 2018 г. Данный показатель сильно вырос в мае–июле 2020 г., затем его быстрый рост стал отмечаться с сентября и продолжился до 2021 г. Видимо, уже в феврале 2020 г. начался рост смертности из-за проникновения COVID-19, который приостановился в апреле после принятия ограничительных мер. Однако распространение заболевания не прекратилось, эффективные схемы лечения не были разработаны, и после ослабления ограничений рост смертности вновь возобновился летом, причем осенью его уже было сложно остановить.

Региональные данные ФСГС по заболеваемости коронавирусом показывают: чем выше в регионе был уровень заболеваемости, тем ниже – прирост смертности (рис. 2). Данная зависимость является важным индикатором эффективности функционирования региональной системы здравоохранения. Следует отметить, что подобная тенденция наблюдалась и в предыдущие годы, однако в кризисной ситуации она стала приобретать особое значение, так как указывала на существенные недостатки

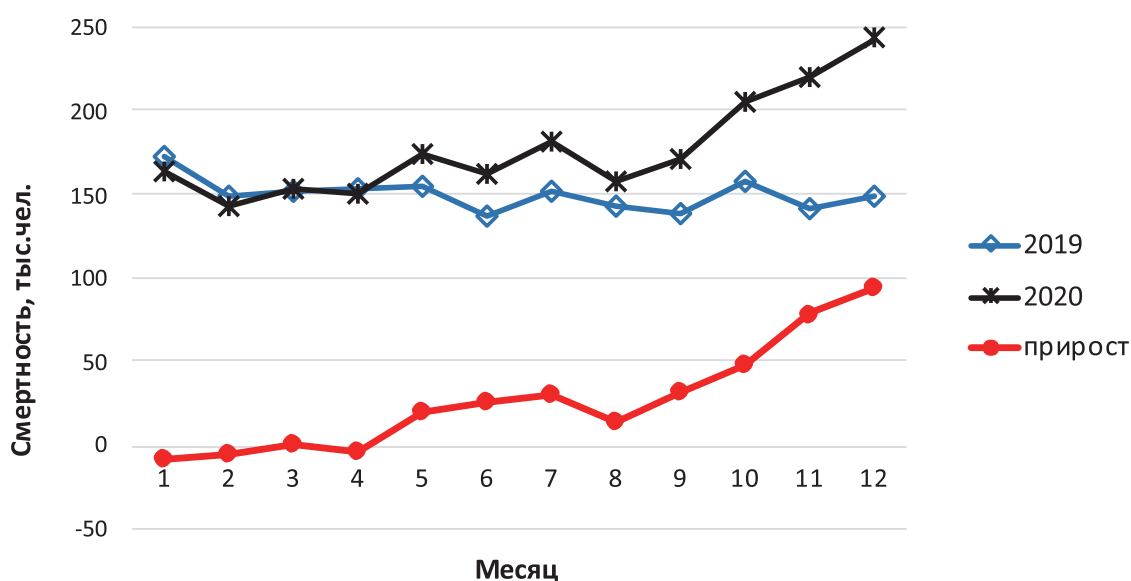


Рис. 1. Смертность в РФ в 2019 и 2020 гг. по месяцам и прирост смертности в 2020 г. относительно соответствующего месяца 2019 г.

Fig. 1. Mortality in the Russian Federation in 2019 and 2020 by month and the increase in mortality in 2020 relative to the corresponding month in 2019

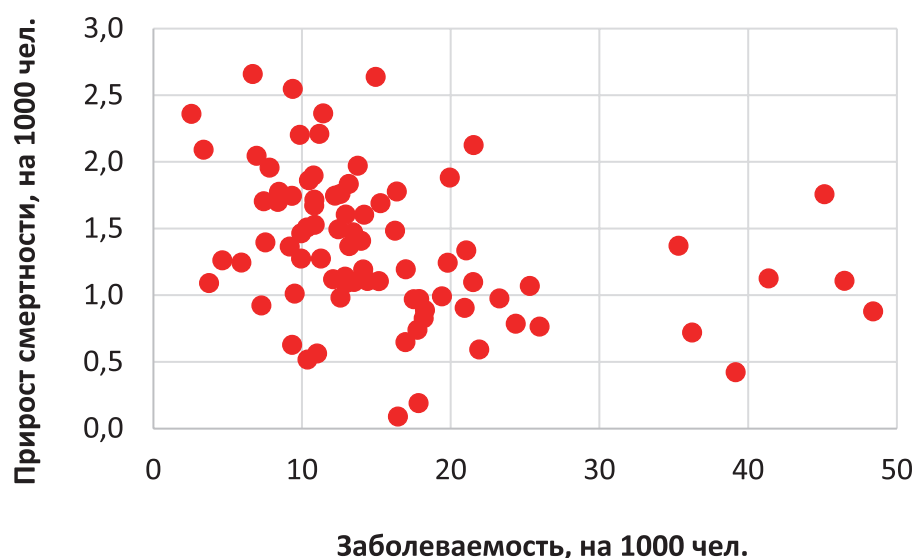


Рис. 2. Взаимосвязь заболеваемости COVID-19 и общего прироста смертности по регионам в 2020 г. (данные официального интернет-ресурса для информирования населения по вопросам коронавируса (COVID-19) и ФСГС)

Fig. 2. The relationship between the incidence of COVID-19 and the overall increase in mortality by region in 2020 (data from the official Internet resource for informing the population about the coronavirus (COVID-19) and the FSGS)

в организации медицинской помощи населению (проблемы с тестированием заболевших и, соответственно, отсутствие необходимого лечения).

Ситуация в регионах менялась в течение года по-разному. В первые два месяца смертность не превышала уровня 2019 г. и лишь в нескольких, в основном приграничных, регионах смертность выросла (Псковская, Мурманская, Амурская области, Краснодарский край). В марте добавилось еще несколько регионов, в т. ч. приграничные Карелия, Забайкальский край и Ленинградская область. В середине марта в регионах начали вводиться жесткие ограничения, и смертность ненадолго стала меньше уровня 2019 г. Наиболее высокий прирост смертности оказался в Костромской, Московской и Новосибирской областях. Снизилась смертность в большинстве северных и восточных регионов. Закрытие границ и жесткие меры в КНР привели к тому, что уже к лету прирост смертности в большинстве азиатских приграничных регионов заметно уменьшился.

С мая стала быстро расти смертность в ЦФО, в июне из десяти регионов с наибольшим приростом смертности половина были регионы ЦФО. Также в июне начался рост смертности в ПФО, и в июле половина регионов с наибольшим приростом этого показателя была уже в нем. В дальнейшем, до декабря, среди десяти регионов с наибольшим приростом смертности преобладали именно регионы

ПФО. Активно посещаемый туристами Крым вошел в число регионов с высоким приростом смертности лишь в сентябре, а в курортном Краснодарском крае смертность летом была относительно невысокой. В конце года выросла смертность в регионах СФО и ДВФО, но в целом за год в десятке регионов с наибольшим приростом смертности было семь регионов ПФО.

В расположенной на западе страны приграничной Республике Карелия (РК) изменение смертности началось уже в феврале. В 2019 г. смертность в регионе упала на 4,2 %, но в феврале 2020 г. она выросла и достигла максимальной величины в марте. Затем данный показатель снизился, однако осенью начался новый рост, и в ноябре был превышен уровень марта (рис. 3). Возможно, на росте смертности в марте сказалась трансграничная активность населения республики, а на снижение в апреле повлияли закрытие границы с Финляндией, жесткость ограничительных мер и дисциплинированность населения. Летний отпуск и переезд на дачи способствовали снижению заболеваемости, но затем ее рост возобновился, и в декабре смертность почти в два раза превысила уровень предыдущего года.

Среди возможных причин роста смертности в 2020 г. прежде всего выделялись медицинские, связанные с реформой здравоохранения в РФ, отказом от советской модели организа-

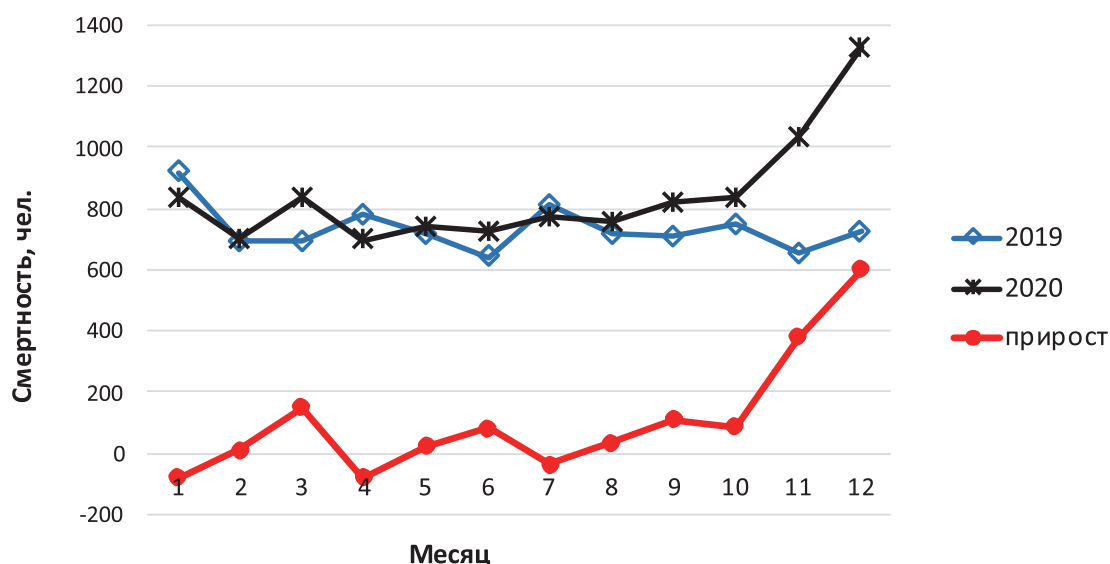


Рис. 3. Смертность в РК в 2019 и 2020 гг. по месяцам и прирост смертности в 2020 г. относительно соответствующего месяца 2019 г.

Fig. 3. Mortality in the Republic of Karelia in 2019 and 2020 by month and the increase in mortality in 2020 relative to the corresponding month in 2019

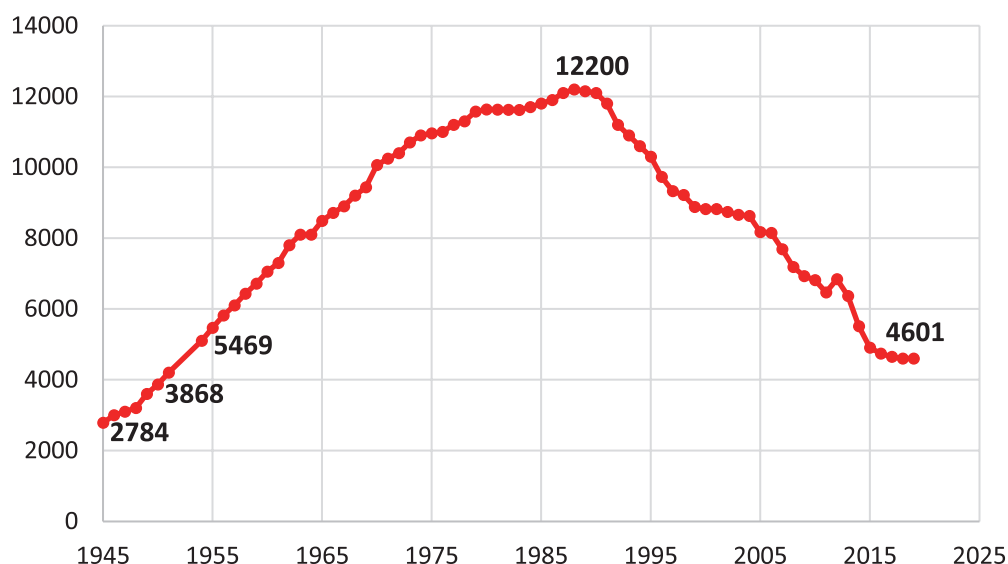


Рис. 4. Динамика количества больничных коек в РК в 1945–2019 гг.

Fig. 4. Dynamics of the hospital beds number in the Republic of Karelia in 1945–2019

ции медицинской помощи. Например, в Карелии количество больничных коек за 30 лет сократилось в 2,65 раза (рис. 4), поэтому проблемы с перегруженностью медицинских учреждений в 2020 г. возникли уже весной.

Анализ взаимосвязи прироста смертности в целом за 2020 г. и обеспеченности населения больничными койками в регионах РФ показал, что зависимость достаточно низкая, другие факторы влияют сильнее. В то же время анализ помесечных данных по регионам и коэффициентов корреляции свидетельст-

вует, что в отдельные периоды обеспеченность койками оказывала заметное влияние на прирост смертности, прежде всего весной в начале пандемии (после введения ограничений влияние заметно уменьшается) и с июля по сентябрь. Поэтому можно сказать, что введение ограничений сдержало развитие болезни, снизило нагрузку на коечный фонд и сократило смертность. Обеспеченность врачами также влияла на смертность в августе–сентябре, в период отпусков. Влияние изменения по сравнению с 1990 г. уровня обеспеченности

населения койками и врачами не отмечено, в регионах с более значительным сокращением количества коек более высокая смертность не выявлена.

Демографические факторы также оказывают серьезное влияние на развитие эпидемий. Чаще всего среди значимых факторов выделяют плотность населения, его численность, долю городского населения и численность населения столицы или крупнейшего города региона. С ростом плотности населения прирост смертности в регионах увеличивается, но при высокой плотности (выше 50 тыс. чел. на кв. км) зависимость отсутствует. Более заметно влияние двух других факторов – численности населения региона и численности населения административного центра региона. Надо отметить, что в обоих случаях до определенного уровня существует прямая зависимость, а затем с ростом численности населения прирост смертности не увеличивается. Анализ данных по месяцам показал, что плотность населения и два других фактора – численность населения региона и его столицы – наиболее заметное влияние оказывали в период жестких ограничений весной (апрель, май), в дальнейшем их воздействие было несущественным. Видимо, сказывались ограничения на перемещение населения. Доля городского населения, напротив, оказалась наиболее значима в последние месяцы года и в июне.

Экономические факторы, характеризующие уровень развития регионов и уровень доходов населения, оказались малозначимы, поскольку слаборазвитые регионы имели низкий уровень прироста смертности. При анализе помесечных данных оказалось, что уровень развития региона (ВРП на душу населения) очень слабо влиял на прирост смертности во всех периодах. Влияние уровня доходов населения незначительно сказалось лишь в самом конце года. В то же время изменение уровня доходов населения оказалось значимо, наиболее сильно оно воздействовало в начале весны, в июле и в последние два месяца года. Чем сильнее упали доходы населения региона, тем больше был прирост смертности населения.

Доступная оперативная отчетность по экологическим индикаторам отсутствует, а при анализе экологических показателей предыдущего периода их влияния на прирост смертности в 2020 г. не выявлено.

При анализе географических факторов удалось установить, что существенным оказалось расположение региона. Наиболее высокий прирост смертности в 2020 г. зафиксирован в регионах, расположенных между

51–57° северной широты. В регионах по мере приближения к 53° северной широты отмечается увеличение прироста смертности. Также выявился наиболее высокий прирост смертности в 2020 г. среди регионов, расположенных между 39–83° восточной долготы. По мере приближения к 50° восточной долготы прирост смертности повышается. Для западных регионов рост достаточно быстрый, для восточных медленный. Условно можно сказать, что в зоне с высоким приростом смертности оказались центральные регионы РФ, и в соответствии с вытянутостью РФ с запада на восток эта зона также вытянута и сужается на восток. В отдельные месяцы связь прироста смертности и географического положения исчезает, например, весной после введения жестких ограничений. Для северной широты связь становится значимой в июне с началом отпускного периода и перемещений населения через центральные регионы, затем она малозначима, поскольку растет заболеваемость и смертность на юге, и связь снова появляется осенью после периода отпусков – видимо, заболевшие граждане, возвращаясь, заражали и жителей центральных регионов. Для восточной долготы связь прироста смертности малозначима в ноябре–декабре, когда население практически не покидает мест проживания.

Влияние приграничности оказалось неоднозначным. Для восточных и западных регионов оно зависело от времени введения и жесткости ограничений в сопредельных странах и интенсивности пересечений границы в первые месяцы года. Граничащие с Казахстаном регионы оказались среди обладателей высокого уровня смертности осенью. В данном случае, видимо, повлияло то, что граница не закрывалась для внешнеэкономической деятельности и поездок родственников.

В таблице представлены результаты расчетов по 77 регионам. Прирост смертности в регионах зависел от доли пенсионеров и городского населения, близости к центру страны и величины падения доходов населения.

Анализ данных по месяцам показал, что развитие пандемии, изменения политики ограничений и поведения населения приводили к тому, что уровень заболеваемости и смертности в регионах менялся, иногда очень резко. В одних регионах уровень смертности снижался, в других, напротив, увеличивался. Резкие изменения произошли в апреле после введения ограничений, затем в июле при увеличении межрегиональных поездок в отпускной период и в сентябре, после возвращения отпускников в родные регионы.

Результаты расчетов параметров зависимости (1) прироста смертности (на млн чел.) за март–декабрь 2020 г. относительно соответствующего периода 2019 г.

Calculation results of the parameters of the dependence (1) of the increase in mortality (per million people) for march–december of 2020 relative to the corresponding period in 2019

Показатель Index	Значение Values
A	4962,8*
Доля городского населения Portion of urban population	6,43
Пенсионеров на 1000 человек населения Pensioners per 1000 population	4,26*
Доходы населения в 2020 г. относительно 2019 г. Personal income in 2020 relative to 2019	–41,23*
Отклонение расположения столицы региона от 53° с. ш. Deviation of the regional capital location from 53° N	–62,67*
Отклонение расположения столицы региона от 50° в. д. Deviation of the regional capital location from 50° E	–7,01*
R^2	0,53
p	0,0000

Примечание / Note. * – $p < 0,01$.

Заклучение

Наиболее тесная связь прироста смертности оказалась с географическим положением регионов, что показывают самый высокий коэффициент корреляции и высокий коэффициент Стьюдента, отражающий значимость параметров уравнений. Причем связь отсутствует в период жестких ограничений весной, проявляется в июне и октябре–ноябре для северной широты и в июле–сентябре для восточной долготы. Летние отпуска привели к росту перемещений между регионами, прежде всего в южные и центральные регионы, поскольку за пределы РФ выезд был ограничен, как и въезд. Иностранцев в страну приехало на 67,5 % меньше, чем в 2019 г., а с целью туризма – на 93 % меньше. Граждан РФ выехало за пределы страны на 70,6 % меньше, причем более половины поездок пришлось на первый квартал и менее 5 % на второй.

Основные железнодорожные и автомобильные дороги пересекают ЦФО с востока на запад и с севера на юг, соответственно, перемещение внутри РФ проходит в значительной мере через него. Самыми загруженными в 2020 г. являлись проходящие через центральные регионы трассы М5 «Урал», М7 «Волга», М4 «Дон», немного меньшей была загрузка трасс М10 «Россия», М2 «Крым» и М8 «Холмогоры». Максимальный пассажиропоток на железнодорожных вокзалах также был в Москве, Санкт-Петербурге и административных центрах регионов ЦФО. Аналогичная картина и в аэропортах. В результате отмечался рост заболеваемости, а затем и смертности в центральных регионах, через которые проезжали в том числе и инфицированные ту-

ристы. В южных регионах летом заметно выросла смертность лишь в северокавказских республиках. В южных приморских регионах – Крыму, Краснодарском крае и Ростовской области – летом рост смертности был небольшой, лишь в конце года фиксировался заметный рост.

Надо отметить различную значимость демографических показателей в разные периоды. В начале пандемии наиболее значимы были плотность населения и доля пенсионеров, более низкая значимость оказалась у численности населения региона и его столицы. Летом население более активно перемещалось между регионами, часть горожан уехали в сельскую местность, и значимость демографических показателей снизилась. Осенью жители городов вернулись, и стали значимы доли городского населения и пенсионеров.

Следующий по важности фактор связан с уровнем жизни населения, точнее, с его изменением, что проявилось в целом за год и в отдельные месяцы, хотя его значимость в полученных уравнениях оказалась низкой. Другие социально-экономические показатели оказались незначимы, не столь важен уровень доходов населения и богатство региона, важно их изменение – более сильное падение доходов населения вело к росту смертности.

Медицинские показатели оказались значимы лишь в отдельные периоды. Низкая обеспеченность койками способствовала росту смертности в начале пандемии и в июле–сентябре. Введение жестких ограничений весной сдержало рост заболеваемости, позволило выиграть время, и недостаток коечного фонда в регионах не привел к быстрому росту смерт-

ности. В конце года система здравоохранения лучше справлялась со сложной ситуацией, появился необходимый опыт и материальное обеспечение. Нехватка врачей стала оказывать влияние на смертность в конце лета, и значимость этого фактора повысилась в конце года.

Таким образом, прирост смертности в разных регионах зависел от уровня развития здравоохранения, от их географических, демографических и социально-экономических особенностей, которые по-разному проявлялись при различной федеральной и региональной политике. В регионах вводились разной жесткости ограничительные требования, которые в разной степени выполнялись населением, соответственно менялись факторы, определяющие прирост смертности. Проведенный анализ позволяет понять, какие именно последствия будут у принимаемых в период эпидемии решений в регионах в зависимости от их особенностей, чтобы направить необходимые ресурсы для снижения смертности населения.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт экономики КарНЦ РАН, тема АААА-А19-119010990087-1 «Выявление синергетических закономерностей региональных социо-эколого-экономических систем и моделирование динамических процессов устойчивого развития в многокомпонентных системах различной природы»).

Литература

Айвазян С. А., Мхитарян В. С. Прикладная статистика и основы эконометрики. М.: ЮНИТИ, 1998. 1005 с.

Буркин М. М., Молчанова Е. В. Моделирование влияния индикаторов социального стресса на демографические процессы в регионах Российской Федерации // Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. 2017. Т. 117, № 1. С. 43–49.

Ваганов А. Г. Коронавирус: что это было? // Энергия: экономика, техника, экология. 2020. № 6. С. 9–15.

Величковский Б. Т. Социальный стресс, трудовая мотивация и здоровье // Бюллетень сибирской медицины. 2005. № 3. С. 5–19.

Габов А. В. Непреодолимая сила, коронавирус и решения органов власти, направленные на предотвращение его распространения // Закон. 2020. № 5. С. 152–171.

Глобальное бремя болезней (GLOBAL BURDEN OF DISEASE): порождение доказательств, направление политики: Региональное издание для Европы и Центральной Азии / Институт по измерению здоровья и оценки состояния здоровья университета Ва-

шингтон, Сеть человеческого развития Всемирного банка. Сизтл, Вашингтон: IHME, 2013. 70 с.

Глыбочко П. В., Фомин В. В., Авдеев С. Н. Клиническая характеристика 1007 больных тяжелой SARS-CoV-2 пневмонией, нуждавшихся в респираторной поддержке // Клиническая фармакология и терапия. 2020. Т. 29, № 2. С. 21–29. doi: 10.32756/0869-5490-2020-2-21-29

Гундаров И. А. Демографическая катастрофа в России: причины, механизм, пути преодоления. М.: Эдиториал УРСС, 2001. 208 с.

Гуреева М. А. Коронавирус как особая точка бифуркации глобального социоисторического процесса и экономическая безопасность России // Экономические системы. 2020. Т. 13, № 2. С. 66–76.

Дудин М. Н., Лясников Н. В. Коронавирус Covid-19 – «джокер», который может привести мировую экономику в глубокую рецессию // Вестник МИРБИС. 2020. № 2(22). С. 6–15.

Дружинин П. В. Эколого-экономические процессы в российских регионах в послекризисный период // Дружеровский вестник. 2020. № 1(33). С. 276–288.

Дружинин П. В., Шкиперова Г. Т., Поташева О. В., Зимин Д. А. Оценка влияния развития экономики на загрязнение воздушной среды // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2020. Т. 13, № 2. С. 125–142.

Земцов С. П., Бабуринов В. Л. Коронавирус в регионах России: особенности и последствия распространения // Государственная служба. 2020. Т. 22, № 2(124). С. 48–55.

Земцов С. П., Бабуринов В. Л. Коронавирус в России: масштаб и последствия // Социально-экономическая география. Вестник Ассоциации российских географов-обществоведов. 2020. № 1(9). С. 133–135.

Кондратьев В. Б. Коронавирус и мировая экономика // Перспективы. Электронный журнал. 2020. № 3(23). С. 96–116.

Кузьмин С. И. Назад в будущее (коронавирус и новые экологические реалии) // Экологический вестник России. 2020. № 6. С. 64–68.

Лукашев А. М., Прохоров Б. Б., Шиленко Ю. В. Общественное здоровье и управление здравоохранением. М.: Оверлей, 2005. 392 с.

Макаров А. Д. Коронавирус Covid-19 и дистанционная форма обучения // Региональные аспекты управления, экономики и права Северо-Западного федерального округа России. 2020. № 2(49). С. 64–70.

Максимова Е. В., Рябцев А. Г., Сазонова О. А. Влияние коронавируса на экономику России // Инновации и инвестиции. 2020. № 4. С. 283–286.

Мастепанов А. М. Коронавирус и вызванный им кризис: о перспективах мировой экономики и энергетики // Нефтяное хозяйство. 2020. № 6. С. 6–12.

Молчанова Е. В. Оценка влияния социально-экономического развития на региональные демографические процессы // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2019. № 4-2. С. 252–258.

Молчанова Е. В., Буркин М. М. Современная демографическая ситуация и здоровье населения России. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2017. 170 с.

Оболенский В. П. Коронавирус: что ждет российскую экономику и внешнюю торговлю // Российский внешнеэкономический вестник. 2020. № 5. С. 67–76.

Осинин А. Д. Адаптация национальной экономики к мировому экономическому кризису: банковский сектор РФ vs коронавирус // Гуманитарные науки. Вестник Финансового университета. 2020. Т. 10, № 3. С. 142–146.

Профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции (COVID-19): Временные методические рекомендации. Версия 9 (утв. Минздравом РФ 26 октября 2020 г.). URL: https://static-0.minzdrav.gov.ru/system/attachments/attachments/000/052/550/original/%D0%9C%D0%A0_COVID-19_%28v9%29.pdf?1603788097 (дата обращения: 17.01.2021).

Прохоров Б. Б., Горшкова И. В., Шмаков Д. И., Тарасова Е. В. Общественное здоровье и экономика / Отв. ред. Б. Б. Прохоров. М.: МАКС Пресс, 2007. 292 с.

Римашевская Н. М., Мигранова Л. А. Молчанова Е. В. Факторы, влияющие на состояние здоровья населения России // Народонаселение. 2011. № 1(51). С. 38–49.

Супотницкий М. В. Новый коронавирус SARS-CoV-2 в аспекте глобальной эпидемиологии коронавирусных инфекций // Вестник войск РХБ защиты. 2020. Т. 4, № 1. С. 32–65.

Харченко Е. П. Коронавирус SARS-CoV-2: сложности патогенеза, поиски вакцин и будущие пандемии // Эпидемиология и вакцинопрофилактика. 2020. Т. 19, № 3. С. 4–20.

Хяникяйнен И. В., Буркин М. М., Молчанова Е. В., Кручек М. М. Социальная фрустрированность и субъективная оценка состояния здоровья пожилых горожан Республики Карелия // Экология человека. 2020. № 9. С. 36–41.

Щелканов М. Ю., Попова А. Ю., Дедков В. Г., Акимкин В. Г., Малеев В. В. История изучения и современная классификация коронавирусов (Nidovirales: Coronaviridae) // Инфекция и иммунитет. 2020. Т. 10, № 2. С. 221–246.

Яковлев М. Е., Ваулина К. О., Попова Н. В. Коронавирус как вызов социальной педагогике в России // Социальная педагогика в России. Научно-методический журнал. 2020. № 3. С. 23–25.

Bobylev C. N. Environmental consequences of COVID-19 on the global and Russian economics // Population and Economics. 2020. Vol. 4, no. 2. С. 43–48. doi: 10.3897/popecon.4.e53279

Brodin P. Immune determinants of COVID-19 disease presentation and severity // Nat. Med. 2021. Vol. 27, iss. 1. P. 28–33. doi: 10.1038/s41591-020-01202-8

GBB 2016 Causes of Death Collaborators. Global, regional, and national age-sex specific mortality for 264 causes of death, 1980–2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016 // The Lancet. 2017. No. 390. P. 1151–1210. doi: 10.1016/S0140-6736(17)32152-9

Guan W., Ni Zh., Hu Y. et al. Clinical characteristics of coronavirus disease 2019 in China // N. Eng. J. Med. 2020. Vol. 382. P. 1708–1720. doi: 10.1056/NEJMoa2002032

Heymann D. L., Shindo N. COVID-19: what is next for public health? // The Lancet. Elsevier, 2020. 13 February. doi: 10.1016/S0140-6736(20)30374-3

Hu B., Guo H., Zhou P., Shi Zh.-L. Characteristics of SARS-CoV-2 and COVID-19 // Nat. Rev. Microbiol. 2021. No. 19. P. 141–154. doi: 10.1038/s41579-020-00459-7

Meyerowitz-Katz G., Merone L. A systematic review and meta-analysis of published research data on COVID-19 infection-fatality rates // Int. J. Infect. Dis. 2020. Vol. 101. P. 138–148. doi: 10.1016/j.ijid.2020.09.1464

Murray C. J. L., Lopez A. D. The global burden of disease: a comprehensive assessment of mortality and disability from diseases, injuries, and risk factors in 1990 and projected to 2020. Cambridge: Harvard University Press on behalf of the World Health Organization and The World Bank, 1996.

Поступила в редакцию 25.03.2021

References

Aivazyan S. A., Mkhitarian V. S. Prikladnaya statistika i osnovy ekonometriki [Applied statistics and fundamentals of econometrics]. Moscow: YuNITI, 1998. 1005 p.

Burkin M. M., Molchanova E. V. Modelirovanie vliyaniya indikatorov sotsial'nogo stressa na demograficheskie protsessy v regionakh Rossiiskoi Federatsii [Modeling the impact of social stress indicators on demographic processes in the regions of the Russian Federation]. Zhurn. nevrologii i psikhiiatrii im. C. C. Korsakova [The Korsakov's J. of Neurology and Psychiatry]. 2017. Vol. 117, no. 1. P. 43–49.

Dudin M. N., Lyasnikov N. V. Koronavirus Sovid-19 – “dzhoker”, kotoryi mozhnet privesti mirovuyu ekonomiku v glubokuyu retsessiyu [The Covid-19 coronavirus is a ‘wild card’ that could send the global economy into a deep recession]. Vestnik MIRBIS. 2020. No. 2(22). P. 6–15.

Druzhinin P. V. Ekologo-ekonomicheskie protsessy v rossiiskikh regionakh v poslekrizisnyi period [Ecological and economic processes in the Russian regions in the post-crisis period]. Drukerovskii vestnik [Drukerovskij vestnik]. 2020. No. 1(33). P. 276–288.

Druzhinin P. V., Shkiperova G. T., Potasheva O. V., Zimin D. A. Otsenka vliyaniya razvitiya ekonomiki na zagryaznenie vozdukhnoi sredy [Assessment of the impact of economic development on air pollution]. Ekonomicheskie i sotsial'nye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz [Economic and Social Changes: Facts, Trends, and Forecast]. 2020. Vol. 13, no. 2. P. 125–142.

Gabov A. V. Nepreodolimaya sila, koronavirus i resheniya organov vlasti, napravlennye na predotvrashchenie ego rasprostraneniya [Force majeure, the coronavirus, and government decisions to prevent its spread]. Zakon [Zakon (Law)]. 2020. No. 5. P. 152–171.

Glybochko P. V., Fomin V. V., Avdeev S. N. Klinicheskaya kharakteristika 1007 bol'nykh tyazheloi SARS-CoV-2 pnevmoniei, nuzhdavshikhsya v respiratornoi podderzhke [Clinical characteristics of 1007 patients with severe SARS-CoV-2 pneumonia who needed respiratory support]. *Klinicheskaya farmakologiya i terapiya* [Clinical Pharmacology and Therapy]. 2020. Vol. 29, no. 2. P. 21–29. doi: 10.32756/0869-5490-2020-2-21-29

Gundarov I. A. Demograficheskaya katastrofa v Rossii: prichiny, mekhanizm, puti preodoleniya [Demographic catastrophe in Russia: causes, mechanism, ways to overcome it]. Moscow: Editorial URSS, 2001. 208 p.

Gureeva M. A. Koronavirus kak osobaya tochka bifurkatsii global'nogo sotsioistoricheskogo protsesssa i ekonomicheskaya bezopasnost' Rossii [Coronavirus as a special point of bifurcation of the global socio-historical process and the economic security of Russia]. *Ekonomichestvennyye sistemy* [Economic Systems]. 2020. Vol. 13, no. 2. P. 66–76.

Global Burden of Disease: generating evidence, policy direction: a regional publication for Europe and Central Asia. Institute for Health Metrics and Evaluation, Human Development Network, The World Bank. Seattle, WA: IHME, 2013.

Kharchenko E. P. Koronavirus SARS-COV-2: slozhnosti patogeneza, poiski vaksyn i budushchie pandemii [SARS-COV-2 coronavirus: the complexities of pathogenesis, the search for vaccines, and future pandemics]. *Epidemiologiya i vaksynoprofilaktika* [Epidemiology and Vaccine Prevention]. 2020. Vol. 19, no. 3. P. 4–20.

Khyaniyainen I. V., Burkin M. M., Molchanova E. V., Kruchek M. M. Sotsial'naya frustrirovannost' i sub'ektivnaya otsenka sostoyaniya zdorov'ya pozhi lykh gorozhan Respubliki Kareliya [Social frustration and subjective assessment of the health status of elderly citizens of the Republic of Karelia]. *Ekol. cheloveka* [Human Ecol.]. 2020. No. 9. P. 36–41.

Kondrat'ev V. B. Koronavirus i mirovaya ekonomika [Coronavirus and the global economy]. *Perspektivy. Elektronnyi zhurn.* [Perspectives and Prospects. E-journal]. 2020. No. 3(23). P. 96–116.

Kuz'min S. I. Nazad v budushchee (koronavirus i novye ekologicheskie realii) [Back to the future (coronavirus and new environmental realities)]. *Ekol. vestnik Rossii* [Ecol. Bull. of Russia]. 2020. No. 6. P. 64–68.

Lukashev A. M., Prokhorov B. B., Shilenko Yu. V. Obshchestvennoe zdorov'e i upravlenie zdravookhraneniem [Public health and health management]. Moscow: Overlei, 2005. 392 p.

Makarov A. D. Koronavirus Covid-19 i distantsionnaya forma obucheniya [Covid-19 coronavirus and distance learning]. *Regional'nye aspekty upravleniya, ekonomiki i prava Severo-Zapadnogo federal'nogo okruga Rossii* [Regional aspects of management, economics and law of the Northwestern Federal District of Russia]. 2020. No. 2(49). P. 64–70.

Maksimova E. V., Ryabtsev A. G., Sazonova O. A. Vliyaniye koronavirusa na ekonomiku Rossii [The impact of coronavirus on the Russian economy]. *Innovatsii i investitsii* [Innovation and Investment]. 2020. No. 4. P. 283–286.

Mastepanov A. M. Koronavirus i vyzvannyi im krizis: o perspektivakh mirovoi ekonomiki i energetiki [Coronavirus and the resulting crisis: the prospects for the global

economy and energy]. *Neftyanoe khozyaistvo* [Oil Industry]. 2020. No. 6. P. 6–12.

Molchanova E. V. Otsenka vliyaniya sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya na regional'nye demograficheskie protsessy [Assessment of the impact of socio-economic development on regional demographic processes]. *Vestnik Altaiskoi akad. ekonomiki i prava* [J. of Altai Acad. of Economics and Law]. 2019. No. 4–2. P. 252–258.

Molchanova E. V., Burkin M. M. Sovremennaya demograficheskaya situatsiya i zdorov'e naseleniya Rossii [Current demographic situation and health of the Russian population]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2017. 170 p.

Obolenskii V. P. Koronavirus: chto zhdet rossiiskuyu ekonomiku i vneshnyuyu trgovlyu [Coronavirus: what awaits the Russian economy and foreign trade]. *Rossiiskii vneshneekonomicheskii vestnik* [Russ. Foreign Economic J.]. 2020. No. 5. P. 67–76.

Osinin A. D. Adaptatsiya natsional'noi ekonomiki k mirovomu ekonomicheskomu krizisu: bankovskii sektor RF vs koronavirus [Adapting the national economy to the global economic crisis: Russian banking sector vs coronavirus]. *Gumanitarnye nauki. Vestnik Finansovogo universiteta* [Humanities and Social Sciences. Bull. of The Financial Univ.]. 2020. Vol. 10, no. 3. P. 142–146.

Profilaktika, diagnostika i lechenie novoi koronavirusnoi infektsii (COVID-19): Vremennyye metodicheskie rekomendatsii. Versiya 9 (utv. Minzdravom RF 26 oktyabrya 2020 g.) [Prevention, diagnosis and treatment of the new coronavirus infection (COVID-19)]. URL: https://static-0.minzdrav.gov.ru/system/attachments/attaches/000/052/550/original/%D0%9C%D0%A0_COVID-19_%28v9%29.pdf?1603788097 (accessed: 17.01.2021).

Prokhorov B. B., Gorshkova I. V., Shmakov D. I., Tarasova E. V. Obshchestvennoe zdorov'e i ekonomika [Public health and the economy]. Moscow: MAKSS Press, 2007. 292 p.

Rimashevskaya N. M., Migranova L. A. Molchanova E. V. Faktory, vliyayushchie na sostoyaniye zdorov'ya naseleniya Rossii [Factors affecting the health status of the Russian population]. *Narodonaselenie* [Population]. 2011. No. 1(51). P. 38–49.

Shchelkanov M. Yu., Popova A. Yu., Dedkov V. G., Akimkin V. G., Maleev V. V. Istoriya izucheniya i sovremennaya klassifikatsiya koronavirusov (Nidovirales: Coronaviridae) [History of the study and modern classification of coronaviruses (Nidovirales: Coronaviridae)]. *Infektsiya i immunitet* [Russ. J. of Infection and Immunity]. 2020. Vol. 10, no. 2. P. 221–246.

Supotnitskii M. V. Novyi koronavirus SARS-COV-2 v aspekte global'noi epidemiologii koronavirusnykh infektsii [The new coronavirus SARS-COV-2 in the aspect of the global epidemiology of coronavirus infections]. *Vestnik voisk RKHB zashchity* [Bull. RCB Defense Troops]. 2020. Vol. 4, no. 1. P. 32–65.

Vaganov A. G. Koronavirus: chto eto bylo? [Coronavirus: what was that?]. *Energiya: ekonomika, tekhnika, ekol.* [Energy]. 2020. No. 6. P. 9–15.

Velichkovskii B. T. Sotsial'nyi stress, trudovaya motivatsiya i zdorov'e [Social stress, work motivation, and health]. *Byull. sibirskoi meditsiny* [Bull. Siberian Medicine]. 2005. No. 3. P. 5–19.

Yakovlev M. E., Vaulina K. O., Popova N. V. Koronavirus kak vyzov sotsial'noi pedagogike v Rossii [Coronavirus as a challenge to social pedagogy in Russia]. *Sotsial'naya pedagogika v Rossii. Nauchno-metodicheskii zhurn.* [Social Pedagogy in Russia. Sci.-methodical J.]. 2020. No. 3. P. 23–25.

Zemtsov S. P., Baburin V. L. Koronavirus v regionakh Rossii: osobennosti i posledstviya rasprostraneniya [Coronavirus in the regions of Russia: features and consequences of its spread]. *Gos. sluzhba* [Public Administration]. 2020. Vol. 22, no. 2(124). P. 48–55.

Zemtsov S. P., Baburin V. L. Koronavirus v Rossii: masshtab i posledstviya [Coronavirus in Russia: scale and consequences]. *Sotsial'no-ekonomicheskaya geografiya. Vestnik Assotsiatsii rossiiskikh geografov-obshchestvovedov* [Socio-economic geography. Bull. of the Association of Russ. Geographers and Social Scientists]. 2020. No. 1(9). P. 133–135.

Bobylev C. N. Environmental consequences of COVID-19 on the global and Russian economics. *Population and Economics*. 2020. Vol. 4, no. 2. P. 43–48. doi: 10.3897/popecon.4.e53279

Brodin P. Immune determinants of COVID-19 disease presentation and severity. *Nat. Med.* 2021. Vol. 27, iss. 1. P. 28–33. doi: 10.1038/s41591-020-01202-8

GBB 2016 *Causes of Death Collaborators*. Global, regional, and national age-sex specific mortality for 264 causes of death, 1980–2016: a systematic

analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *The Lancet*. 2017. No. 390. P. 1151–1210. doi: 10.1016/S0140-6736(17)32152-9

Guan W., Ni Zh., Hu Y. et al. Clinical characteristics of coronavirus disease 2019 in China. *N. Eng. J. Med.* 2020. Vol. 382. P. 1708–1720. doi: 10.1056/NEJMoa2002032

Heymann D. L., Shindo N. COVID-19: what is next for public health? *The Lancet*. Elsevier, 2020. 13 February. doi: 10.1016/S0140-6736(20)30374-3

Hu B., Guo H., Zhou P., Shi Zh.-L. Characteristics of SARS-CoV-2 and COVID-19. *Nat. Rev. Microbiol.* 2021. No. 19. P. 141–154. doi: 10.1038/s41579-020-00459-7

Meyerowitz-Katz G., Merone L. A systematic review and meta-analysis of published research data on COVID-19 infection-fatality rates. *Int. J. Infect. Dis.* 2020. Vol. 101. P. 138–148. doi: 10.1016/j.ijid.2020.09.1464

Murray C. J. L., Lopez A. D. The global burden of disease: a comprehensive assessment of mortality and disability from diseases, injuries, and risk factors in 1990 and projected to 2020. Cambridge: Harvard University Press on behalf of the World Health Organization and The World Bank, 1996.

Received March 25, 2021

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Дружинин Павел Васильевич

ведущий научный сотрудник, руководитель отдела моделирования и прогнозирования регионального развития, д. э. н., к. т. н., доц.
Институт экономики КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185030
эл. почта: pdruzhinin@mail.ru
тел.: (8142) 571525

Молчанова Екатерина Владимировна

ведущий научный сотрудник отдела моделирования и прогнозирования регионального развития, д. э. н., к. т. н.
Институт экономики КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185030
эл. почта: molch@yandex.ru
тел.: (8142) 571525

Подлевских Юлия Леонидовна

зав. отделением ГБУЗ РК «Республиканская инфекционная больница», врач-инфекционист
ул. Кирова, 42, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185035
эл. почта: rib@zdrav10.ru
тел.: (8142) 445101

CONTRIBUTORS:

Druzhinin, Pavel

Institute Economics, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
50 Al. Nevsky Ave., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: pdruzhinin@mail.ru
tel.: (8142) 571525

Molchanova, Ekaterina

Institute Economics, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
50 Al. Nevsky Ave., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: molch@yandex.ru
tel.: (8142) 571525

Podlevskikh, Yuliya

Republican Infectious Diseases Hospital
42 Kirov St., 185035 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: rib@zdrav10.ru
tel.: (8142) 445101

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

(требования к работам, представляемым к публикации
в «Трудах Карельского научного центра Российской академии наук»)

«Труды Карельского научного центра Российской академии наук» (далее – Труды КарНЦ РАН) публикуют результаты завершённых оригинальных исследований в различных областях современной науки: теоретические и обзорные статьи, сообщения, материалы о научных мероприятиях (симпозиумах, конференциях и др.), персоналии (юбилеи и даты, потери науки), статьи по истории науки. Представляемые работы должны содержать новые, ранее не публиковавшиеся данные.

Статьи проходят обязательное рецензирование. Решение о публикации принимается редакционной коллегией серии или тематического выпуска Трудов КарНЦ РАН после рецензирования, с учётом научной значимости и актуальности представленных материалов. Редколлегия серий и отдельных выпусков Трудов КарНЦ РАН оставляет за собой право возвращать без регистрации рукописи, не отвечающие настоящим правилам.

При получении редакцией рукопись регистрируется (в случае выполнения авторами основных правил ее оформления) и направляется на отзыв рецензентам. Отзыв состоит из ответов на типовые вопросы анкеты и может содержать дополнительные расширенные комментарии. Кроме того, рецензент может вносить замечания и правки в текст рукописи. Авторам высылаются электронная версия анкеты и комментарии рецензентов. Доработанный экземпляр автор должен вернуть в редакцию вместе с первоначальным экземпляром и ответом на все вопросы рецензента не позднее чем через месяц после получения рецензии. Перед опубликованием авторам высылаются распечатанная версия статьи, которая вычитывается, подписывается авторами и возвращается в редакцию.

Журнал имеет полноценную электронную версию на базе Open Journal System (OJS), позволяющую перевести предоставление и редактирование рукописи, общение автора с редколлегиями серий и рецензентами в электронный формат и обеспечивающую прозрачность процесса рецензирования при сохранении анонимности рецензентов (<http://journals.krc.karelia.ru/>).

Редакционный совет журнала «Труды Карельского научного центра РАН» (Труды КарНЦ РАН) определил для себя в качестве одного из приоритетов полную открытость издания. Это означает, что пользователям на условиях свободного доступа разрешается: читать, скачивать, копировать, распространять, печатать, искать или находить полные тексты статей журнала по ссылке без предварительного разрешения от издателя и автора. Учредители журнала берут на себя все расходы по редакционно-издательской подготовке статей и их опубликованию.

Содержание номеров Трудов КарНЦ РАН, аннотации и полнотекстовые электронные варианты статей, а также другая полезная информация, включая настоящие Правила, доступны на сайтах – <http://transactions.krc.karelia.ru>; <http://journals.krc.karelia.ru>

Почтовый адрес редакции: 185000, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11, КарНЦ РАН, редакция Трудов КарНЦ РАН. Телефон: (8142) 762018.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ РУКОПИСИ

Статьи публикуются на русском или английском языке. Рукописи должны быть тщательно выверены и отрецензированы авторами.

Объём рукописи (включая таблицы, список литературы, подписи к рисункам, рисунки) не должен превышать: для обзорных статей – 30 страниц, для оригинальных – 25, для сообщений – 15, для хроники и рецензий – 5–6. Объём рисунков не должен превышать 1/4 объёма статьи. Рукописи большего объёма (в исключительных случаях) принимаются при достаточном обосновании по согласованию с ответственным редактором.

При оформлении рукописи применяется полуторный межстрочный интервал, шрифт Times New Roman, кегль 12, выравнивание по обоим краям. Размер полей страницы – 2,5 см со всех сторон. Все страницы, включая список литературы и подписи к рисункам, должны иметь сплошную нумерацию в нижнем правом углу. Страницы с рисунками не нумеруются.

Рукописи подаются в электронном виде в формате MS Word на сайте <http://journals.krc.karelia.ru> либо на e-mail: trudy@krc.karelia.ru или представляются в редакцию лично (г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11, каб. 502).

ОБЩИЙ ПОРЯДОК РАСПОЛОЖЕНИЯ ЧАСТЕЙ СТАТЬИ

Элементы статьи должны располагаться в следующем порядке: *УДК* курсивом на первой странице, в левом верхнем углу; заглавие статьи на русском языке заглавными буквами полужирным шрифтом; инициалы, фамилии всех авторов на русском языке полужирным шрифтом; полное название организации – места работы каждого автора в именительном падеже на русском языке курсивом (если авторов несколько и работают они в разных учреждениях, следует отметить арабскими цифрами соответствие фамилий авторов учреждениям, в которых они работают; если все авторы статьи работают в одном учреждении, можно не указывать место работы каждого автора отдельно); аннотация на русском языке; ключевые слова на русском языке; инициалы, фамилии всех авторов на английском языке полужирным шрифтом; название статьи на английском языке заглавными буквами полужирным шрифтом; аннотация на английском языке; ключевые слова на английском языке; текст статьи (статья экспериментального характера, как правило, должны иметь разделы: **Введение. Материалы и методы. Результаты и обсуждение. Выводы** либо **Заключение**); благодарности и указание источников финансирования выполненных исследований; списки литературы: с библиографическими описаниями на языке и алфавите оригинала (**Литература**) и транслитерированный в латиницу с переводом русскоязычных источников на английский язык (**References**); двуязычные таблицы (на русском и английском языках); рисунки; подписи к рисункам на русском и английском языках.

Сведения об авторах: фамилии, имена, отчества всех авторов полностью на русском и английском языке; полный почтовый адрес каждой организации (с указанием почтового индекса) на русском и английском языке; должности, ученые звания, ученые степени авторов; адрес электронной почты каждого автора; телефон для контактов с авторами статьи (можно один на всех авторов).

ЗАГЛАВИЕ СТАТЬИ должно точно отражать содержание статьи* и состоять из 8–10 значимых слов.

АННОТАЦИЯ должна быть лишена вводных фраз, создавать возможно полное представление о содержании статьи и иметь объем не менее 200 слов. Рукопись с недостаточно раскрывающей содержание аннотацией может быть отклонена.

Отдельной строкой приводится перечень КЛЮЧЕВЫХ СЛОВ (не менее 5). Ключевые слова или словосочетания отделяются друг от друга точкой с запятой, в конце фразы ставится точка. Слова, фигурирующие в заголовке статьи, ключевыми являться не могут.

Раздел «Материалы и методы» должен содержать сведения об объекте исследования с обязательным указанием латинских названий и сводок, по которым они приводятся, авторов классификаций и пр. Транскрипция географических названий должна соответствовать атласу последнего года издания. Единицы физических величин приводятся по Международной системе СИ. Желательна статистическая обработка всех количественных данных. Необходимо возможно точнее обозначать местонахождения (в идеале – с точным указанием географических координат).

Изложение результатов должно заключаться не в пересказе содержания таблиц и графиков, а в выявлении следующих из них закономерностей. Автор должен сравнить полученную им информацию с имеющейся в литературе и показать, в чем заключается ее новизна. Следует ссылаться на табличный и иллюстративный материал так: на рисунки, фотографии и таблицы в тексте (рис. 1, рис. 2, табл. 1, табл. 2 и т. д.), фотографии, помещаемые на вклейках (рис. I, рис. II). Обсуждение завершается формулировкой в разделе «Заключение» основного вывода, которая должна содержать конкретный ответ на вопрос, поставленный во «Введении». Ссылки на литературу в тексте даются фамилиями, например: Карху, 1990 (один автор); Раменская, Андреева, 1982 (два автора); Крутов и др., 2008 (три автора или более) либо начальным словом библиографического описания источника, приведенного в списке литературы, и заключаются в квадратные скобки. При перечислении нескольких источников работы располагаются в хронологическом порядке, например: [Иванов, Топоров, 1965; Успенский, 1982; Erwin et al., 1989; Атлас..., 1994; Longman, 2001].

ТАБЛИЦЫ нумеруются в порядке упоминания их в тексте, каждая таблица имеет свой заголовок. Заголовки таблиц, заголовки и содержание столбцов, строк, а также примечания приводятся на русском и английском языках. На полях бумажного экземпляра рукописи (слева) карандашом указываются места расположения таблиц при первом упоминании их в тексте. Диаграммы и графики не должны дублировать таблицы. Материал таблиц должен быть понятен без дополнительного обращения к тексту. Все сокращения, использованные в таблице, поясняются в Примечании, расположенном под ней. При повторении цифр в столбцах нужно их повторять, при повторении слов – в столбцах ставить кавычки. Таблицы могут быть книжной или альбомной ориентации (при соблюдении вышеуказанных параметров страницы).

РИСУНКИ при первичной подаче материала в редакцию вставляются в общий текстовый файл. При сдаче материала, принятого в печать, все рисунки должны быть представлены в виде отдельных файлов в формате TIFF (*.TIF) или JPG. Графические материалы должны быть снабжены распечатками с указанием желательного размера рисунка, пожеланий и требований к конкретным иллюстрациям. На каждый рисунок должна быть как минимум одна ссылка в тексте. Иллюстрации объектов, исследованных с помощью фотосъемки, микроскопа (оптического, элек-

* Названия видов приводятся на латинском языке КУРСИВОМ, в скобках указываются высшие таксоны (семейства), к которым относятся объекты исследования.

тронного трансмиссионного и сканирующего), должны сопровождаться масштабными линейками, причем в подрисуночных подписях надо указать длину линейки. Приводить данные о кратности увеличения необязательно, поскольку при публикации рисунков размеры изменятся. Крупномасштабные карты желательно приводить с координатной сеткой, обозначениями населенных пунктов и/или названиями физико-географических объектов и разной фактурой для воды и суши. В углу карты желательна врезка с мелкомасштабной картой, где был бы указан участок, увеличенный в крупном масштабе в виде основной карты.

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ приводятся на русском и английском языках, должны содержать достаточно полную информацию, для того чтобы приводимые данные могли быть понятны без обращения к тексту (если эта информация уже не дана в другой иллюстрации). Аббревиации расшифровываются в подрисуночных подписях, детали на рисунках следует обозначать цифрами или буквами, значение которых также приводится в подписях.

ЛАТИНСКИЕ НАЗВАНИЯ. В расширенных латинских названиях таксонов не ставится запятая между фамилией авторов и годом, чтобы была понятна разница между полным названием таксона и ссылкой на публикацию в списке литературы. Названия таксонов рода и вида печатаются курсивом. Вписывать латинские названия в текст от руки недопустимо. Для флористических, фаунистических и таксономических работ при первом упоминании в тексте и таблицах приводится русское название вида (если такое название имеется) и полностью – латинское, с автором и желательно с годом, например: водяной ослик (*Asellus aquaticus* (L., 1758)). В дальнейшем можно употреблять только русское название или сокращенное латинское без фамилии автора и года опубликования, например, для брюхоногого моллюска *Margarites groenlandicus* (Gmelin, 1790) – *M. groenlandicus* или для подвида *M. g. umbilicalis*.

СОКРАЩЕНИЯ. Разрешаются лишь общепринятые сокращения – названия мер, физических, химических и математических величин и терминов и т. п. Все сокращения должны быть расшифрованы, за исключением небольшого числа общеупотребительных.

БЛАГОДАРНОСТИ. В этой рубрике выражается признательность частным лицам, сотрудникам учреждений и фондам, оказавшим содействие в проведении исследований и подготовке статьи, а также указываются источники финансирования работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ. Пристатейные ссылки и/или списки пристатейной литературы следует оформлять по ГОСТ Р 7.0.5-2008. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления (http://www.bookchamber.ru/GOST_P_7.0.5.-2008). Список работ представляется в алфавитном порядке. Все ссылки даются на языке оригинала (названия на японском, китайском и других языках, использующих нелатинский шрифт, пишутся в русской транскрипции). Сначала приводится список работ на русском языке и на языках с близким алфавитом (украинский, болгарский и др.), а затем – работы на языках с латинским алфавитом. В списке литературы между инициалами ставится пробел.

ТРАНСЛИТЕРИРОВАННЫЙ СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (REFERENCES). Приводится отдельным списком, повторяя все позиции основного списка литературы. Библиографические описания русскоязычных работ даются в латинской транслитерации, рядом в квадратных скобках помещается их перевод на английский язык. Выходные данные приводятся на английском языке (допускается транслитерация названия издательства). При наличии переводной версии источника можно указать ее. Описания прочих работ приводятся на языке оригинала. Для составления списка рекомендуется использование бесплатных онлайн-сервисов транслитерации, вариант BSI.

Внимание! С 2015 года каждой статье, публикуемой в «Трудах Карельского научного центра РАН», редакцией присваивается уникальный идентификационный номер цифрового объекта (DOI) и статья включается в базу данных Crossref. **Обязательным условием является указание в списках литературы DOI для тех работ, у которых он есть.**

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ 1-Й СТРАНИЦЫ

УДК 631.53.027.32:635.63

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ ПРЕДПОСЕВНОГО ЗАКАЛИВАНИЯ СЕМЯН НА ХОЛОДОУСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ ОГУРЦА

Е. Г. Шерудило¹, М. И. Сысоева¹, Г. Н. Алексейчук², Е. Ф. Марковская¹

¹Институт биологии Карельского научного центра РАН

²Институт экспериментальной ботаники НАН Республики Беларусь им. В. Ф. Купревича

Аннотация на русском языке

Ключевые слова: *Cucumis sativus* L.; кратковременное снижение температуры; устойчивость.

E. G. Sherudilo, M. I. Sysoeva, G. N. Alekseichuk, E. F. Markovskaya. EFFECTS OF DIFFERENT REGIMES OF SEED HARDENING ON COLD RESISTANCE IN CUCUMBER PLANTS

Аннотация на английском языке

Keywords: *Cucumis sativus* L.; temperature drop; resistance.

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ ТАБЛИЦЫ

Таблица 2. Ультраструктура клеток мезофилла листа в последствии 10-минутного охлаждения (2 °C) проростков или корней пшеницы

Table 2. Ultrastructure of leaf mesophyll cells after the exposure of wheat seedlings or roots to 10 min of chilling at 2 °C

Показатель Index	Контроль Control	Охлаждение проростков Seedling chilling	Охлаждение корней Root chilling
Площадь среза хлоропласта, мкм ² Chloroplast cross-sectional area, μm ²	10,0 ± 0,7	13,5 ± 1,1	12,7 ± 0,5
Площадь среза митохондрии, мкм ² Mitochondria cross-sectional area, μm ²	0,4 ± 0,03	0,5 ± 0,03	0,6 ± 0,04
Площадь среза пероксисомы, мкм ² Peroxisome cross-sectional area, μm ²	0,5 ± 0,1	0,5 ± 0,1	0,7 ± 0,1
Число хлоропластов на срезе клетки, шт. Number of chloroplasts in cell cross-section	9 ± 1	8 ± 1	10 ± 1
Число митохондрий на срезе клетки, шт. Number of mitochondria in cell cross-section	8 ± 1	8 ± 1	10 ± 1
Число пероксисом на срезе клетки, шт. Number of peroxisomes in cell cross-section	2 ± 0,3	2 ± 0,3	3 ± 0,4

Примечание. Здесь и в табл. 3: все параметры ультраструктуры измеряли через 24 ч после охлаждения.

Note. Here and in Tab. 3 all ultrastructure parameters were measured 24 h after chilling.

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ ПОДПИСИ К РИСУНКУ

Рис. 1. Северный точильщик (*Hadrobregmus confuses* Kraaz.)

Fig. 1. Woodboring beetle *Hadrobregmus confuses* Kraaz.

Рис. 5. Результаты изучения кристаллитов и демпферных зон в образце кварца из Дульдурги:

(а) – электронная микрофотография кварца; (б) – картина микродифракции, полученная для участка 1 в области кристаллитов; (в) – картина микродифракции, отвечающая участку 2 в области демпферных зон

Fig. 5. Results of the study of crystallites and damping zones in a quartz sample from Duldurga:

(a) – electron microphotograph of the quartz sample; (б) – microdiffraction image of site 1 in the crystallite area; (в) – microdiffraction image corresponding to site 2 in the damping area

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ СПИСКА ЛИТЕРАТУРЫ

Ссылки на книги

Вольф Г. Н. Дисперсия оптического вращения и круговой дихроизм в органической химии / Ред. Г. Снатцке. М.: Мир, 1970. С. 348–350.

Патрушев Л. И. Экспрессия генов. М.: Наука, 2000. 830 с.

Knorre D. G., Laric O. L. Theory and practice in affinity techniques / Eds P. V. Sundaram, F. L. Eckstein. N. Y., San Francisco: Acad. Press, 1978. P. 169–188.

References:

Vol'f G. N. Dispersiya opticheskogo vrashheniya i krugovoj dikhroizm v organicheskoy khimii [Optical rotatory dispersion and circular dichroism in Organic Chemistry]. Ed. G. Snattske. Moscow: Mir, 1970. P. 348–350.

Patrushev L. I. Ekspressiya genov [Gene expression]. Moscow: Nauka, 2000. 830 p.

Knorre D. G., Laric O. L. Theory and practice in affinity techniques. Eds P. V. Sundaram, F. L. Eckstein. N. Y., San Francisco: Acad. Press, 1978. P. 169–188.

Ссылки на статьи

Викторов Г. А. Межвидовая конкуренция и сосуществование экологических гомологов у паразитических перепончатокрылых // Журн. общ. биол. 1970. Т. 31, № 2. С. 247–255.

Grove D. J., Loisesides L., Nott J. Satiation amount, frequency of feeding and emptying rate in *Salmo gairdneri* // J. Fish. Biol. 1978. Vol. 12, no. 4. P. 507–516.

Noctor G., Queval G., Mhamdi A., Chaouch A., Foyer C. H. Glutathione // Arabidopsis Book. American Society of plant Biologists, Rockville, MD. 2011. doi:10.1199/tab.0142

References:

Viktorov G. A. Mezhhvidovaya konkurentsiya i sosushhestvovanie ehkologicheskikh gomologov u paraziticheskikh pereponchatokrylykh [Interspecific competition and coexistence ecological homologues in parasitic Hymenoptera]. Zhurn. obshh. biol. [Biol. Bull. Reviews]. 1970. Vol. 31, no. 2. P. 247–255.

Grove D. J., Loisesides L., Nott J. Satiation amount, frequency of feeding and emptying rate in *Salmo gairdneri*. J. Fish. Biol. 1978. Vol. 12, no. 4. P. 507–516.

Noctor G., Queval G., Mhamdi A., Chaouch A., Foyer C. H. Glutathione. Arabidopsis Book. American Society of plant Biologists, Rockville, MD. 2011. doi:10.1199/tab.0142

Ссылки на материалы конференций

Марьинских Д. М. Разработка ландшафтного плана как необходимое условие устойчивого развития города (на примере Тюмени) // Экология ландшафта и планирование землепользования: тезисы докл. Всерос. конф. (Иркутск, 11–12 сент. 2000 г.). Новосибирск, 2000. С. 125–128.

References:

Mar'inskikh D. M. Razrabotka landshaftnogo plana kak neobkhodimoe uslovie ustoichivogo razvitiya goroda (na primere Tyumeni) [Landscape planning as a necessary condition for sustainable development of a city (example of Tyumen)]. Ekologiya landshafta i planirovanie zemlepol'zovaniya: Tezisy dokl. Vseros. konf. (Irkutsk, 11–12 sent. 2000 g.) [Landscape ecology and land-use planning: abstracts of all-Russian conference (Irkutsk, Sept. 11–12, 2000)]. Novosibirsk, 2000. P. 125–128.

Ссылки на диссертации или авторефераты диссертаций

Шефтель Б. И. Экологические аспекты пространственно-временных межвидовых взаимоотношений землероек Средней Сибири: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1985. 23 с.

Лозовик П. А. Гидрогеохимические критерии состояния поверхностных вод гумидной зоны и их устойчивости к антропогенному воздействию: Дис. ... докт. хим. наук. Петрозаводск, 2006. 481 с.

References:

Sheftel' B. I. Ekologicheskie aspekty prostranstvenno-vremennykh mezhvidovykh vzaimootnoshenii zemlerоек Srednei Sibiri [Ecological aspects of spatio-temporal interspecies relations of shrews of Middle Siberia]: Summary of PhD (Cand. of Biol.) thesis. Moscow, 1985. 23 p.

Lozovik P. A. Gidrogeokhimicheskie kriterii sostoyaniya poverkhnostnykh vod gumidnoi zony i ikh ustoichivosti k antropogennomu vozddeistviyu [Hydrogeochemical criteria of the state of surface water in humid zone and their tolerance to anthropogenic impact]: DSc (Dr. of Chem.) thesis. Petrozavodsk, 2006. 481 p.

Ссылки на патенты

Патент РФ № 2000130511/28.04.12.2000.

Еськов Д. Н., Серегин А. Г. Оптико-электронный аппарат // Патент России № 2122745. 1998. Бюл. № 33.

References:

Patent RF № 2000130511/28. 04.12.2000 [Russian patent No. 2000130511/28. December 4, 2000].

Es'kov D. N., Seregin A. G. Optiko-elektronnyi apparat [Optoelectronic apparatus]. Patent Rossii № 2122745 [Russian patent No. 2122745]. 1998. Bulletin No. 33.

Ссылки на архивные материалы

Гребенщиков Я. П. К небольшому курсу по библиографии: материалы и заметки, 26 февр. – 10 марта 1924 г. // ОР РНБ. Ф. 41. Ед. хр. 45. Л. 1–10.

References:

Grebenshchikov Ya. P. K nebol'shomu kursu po bibliografii: materialy i zametki, 26 fevr. – 10 marta 1924 g. [Brief course on bibliography: the materials and notes, Febr. 26 – March 10, 1924]. OR RNB. F. 41. St. un. 45. L. 1–10.

Ссылки на интернет-ресурсы

Паринов С. И., Ляпунов В. М., Пузырев Р. Л. Система Соционет как платформа для разработки научных информационных ресурсов и онлайн-сервисов // Электрон. б-ки. 2003. Т. 6, вып. 1. URL: <http://www.elbib.ru/index.phtml?page=elbib/rus/journal/2003/part1/PLP/> (дата обращения: 25.12.2015).

Демография. Официальная статистика / Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gks.ru/> (дата обращения: 25.12.2015).

References:

Parinov S. I., Lyapunov V. M., Puzyrev R. L. Sistema Sotsionet kak platforma dlya razrabotki nauchnykh informatsionnykh resursov i onlainovykh servisov [Socionet as a platform for development of scientific information resources and online services]. Elektron. b-ki [Digital library]. 2003. Vol. 6, iss. 1. URL: <http://www.elbib.ru/index.phtml?page=elbib/rus/journal/2003/part1/PLP/> (accessed: 25.11.2006).

Demografija. Oficial'naja statistika [Demography. Official statistics]. Federal'naja sluzhba gosudarstvennoj statistiki [Federal state statistics service]. URL: <http://www.gks.ru/> (accessed: 25.12.2015).

Ссылки на электронные ресурсы на CD-ROM

Государственная Дума, 1999–2003 [Электронный ресурс]: электронная энциклопедия / Аппарат Гос. Думы Федер. Собрания Рос. Федерации. М., 2004. 1 CD-ROM.

References:

Gosudarstvennaya Duma, 1999–2003 [State Duma, 1999–2003]. Electronic encyclopedia. The office of the State Duma of the Federal Assembly of the Russian Federation. Moscow, 2004. 1 CD-ROM.

Transactions of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences

No. 7, 2021

“Multidisciplinary scientific research at KarRC RAS”

TABLE OF CONTENTS

PREFACE	5
O. N. Bakhmet, A. M. Kryshen, E. A. Borovichev, A. N. Gromtsev, A. V. Kravchenko, O. L. Kuznetsov, A. F. Titov, O. V. Petrova, V. A. Masloboev. IMPLEMENTATION OF THE IDEA OF THE GREEN BELT OF FENNOSCANDIA AS A SYSTEM OF PROTECTED AREAS IN THE EUROPEAN NORTH	6
I. A. Chernov, A. V. Tolstikov. ON NUMERICAL SIMULATION OF THE WHITE SEA.	16
A. N. Gromtsev, O. N. Bakhmet, N. V. Petrov, A. V. Kravchenko, O. L. Kuznetsov. CENTRAL KARELIAN LACUSTRINE-LOW MOUNTAIN COMPLEXES: SPECIFIC NATURAL CHARACTERISTICS, STATUS, CONSERVATION	27
S. M. Sinkevich, D. A. Efremov, V. V. Timofeeva, V. A. Ananyev, N. V. Ilmast, A. N. Solodovnikov, M. A. Ruch'ev. AN ECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE STATE OF SMALL RIVERS IN THE MIDDLE TAIGA SUBZONE OF KARELIA	46
O. V. Tolstoguzov, N. V. Genikova, I. A. Dubrovina, A. Yu. Karpechko, L. M. Kulakova, A. V. Mamai, M. V. Medvedeva, E. V. Moshkina, V. A. Sidorova, A. V. Tuyunen. ECONOMIC ANALYSIS OF THE VALUE OF SOILS IN THE NORTH OF EUROPEAN RUSSIA IN DIFFERENT LAND USE SCENARIOS ..	60
Yu. E. Deines, V. V. Kovalevski, A. V. Pervunina, A. E. Romashkin, D. V. Rychanchik, E. P. Ieshko. SHUNGITE ROCKS OF KARELIA: FROM GEOLOGICAL RESEARCH TO PROSPECTS FOR USE IN INNOVATIVE TECHNOLOGIES	72
S. N. Kalinina, S. Yu. Chazhengina, V. A. Ilyukha, S. A. Svetov, E. A. Khizhkin. MORPHOLOGY AND MINERAL COMPOSITION OF PINEAL GLAND CONCRETIONS IN <i>VULPES LAGOPUS</i> L., 1758 (MAMMALIA: CARNIVORA)	89
T. P. Boyko, N. G. Zaitseva, N. B. Krizhanovskaya, A. A. Krizhanovsky, I. P. Novak, N. A. Pellinen, A. P. Rodionova, E. D. Trubina. THE LINGUISTIC CORPUS VEPKAR IS A LANGUAGE REFUGE FOR THE BALTIC-FINNISH LANGUAGES OF KARELIA	100
P. V. Druzhinin, E. V. Molchanova, Yu. L. Podlevskikh. COVID-19 PANDEMIC EFFECTS ON MORTALITY RATES IN RUSSIAN REGIONS	116
INSTRUCTIONS FOR AUTHORS	129

Научный журнал

**Труды Карельского научного центра
Российской академии наук**
№ 7, 2021

Комплексные научные исследования КарНЦ РАН

*Печатается по решению Ученого совета
Федерального исследовательского центра
«Карельский научный центр Российской академии наук»*

Выходит 12 раз в год

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций
Регистрационная запись ПИ № ФС 77-72429 от 28.02.2018 г.

Редактор А. И. Мокеева
Компьютерная верстка Г. О. Предтеченский

Подписано в печать 27.07.2021. Дата выхода 31.07.2021. Формат 60x84¹/₈.
Печать офсетная. Уч.-изд. л. 14,3. Усл. печ. л. 15,8.
Тираж 100 экз. Заказ 661. Цена свободная

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр Российской академии наук»
185910, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11

Оригинал-макет: Редакция научного издания «Труды КарНЦ РАН»

Типография: Редакционно-издательский отдел КарНЦ РАН
185003, г. Петрозаводск, пр. А. Невского, 50